



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**DETERMINACIÓN DE UN AÑO CLIMÁTICO TIPO
PARA ESTUDIOS DE ENERGÍA EN EDIFICIOS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTOR EN INGENIERÍA

ENERGÍA-DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICACIONES

P R E S E N T A:

JUAN MANUEL RODRÍGUEZ TORRES

TUTOR:

DR. JAIME G. CERVANTES DE GORTARI



2006

JURADO ASIGNADO

Presidente: DR. BEST BROWN ROBERTO
Secretario: DR. CERVANTES DE GORTARI JAIME G.
1er. Vocal: DR. FERNÁNDEZ SAYAS JOSÉ LUIS
2do. Vocal: DR. HEARD WADE CHRISTOPHER LIONEL
3er. Vocal: DR. MORILLÓN GÁLVEZ DAVID
1er. Suplente: DR. PALACIO PÉREZ ARTURO
2do. Suplente: DR. GOMÉZ MUÑOZ VICTOR MANUEL

División de estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería UNAM
Ciudad Universitaria México, D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. CERVANTES DE GORTARI JAIME G.

FIRMA

Dedicatorias

"A Mileidi por compartir este espacio, este tiempo, por compartir su sueño: mi sueño."

"A Osvaldo y Rodolfo porque los contratiempos y momentos difíciles, los fortalezca y los haga hombres de bien"

INDICE

<i>Índice de figuras, tablas y gráficas</i>	<i>3</i>
<i>Resumen de la tesis</i>	<i>8</i>
1 Introducción.	10
2 Año climático tipo.	15
2.1 El Test Reference Year TRY.	15
2.2 El Typical Meteorological Year.	17
3 Variables para determinación de año climático tipo.	20
3.1 Temperatura de bulbo seco.	20
3.2 El ciclo solar.	30
3.2.1 Cambio climático	33
3.2.2 ¿El ciclo solar o “calentamiento global”?	34
4 Análisis de la relación del ciclo solar con las variables climáticas.	38
4.1 La correlación Ta – Rmax	38
4.2 Correlación del ciclo solar y la temperatura ambiente y la humedad relativa.	43
4.3 Descripción del método para determinar el año climático tipo.	54
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
5 Resultados y discusión.	57
5.1 Año climático tipo alternativo.	57
5.2 Descripción del método para determinar el Año Climático Tipo.	68
6 Conclusiones y recomendaciones.	72
7 REFERENCIAS.	75

Anexos.

- A. El ESP-r (Energy System Performance)**
- B. Confort térmico.**
- C. Elementos de astronomía de posición aplicables a la física de edificios.**
- D. Modelos para el análisis de los procesos de transferencia de calor.**
- E. Glosario**

Índice de figuras.

Figura 1.1 Se presenta el periodo del Mínimo Maunder	12
Figura 3.1 Muestra las diferentes variaciones del ciclo solar en función de las manchas solares	31
Figura 3.2 Muestra los diferentes ciclos solares.	32
Figura 3.3 Últimos ciclos solares.	33
Figura 5.1 Diferentes ciclos solares de 1700 a 1995	69

Índice de tablas.

Tabla 1.1 Clasificación del proceso para el año prueba de referencia (TRY) del ASHRAE	16
Tabla 3.1 Valores de a,b,c, en función de la latitud y la época del año para la República Mexicana	22
Tabla 3.2 Variación estadística entre modelos	28
Tabla 4.1 Número de ciclo solar, Tiempo de subida y número de Wolf máximo	39
Tabla 4.2 Número de Wolf, índices de correlación temperatura y humedad relativa anual	44
Tabla 4.3 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para periodos máximos y mínimos del ciclo solar	50
Tabla 5.1 Muestra los valores de temperatura horaria	58
Tabla 5.2 Muestra los valores mensuales de la temperatura para la conformación de TRY Para la ciudad de Querétaro, Qro.	67
Tabla 5.3 Muestra los valores mensuales de la temperatura para la conformación de TRY Para la ciudad de Guanajuato, Gto.	68

Índice de Gráficas.

Gráfica 3.1 Temperatura diaria enero	23
Gráfica 3.2 Temperatura diaria febrero	23
Gráfica 3.3 Temperatura diaria marzo	24
Gráfica 3.4 Temperatura diaria abril	24
Gráfica 3.5 Temperatura diaria mayo	24
Gráfica 3.6 Temperatura diaria junio	25
Gráfica 3.7 Temperatura diaria julio	25
Gráfica 3.8 Temperatura diaria agosto	25
Gráfica 3.9 Temperatura diaria septiembre	26
Gráfica 3.10 Temperatura diaria octubre	26
Gráfica 3.11 Temperatura diaria noviembre	26
Gráfica 3.12 Temperatura diaria diciembre	27
Gráfica 3.13 Variación mensual MOD.U.G	27
Gráfica 3.14 Variación mensual Modelo A. Tejeda	27
Gráfica 3.15 Variación mensual modelo Arturo Palacio Pérez y Alejandro Rodríguez Valdés	28
Gráfica 3.16 Variación mensual MOD. U.G Temperatura estimada Hermosillo, Sonora	29
Gráfica 3.17 Variación mensual MOD. TEJ. Temperatura estimada Hermosillo, Sonora	29
Gráfica 3.18 Variación mensual MOD. I. ING. Temperatura estimada Hermosillo Sonora	30
Gráfica 4.1 Correlación Número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23	39
Gráfica 4.2 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 función logarítmica de Waldmeier	40
Gráfica 4.3 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 de Xanthakis	41
Gráfica 4.4 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 de Javier Ruiz	42
Gráfica 4.5 Correlación longitud de los ciclos solares y la temperatura media a nivel del suelo de E. Friis-Christensen y K. Lassen	42
Gráfica 4.6 Muestra las variaciones del número de Wolf mensual en los últimos ciclos solares, datos del número de Wolf obtenidos del RWC Belgium World Data Center for the Sunspot Index	43

Gráfica 4.7 Muestra la variación de los índices de correlación entre el número de Wolf y la temperatura ambiente*, *Datos obtenidos del Observatorio Meteorológico de la Universidad de Guanajuato y el NCC	45
Gráfica 4.8 Muestra la variación de los índices de correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa*, *Datos obtenidos del observatorio Meteorológico de la Universidad de Guanajuato.	45
Gráfica 4.9 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria (ver tabla 4.2)	46
Gráfica 4.10 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 1999	46
Gráfica 4.11 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2001	47
Gráfica 4.12 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2002	47
Gráfica 4.13 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2003	47
Gráfica 4.14 Número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1980-1982	48
Gráfica 4.15 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1980-1992	48
Gráfica 4.16 Número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1999-2003	49
Gráfica 4.17 Número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo 1981-1992	49
Gráfica 4.18 Número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo 1996-1999	50
Gráfica 4.19 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 21	51
Gráfica 4.20 Gráfica 4.20 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 21	51
Gráfica 4.21 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 22	52
Gráfica 4.22 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 23	52
Gráfica 4.23 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 21	53
Gráfica 4.24 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 21	53
Gráfica 4.25 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 22	54
Gráfica 4.26 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 22	54
Gráfica 5.1 Gráfica Zona de confort Año tipo mínimo	59
Gráfica 5.2 Gráfica Zona de confort Año tipo máximo	60
Gráfica 5.3 Muestra el comportamiento anual de la temperatura para los años 1980-1992, 1994, 1996 y 1999-2003	61
Gráfica 5.4 Muestra el comportamiento anual de la temperatura y la humedad relativa para los años donde se presenta la máxima y mínima actividad solar	62
Gráfica 5.5 Muestra el comportamiento anual de la humedad relativa para los años 1981-1992, 1996	63
Gráfica 5.6 Temperatura horaria 15 de mayo 1982 y 1986	64
Gráfica 5.7 Temperatura horaria 15 de enero 1982 y 1986	64
Gráfica 5.8 Temperatura horaria 15 de mayo 1991 y 1996	65
Gráfica 5.9 Temperatura horaria 15 de enero 1991 y 1996	65
Gráfica 5.10 Temperatura horaria 15 de mayo 1991 y 1982 máximos solares	65
Gráfica 5.11 Temperatura horaria 15 de enero 1991 y 1982 máximos solares	66
Gráfica 5.12 Temperatura horaria 15 de enero 1986 y 1996 mínimos solares	66
Gráfica 5.13 Temperatura horaria 15 de mayo 1986 y 1982	66
Gráfica 5.14 Temperatura horaria 15 de mayo 1986 y 1982	67

Resumen de Tesis.

Se presenta el análisis de las variables de temperatura, humedad relativa y número de Wolf, como elementos que permiten una aproximación a demostrar la relación del ciclo solar con los fenómenos climáticos. Y en la parte de utilidad práctica como instrumentos determinantes de la construcción de un año climático tipo para el estudio de energía en edificios.

En lo particular se determinan dos posibles características del año tipo: una para las condiciones de máxima actividad solar ACT-MÁX y otra para las condiciones de mínima actividad solar ACT-MÍN, elementos importantes para el caso de la evaluación del comportamiento térmico de edificios y en general como referencia para estudios de energía en otros campos.

Introducción.

1 Introducción.

La parte fundamental de este trabajo, consiste de la determinación de un año climático tipo para estudios de energía y en particular para emplearse en los métodos para cálculo de la transferencia de calor en los espacios arquitectónicos.

Puede emplearse en métodos y software que incluya mecánica y dinámica de fluidos como el (ESP-r) Energy System Performance; software para la simulación del funcionamiento térmico, visual y acústico en edificios. En este documento solo se considera el caso particular del funcionamiento térmico.

El año tipo propuesto resultado del trabajo, se plantea en sustitución del TRY (Test Reference Year) empleado en el ESP-r para simular el comportamiento de la temperatura.

En las conclusiones del trabajo se presentan las ventajas y desventajas del año climático tipo propuesto, (ACT), el cual es dividido en dos años tipo posibles, que se consideran más adecuados para el análisis de energía en los edificios, ya que reflejan los cambios de la máxima y mínima actividad solar.

Debido a la complejidad y los diferentes alcances de este trabajo, no fue posible presentarlo como un modulo del ESP-r; sin embargo, como una actividad consecuente del mismo, se plantea el desarrollo de un modulo para mostrar los resultados de las posibles variaciones, los dos años tipo propuestos de mínima y máxima actividad solar.

De igual manera al definir un año de máxima y mínima actividad solar permite una mayor aproximación a las condiciones de los límites para diseño de los diferentes espacios arquitectónicos.

Para una aproximación al problema se parte del concepto de “relaciones Tierra-Sol”, en específico lo relativo al ciclo solar y su posible relación con el clima terrestre, el cual ha sido discutido en el simposio del Goddard Space Flight Center, (NASA 1973 denominado “Possible relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena”, en esta reunión al discutir este fenómeno, se plantean tres etapas para el análisis de los aspectos relacionados con el tema:

- Los aspectos que permitían identificar la presencia del ciclo solar sobre la Tierra, entre lo que se destacan los registros de sequías, y los registros físicos sobre la corteza de los árboles.
- La existencia de mecanismos o modelos apropiados para explicar tal fenómeno.
- Las medidas críticas para explicar la naturaleza del fenómeno.

Como conclusión general se plantea, que mientras exista carencia de datos climatológicos consecutivos, no sería posible marcar alguna posible relación

entre el ciclo solar y las variaciones en el clima de la Tierra, para lograr demostrar esa relación en específico se tendrá que contar como mínimo el periodo de 2 ciclos solares consecutivos de datos uniformes de temperatura y humedad u otra variable que permitiera identificar dicha variación, estas dos variables son las utilizadas para clasificar el clima.

En la actualidad los observatorios a nivel mundial, cuentan con un poco más de 30 años de registros consecutivos, acercándose a los periodos de tres ciclos solares. De igual manera se ha retomado interés por el tema; la comunidad Europea celebró un congreso sobre este denominada: Euroconferencia: "The Solar Cycle and Terrestrial Climate", en (SOLPA 2000).

Posteriormente, la International Solar Cycle Studies (ISCS 2001) organiza la "Solar Variability; Climate; and Space Weather".

Durante la última década se ha puesto gran atención al denominado "cambio climático", se ha llegado a conclusiones con posiciones en parte determinantes en cuanto a las posibles consecuencias por el denominado "**calentamiento global del planeta**", se han planteado varias hipótesis, una de ellas la que más a marcado posiciones extremas, supone que sobre la Tierra en un periodo de 100 años se elevará la temperatura global del planeta en aproximadamente 1 °C.

Esto no tendría discusión si se hubiesen descartado los cambios cíclicos que suceden en el planeta y que han sido poco estudiados; con excepción (solo en parte) del "ciclo solar", ya que este, solo ha sido analizado basado en los registro de manchas solares a lo largo de aproximadamente 400 años, pero sin entablar ninguna relación con otros aspectos como las **relaciones Tierra-Sol**; las cuales reciben atención en el simposio del Goddard Space Flight Center, (NASA 1973), con el título de "*Possible relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena*".

Este no es el único aspecto que puede estar relacionado con el "cambio climático" y que no se ha descartado, existen otros elementos que se vinculan con el ciclo solar, estos son ciclos más largos de aproximadamente 85 años denominados ciclos de Gleissberg, los cuales son menos conocidos, se cita de la misma manera un doble ciclo de Gleissberg el cual correspondería a 180 años, en uno de estos ciclos ocurrió por el año de 1645-1715 lo que se conoció como "Mínimo Maunder" (ver fig. 1.1) en honor a su descubridor, Walter Maunder junto con Gustav Spörer; entre los años 1887 y 1890.

Este fenómeno fue reconfirmado en el año de 1976 por John Eddy; tal periodo representó lo que en Europa se denominó las pequeñas glaciaciones, ya que parte de la superficie del continente, literalmente se congeló; debido a que el Sol no calentó durante varios ciclos solares aproximadamente 7 ciclos.

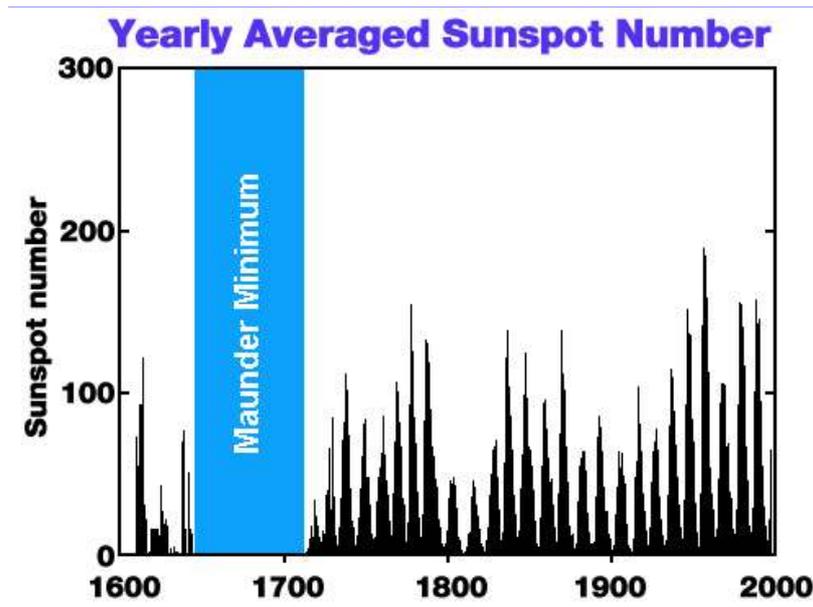


Figura 1.1 Se presenta el periodo del Mínimo Maunder

Por otra parte el concepto de año climático tipo, recibe diferentes nombres, y en cierta forma marca diferentes métodos para definirlo, sin embargo el objetivo central es identificar o caracterizar el comportamiento climático de una zona geográfica determinada.

Entre los nombres que ha recibido se encuentran los siguientes: año típico (typical year), año de referencia (reference year), año de prueba (test year), año referencia de prueba o año climático de referencia (test Reference year TRY) año corto de referencia (short reference year), año referencia de diseño (design reference year), año meteorológico tipo (typical meteorological year TMY), año climático (weather year), año climático tipo (typical weather year), año patrón (standard year), año patrón climático (Standard weather year) entre otros.

Las características para definirlos se presentan de manera particular de acuerdo con el uso para el cual es requerido.

De todos los anteriores, los más empleados para estudios de energía en los Estados Unidos según la ASHRAE (1993), Hui, C. M., (1996) son el Test Reference Year (TRY) preparado por el National Climatic Center y el Typical Meteorological Year (TMY) preparado por Sandia Laboratories en la ciudad de Albuquerque.

Con relación al año climático tipo (ACT), las primeras relaciones fueron identificadas por el año de 1990 al analizar el comportamiento de la temperatura ambiente horaria en estudios sobre diseño térmico de edificios. Pero el planteamiento de cómo definirlo, se conforma hasta fechas recientes, al acumular la información climática para dos ciclos solares consecutivos los ciclos número 22 y 23.

En lo referente a los antecedentes, entre las diferentes etapas presentes en el trabajo se encuentran; primero, lo relacionado con el ciclo solar (CS) y su posible vínculo con los aspectos climáticos y meteorológicos y segundo, las afirmaciones y discrepancias en lo relacionado con el denominado “cambio climático (CC).

En la parte del desarrollo se presenta los aspectos relevantes del ciclo solar y la parte general lo relativo al cambio climático; al final de los resultados se presenta lo que se ha denominado ¿ciclo solar o calentamiento global?, en referencia a una de las tres variables que han recibido mayor atención en cuanto al “cambio climático”.

En las conclusiones se presenta la postura que se tiene con relación a esas posibles relaciones.

2. AÑO CLIMÁTICO TIPO

2. Año climático tipo.

El concepto de año climático tipo es empleado para diferenciar un año de temperaturas horarias representativo para un periodo largo de años y pueda ser empleado en el análisis de energía en diferentes campos, pero más comúnmente usado en edificios.

Los métodos más comunes para la conformación de un año climático tipo para estudios de energía en edificios, es el Test Reference Year (TRY) y el Typical Meteorological Year (TMY),

2.1 El Test Reference Year TRY.

STAMPER [1977], Hui, C. M., (1996), describe el procedimiento utilizado para determinar el llamado Test Reference Year (TRY). El procedimiento utilizado para seleccionar el año climático para un localidad específica, es basado en la eliminación de años de acuerdo a los datos, que contienen temperaturas medias mensuales extremas (altas o bajas), hasta permanecer un año solamente. Para esto, los meses son clasificados analizando los valores medios mensuales de temperatura ambiente, anotando el mes más caliente y el mes más frío, el segundo mes más caliente y el segundo mes más frío y así sucesivamente, conforme aparecen las mayores y las menores temperaturas medias mensuales, respectivamente.

Después que cierran los doce meses, se repite la secuencia, ahora invirtiéndose el sentido del análisis es decir, donde es caliente pasa a ser frío y viceversa. Con eso, los años que presenten temperaturas medias mensuales extremas (más altas o más bajas) pueden ser eliminados de acuerdo con el procedimiento.

Las temperaturas medias mensuales, para cada año del periodo de registros disponible, son calculadas y examinadas de acuerdo con la secuencia de la lista (ver tabla 1.1); el año con el mes más caliente es anotado, después, el año que contiene el mes más frío. El proceso continúa, anotándose los años en los cuáles ocurren los extremos. Estos años son, entonces, eliminados y el procedimiento es repetido hasta contar solamente con uno.

Este año es designado como año climático de referencia. El test reference year (TRY), determinado por este proceso, consiste de datos climáticos horarios presentados en un formato para simulación de desempeño térmico de edificaciones. El TRY contiene informaciones climáticas para las 8.760 horas del año.

Tabla 1.1 Clasificación del proceso para el año prueba de referencia (TRY) del ASHRAE

1. julio más caliente	9. mayo más caliente	17. junio más frío
2. enero más frío	10. noviembre más frío	18. diciembre más caliente
3. agosto más caliente	11. octubre más caliente	19. septiembre más frío
4. febrero más frío	12. abril más frío	20. marzo más caliente
5. junio más caliente	13 julio más frío	21. mayo más frío
6. diciembre más frío	14. enero más caliente	22. noviembre más caliente
7. septiembre más caliente	15. agosto más frío	23. octubre más frío
8. marzo más frío	16. febrero más caliente	24. abril más caliente

La situación de las condiciones térmicas de un edificio, crea la necesidad de un sistema de datos climáticos detallado en el largo plazo, Keeble (1990) ha clasificado tres tipos de datos climáticos hora por hora para el uso en la simulación de energía en edificios:

1. Conjunto de datos multi-anales. son los fundamentales e incluyen la cantidad de información substancial por un número determinado de años.
2. Los años tipo. un año tipo o de referencia es un solo año de los datos hora por hora seleccionados para representar la gama de los patrones del tiempo que serían encontrados típicamente en un conjunto de datos multi-anales, la definición de un año tipo depende de su determinación por un sistema de pruebas estadísticas que lo relacionan con el conjunto de datos de la base multi-anual.
3. Días representativos. son datos hora por hora para algunos días medios desarrollados para representar las condiciones climáticas típicas. Los días representativos, son suficientes para el análisis en escala reducida y se encuentran a menudo en herramientas simplificadas de la simulación y de diseño.

Para la simulación detallada, se utilizan comúnmente los años tipo, desde el análisis que usa un conjunto de datos multi-anales, para problemas comunes cuando los días representativos son demasiado limitados y no lo suficientemente exactos.

El año tipo tiene dos ventajas importantes:

- Los esfuerzos de cómputo en el tratamiento de datos climáticos para simulación son reducidos usando un año en vez de años múltiples.

- Se asegura una forma constante de datos del clima para poder comparar resultados de diversos estudios.

El periodo de datos climáticos necesario para determinar un año tipo se considera de entre 10 y 40 años.

Generalmente, los datos tipo del año son válidos solamente para un área geográfica limitada y no se deben considerar como descripción climatológica de una ciudad o de una región específica (Lund, 1991), Hui, C. M., (1996).

Las características del TRY pueden proporcionar una aproximación para el análisis de la energía en edificios. Reeves, Robart y Stamper (1976), Hui, C. M., (1996), demostraron que los resultados que se estimaron con el TRY son adecuados para los estudios comparativos de energía. Sin embargo no es posible considerarlo lo suficientemente útil para estimar necesidades energéticas a largo plazo.

El TRY fue establecido por el ASHRAE en 1970 para estudios de aire acondicionado, calefacción y ventilación. El procedimiento original del TRY inicio solamente con la temperatura media mensual de bulbo seco.

Posteriormente ha sido extendido a otros parámetros climáticos como temperatura de bulbo húmedo, temperatura de punto de rocío y radiación solar global.

2.2 El Typical Meteorological Year.

El método del TMY fue desarrollado por los Sandia National Laboratories en USA (NCC, 1981; Hall, et al., 1978), Hui, C. M., (1996); el TMY consiste de doce meses meteorológicos tipo (TMM) seleccionados a partir de los 12 meses civiles en una base de datos multi-anual. Para cada TMM se han manejado 5 años para su selección.

Por ejemplo, enero del año de 1986, se puede seleccionar como el primer TMM, el febrero de 1990 como el segundo TMM, etcétera. Los doce meses seleccionados entonces combinarán para formar el TMY. Puede ser necesario suavizar los datos para las discontinuidades para evitar cambios precipitados en el límite entre dos meses adyacentes que vienen a partir de diversos años. La selección de un TMM se basa en el análisis estadístico y la evaluación de cuatro parámetros del tiempo: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, velocidad del viento y radiación solar global.

Para determinar el mes meteorológico tipo se deben considerar tres propiedades básicas (NCC, 1981), Hui, C. M., (1996).

- **La distribución de frecuencias.** Los elementos climáticos deben tener distribución de frecuencias cerrados en secuencias largas.
- **Secuencias.** Las secuencias de las medidas diarias deben ser parecidas a la secuencia registrada frecuentemente en una localidad.
- **Correlaciones.** Las relaciones entre elementos climáticos debe ser parecida a las relaciones observadas naturalmente.

En la generación de los datos climáticos, la manera más simple de obtenerlos, para la simulación es tomar los datos tipo de la base de datos climáticos de los programas de simulación. Sin embargo, la mayoría de los programas de simulación usados hoy en día, proporcionan solamente los datos climáticos para un número limitado de localidades; por lo que se hace necesario contar con un método confiable para la representación climática de localidades nuevas no incluidas.

3. VARIABLES PARA DETERMINACIÓN DE AÑO CLIMÁTICO TIPO

3. Variables para determinación de año climático tipo.

Para determinar un año climático tipo, se han empleado varias variables entre las que se encuentra la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de punto de rocío, velocidad del viento y radiación solar global.

En el caso del TRY, éste inicialmente solo contempló la temperatura de bulbo seco mensual y posteriormente se le agregaron otras variables.

En el caso de estudio se parte de tres variables: la temperatura de bulbo seco, y la humedad relativa, y el número de Wolf diarios.

3.1 Temperatura de bulbo seco.

Para el análisis de la temperatura, en el caso de los datos horarios se requiere de algún modelo, que a partir de la temperatura máxima y mínima diaria pueda simularla; para este caso se analizan 3 modelos:

El primero esta basado en el conocido método de Newton y la ley de enfriamiento; del cual se desprenden siete secciones que componen la curva diaria de la temperatura, las secciones se determinan por las siguientes ecuaciones:

$$E = (A + B) / 2 + (A - B) / 2 \times \text{Sen}[(\pi / 24 - C + D) \times (X - (24 - (C + 3D)) / 2)]$$

.....3.1
cuando X = -6

$$F = (A + B) / 2 + (A - B) / 2 \times \text{Sen}[(\pi / 24 - C + D) \times (X - (24 - (C + 3D)) / 2)]$$

.....3.2
cuando X = 4

$$G = (A + B) / 2 + (A - B) / 2 \times \text{Sen}[(\pi / C + D) \times (X - (24 - (C + 3D)) / 2)]$$

.....3.3
cuando X = 9

$$H = (A + B) / 2 + (A - B) / 2 \times \text{Sen}[(\pi / C + D) \times (X - (C + D) / 2)]$$

.....3.4
cuando X = 13.5

Donde:

- A= Temperatura máxima
- B= Temperatura mínima
- C= Hora a la que se presenta la temperatura máxima
- D= Hora a la que se presenta la temperatura mínima

$$I = \left[(2F - 1) - \sqrt{(2F - 1)^2 - 4(F^2 - E)} \right] / 2$$

.....3.5

$$J = \text{Ln}(F - 1) / 10 \dots\dots\dots 3.6$$

$$K = \left[(2H - 1) - \sqrt{(2H + 1)^2 - 4(H^2 - G)} \right] / 2 \dots\dots\dots 3.7$$

$$L = \text{Ln}(K - H) / 4.5 \dots\dots\dots 3.8$$

$$Y = I + e^{J(14-X)} \dots\dots\dots 3.9$$

$$Y = (A+B)/2 + (A-B)/2 \times \text{Sen}[(\pi / 24 - C + D) \times (X - (24 - C + 3D) / 2)] \dots\dots\dots 3.10$$

$$Y = (A+B)/2 + (A-B)/2 \times \text{Sen}[(\pi / C - D) \times (X - (C + D) / 2)] \dots\dots\dots 3.11$$

$$Y = K + e^{L(18-X)} \dots\dots\dots 3.12$$

$$Y = (A+B)/2 + (A-B)/2 \times \text{Sen}[(\pi / 24 - C + D) \times (X - (3C - D - 24) / 2)] \dots\dots\dots 3.13$$

$$Y = I + e^{J(38-X)} \dots\dots\dots 3.14$$

- SECCION I: EC. (3.9) 0 = X = 4
- SECCION II: EC. (3.10) 4 = X = B
- SECCION III: EC. (3.11) B = X = 9
- SECCION IV: EC. (3.12) 9 = X = 13.5
- SECCION V: EC. (3.11) 13.5 = X = A
- SECCION VI: EC. (3.13) A = X = 18
- SECCION VII: EC. (3.14) 18 = X = 24

Estas fórmulas procesadas en alguna hoja de cálculo, nos permiten definir hora por hora las temperaturas horarias para cualquier lugar, el caso de análisis es el estado de Guanajuato, para lo que es necesario se cuente con la temperatura máxima y mínima diaria, así como la hora a la que se presentan. Para precisar la validez del modelo a otros estados de la república es necesario conocer los datos registrados en otros centros de observación meteorológica, para así determinar algunas constantes que permitan adecuar el modelo a esa zona. Más adelante se analiza otra localidad de la república mexicana el caso de Hermosillo Sonora.

Otro modelo para la determinación de la temperatura horaria es el desarrollado por Tejeda (1991) quien lo desarrolla a partir de la siguiente función:

$$\gamma = at^b \exp(ct) \dots\dots\dots (2.35)$$

donde t es el tiempo y la terna a, b, c determina la forma de la onda.

Así de la expresión γ anterior la usa para calcular la temperatura media mensual

$$T_H = T_{\min} + \gamma(T_{\max} - T_{\min}) \dots\dots\dots(2.36)$$

Tejeda cita que (Guerrero 1989) usando un año de temperaturas diarias define los valores de (a, b, c) representativos para distintos climas del país, de acuerdo con la siguiente tabla 3.1:

Valores de a,b,c, en función de la Latitud y la época del año para la República Mexicana.

Tabla 3.1 Valores de a,b,c, en función de la latitud y la época del año para la República Mexicana

Meses	Latitud	Valores		
		a	b	c
mar. A oct.	$\geq 23.5^\circ$ N	0.026	3.190	-0.375
nov. A feb.	$\geq 23.5^\circ$ N	0.023	3.436	-0.421
ene. A dic.	$< 23.5^\circ$ N	0.096	2.422	-0.339

Otro modelo que permite simular la temperatura horaria es el de Arturo Palacio Pérez y Alejandro Rodríguez Valdés, este modelo se basa en las siguientes consideraciones:

Si se considera que la temperatura mínima se tiene a la hora t_m y la máxima a la hora t_M , de dicha función se determina el periodo de ambas funciones, siendo $T_s = t_M - t_m$ para la primera y $t_c = 24 - t_s$ para la segunda con esto se abarcan todas las horas del día.

Los valores horarios de la temperatura estarán dados por:

$$T = A \sin \left(\frac{3}{2} + \Theta / t_s \right) \pi + B \dots\dots\dots(2.37)$$

$$T = A \cos \left(\Theta \pi / t_c \right) + B \dots\dots\dots(2.38)$$

Donde

$A = (t_M - t_m) / 2$ en la amplitud,

$B = (t_M + t_m) / 2$ es el promedio de temperaturas,

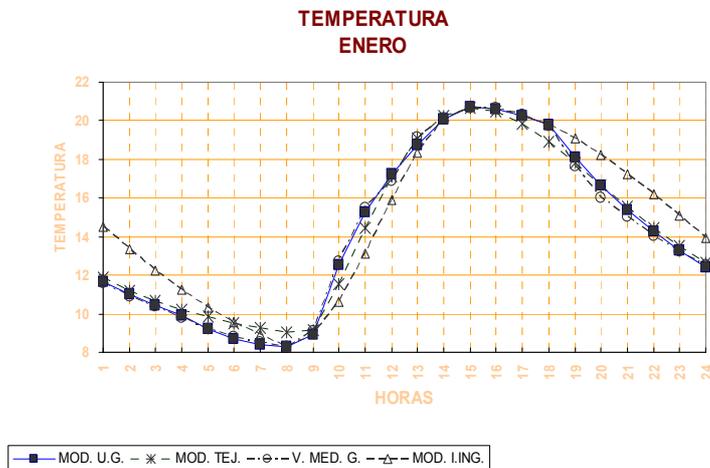
Θ = la variable de tiempo

Cuando la hora del día se encuentra entre los valores $t_m \leq t \leq t_M$ el valor de Θ vendrá dado por $\Theta = t - t_m$ y se utiliza la ecuación (2.37).

Sí $t_M \leq t \leq 24$) entonces $\Theta = t - t_M$ y si $0 < t \leq t_m$) se tendrá $\Theta = t + (24 - t_m)$ utilizándose para estas horas la ecuación (2.38).

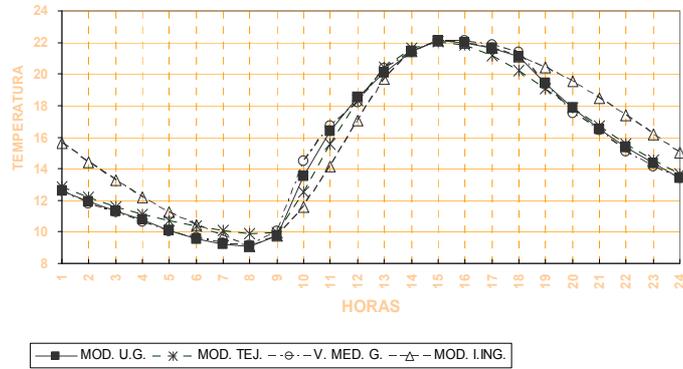
Con base en los tres modelos anteriores para la estimación de la temperatura horaria, se compara la variación de datos medidos de temperatura de un año completo para la ciudad de Guanajuato, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 3.1 a 3.12 para todos los meses del año.

Las tablas muestran la diferencia entre modelos con respecto a la temperatura medida, el primer dato que se abreva se refiere al modelo desarrollado por David y Eduardo Cabrera Ruiz, (MOD. U.G.), el segundo es el modelo de Adalberto Tejeda (MOD. TEJ.); y el tercero el de Palacio y Rodríguez.(MOD. I.ING.)



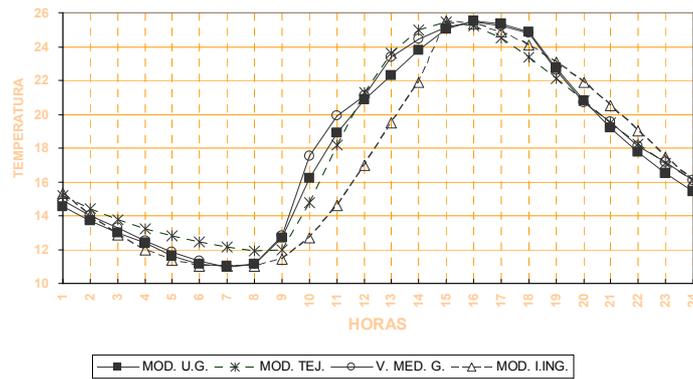
Gráfica 3.1 Temperatura diaria enero

TEMPERATURA FEBRERO



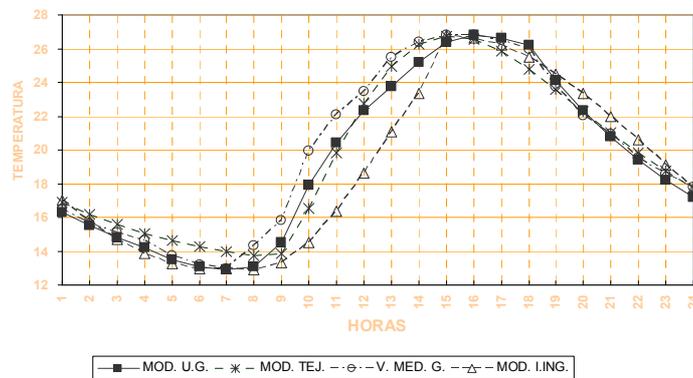
Gráfica 3.2 Temperatura diaria febrero

TEMPERATURA MARZO



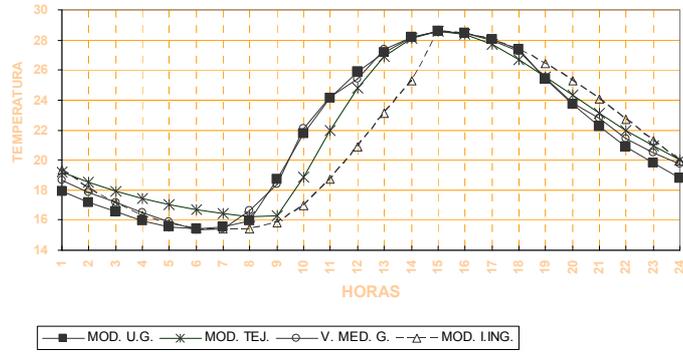
Gráfica 3.3 Temperatura diaria marzo

TEMPERATURA ABRIL



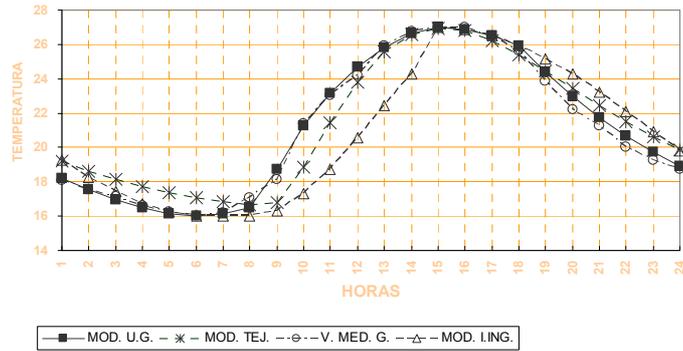
Gráfica 3.4 Temperatura diaria abril

TEMPERATURA MAYO



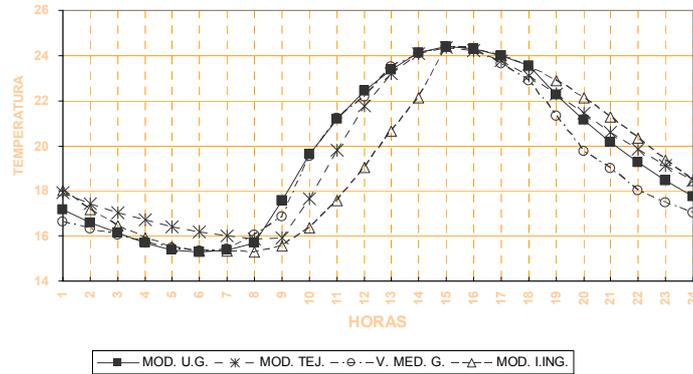
Gráfica 3.5 Temperatura diaria mayo

TEMPERATURA JUNIO

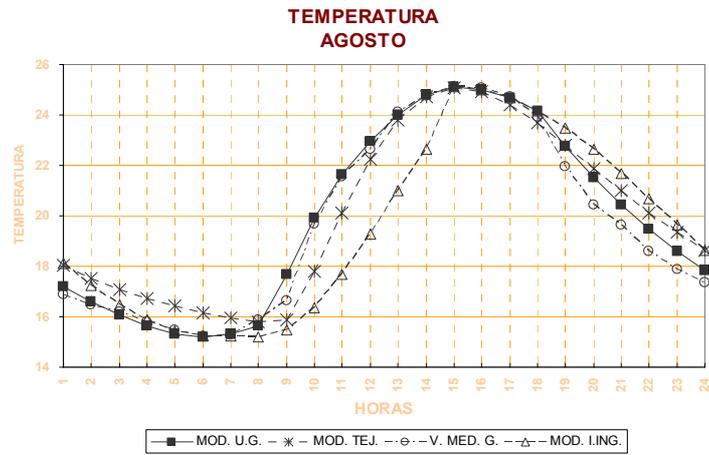


Gráfica 3.6 Temperatura diaria junio

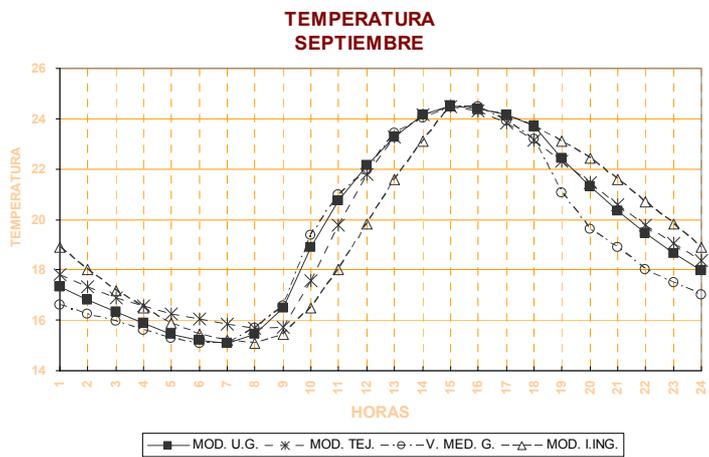
TEMPERATURA JULIO



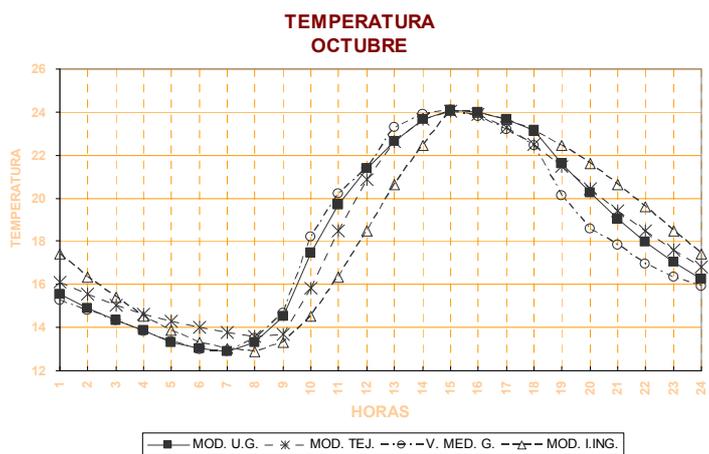
Gráfica 3.7 Temperatura diaria julio



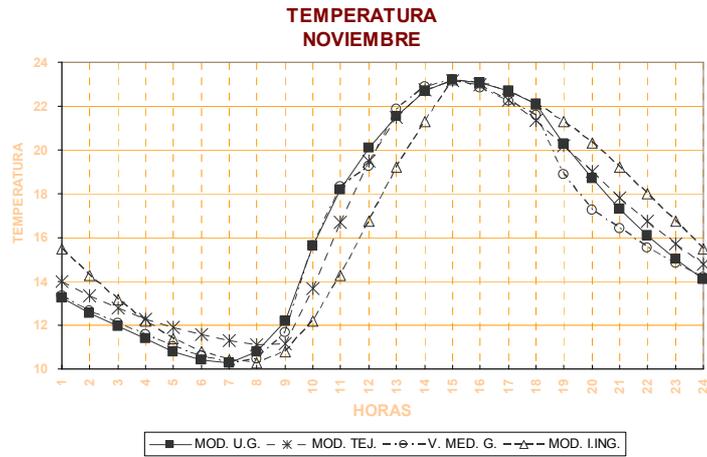
Gráfica 3.8 Temperatura diaria agosto



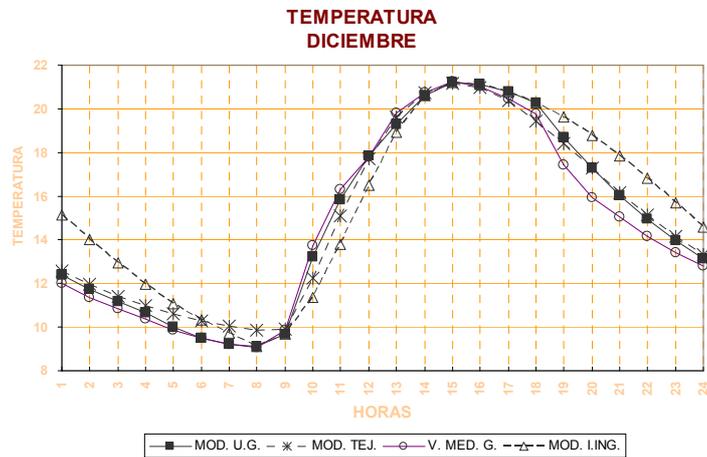
Gráfica 3.9 Temperatura diaria septiembre



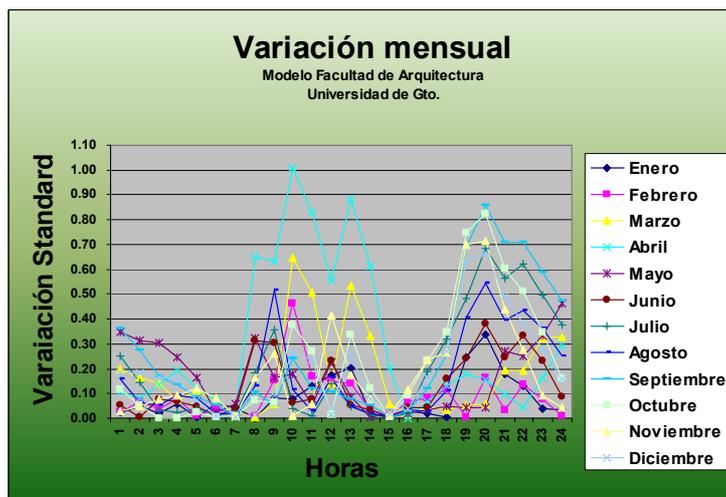
Gráfica 3.10 Temperatura diaria octubre



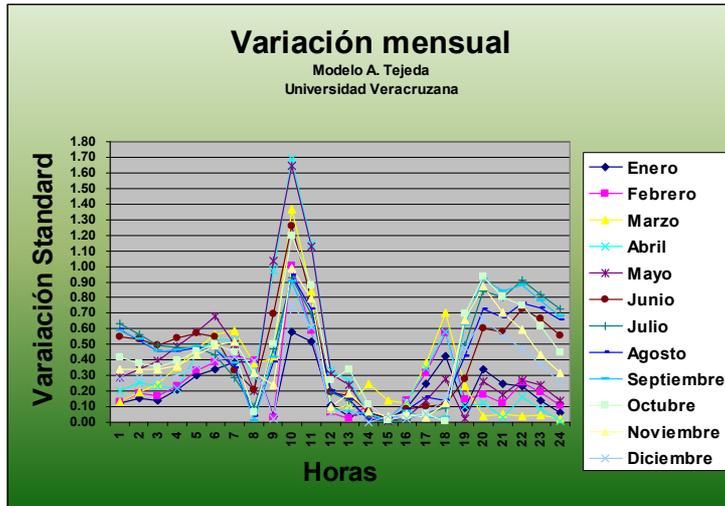
Gráfica 3.11 Temperatura diaria noviembre



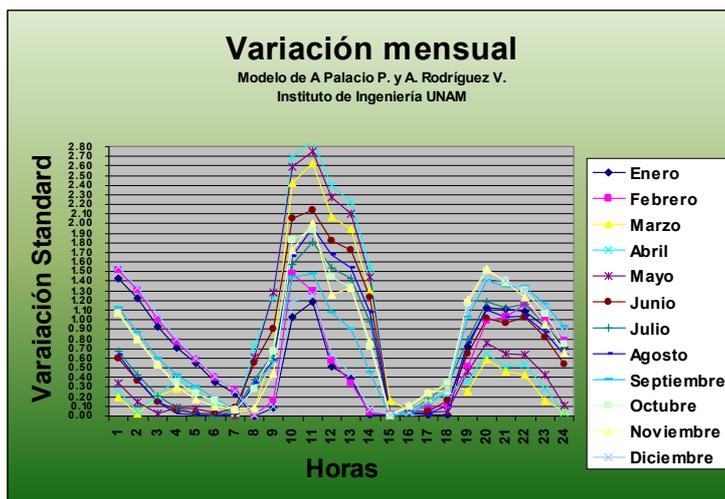
Gráfica 3.12 Temperatura diaria diciembre



Gráfica 3.13 Variación mensual MOD.U.G



Gráfica 3.14 Variación mensual Modelo A. Tejeda



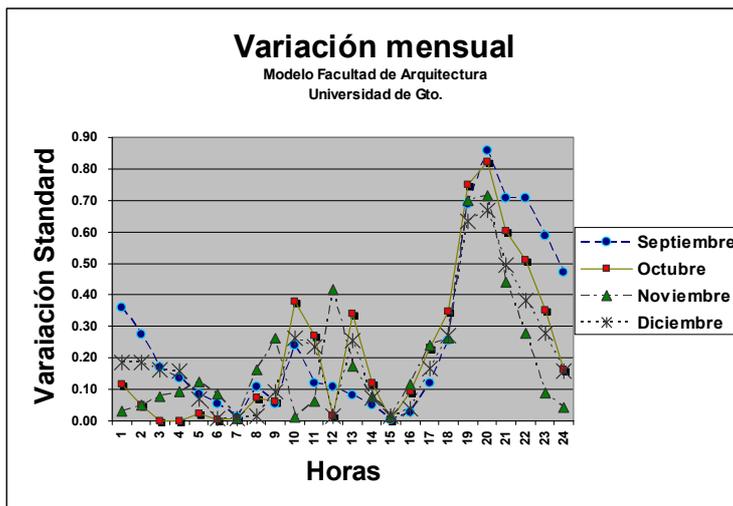
Gráfica 3.15 Variación mensual modelo Arturo Palacio Pérez y Alejandro Rodríguez Valdés

Las tablas anteriores muestran la variación con relación a datos medidos de la ciudad de Guanajuato, elementos base para el desarrollo del modelo (MOD. U.G.) por lo que es necesario compararlo con respecto a otra localidad que cuente con valores medidos, de acuerdo con la disponibilidad de información se selecciono la ciudad de Hermosillo Sonora, los siguientes son los resultados obtenidos:

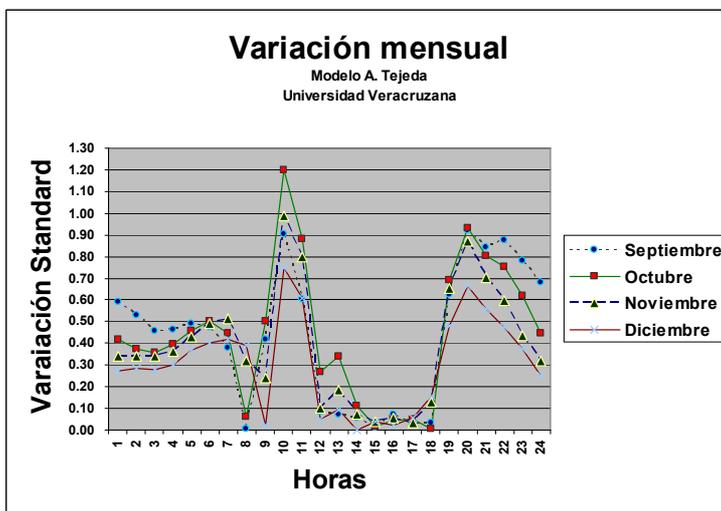
Tabla 3.2 Variación estadística entre modelos

Modelo	Índice de Correlación	Desviación Standard	Incertidumbre Relativa	%	Intervalo de confianza							
					90%		95%		99%		99.9%	
					mín	máx	mín	máx	mín	Máx	Mín	máx
(MOD.I.ING)	0.92	2.7	-0.02	1.6	-0.28	0.09	-0.33	0.14	-0.43	0.24	-0.54	0.35
(MOD. U.G.)	0.99	0.0	0.00	0.0	-0.15	-0.03	-0.17	-0.02	-0.20	0.01	-0.24	0.05
(MOD. TEJ)	0.97	0.1	-0.01	0.9	-0.20	0.01	-0.23	0.04	-0.26	0.09	-0.35	0.16

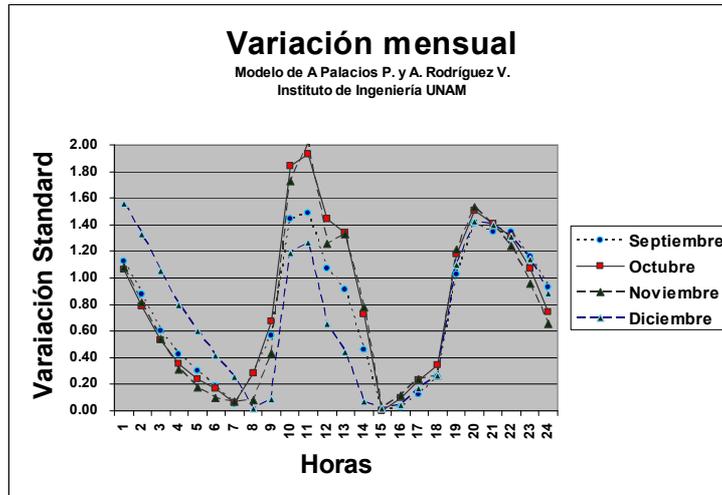
Las gráficas siguientes muestran los resultados relacionados a la tabla anterior para los valores medidos de la ciudad de Hermosillo Son.



Gráfica 3.16 Variación mensual MOD. U.G Temperatura estimada Hermosillo, Sonora



Gráfica 3.17 Variación mensual MOD. TEJ. Temperatura estimada Hermosillo, Sonora



Gráfica 3.18 Variación mensual MOD. I. ING. Temperatura estimada Hermosillo Sonora

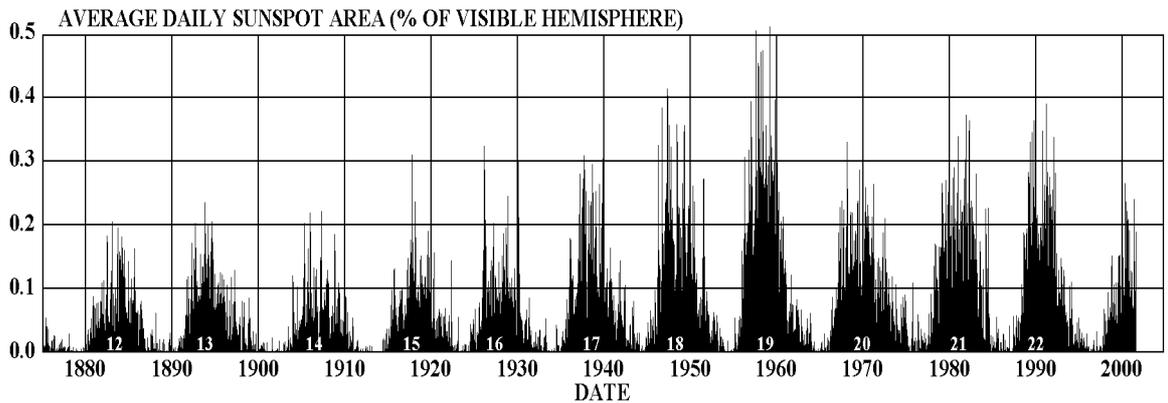
3.2 El ciclo solar.

El ciclo solar es un periodo donde el Sol aumenta y disminuye su actividad existen observaciones diarias desde 1749 por el observatorio de Zurich, posteriormente se suman a éste otros observatorios hasta el año de 1849, cien años después que el de Zurich realizando un registro continuo de observaciones.

Aunque existen evidencias que desde los griegos fueron observadas por un discípulo de Aristóteles Teofrasto de Atenas por el año 28 a. C., y posteriormente redescubiertas por Galileo por el año 1610, son las fechas anteriores las más representativas.

El sistema numerado del ciclo solar aparece a mediados del siglo XIX después de la generación de la variable de “numero de manchas solares”, concepto empleado para medir la actividad solar, establecido por Rudolf Wolf del observatorio de Zurich, más adelante denominado número de manchas solares de Wolf, o número de Wolf, (en la actualidad se le conoce como “el número internacional de manchas solares o el número de Zurich”), el descubrimiento del ciclo solar se le atribuye a Heinrich Schwabe por el año de 1843.

Con la introducción del número de Wolf, éste además de confirmar la existencia del ciclo, consiguió reconstruir ciclos anteriores. El método ha recibido diferentes críticas además de que se le reconocen ciertos problemas, como la subjetividad en la definición de las manchas solares, ya que se definen en base a observaciones ópticas directas, sin considerar ningún factor físico o variable medible por algún instrumento científico, este concepto se conserva en la actualidad ya que es uno y probablemente el único que como serie de datos astronómicos abarque tanto tiempo con esa homogeneidad.



<http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/bfly.gif>

NASA/MSFC/HATHAWAY 07/2001

Figura 3.1 Muestra las diferentes variaciones del ciclo solar en función de las manchas solares

El número de Wolf se calcula mediante la siguiente formula:

$$R = k(10g + f) \dots\dots\dots (2.39)$$

Donde:

- R = número de Wolf (también llamado “número relativo de manchas solares”)
- k = factor de reducción, solo se utiliza a efectos estadísticos para promediar los datos de varios observadores, individualmente $k = 1$
- g = el número de grupos
- f = no de manchas o focos.

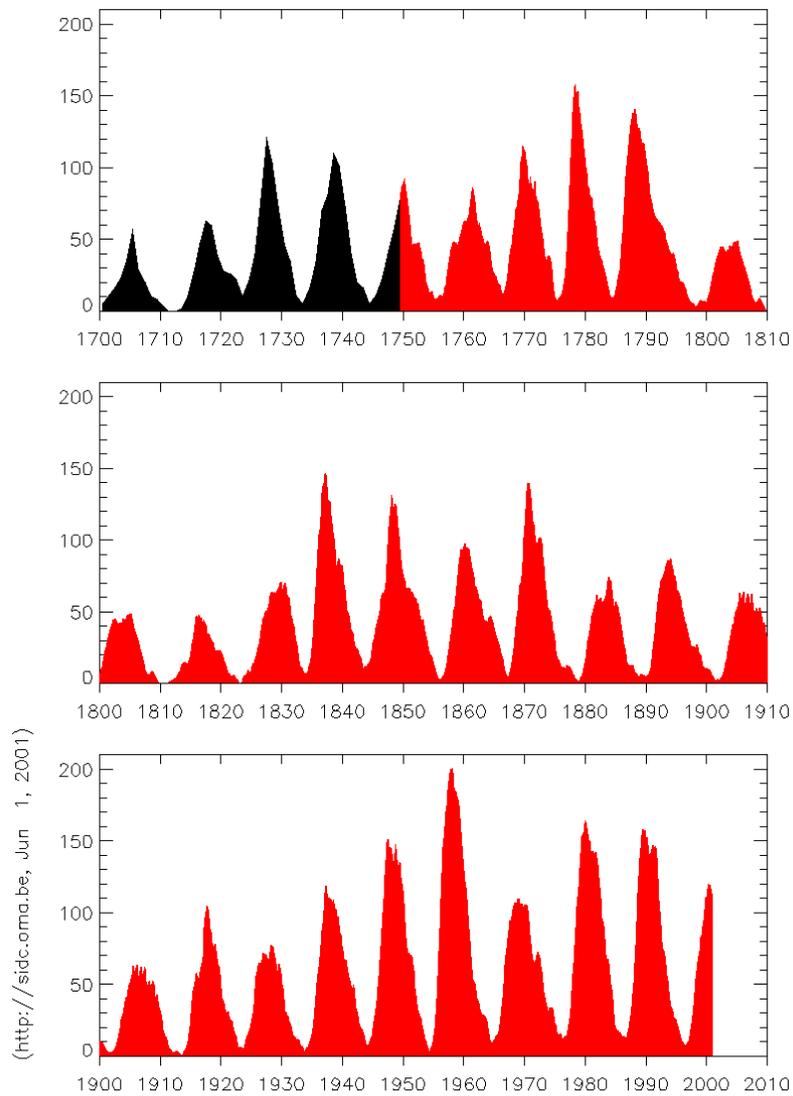


Figura 3.2 Muestra los diferentes ciclos solares.

Supuestamente el factor “g” es el que introduce una mayor imprecisión por la ambigüedad que existe en el concepto de “grupo” ya que en ocasiones estos son muy pequeños o existen varios en la misma zona activa.

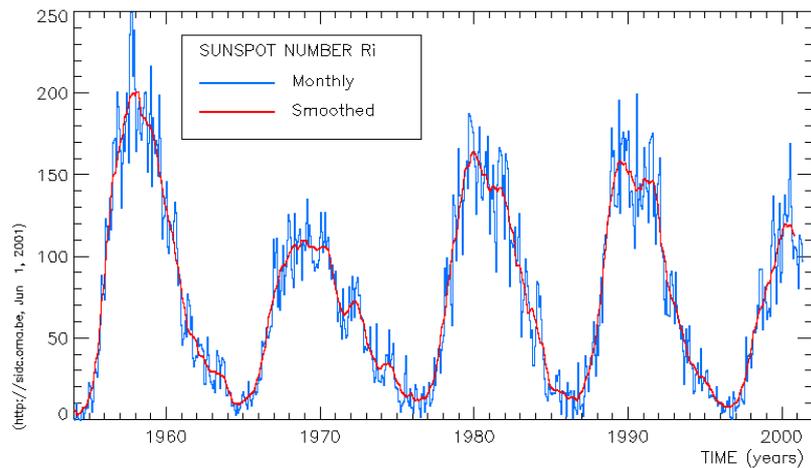


Figura 3.3 Últimos ciclos solares.

Este ciclo tiene una duración promedio de 11.2 años aunque puede presentarse a los 7 o hasta los 17 años.

En la actualidad existen diferentes instituciones registrando muchas otras variables en particular los observatorios solares.

Existen varias fuentes que muestra diariamente la variaciones presentes en el Sol y lo que en un momento fueron evidencias empíricas hoy se presentan con datos que a lo largo de periodos más largos permitirán explicar científicamente las relaciones de la Tierra y el Sol.

3.2.1 Cambio climático

Existe una polémica interesante en cuanto al denominado “cambio climático”, basado en el análisis de tres variables a) La lluvia ácida, b) La reducción de la capa de ozono, y c) el calentamiento global; está última variable es la que más ha recibido atención, existiendo planteamientos encontrados en cuanto a ese proceso de calentamiento.

Todos los estudios tienen como marco de referencia, la fecha en la que probablemente se duplique la cantidad de dióxido de carbono atmosférico, el responsable del efecto de invernadero, esto a pesar de solo representa junto con los gases “traza”, el 1% del los componentes del aire.

La diferencias que se marcan tienen como periodo de análisis a partir de la revolución industrial, es desde 1850 hasta aproximadamente el año 2050, año promedio en que supuestamente se duplicará la cantidad de bióxido de Carbono, existen planteamientos que marcan como probable incremento desde 1 a 4 °C;

también se presentan valores fuera de este rango, menos de 1°C y más de 4°C pero predominan los primeros, en este periodo correspondiente a 100 años.

Las afirmaciones giran en torno a que el dióxido de carbono esta en aumento, lo cual es una realidad y se toma como una de las fuentes que definen ese aumento en la temperatura, por sus propiedades; sin embargo se pasan por alto otros sucesos, como el caso de que el ártico en los últimos años ha disminuido su temperatura de manera regular. El otro aspecto es el caso de la disminución de la capa de Ozono que enfriará levemente el clima como lo afirma Garduño (1994).

Es precisamente Garduño uno de los investigadores sobre el funcionamiento climático, con su Modelo Termodinámico del Clima (MTC), y uno de los que sostiene solo un ligero aumento de la temperatura del orden de 1°C , además de no creer que esta evidencia pueda ser determinante en el calentamiento del Planeta.

Existen muchas lagunas que no están debidamente explicadas y que en último de los casos podría ser explicadas debido a otras causas, como el caso de desconocer a ciencia cierta aspectos que podrían ser cíclicos, o que antes pudieron haber sufrido cambios que ahora estamos registrando, ya que muchos de esos cambios pueden ser debido a la precisión en los adelantos tecnológicos, y se estén considerando como cambios reales cuando lo que se preciso fue la forma de evaluarlos y la tecnología.

Garduño (1994) menciona cierta correspondencia entre la actividad solar y los ciclos de manchas solares (registros que suponen el ciclo solar), aunque no lo asegura; afirma que la única ocasión en que la variación solar persistió y es registrada históricamente y permaneció por décadas, es el Mínimo Maunder o pequeña "Era Glacial" .

3.2.2 ¿El ciclo solar o "calentamiento global"?

Sin el afán de afirmar o negar las relaciones anteriores lo que se trata es de mostrar solo algunas reflexiones sumándonos en parte a las tendencias más conservadoras, contrarias a las afirmaciones catastróficas y alarmistas que puedan ser reflejo de algunos intereses creados tanto particulares como generales por las relaciones políticas y económicas entre países. Esto sin descartar la responsabilidad que presupone la forma de producción y de consumo prevaleciente en los países desarrollados y en términos generales en los denominados capitalistas, esto puede ser solo una manera de mostrar que en apariencia se encuentran preocupados por la problemática que esos hábitos y formas de consumo generan en relación con el ambiente; tratando de desviar la atención hacia otros aspectos de menor trascendencia.

Las relaciones aquí mostradas, resultaron de forma circunstancial al estar analizando datos de temperatura para aplicaciones en arquitectura, detectándose, variaciones importantes en el transcurso de vario años; variaciones que a posterior pudieron ser identificadas con los periodos de máxima y mínima actividad solar.

En un principio (1992) solo se contaba con registros de temperatura de un ciclo solar, más sin embargo ya era detectable la correspondencia de la disminución de la temperatura con relación a la mínima actividad solar y el aumento en la máxima.

En la actualidad es posible contar con dos ciclo solares consecutivos para revisar y en parte seguir confirmando dicha relación. Cuando se tuvieron las primeras manifestaciones de estas probables relaciones, nos dimos a la tarea de documentarlas, sin embargo no fue sencillo, ya que no existía en ese momentos, mucha información al respecto, y solo fue posible rescatar las memorías del simposio del Goddard Space Fligt Center, de la NASA (1973) con el título de "Possible relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena", y en este se concluía que no era posible establecer una relación debido a la carencia de registros de variables climáticas de por lo menos dos ciclos solares consecutivos, Y plantean que si se contará con datos de temperatura y humedad u otra variable sería posible hablar de manera más precisa de dichas relaciones.

En la actualidad los observatorios a nivel mundial cuentan con un poco más de 30 años de registros consecutivos, acercándose a los periodos de tres ciclos solares. De igual forma se ha vuelto a tomar interés en la temática como ya se cito anteriormente.

La temática en los últimos años adquiere mayor relevancia formándose redes de investigación centradas en explicar las relaciones del ciclo solar y el clima terrestre.

En la parte académica se ha ido conformando toda una ciencia que tiene sus antecedentes según cita Otaola (1993) en el Año Geofísico Internacional (1957) denominado "física de las relaciones solar-terrestres" definida como: el estudio de la generación, flujo y disipación de energía, así como la transferencia de masa, en los sistemas solar-terrestre.

Se han dado explicaciones de posibles relaciones en cuanto al ciclo solar y las variables climáticas en especifico la temperatura, desde Köppen en 1914 quien demostró una posible relación usando fuentes de los años de 1804 y 1910, mostrando una variación de entre 0.3 y 0.4 °C entre sucesivos máximos y mínimos suficiente como para causar cambios climáticos importantes en la Tierra tal como lo afirma Otaola.

Detectar estas relaciones fue posible al elaborar una tabla donde se registran los rangos de temperatura que se definen con base a la denominada zona de confort para la ciudad de Guanajuato, los cuales se presentan entre los 19.75 °C y los

24.75 °C, la primer área, la contemplada por debajo de la temperatura de la zona de confort la que incluya todas las temperaturas menores a los 19.75 °C, la segunda área, todas las temperaturas dentro de la zona de confort, y la tercera todas las que sobrepasan los 24.75 °C, esta zonificación permitió detectar esas variaciones. Las cuales se presentan coincidentemente, con la mayor y menor actividad solar, registrada en los tres últimos ciclos solares.

De igual manera esa relación esta presente en los diferentes municipios del estado de Guanajuato. En este caso es más perceptible dicho cambio, ya que las tablas se generaron a partir de las temperaturas máximas y mínimas, es decir considerando estas últimas, se estiman las horarias.

El ciclo solar no. 21 tiene su máxima actividad en el año de 1982 y su mínima actividad en el año de 1986, en lo que respecta al ciclo no 22 este presenta su máxima actividad en 1991 y la mínima en 1996.

Si se comparan las gráficas de temperatura con las características antes descritas, se observa que para los años de 1982 y 1986 se distingue una notoria variación, mientras que para los años de 1982 y 1991 esta es muy similar.

Si se revisa año con año se distinguiría como la temperatura va aumentando con relación a la mínima actividad solar hasta llegar al periodo de máxima actividad solar; posteriormente va decreciendo hasta el mínimo solar, la relación es importante, ya que esta variación se detecta en registros estadísticos de temperatura hora por hora para la ciudad de Guanajuato.

Se comprueba en las tablas para los diferentes municipios del estado, en las que se refleja la variación antes citada en los registros estadísticos de temperaturas máximas y mínimas diarias, ya que para el desarrollo de las tablas de temperatura horaria para los municipios diferentes al de Guanajuato, estas se estimaron a partir de temperaturas máximas y mínimas donde es detectable tal variación de la temperatura con el desarrollo de los ciclos solares.(Ver gráficas 5.6 a 5.14)

4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DEL CICLO SOLAR CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

4. Análisis de la relación del ciclo solar con las variables climáticas.

La relación del ciclo solar con los fenómenos climáticos no ha recibido mucha atención en el pasado, sin embargo en los últimos años los investigadores han iniciado una serie de trabajos tendientes a demostrar esa relación; presente en varios eventos de la naturaleza detectados de manera empírica, pero que a lo largo del tiempo se han ido presentando resultados más racionales, que lo reflejan.

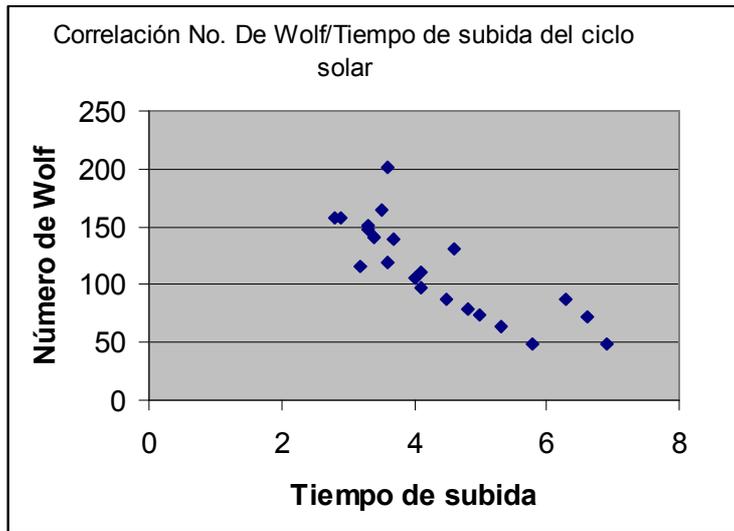
Los registros de las manchas solares diarias que caracterizan el ciclo solar, al disminuir y aumentar, presentan una correlación moderada con relación a la temperatura ambiente y la humedad, tal y como lo mostraremos más adelante. Esta correlación aunque se muestra con valores relativamente bajos es representativa por la cantidad de valores considerados como muestra, además de que el rango de variación de la temperatura y la humedad es pequeño.

Algunos trabajos han intentado relacionar el ciclo solar con algunos parámetros que se le vinculan como el desarrollado por Javier Ruiz (2003) que describiremos mas adelante, esta relación contempla todos los ciclos solares, es posible mencionar que encuentra algunas irregularidades en los aspectos de la correlación que intenta demostrar pero que parecen coincidir con los ciclos solares reconstruidos anteriores a 1848.

4.1 La correlación T_a – R_{max}

Ruiz parte de los siguientes aspectos : ...”El ciclo de actividad puede ser caracterizado por varios parámetros: su duración, el tiempo de subida, el de bajada, los números de Wolf máximo y mínimo, el área bajo toda la curva y bajo las ramas ascendente y descendente y su asimetría. Una vez calculados, se pueden emparejar dos a dos para intentar hallar correlaciones entre ellos. Este proceso desemboca en las que se conocen como "leyes de Waldmeier"; una serie de reglas empíricas establecidas por Waldmeier en 1935, que pueden enunciarse como sigue:

- 1.- Cuanto más activo sea el ciclo, más corto es el tiempo de subida.
- 2.- Cuanto más activo sea el ciclo, más largo es el tiempo de bajada.
- 3.- Cuanto más activo sea el ciclo, mayor es la actividad 5 años después del máximo.
- 4.- Cuanto más activo sea el ciclo, mayor es el área bajo la rama descendente.
- 5.- El área bajo la rama ascendente es casi independiente de la altura del máximo.



Gráfica 4.1 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23

La gráfica 4.1 muestra el comportamiento de la correlación entre el número de Wolf máximo y el tiempo de subida valores de la tabla 4.1.

En la gráfica 4.1 se destacan los ciclos que parecen apartarse significativamente de los demás: los nº 1, 5, 7, 9 y 19. La explicación probable es que estos son anteriores a 1848 ya que este es el año en que se empezó a utilizar el número de Wolf y por lo tanto fueron reconstruidos.

Tabla 4.1 Número de Ciclo solar, Tiempo de subida y Número de Wolf máximo

Ciclo No.	Ta	Rmax
1	6.3	86.5
2	3.2	115.8
3	2.9	158.5
4	3.4	141.2
5	6.9	49.2
6	5.8	48.7
7	6.6	71.7
8	3.3	146.9
9	4.6	131.6
10	4.1	97.9
11	3.4	140.5
12	5.0	74.6
13	4.5	87.9
14	5.3	64.2
15	4.0	105.2
16	4.8	78.1
17	3.6	119.2
18	3.3	151.8
19	3.6	201.3
20	4.1	110.6
21	3.5	164.5
22	2.8	158.5
23	3.7	138.5

Waldmeier ajustó la nube de puntos mediante una función logarítmica. Utilizando el mismo tipo de función para ajustar todos los ciclos habidos hasta ahora (excepto 1, 7 y 9) se obtiene el siguiente resultado:

$$\log R_{\max} = 2.67 (\pm 0.06) - 0.15 (\pm 0.02) * t_s \quad r = 0.855 \quad (\text{con ciclo 19}) \dots \dots \dots (3.1)$$

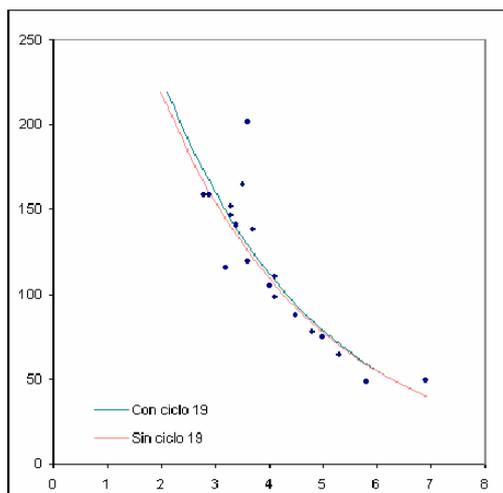
$$\log R_{\max} = 2.64 (\pm 0.05) - 0.15 (\pm 0.01) * t_s \quad r = 0.912 \quad (\text{sin ciclo 19}) \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde

Ta: es el tiempo de subida

Rmax: es el número de Wolf máximo

En la gráfica 4.2 el ciclo nº 19 aparece como un ciclo anómalo, tanto si se incluye como si no en el ajuste.



Gráfica 4.2 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 función logarítmica de Waldmeier

Otro tipo de función que utiliza es una doblemente logarítmica, aunque no mejora apreciablemente el resultado:

Xanthakis, en 1967, Ruiz (2003), consiguió un buen coeficiente de correlación utilizando los ciclos 7 -19 y una función parabólica la cual se aplica a los ciclos considerados dando el siguiente resultado: (ver grafica 4.3)

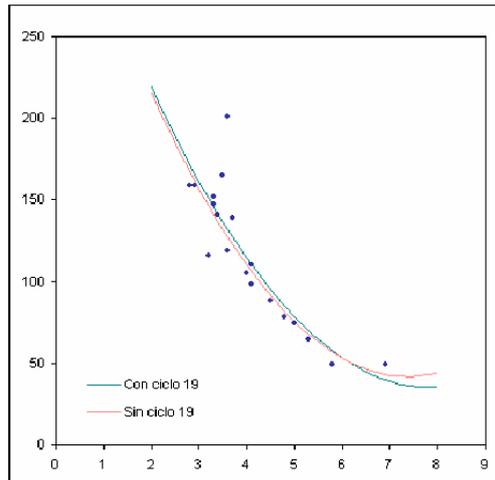
$$R_{\max} = 35 (\pm 12) + 5.4 (\pm 0.7) * (t_s - 7.84)^2$$

$$r = 0.761 \quad (\text{con ciclo 19}) \dots \dots \dots (3.3)$$

$$R_{\max} = 42(\pm 7) + 6.0(\pm 0.5) * (t_s - 7.37)^2$$

$$r = 0.891 \quad (\text{sin ciclo 19}) \dots\dots\dots (3.4)$$

En todos estos ajustes persiste el problema del ciclo n° 19, posteriormente Javier Ruiz prueba otro tipo de función: una parábola horizontal (la inversa de la que utilizó Xanthakis).



Gráfica 4.3 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 de Xanthakis

$$t = a + b(R - R^*)^2 \dots\dots\dots 3.5)$$

Los coeficientes "a" y "b" se obtuvieron por mínimos cuadrados y "R*" lo calcula numéricamente por el método de Newton optimizando el coeficiente de correlación. El resultado es el siguiente:

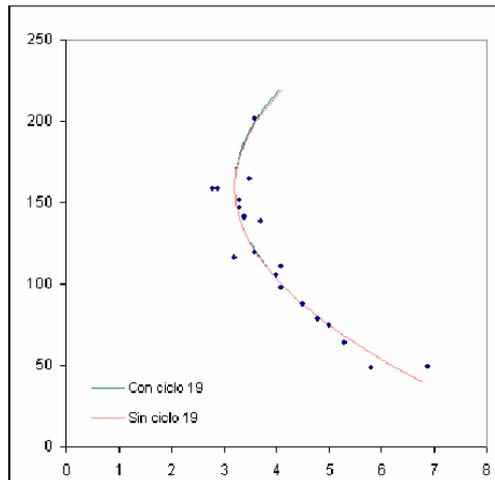
$$t_s = 3.20 (\pm 0.09) + 0.00025 (\pm 0.00002) * (R_{\max} - 160.36)^2$$

$$r = 0.926 \quad (\text{con ciclo 19}) \dots\dots\dots 3.6)$$

$$t_s = 3.21 (\pm 0.09) + 0.00025 (\pm 0.00002) * (R_{\max} - 159.38)^2$$

$$r = 0.925 \quad (\text{sin ciclo 19}) \dots\dots\dots (3.7)$$

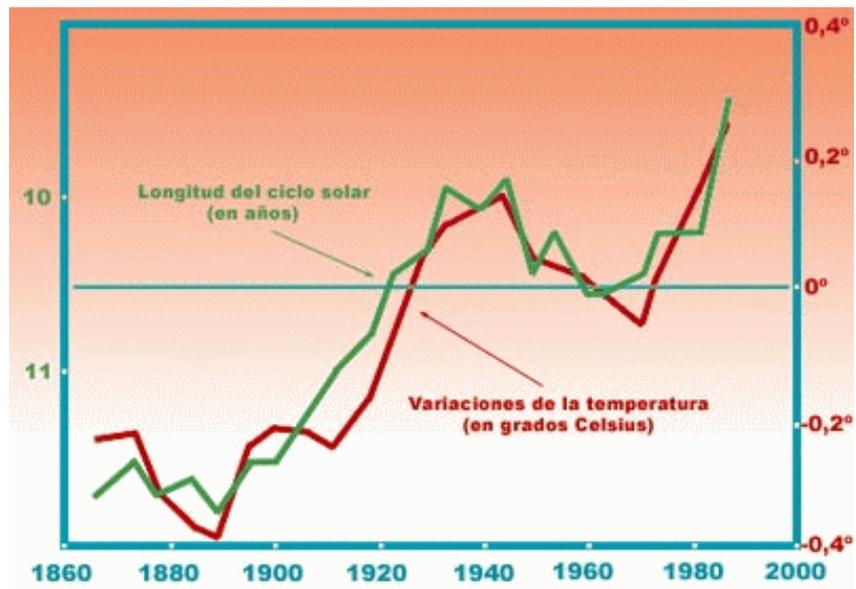
Con esta función, el coeficiente de correlación es el mayor conseguido hasta ahora y reproduce muy bien la mayoría de los ciclos observados. Además, tanto si incluimos el ciclo 19 como si no, la función es prácticamente la misma, y esto significa que dicho ciclo deja de ser anómalo y se incorpora de manera totalmente natural al ajuste.



Gráfica 4.4 Correlación número de Wolf máximo tiempo de subida del ciclo solar 1 al 23 de Javier Ruiz

Otro trabajo que relaciona la longitud de los ciclos solares y la temperatura media durante periodos relativamente largos, es el de E. Friis-Christensen y K. Lassen, (1991), donde observaron que podía existir una correlación entre la longitud de los ciclos solares, con una longitud media de aproximadamente 11 años, pero con duraciones que oscilan entre los 7 y 17 años. En la gráfica 4.5 que compara los datos recogidos en el informe del IPCC de 1995 sobre la variación de la temperatura media sobre la tierra en el hemisferio norte; recogidos desde 1861 a 1989. Con la longitud de los ciclos se ve que a los más cortos se corresponden con periodos más cálidos.

K.Lassen, al analizar periodos largos de temperatura del aire al nivel del suelo y la longitud de los ciclos solares, encuentra un índice de correlación entre ambos de 0.83.

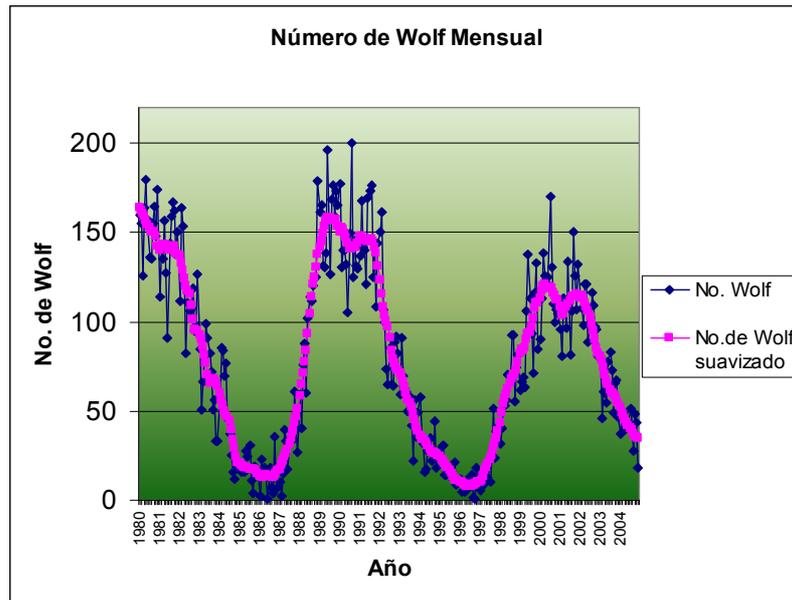


Gráfica 4.5 Correlación longitud de los ciclos solares y la temperatura media a nivel del suelo de E. Friis-Christensen y K. Lassen

4.2 Correlación del ciclo solar y la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Al correlacionar el número de manchas solares con el valor de la temperatura ambiente y humedad relativa, se muestra una tendencia moderada del orden de 0.158 a 0.532 ver tabla 4.2, entre estas variables lo que nos permite demostrar en parte que estas variables se encuentran condicionadas por el ciclo solar.

En términos más generales su comportamiento tendrá los mismos límites máximos y mínimos que este ciclo refleja; por lo que se puede afirmar que existen ciclos mínimos y máximos en la temperatura ambiente y la humedad relativa relacionados con los periodos anual y mensual de esos ciclos.



Gráfica 4.6 Muestra las variaciones del número de Wolf mensual en los últimos ciclos solares, datos del número de Wolf obtenidos del RWC Belgium World Data Center for the Sunspot Index

La correlación que se puede detectar en cuanto al ciclo solar y algunas variables climáticas en este caso se presenta de forma particular en el número de Wolf, la temperatura ambiente y la humedad relativa.

La correlación presente en los años de 1980-2003 con excepciones de los años de 1993,1995, 1997 y 1998 para temperatura y de 1981-1999 con excepción de 1993, 1994 y 1995 para humedad con respecto al número de Wolf anual se indica en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Número de Wolf, índices de correlación temperatura y humedad relativa anual

* Datos del World Data Center for the Sunspot Index

** Datos de temperatura diaria obtenidos del NCDC

Año	No. de Wolf anual*	Índice de correlación No. de Wolf temp. ambiente ($R_{\text{Temperatura}}$)	Índice de correlación No. de Wolf humedad relativa (R_{Humedad})
1980	154.6	-0.090	n.d.
1981	140.5	0.001	0.174
1982	115.9	-0.130	0.089
1983	66.6	0.435	-0.202
1984	45.9	0.118	-0.496
1985	17.9	0.155	-0.105
1986	13.4	-0.138	-0.044
1987	29.2	0.158	-0.064
1988	100.2	-0.011	0.429
1989	157.6	0.020	0.226
1990	142.6	-0.099	0.126
1991	145.7	0.113	0.167

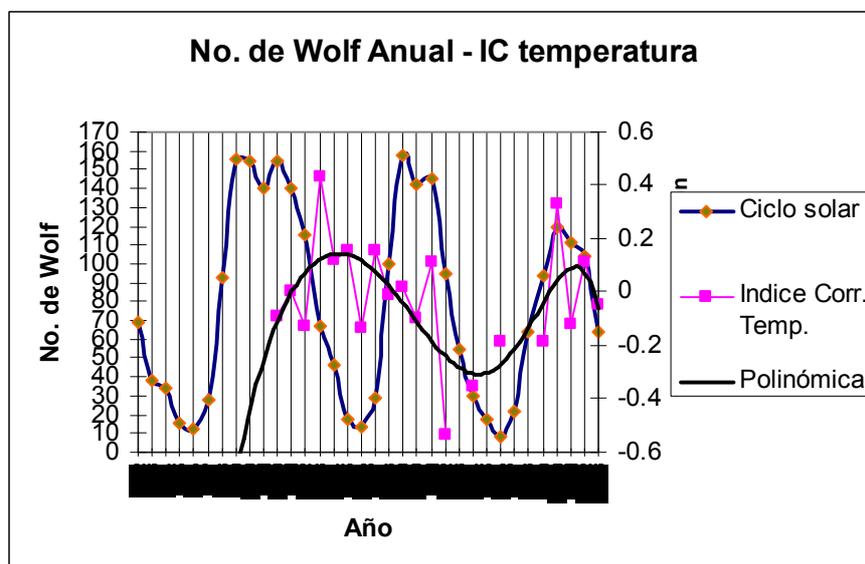
1992	94.3	-0.538	0.015
1993	54.6	n.d.	n.d.
1994	29.9	n.d.	n.d.
1995	17.5	n.d.	n.d.
1996	8.6	-0.350	0.006
1997	21.5	n.d.	-0.567
1998	64.3	n.d.	-0.221
1999	93.3	0.027**	0.049
2000	119.6	0.3331**	n.d.
2001	111	-0.1223**	n.d.
2002	104	0.1102**	n.d.
2003	63.7	-0.0477**	n.d.

Como se puede notar el año 1983, 1987, 1992, 1996 y 2000 en cuanto a la temperatura, representa una variación importante en el índice de correlación, aunque en general se presenta bajo; es significativo por el número de datos considerado para el análisis, tal y como se plantea en los análisis estadísticos.

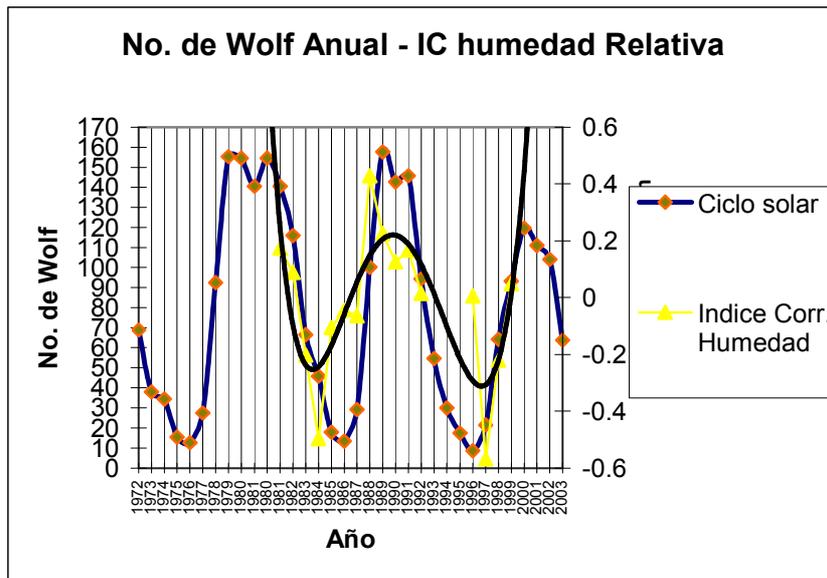
De igual manera la variación de la temperatura en los diferentes ciclos no resulta de gran magnitud y ese aspecto condiciona el valor del índice de correlación.

En lo que a la humedad relativa se refiere se obtienen los máximos índices de correlación para los años 1984, 1988, 1991 y 1997.

Los años de mayores índices de correlación corresponden en la mayoría de los casos a los periodos de actividad máxima y mínima del ciclo solar número 22 y 23, las gráficas 4.7 y 4.8 muestran esas variaciones.

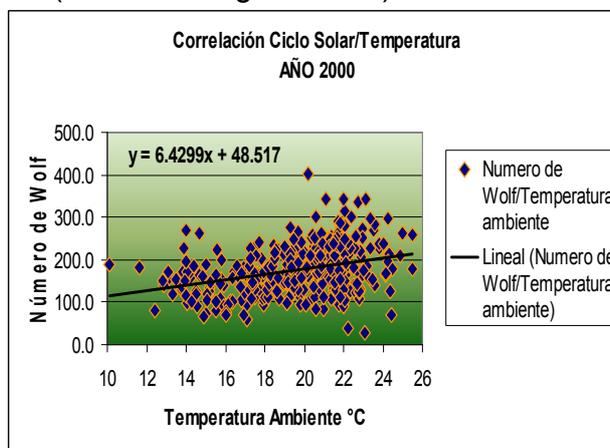


Gráfica 4.7 Muestra la variación de los índices de correlación entre el número de Wolf y la temperatura ambiente*, *Datos obtenidos del Observatorio Meteorológico de la Universidad de Guanajuato y el NCC



Gráfica 4.8 Muestra la variación de los índices de correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa*, *Datos obtenidos del observatorio Meteorológico de la Universidad de Guanajuato.

De igual manera al determinar los índices de correlación el año 2000 refleja la tendencia mostrada en la la tabla no. 4.2 la cual es la más representativa de los otros años analizados.(ver también gráfica 4.9).

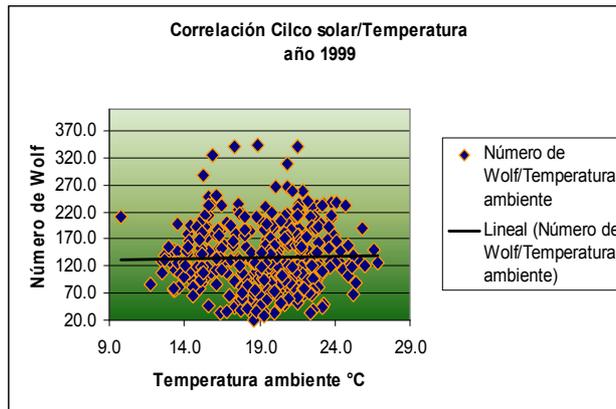


Gráfica 4.9 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria (ver tabla 4.2)

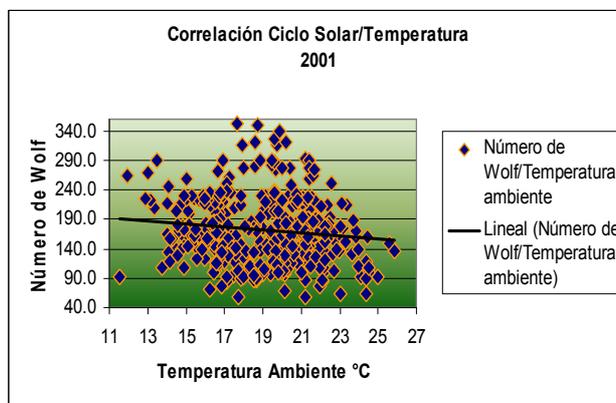
La línea de tendencia para el año 2000 presenta la siguiente función:

$$y = 6.4299x + 48.517 \dots\dots\dots(8)$$

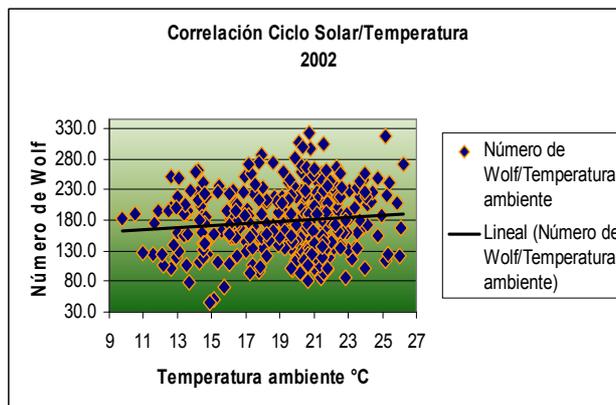
En las gráficas 4.10 a 4.13 puede notarse que la correlación entre el número de Wolf y la temperatura es mínima en los años diferentes al 2000.



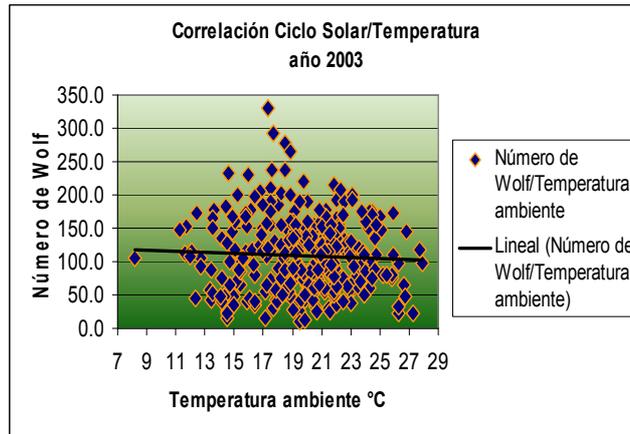
Gráfica 4.10 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 1999



Gráfica 4.11 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2001

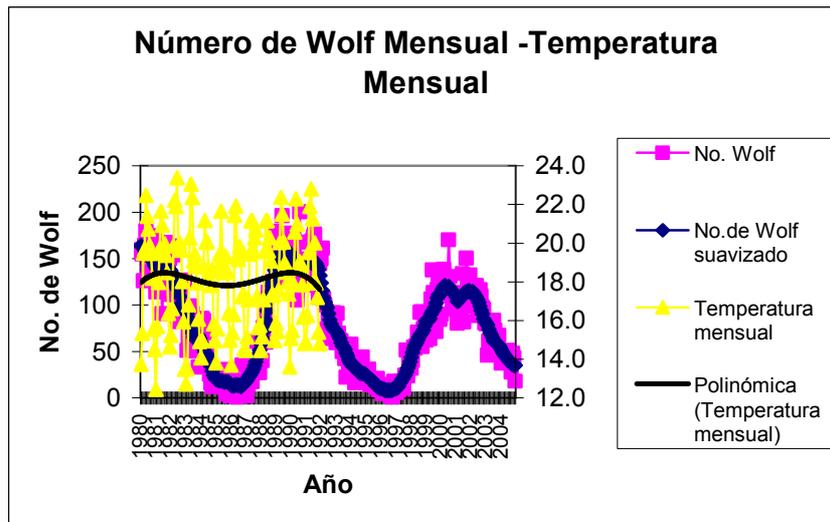


Gráfica 4.12 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2002

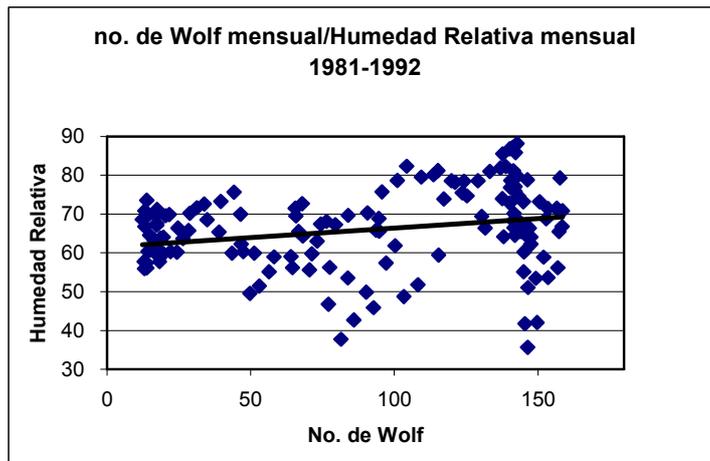


Gráfica 4.13 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura diaria año 2003

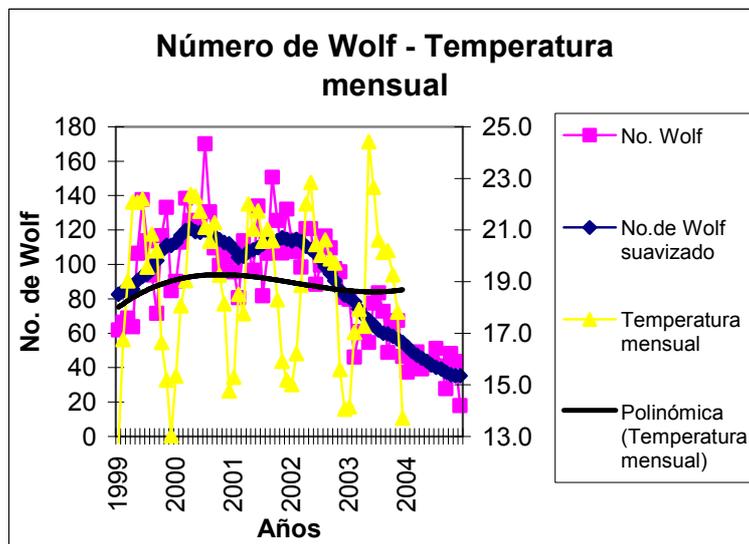
En las gráficas no. 4.14 y 4.16, se puede notar la correlación entre el número de Wolf y la temperatura ambiente mensual para los periodos de 1980-1992 y 1999-2003 en estos se detecta el comportamiento del índice de correlación y la curva descrita por el ciclo solar.



Gráfica 4.14 Número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1980-1982

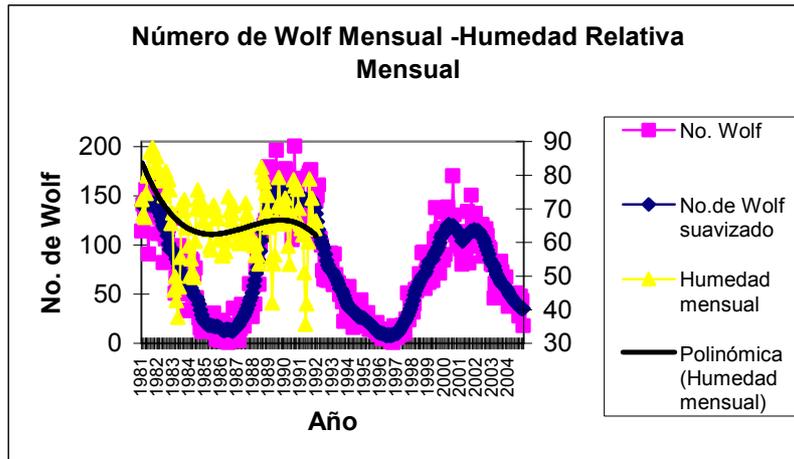


Gráfica 4.15 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1980-1992

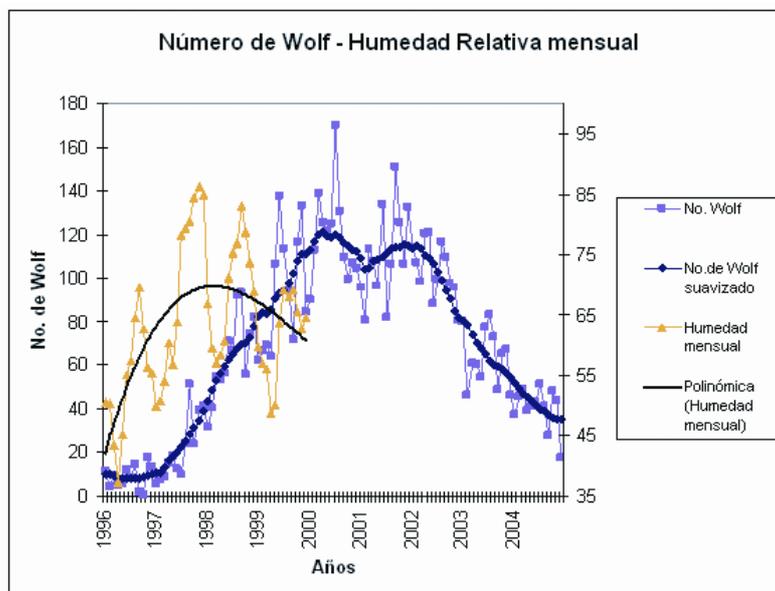


Gráfica 4.16 Número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo 1999-2003

En relación con la Humedad relativa las gráficas 4.17 y 4.18 muestran su comportamiento para los periodos 1981-1992 y el periodo 1996-1999, en estos se destaca la curva de tendencia en los máximos y mínimos solares.



Gráfica 4.17 Número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo 1981-1992



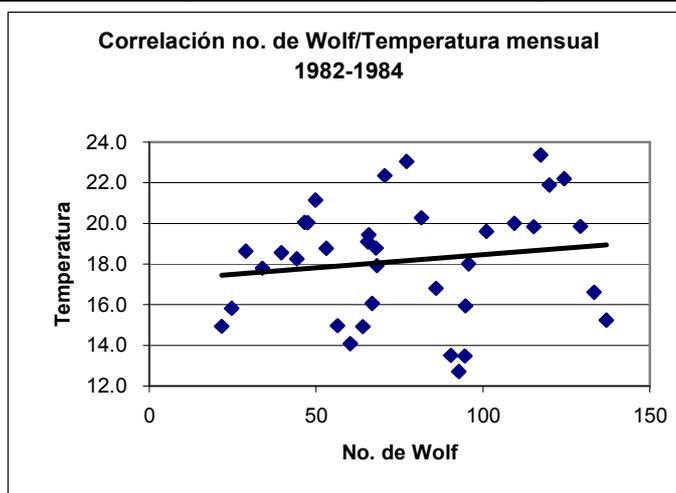
Gráfica 4.18 Número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo 1996-1999

La relación del ciclo solar con la temperatura y la humedad relativa en los años analizados, muestra una correlación moderada pero de relativa importancia, ya que el contar con un número grande de datos la hace significativa; al igual que se encuentra presente durante los diferentes periodos de máximos y mínimos, además de que se refleja tanto para los valores diarios y mensuales.

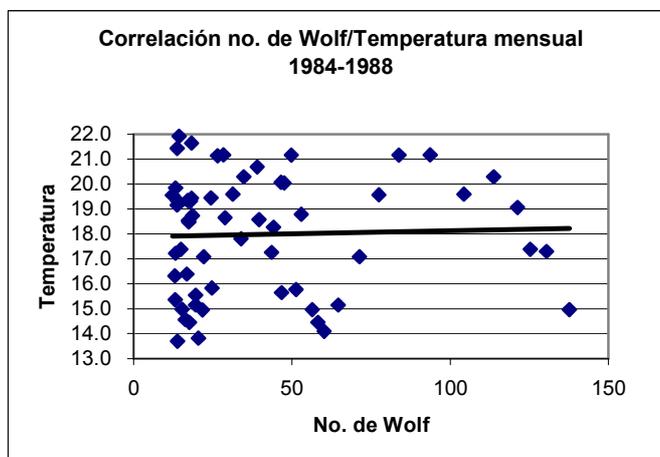
Por otra parte, al analizar la correlación que se manifiesta en los años que se encuentran en la cresta o en el valle de la curva que describe el comportamiento del número de Wolf en cada ciclo, la correlación aumenta tal y como se describe en las siguientes tablas y gráficas:

Tabla 4.3 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para periodos máximos y mínimos del ciclo solar

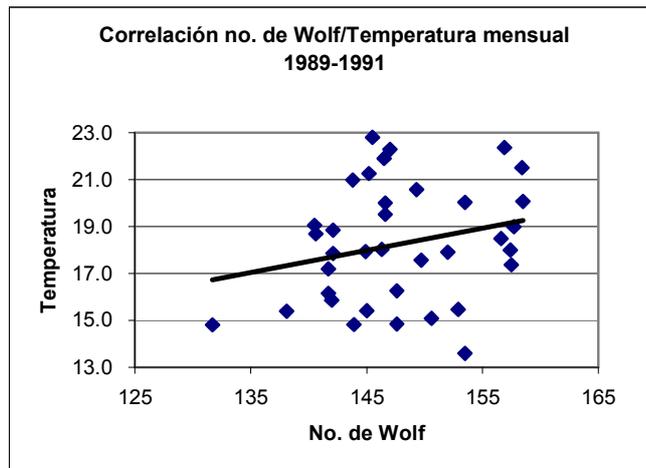
R	1982-1984	1984-1988	1989-1991	1996-1998	2000-2002
Temperatura	0.148	0.034	0.244		0.269
Humedad relativa	0.293	0.127	-0.037	0.251	



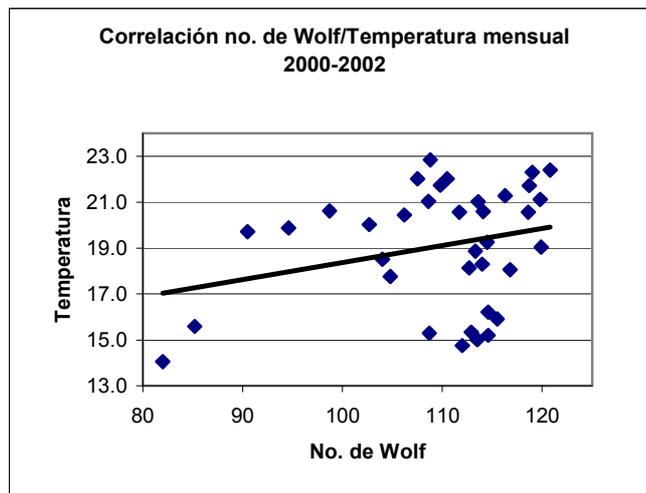
Gráfica 4.19 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 21



Gráfica 4.20 Gráfica 4.20 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 21



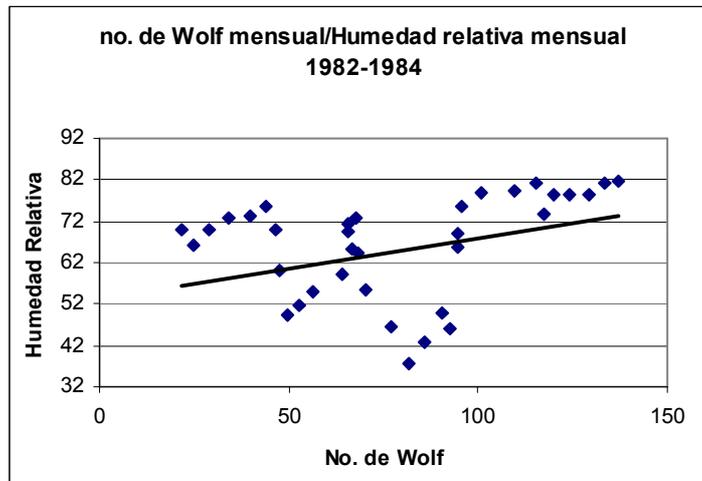
Gráfica 4.21 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 22



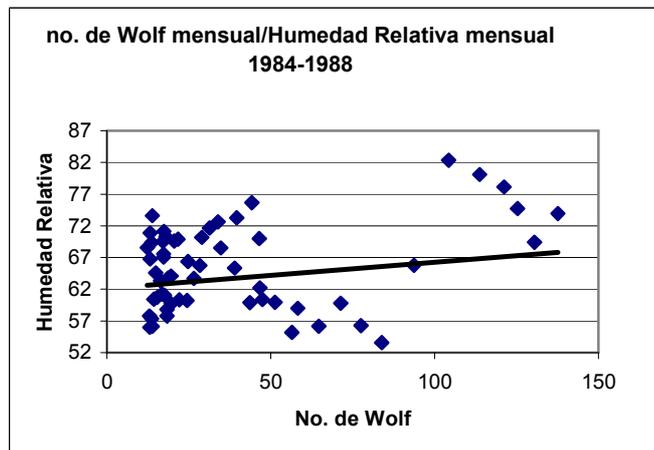
Gráfica 4.22 Correlación entre el número de Wolf y la temperatura mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 23

Si determinamos la correlación global entre el número de Wolf y la temperatura mensual para los años analizados, nos resulta de 0.058 es decir no manifiesta correlación, sin embargo analizados en las partes máximas y mínimas del ciclo estas se destacan de acuerdo con la tabla 4.3 con excepción del periodo de mínima del ciclo no. 21. (ver gráfica 4.20)

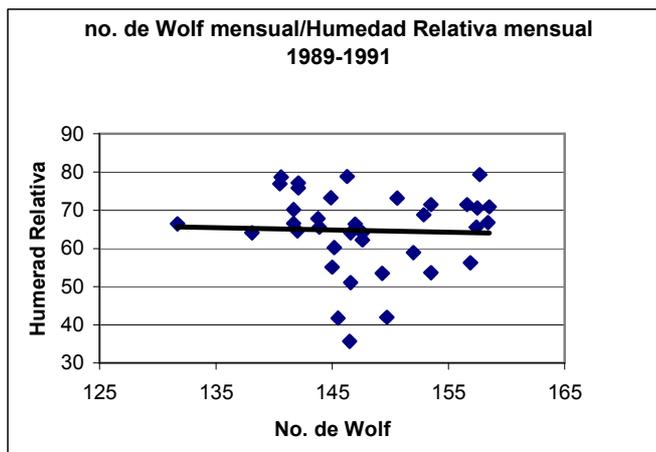
En cuanto a la humedad al determinar la correlación global esta si resulta significativa de 0.218, y se destaca en los diferentes máximos y mínimos solares de acuerdo con la tabla 4.3 y las gráficas 4.23 a 4.26:



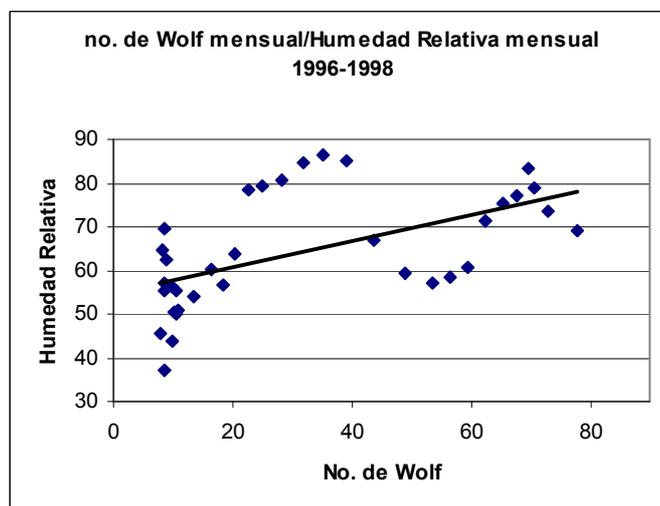
Gráfica 4.23 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 21



Gráfica 4.24 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 21



Gráfica 4.25 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de máxima actividad solar ciclo no. 22



Gráfica 4.26 Correlación entre el número de Wolf y la humedad relativa mensual para el periodo de mínima actividad solar ciclo no. 22

Se destaca la poca correlación del periodo para la máxima actividad solar del ciclo no. 22 (ver grafica 4.25)

4.3 Descripción del método para determinar el año climático tipo.

Para determinar el año climático tipo ACT se seleccionan los años de máxima y mínima actividad solar, para esto es necesario contar con por lo menos un ciclo solar 11-12 años de registros para poder seleccionarlos, sin embargo esto se puede facilitar con que solo se cuente con los dos años donde se presenta el máxima y mínima actividad solar. (ver la gráfica 4.6)

En la gráfica 4.3, se muestra los diferentes máximos y mínimos solares, donde pueden observarse los años que habrán de ser seleccionados para determinar el “año climático tipo de actividad solar máxima” y “año climático tipo de actividad solar mínima”.

El ACT puede determinarse si se toman los picos o crestas de la curva que se presentan en los últimos 3 ciclos solares en 1982, 1992, y 2000, al contar con las temperaturas horarias de cualquiera de estos años se contaría con el “año climático tipo de actividad solar máxima”; si se cuenta con las temperaturas de los tres años se promediarían los valores horarios y se tendría un año tipo mas uniforme y más representativo de los picos.

Por otra parte el “año climático tipo de actividad solar mínima”. se determina tomando los valles de la curva, en estos tres ciclos 1986, y 1996 (el próximo se pronostica para el año 2006). De igual manera, si se quiere tener más uniforme el año tipo se promedian los disponibles.

De la misma manera, si se quiere conocer cualquier otro año que coincida con el desarrollo que describe la curva del ciclo solar, este se puede acercarse mucho más a su comportamiento, es decir se pueden determinar años semejantes intermedios de la curva del ciclo solar; para el caso del análisis de energía en edificios es de mayor utilidad conocer los máximos y mínimos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. Resultados y discusión.

5.1 Año climático tipo alternativo.

Un año climático alternativo, que se ha venido consolidando, a partir de trabajos previos, es basado en el ciclo solar, éste es un periodo donde el Sol aumenta y disminuye su actividad, tiene una duración promedio de 11.2 años aunque puede presentarse a los 7 años o hasta los 17 (existen planteamientos que sugieren que este solo alcanza los límites de 9 años en el ciclo más corto, y 14 en el ciclo más largo).

Para el caso de la propuesta del año climático tipo alternativo se detectó al elaborar gráficas donde se registran los rangos de temperatura que se definen con base a la denominada zona de confort para la ciudad de Guanajuato, está se presenta entre los 19.75 °C y los 24.75 °C, quedando como la primer área la contemplada por debajo de la temperatura de la zona de confort la cual incluye todas las temperaturas menores a los 19.75 °C, la segunda área todas las temperaturas dentro de la zona de confort, y la tercera todas las que sobrepasan los 24.75 °C, con esta zonificación permitió detectar las variaciones a lo largo del ciclo solar. Las que se presentan coincidentemente, con la mayor y menor actividad solar, registrada en los tres últimos ciclos solares. Los rangos anteriores se ubican en la tabla de valores de datos horarios de la tabla 5.1 y el resultado final queda como se muestra en las gráficas no. 5.1 y 5.2.

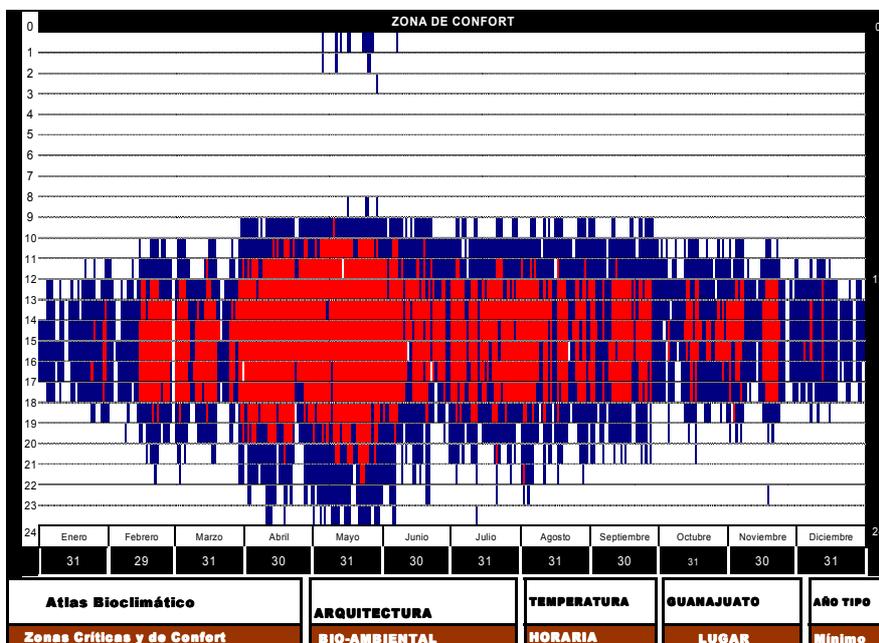
Tabla 5.1 Muestra los valores de temperatura horaria
ejemplo para procesamiento de tablas y correlaciones

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
366	13.2	12.2	12.0	11.4	11.4	11.4	11.2	11.2	12.6	14.8	16.0	16.4	16.0	15.8	15.9	14.8	13.8	13.4	12.8	11.8	11.6	11.2	10.8	10.8
365	9.8	9.8	9.8	9.6	9.4	8.6	9.4	9.0	9.8	12.5	15.8	16.8	18.2	17.6	18.6	18.6	17.9	17.7	16.4	15.6	14.9	13.8	12.6	13.2
364	13.6	12.0	11.9	11.6	11.4	11.2	10.2	10.2	12.0	12.3	12.6	12.4	11.0	11.2	11.1	10.3	10.3	10.3	10.0	10.2	10.3	10.1	10.0	10.0
363	10.2	9.7	9.2	8.9	7.9	7.3	7.1	7.4	9.3	13.9	16.4	18.1	19.4	20.0	21.2	20.4	19.1	18.5	16.1	15.4	14.4	13.0	14.0	13.5
362	10.6	8.9	7.8	7.6	7.6	7.4	7.0	6.8	9.1	14.1	16.8	17.2	18.9	20.6	21.4	21.6	20.6	20.0	18.6	17.2	15.8	14.8	12.2	11.3
361	10.4	10.2	10.0	10.4	9.6	8.8	8.1	8.0	9.9	13.6	16.8	17.9	18.8	20.0	19.8	18.9	18.0	17.8	16.9	16.0	15.1	14.3	12.8	11.2
360	8.2	7.4	6.2	6.0	5.4	4.7	4.5	4.4	6.6	11.7	14.2	15.5	16.9	17.8	17.9	18.0	17.2	16.8	15.7	14.6	14.0	13.0	11.2	10.8
359	9.4	8.6	7.9	7.8	6.8	5.9	5.0	4.9	6.6	10.6	14.6	15.1	17.1	18.0	19.2	19.4	19.2	18.4	16.5	13.8	13.0	10.5	9.9	8.9
358	10.4	9.2	7.0	6.6	6.4	6.0	5.4	5.0	7.6	12.4	15.5	16.7	18.0	19.5	19.5	19.6	19.5	19.1	17.7	14.6	13.2	12.2	11.1	10.3
357	8.4	7.8	7.6	7.2	6.9	6.4	6.1	6.0	8.2	12.5	15.6	16.6	17.9	19.4	19.8	19.4	18.6	15.1	14.0	12.2	11.8	19.5	19.4	10.5
356	8.8	7.4	6.7	6.4	6.0	5.5	5.4	5.0	7.6	12.6	16.6	17.4	19.8	20.8	20.4	20.8	19.6	18.9	16.2	13.8	13.0	12.2	11.2	9.8
355	9.8	8.2	6.5	5.0	4.4	3.8	3.6	3.0	5.2	10.8	13.8	15.6	18.2	20.2	20.4	21.1	20.2	19.0	17.4	13.5	12.9	11.9	10.6	9.3
354	9.1	9.2	8.2	7.6	6.6	6.0	6.5	7.6	8.6	15.3	16.6	16.8	19.0	19.3	19.7	19.4	17.3	16.0	13.6	12.1	12.6	11.0	10.7	10.5
353	8.6	7.4	6.5	4.4	3.0	3.1	2.4	7.4	5.2	16.4	15.6	17.0	18.5	20.0	20.8	21.2	20.8	19.6	15.3	13.5	11.6	11.4	11.4	10.6
352	8.9	8.6	9.1	8.8	8.5	8.2	8.2	8.2	9.4	12.5	14.7	15.8	18.4	20.0	19.8	18.5	18.2	17.2	15.0	12.8	11.9	10.6	10.2	10.2
351	10.0	10.0	10.0	9.8	9.7	9.6	9.2	8.7	9.9	12.3	13.2	13.7	14.2	15.3	15.0	17.0	15.3	14.6	12.0	10.8	10.6	10.2	9.5	9.5
350	9.4	8.8	8.2	7.8	6.8	6.0	5.8	6.0	7.1	14.0	16.6	17.4	18.5	18.6	20.2	18.6	18.9	17.8	14.4	13.3	12.2	11.2	10.2	10.2
349	10.0	10.2	10.3	10.3	10.1	10.0	10.0	10.0	9.8	9.9	10.5	12.4	14.2	16.4	16.6	16.7	16.0	14.6	14.4	13.1	11.9	11.4	10.8	10.2
348	12.3	12.2	11.8	11.7	11.7	11.4	11.0	11.0	10.8	11.5	11.6	11.6	11.6	11.8	13.0	12.5	12.7	12.4	12.0	11.8	11.7	11.5	11.2	10.4
347	14.4	15.1	15.4	15.0	14.3	13.6	13.4	14.0	14.8	16.0	15.8	19.2	18.7	19.4	18.6	18.0	16.3	14.5	14.0	13.0	12.4	12.4	14.5	12.3
346	16.4	15.2	14.6	13.2	12.6	12.0	11.2	11.2	12.5	17.2	18.6	19.7	21.7	21.8	22.3	22.5	20.6	20.4	19.4	18.4	18.1	17.0	15.9	15.9
345	13.6	13.5	13.4	13.1	13.1	13.2	12.2	11.5	11.8	16.2	19.5	20.3	21.7	22.3	21.0	20.8	20.3	20.2	19.6	19.3	18.5	17.7	17.2	16.6
344	12.5	12.9	13.4	13.2	13.8	13.4	13.7	12.1	13.9	14.7	16.0	17.4	20.6	21.1	20.9	20.2	19.6	16.4	14.8	14.0	20.2	14.2	14.0	13.2
343	12.0	11.7	11.9	11.7	11.5	11.4	11.2	11.4	12.5	15.0	16.8	17.0	18.0	19.2	18.9	18.1	17.2	16.3	13.5	13.0	12.8	12.8	12.8	12.8
342	10.3	10.3	10.2	10.0	10.0	9.8	9.8	9.0	10.6	15.0	17.7	19.1	20.3	21.2	21.6	21.2	20.4	19.8	17.2	16.0	14.7	14.0	13.4	12.3
341	13.4	13.0	12.8	12.2	12.3	12.4	10.9	9.8	12.5	14.2	15.9	16.8	18.4	19.0	20.7	21.2	20.4	19.4	15.2	13.4	12.4	11.6	10.8	10.3
340	8.9	8.4	8.0	7.4	6.8	6.6	6.8	6.9	8.0	14.0	17.6	19.0	21.6	22.0	22.6	21.6	20.7	17.8	14.8	13.2	13.2	13.9	13.2	12.8
339	11.3	9.9	8.5	8.0	7.6	7.4	6.6	6.6	8.9	13.9	16.3	18.0	21.0	21.0	21.0	20.9	20.6	20.1	15.6	14.2	13.0	13.0	11.0	10.0
338	12.2	11.3	10.4	9.4	8.4	8.6	7.8	8.0	9.5	13.2	15.5	16.8	18.8	19.6	20.2	20.8	20.2	19.4	17.0	15.4	14.4	14.4	14.0	12.8
337	12.4	11.5	10.6	10.4	10.0	9.4	9.0	9.1	10.7	15.6	16.3	17.9	19.6	20.2	21.0	20.8	20.4	19.5	18.2	17.2	16.3	14.3	14.3	13.0
336	11.9	11.3	10.8	10.0	9.7	9.5	9.1	9.2	10.7	16.0	17.4	19.9	20.8	21.7	21.3	21.3	21.3	21.0	20.4	16.0	15.0	15.0	14.6	12.7
335	13.2	12.6	12.5	12.0	11.6	11.4	11.0	11.0	12.6	12.2	18.1	18.7	19.6	21.0	19.9	19.8	19.0	18.6	17.2	16.0	15.4	14.3	13.3	12.6
334	12.1	12.2	11.9	11.6	12.4	10.0	9.4	10.2	11.6	13.4	18.5	18.9	19.6	20.3	21.1	20.9	20.8	20.2	17.9	16.9	16.4	16.2	15.4	14.4
333	11.9	11.7	11.6	11.6	11.7	11.9	12.0	12.2	12.9	13.3	15.6	18.3	18.1	19.4	19.9	19.8	20.2	19.2	17.2	16.2	16.0	14.5	13.9	13.2
332	11.8	11.9	12.0	12.0	12.0	11.9	12.0	11.8	12.4	13.4	16.8	17.8	18.5	18.7	19.8	19.6	19.4	19.2	17.6	15.8	14.5	13.6	12.9	12.1
331	11.6	11.6	11.5	11.6	11.3	11.1	10.9	10.5	11.4	12.9	13.6	14.4	15.7	15.8	14.3	13.6	13.9	13.8	14.0	13.0	12.5	12.0	12.0	12.0
330	12.4	12.5	12.3	12.1	12.0	12.9	12.2	12.4	13.0	13.5	13.9	14.0	13.9	13.8	13.6	14.5	14.7	14.5	13.0	11.6	11.2	11.2	11.2	11.4
329	12.8	11.9	11.0	10.8	9.6	10.4	12.1	12.6	13.5	16.7	18.4	20.0	22.5	22.1	23.4	22.0	20.6	19.2	16.8	11.4	11.8	12.6	12.7	12.5
328	13.7	12.9	12.0	11.4	10.8	10.6	10.2	10.0	12.5	18.0	20.8	23.7	23.9	24.3	24.2	23.8	22.8	23.3	17.8	17.2	15.4	14.4	14.4	13.2
327	13.9	12.5	11.6	11.2	10.8	10.4	10.2	10.0	12.7	17.0	20.1	21.6	23.5	23.8	22.5	21.8	21.1	20.5	19.0	17.6	16.4	15.5	14.6	14.2
326	12.6	11.9	11.1	9.8	9.8	9.6	9.0	9.4	12.6	17.3	19.8	22.2	24.4	23.4	24.5	23.2	22.5	19.8	17.7	16.5	15.9	14.8	14.8	14.2
325	12.9	12.0	11.4	10.2	9.8	9.5	9.1	9.5	12.0	16.9	19.2	20.0	22.1	23.5	23.2	23.2	23.0	22.2	20.0	17.6	16.6	15.4	14.6	14.0
324	15.2	15.1	15.0	15.3	14.8	14.4	14.2	14.2	15.0	18.2	19.4	20.5	21.6	22.9	23.8	23.4	23.0	22.4	20.2	18.0	16.8	16.5	15.0	13.4
323	13.3	12.0	11.0	10.0	9.1	9.0	8.5	9.3	11.4	18.5	20.5	22.2	23.9	24.4	24.4	24.3	23.5	22.6	20.8	20.4	18.7	16.6	15.7	15.3
322	13.6	12.8	12.0	11.0	11.3	9.6	9.4	9.9	11.8	17.6	19.9	21.0	23.2	23.4	24.2	24.3	23.8	22.6	20.2	18.2	16.7	15.2	14.7	14.4
321	12.2	11.3	10.4	9.8	9.4	8.8	8.3	9.0	11.4	16.8	20.3	21.7	26.6	24.2	24.4	23.8	22.8	20.5	18.6	17.4	15.8	15.2	15.2	14.4
320	13.8	13.7	13.7	13.6	13.6	13.4	12.8	12.1	13.5	17.0	18.4	19.2	21.5	22.6	22.8	23.2	20.4	17.8	16.0	15.3	15.3	14.0	13.9	13.4
319	11.4	10.7	10.0	9.0	8.5	8.0	7.3	8.1	11.4	15.4	18.6	20.1	22.8	24.8	25.8	26.0	24.2	23.0	21.0	18.4	17.4	16.2	15.0	13.8
318	12.2	11.6	11.0	10.8	11.0	11.3	11.0	12.0	12.0	18.1	20.2	20.1	20.5	21.8	21.9	21.3	19.2	17.8	15.2	14.4	13.6	13.2	12.8	11.8
317	14.1	12.8	11.5	10.4	9.8	9.3	9.0	10.0	12.3	15.3	22.6	24.8	25.3	26.3	25.6	23.9	22.0	18.4	15.0	13.8	13.5	13.5	13.5	13.4
316	12.9	11.6	10.4	9.5	9.1	8.8	7.9	8.5	11.8	17.4	19.7	20.8	23.1	25.1	25.0	25.0	24.2	23.4	20.2	18.3	17.4	16.6	16.2	15.4
315	14.8	14.0	11.8	10.2	8.6	7.4	5.8	7.0	9.0	16.6	18.6	21.0	24.4	25.6	26.4	26.4	25.8	24.8	20.8	18.6	17.5	16.1	15.0	14.2

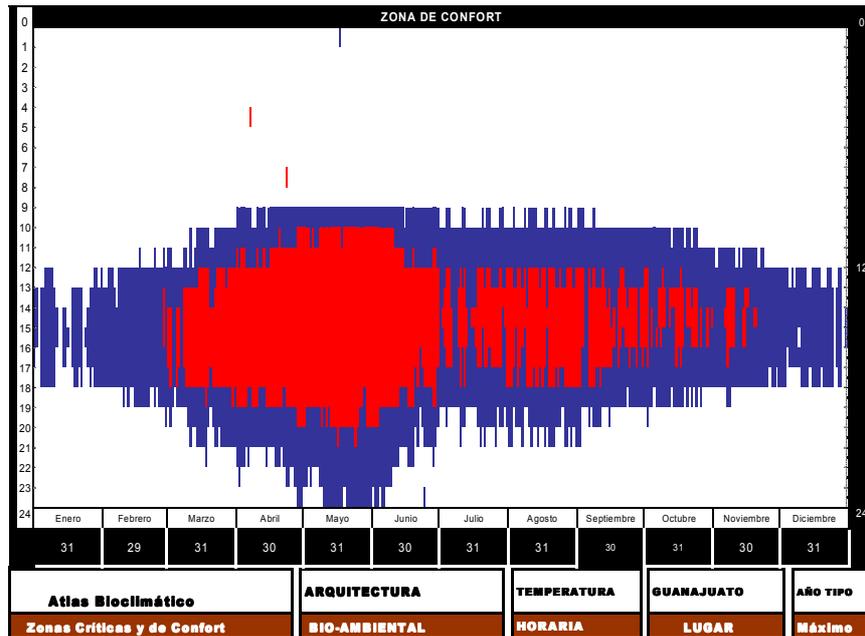
El ciclo solar según los datos históricos refleja una variación de 0.3 a 0.4 °C en un periodo de 5 a 6 años, variación suficiente para impactar en cambios importantes en el clima de la Tierra .

El ciclo solar no. 21 tiene su máxima actividad en el año de 1982 y su mínima actividad en el año de 1986, en lo que referente al ciclo no 22 este presenta su máxima actividad en 1991 y la mínima en 1996. (ver figura 3.3)

si comparamos las gráficas de temperatura con las características antes descritas, se observa que para los años de 1982 y 1986 se distingue una notoria variación, mientras que para los años de 1982 y 1991 esta es muy similar, si se revisa año con año se distingue como la temperatura va aumentando con relación a la mínima actividad solar hasta llegar al periodo de máxima actividad solar; posteriormente va decreciendo hasta llevar de igual manera al mínimo solar, la relación es importante, ya que esta variación se detecta en registros estadísticos de temperatura hora por hora para la ciudad de Guanajuato, Gto., y se comprueba en las tablas para los diferentes municipios del estado de Guanajuato, cabe destacar que esta evidencia también se refleja en los registros estadísticos de temperaturas máximas y mínimas diarias, ya que para el desarrollo de las tablas de temperatura horaria para los municipios diferentes al de Guanajuato, estas se estimaron a partir de temperaturas máximas y mínimas y aún así es detectable tal variación de la temperatura con el desarrollo de los ciclos solares.(Ver gráficas 5.1 y 5.2.)

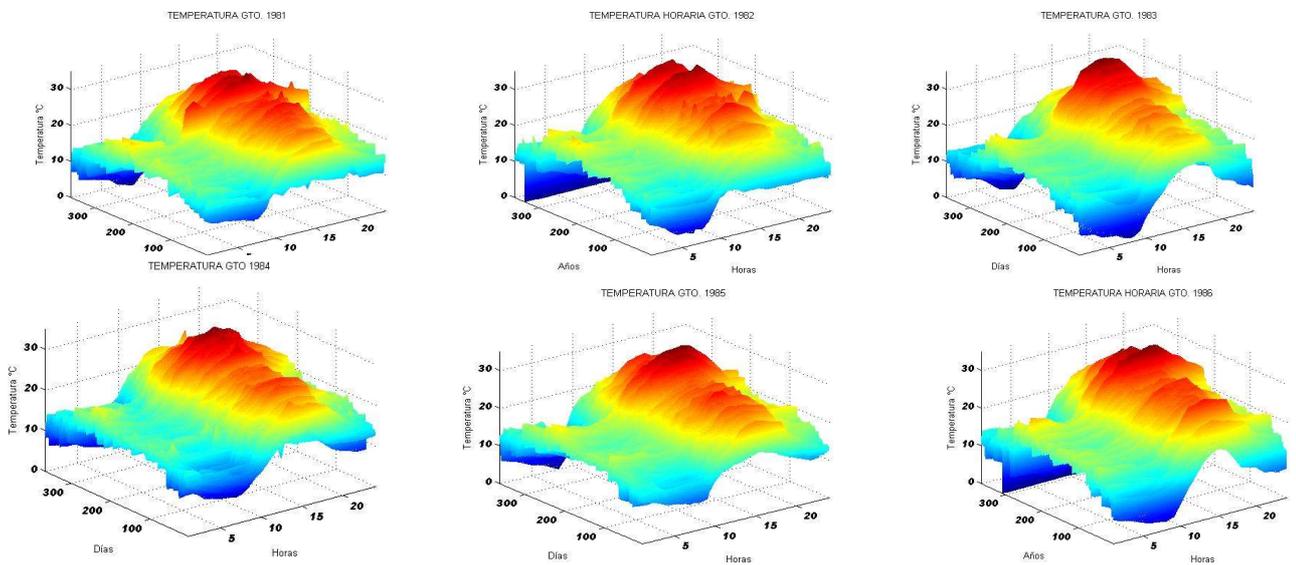


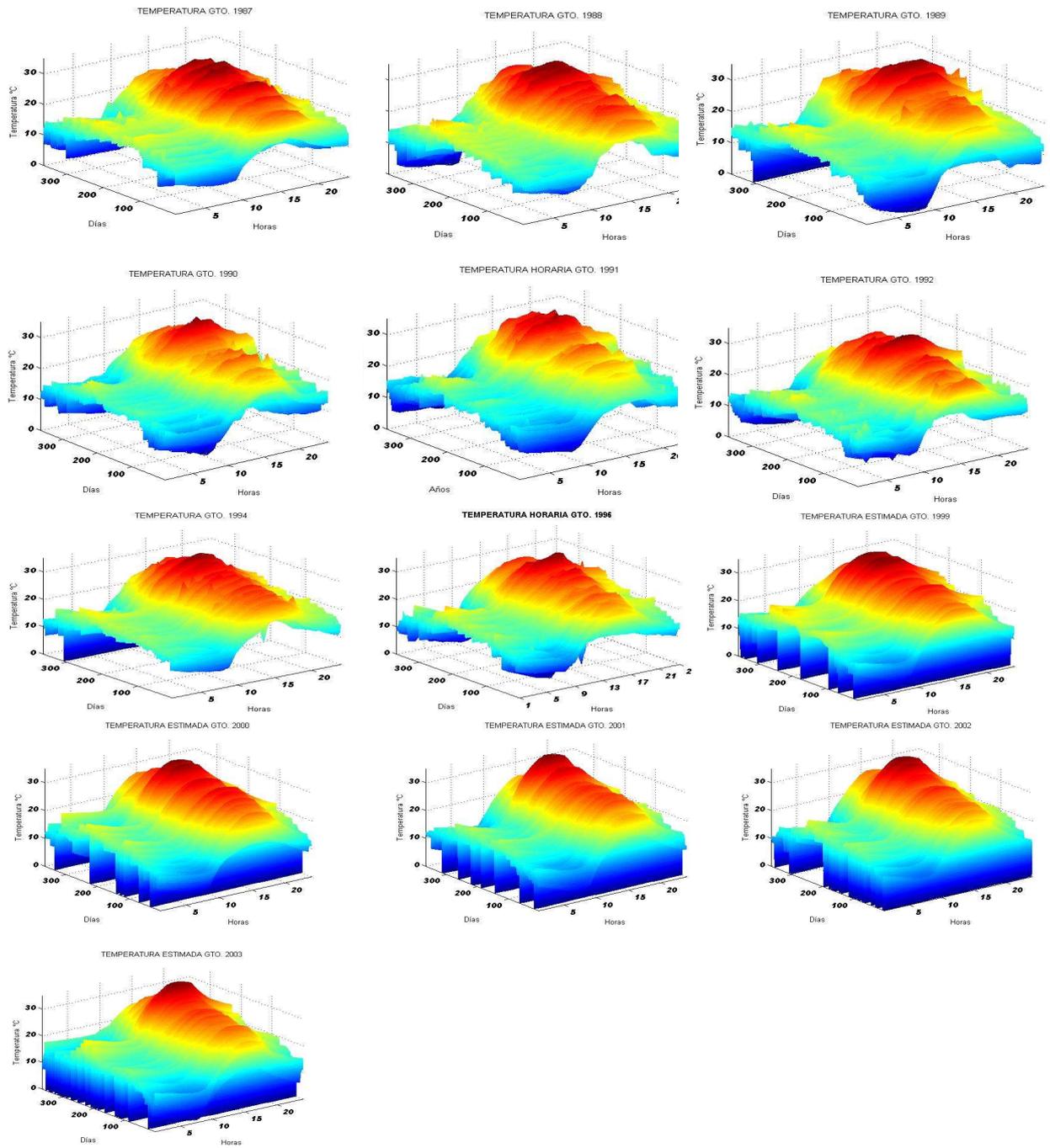
Gráfica 5.1 Gráfica zona de confort año tipo mínimo



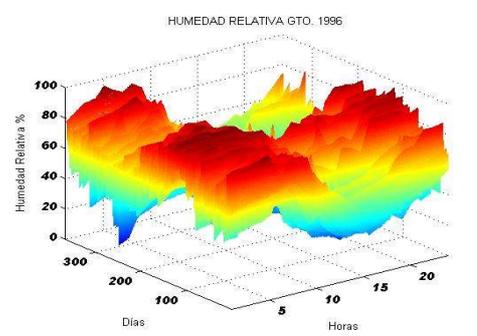
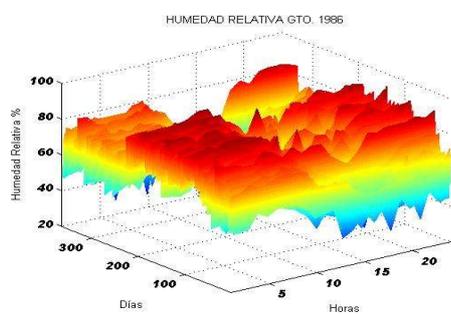
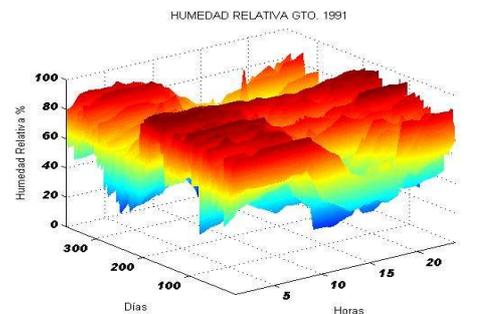
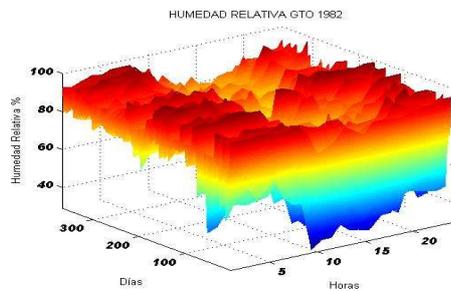
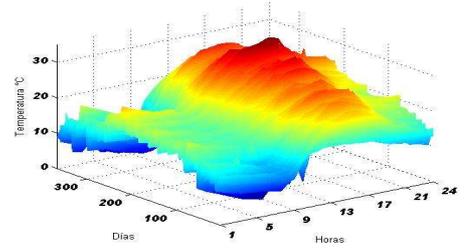
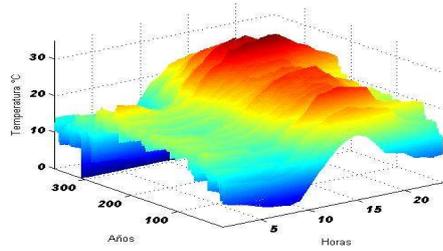
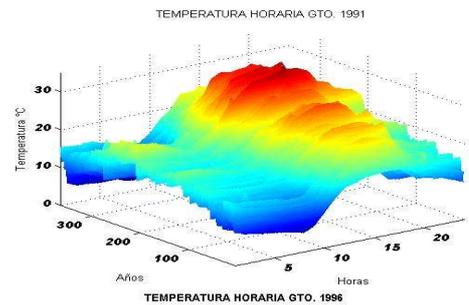
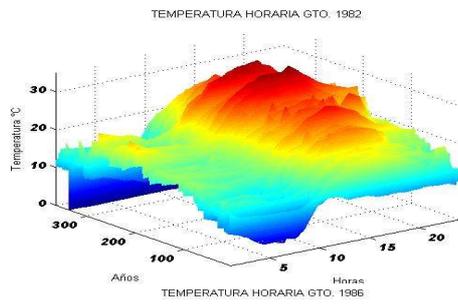
Gráfica 5.2 Gráfica zona de confort Año tipo máximo

Al graficar los valores horarios de los datos de temperatura en tres dimensiones se puede observar el comportamiento de la misma a lo largo del año, de estas se distinguen los años de máxima y mínima actividad solar, las gráficas siguientes reflejan la variación año por año.

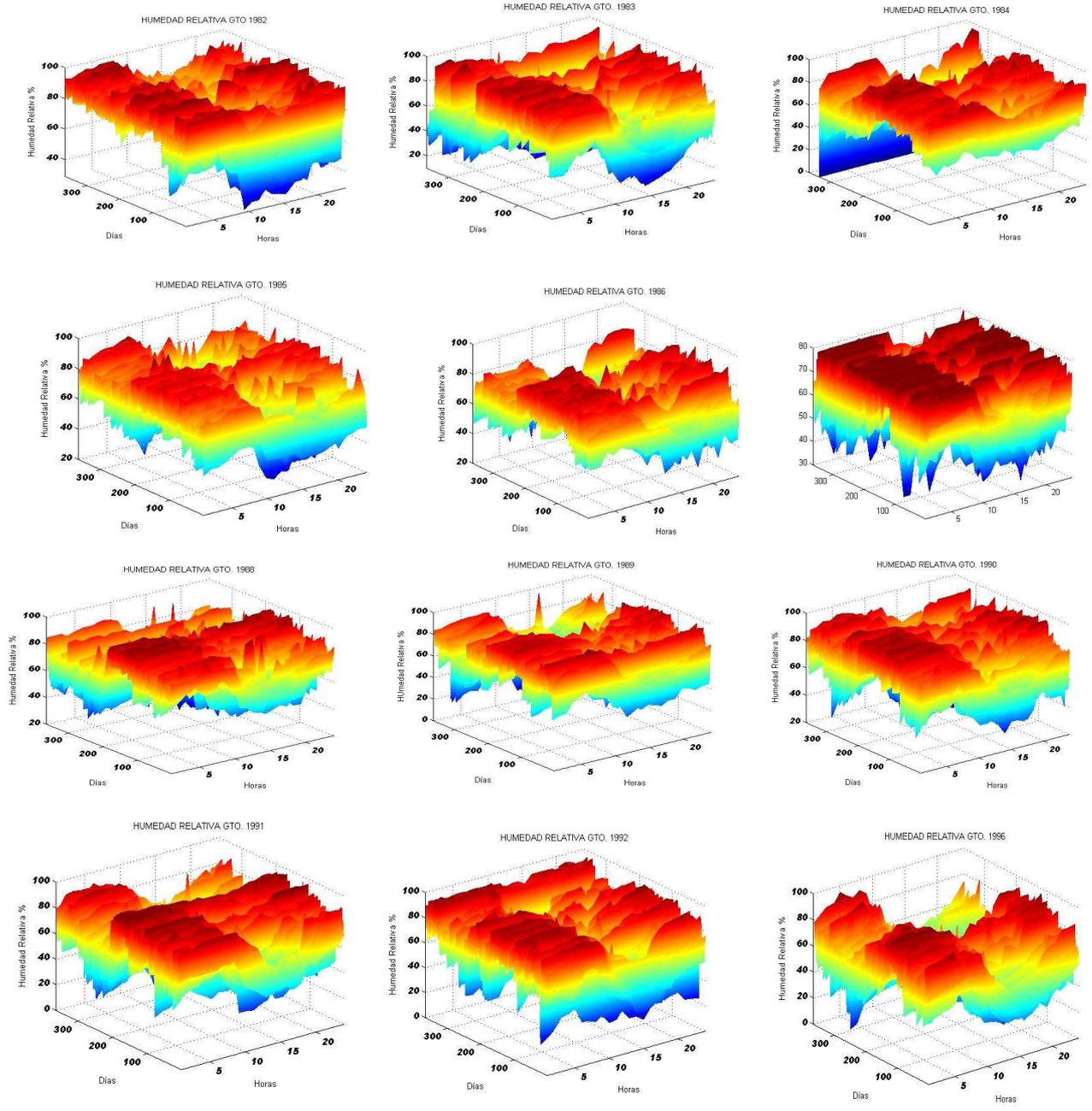




Gráfica 5.3 Muestra el comportamiento anual de la temperatura para los años 1980-1992, 1994, 1996 y 1999-2003



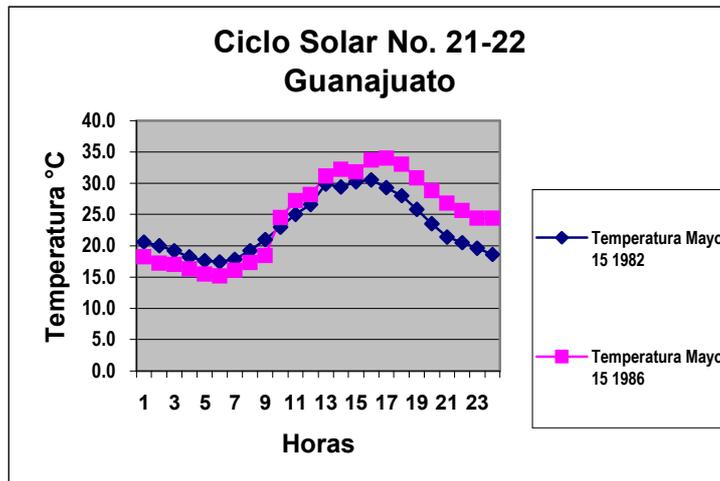
Gráfica 5.4 Muestra el comportamiento anual de la temperatura y la humedad relativa para los años donde se presenta la máxima y mínima actividad solar



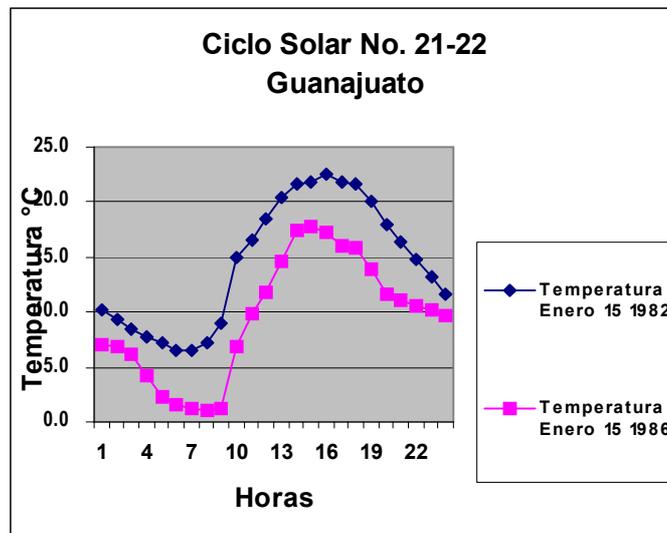
Gráfica 5.5 Muestra el comportamiento anual de la humedad relativa para los años 1981-1992, 1996

Los índices de correlación entre temperatura y el número de Wolf muestran un crecimiento en relación con los máximos y mínimos solares, mientras que en la humedad se detecta esa misma correlación, pero se desplazan en varios de los casos un año con respecto a los máximos y mínimos solares y a los índices de correlación con temperatura.

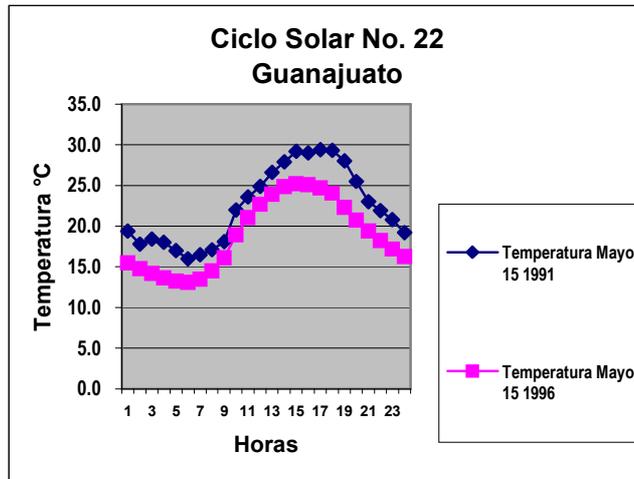
Por otra parte si analizamos el comportamiento horario de la temperatura de un día específico se puede notar la variación de la curva con respecto a los máximos y mínimos solares, y con respecto a la variación entre máximos y variación entre mínimos, como lo muestran las gráficas 5.6 a 5.14.



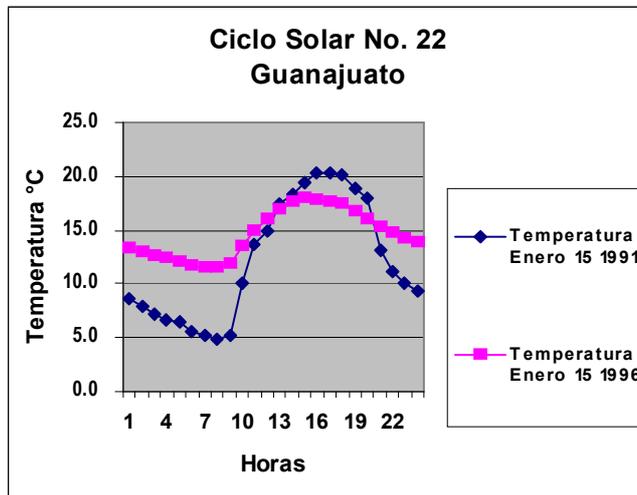
Gráfica 5.6 Temperatura horaria 15 de mayo 1982 y 1986



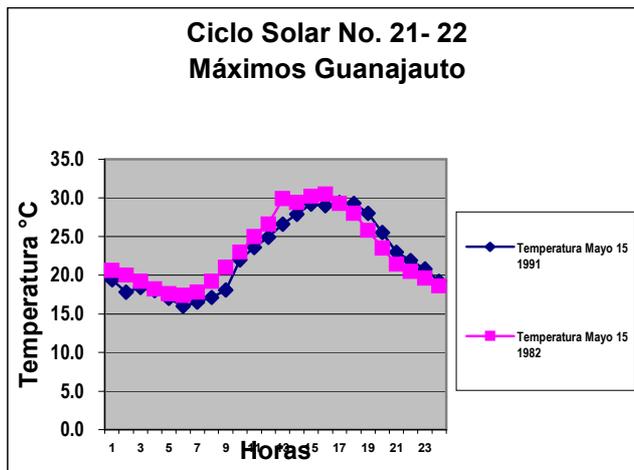
Gráfica 5.7 Temperatura horaria 15 de enero 1982 y 1986



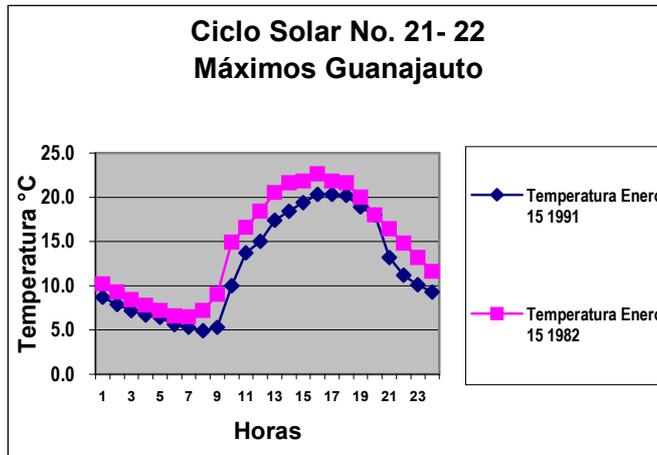
Gráfica 5.8 Temperatura horaria 15 de mayo 1991 y 1996



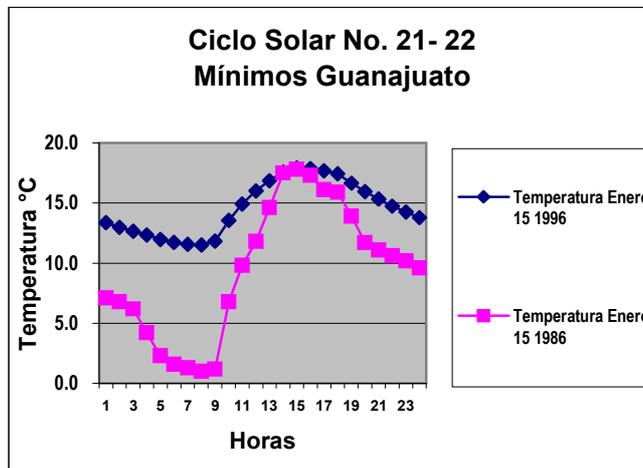
Gráfica 5.9 Temperatura horaria 15 de enero 1991 y 1996



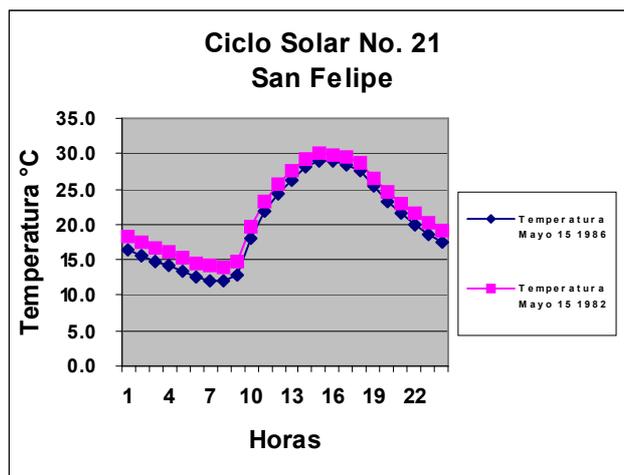
Gráfica 5.10 Temperatura horaria 15 de mayo 1991 y 1982 máximos solares



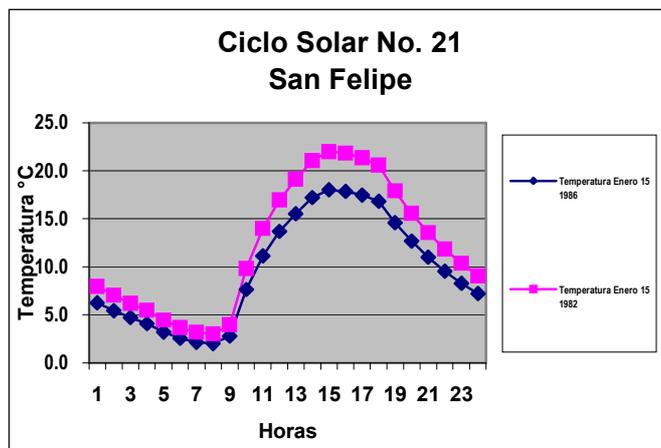
Gráfica 5.11 Temperatura horaria 15 de enero 1991 y 1982 máximos solares



Gráfica 5.12 Temperatura horaria 15 de enero 1986 y 1996 mínimos solares



Gráfica 5.13 Temperatura horaria 15 de mayo 1986 y 1982



Gráfica 5.14 Temperatura horaria 15 de mayo 1986 y 1982

Con la finalidad de revisar el comportamiento de TRY se estiman los referentes a las ciudades de Guanajuato y Querétaro, mostrando una tendencia hacia los ciclos solares conforme se eliminan los años, de acuerdo con lo descrito por el método.

Tabla 5.2 Muestra los valores mensuales de la temperatura para la conformación de TRY Para la ciudad de Querétaro, Qro.

QUERETARO

	JUL	ENE	AGO	FEB	JUN	DIC	SET	MAR
1998	21.50	1995 16.00	1998 20.61	2003 17.37	1998 23.74	1996 16.02	1997 20.48	2002 19.42
1997	20.68	1998 15.26	1997 20.51	1995 16.91	1997 22.32	1998 15.82	1998 20.30	2000 19.21
1996	20.35	2001 15.23	1995 20.40	1997 16.86	1995 21.58	2001 15.79	2003 19.85	1997 18.84
1995	20.04	1996 15.18	2002 20.38	1996 16.69	2002 21.52	1997 15.55	1995 19.78	1999 18.66
2003	19.99	2002 15.05	2003 19.97	1999 16.67	2003 21.34	2002 15.21	1996 19.77	1998 18.54
2002	19.87	2003 14.95	2001 19.90	2001 16.34	1999 21.19	2000 14.61	2002 19.59	1995 18.54
2000	19.61	2000 14.87	1996 19.88	2000 16.31	1996 20.82	1999 13.66	2000 19.03	2003 18.50
2001	19.45	1997 14.68	1999 19.53	2002 16.22	2001 19.70	2003 13.36	2001 18.87	2001 17.58
1999	18.87	1999 14.42	2000 18.88	1998 15.65	2000 19.23	1995 11.66	1999 18.23	1996 16.95

Tabla 5.3 Muestra los valores mensuales de la temperatura para la conformación de TRY Para la ciudad de Guanajuato, Gto.

	JUL	ENE	AGO	FEB	JUN	DIC	SET	MAR	MAY	NOV	OCT	ABR
1991	18.0	1981 12.4	1984 18.6	1983 13.5	1985 19.3	1982 13.5	1984 17.8	1986 16.3	1984 20.0	1991 15.4	1991 17.2	1985 19.4
1984	18.3	1983 12.7	1989 19.0	1984 15.0	1986 19.3	1989 13.6	1991 17.9	1983 16.8	1987 21.1	1980 15.5	1986 17.2	1987 19.4
1985	18.5	1986 13.7	1990 19.1	1987 15.1	1984 20.1	1980 14.5	1989 18.5	1988 17.1	1988 21.2	1987 15.6	1987 17.3	1988 19.6
1990	18.7	1980 13.7	1985 19.3	1988 15.2	1981 20.9	1986 14.6	1983 18.8	1987 17.1	1985 21.6	1984 15.8	1988 17.4	1980 19.7
1983	19.1	1985 13.8	1983 19.4	1980 15.3	1990 21.0	1981 14.6	1990 18.8	1989 17.6	1981 21.6	1982 15.9	1990 17.9	1981 19.7
1986	19.2	1984 14.1	1986 19.8	1986 15.4	1987 21.2	1991 14.8	1988 19.1	1990 17.9	1982 21.9	1983 16.1	1983 17.9	1989 20.0
1981	19.5	1987 14.5	1980 19.9	1989 15.4	1988 21.2	1990 14.8	1985 19.3	1981 18.0	1986 21.9	1990 16.2	1989 18.0	1983 20.3
1987	19.6	1988 14.5	1981 20.0	1990 15.5	1991 21.3	1983 14.9	1981 19.4	1985 18.7	1990 22.3	1981 16.4	1982 18.0	1990 20.6
1988	19.6	1991 14.8	1991 20.0	1985 15.5	1980 21.4	1984 14.9	1980 19.5	1984 18.8	1989 22.4	1985 16.4	1980 18.2	1984 21.2
1982	19.8	1990 15.1	1982 20.0	1981 15.7	1989 21.5	1988 15.0	1986 19.6	1980 19.5	1980 22.5	1988 17.3	1981 18.5	1986 21.4
1989	20.1	1982 15.2	1987 20.3	1991 16.3	1983 22.4	1985 15.0	1982 19.6	1991 19.5	1991 22.8	1989 17.4	1985 18.5	1991 21.9
1980	20.7	1989 15.9	1988 20.3	1982 16.6	1982 23.4	1987 15.8	1987 20.7	1982 19.9	1983 23.1	1986 17.4	1984 18.6	1982 22.2

El procedimiento para definir el año climático tipo a través del TRY parece coincidir en los años relacionados con el ciclo solar, si embargo no existe un elemento determinante, por lo cual no se puede explicar esa coincidencia, ya que el mismo método no afirma esa relación por lo que puede ser una coincidencia o en el caso de existir una posible relación podría estar relacionada con la consideración en el mismo método de los meses calientes y fríos.

5.2 Descripción del método para determinar el Año Climático Tipo.

Para determinar el ACT, se seleccionan los años de máxima y mínima actividad solar, para esto es necesario contar con por lo menos un ciclo solar 11-12 años de registros para poder seleccionarlos, sin embargo esto se puede facilitar con que solo se cuente con los dos años donde se presenta el máxima y mínima actividad solar. (ver figura 3.3 y 5.1)

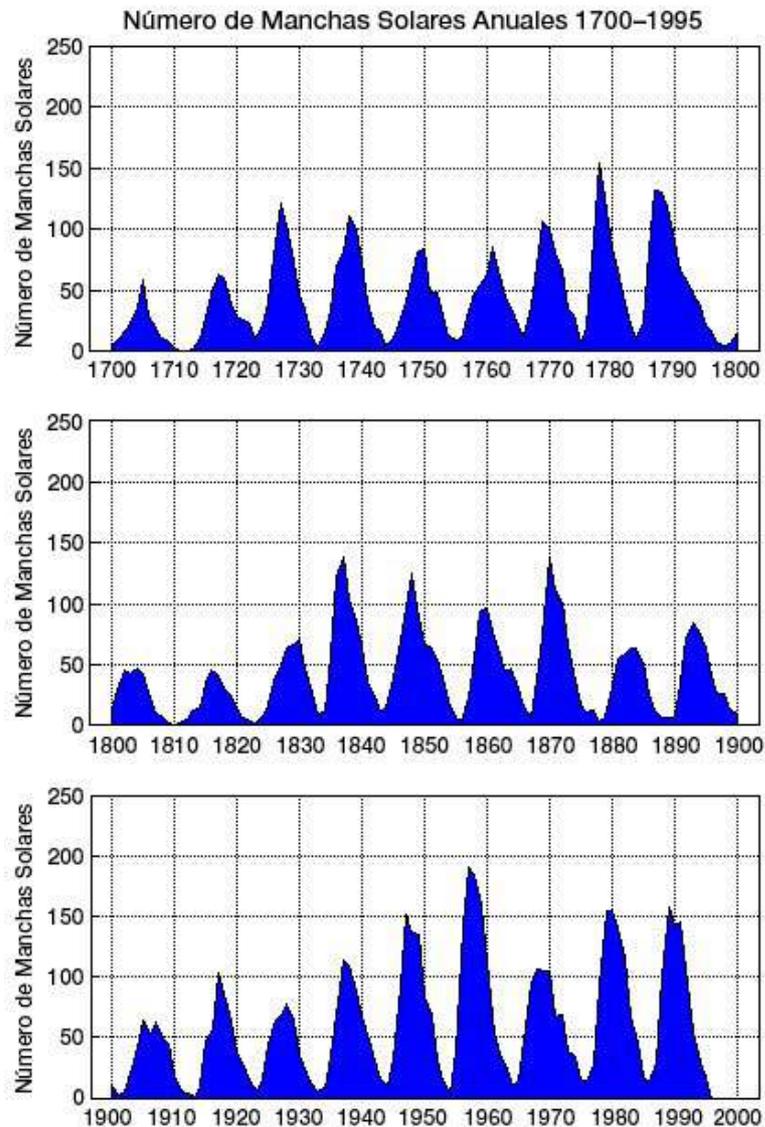


Figura 5.1 Diferentes ciclos solares de 1700 a 1995

En esta figura, se muestra los diferentes máximos y mínimos solares, donde pueden observarse los años que serán seleccionados para determinar el año climático tipo de actividad solar máxima (ACT-MÁX) y Año Climático Tipo de actividad solar mínima (ACT-MÍN).

El ACT-MÁX puede determinarse si se toman los picos o crestas de la curva que se presentan en los últimos 3 ciclos solares en 1982, 1990-91, y 2000, al contar con las temperaturas horarias de cualquiera de estos años se contaría con el “año climático tipo de actividad solar máxima” ACT-MÁX; si se cuenta con las

temperaturas horarias de los tres años se promediarían los valores horarios y se tendría un año tipo mas uniforme y más representativo de los picos.

Por otra parte el “año climático tipo de actividad solar mínima” ACT-MÍN. se determina tomando los valles de la curva, en estos tres ciclos 1986, y 1996 (el próximo se pronostica para el año 2006). De igual manera, si se quiere tener más uniforme el año tipo se promedian los disponibles.

De la misma manera, si se quiere conocer cualquier otro año que coincida con el desarrollo que describe la curva del ciclo solar, este se puede acercar mucho más a su comportamiento, es decir se pueden determinar años semejantes intermedios de la curva del ciclo solar; para el caso del análisis de energía en edificios es de mayor utilidad conocer los máximos y mínimos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. Conclusiones y recomendaciones.

Si se logra encontrar una relación del ciclo solar con los fenómenos climáticos, a través de un modelo que integre las variables representativas como la temperatura y la precipitación pluvial, que son los dos parámetros más usados para definir el clima, será posible precisar y predecir las condiciones más cercanas a las reales de algún lugar geográfico determinado; y por lo que a los resultados anteriores se refiere se ve modificado de manera importante con la inclusión de esta relación.

La validación de esta relación con registros estadísticos de otros lugares geográficos permitirá confrontar esas posibles variaciones presentes en los diferentes municipios del estado de Guanajuato.

Los registros en cuanto al ciclo solar y la temperatura en principio, presentan variaciones más importantes en cuanto a la temperatura que el mismo calentamiento global que lo han determinado las partes más conservadoras en un periodo de 100 años de aproximadamente 1°C , y en cuanto al ciclo solar según las evidencias históricas refleja una variación de 0.3 a 0.4°C en un periodo de 5 a 6 años, es decir esto es más trascendente en los cambios climáticos en lo que se refieren al calentamiento global, por lo que si esta variación del ciclo solar se ha pasado por alto, incluirla afectaría determinadamente las consideraciones hechas en cuanto al calentamiento global.

Conclusiones “año tipo”

1. Las ventajas del ACT con relación al TRY son las referentes en que para el caso del ACT no es necesario contar con un sistema de datos multi-anales, ya que con contar con los años referidos a la máxima y mínima actividad solar es suficiente. Sin embargo si se quiere identificar su comportamiento se puede contar con 11 a 12 años los que pueden mostrar la máxima y mínima actividad solar si se toma en el inicio del ciclo, cuando no se cuenta con esta condición, serán necesarios hasta 16 años para identificar los picos y los valles de la curva.
2. Otra ventaja del ACT es que se cuenta con un año tipo de mayor actividad (ACT-MÁX) y uno de menor actividad (ACT-MÍN). Lo que en el caso del análisis de energía en edificios permite conocer el comportamiento de los límites de un año frío y otro caliente.
3. Otra ventaja con respecto al TRY, es que mientras esté no permite considerar el año tipo como representativo de periodos más largos, el ACT si lo permite, ya que refleja las características de las curvas relacionadas con el periodo del ciclo solar de 11.2 años.

4. Una cuarta ventaja del ACT es que al ser representativo de los máximos y mínimos de un ciclo solar puede tener las características de cualquier otro ciclo. Mientras que el TRY solo representa los años seleccionados, los cuales en rangos anuales-cortos, no representan ninguna relación entre periodos.
5. El considerar el ACT a partir del ciclo solar, lo hace mas uniforme y existe una relación mas directa con un factor físico medible que con el transcurso de las investigaciones pueda definirse de forma mas precisa, mientras que la forma de determinar el TRY solo considera los meses más calientes y fríos para determinarlo; en el caso del ACT al determinar los máximos y mínimos, estos coinciden con años calientes y fríos respectivamente.

Como nota final, la atención a las relaciones Tierra-Sol en los últimos años ha generado como consecuencia que cada vez, más investigadores coinciden en la existencia de una relación directa con los fenómenos climáticos del planeta.

ANEXOS

ANEXOS

A. El ESP-r (Energy System Performance)

El sistema ESP-r ha sido desarrollado por más de dos décadas, de 1974 a 1977 Joe Clark Desarrollo el prototipo inicial como parte de su investigación doctoral. Después de 1977 a 1980 con la fundación del SERC (Science and Engineering Research Council) se fue refinando; el sistema fue organizado y documentado.

En 1987 el ESRU (Energy Simulation Research Unit) fue formado para dirigir los problemas relacionados con la evolución de la simulación sobre energía y medio ambiente en edificios.

En las últimas dos décadas el desarrollo del ESP-r a tenido valiosas contribuciones por muchas personas, pero las más importantes han sido de los centros de investigación de la Universidad de Strathclyde la que ha contribuido mucho en lo relacionado con las técnicas y métodos computacionales.

Para el manejo del ESP-r se asume que el usuario esta familiarizado con comando elementales de Unix/Linux. El ESP-r es un software libre es realizado bajo el proyecto GNU (General Public Licence).

El ESP-r es un sistema de simulación de energía transitorio el cual es capaz de modelar la energía y el flujo de fluidos dentro de sistemas combinados del edificio y de su planta. El paquete abarca un número de módulos relacionados con el programa que se dirigen a la administración de proyectos, simulación, recuperación y exhibición de los resultados, administración de la base de datos y escritura de informe.

El administrador del proyecto, permite la definición interactiva de una cierta configuración del edificio y de la planta que deba ser sujeta a cierta influencia del tiempo y en un cierto plazo simulada. La descripción completa de la configuración del edificio y de la planta se llama el modelo del producto.

Con el objeto de evaluar la bondad de los diferentes programas de simulación energética de edificios, es necesario no solo el contraponer los resultados obtenidos a través de mediciones experimentales contra los resultados de los programas de simulación. Es también necesario conocer las diferentes fuentes de error, su propagación y magnitud.

Asociados con la representación de un objeto real un edificio, por ejemplo; a través de un sistema de ecuaciones “el modelo físico” y los métodos matemáticos aplicados para su solución “el modelo numérico” que nos permita describir un determinado aspecto de su comportamiento “el comportamiento energético”, en

nuestro caso existen irremediablemente errores. Incluso a nivel teórico, es imposible asignarle a un grupo de variables interdependientes valores exactos.

La determinación de la incertidumbre en los resultados finales es un aspecto tan importante como la evaluación misma de la bondad de los modelos físicos, matemáticos y numéricos.

De entre la amplia variedad de programas disponibles para la simulación energética de edificios (TRNSYS, SUN, ..., etc.) nos ocuparemos aquí con el programa ESP-r. Ya que es el que contempla elementos relacionados con la definición del año climático tipo de referencia TRY y en nuestro caso justificación para la determinación del año climático tipo alternativo.

Como resultado del continuo desarrollo del sistema de simulación de edificios ESP-r es posible integrar de manera rigurosa cada día más procesos físicos relevantes a los procesos térmicos que lo caracterizaran en sus comienzos.

ESP-r permite la utilización de diferentes mecanismos de solución a cada una de las regiones del modelo (térmico, flujo de energía eléctrica, flujo de aire inter-zonal, flujo de aire intra-zonal, etc.).

Las relaciones de interdependencia entre diferentes zonas son manejadas con base a cada paso en tiempo (Δt) durante la simulación. Este aspecto del ESP-r se encuentra en investigación intensiva debido al papel crucial que juega en aspectos tales como exactitud de resultados, estabilidad numérica, etc. la figura a.1 muestra el mecanismo actual de la transferencia de información entre los diferentes resolvedores particionados en función del tiempo.

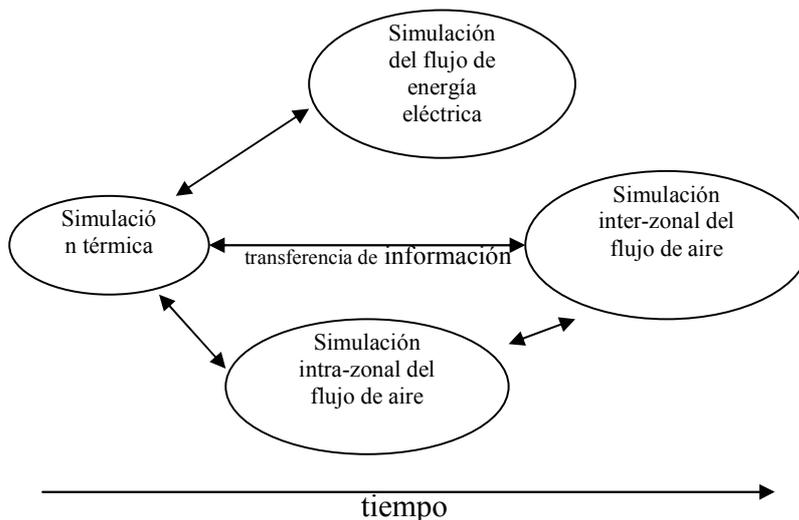


Figura a.1: transferencia de información entre resolvedores particionados

Modelo Térmico

El modelo térmico de ESP-r se basa en:

a).- una representación discreta de las ecuaciones diferenciales del modelo físico en forma de diferencias finitas. La solución simultánea del sistema de ecuaciones se ejecuta para determinar el estado térmico en cada nodo y los flujos de energía entre ellos en un momento dado.

b).- volúmenes de control que representan unidades discretas del edificio a simular y que representan espacios reales como volúmenes de aire (recámaras, salas, etc.), componentes de construcción opacos y transparentes (paredes, ventanas, pisos, etc.), componentes de planta (calentadores, ventiladores, etc.), etc.

Nodos son colocados en puntos estratégicos de los componentes a simular para representar construcciones de capas múltiples en los diferentes componentes de construcción.

c).- un balance de calor que incluye los todos flujos relevantes de energía. Las ecuaciones algebraicas discretas correspondientes aplicadas a cada uno de los nodos del edificio establecen la interacción térmica entre los diferentes componentes en espacio y en tiempo.

La figura a.2 muestra la distribución nodal típica de dos unidades adjuntas y las interrelaciones del flujo de energía.

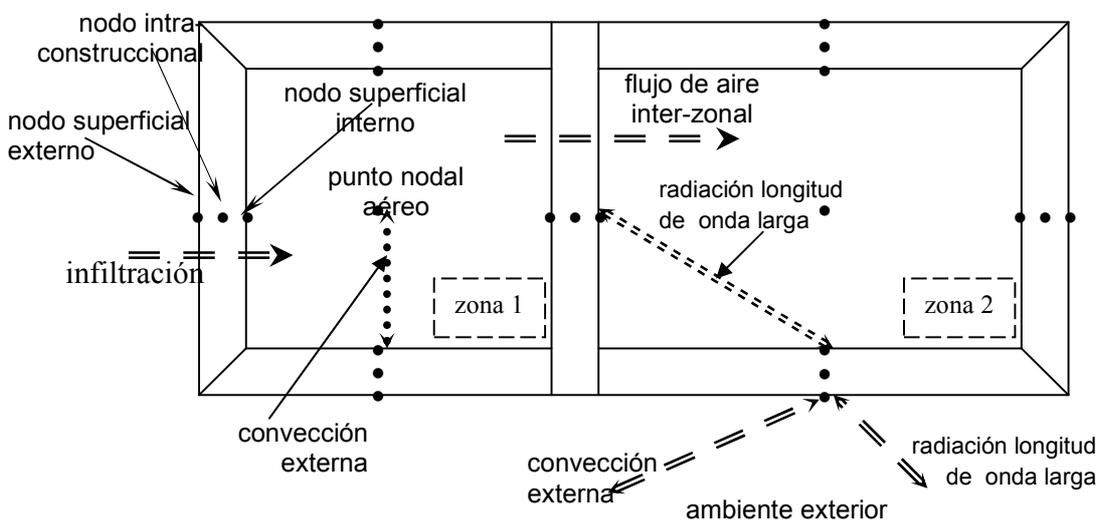


Figura a.2 Discretización en diferencias finitas y flujo de calor inter-nodal

Una sección transversal típica para una pared la ilustra la figura a.3 Nótese que cada capa de material puede representarse por el número deseado de nodos (valor por defecto: 3).

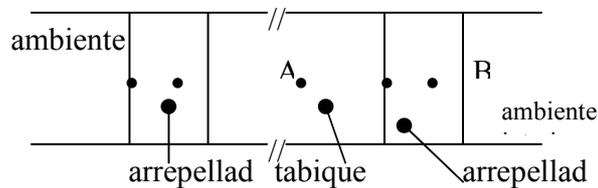


Figura a.3 Discretización nodal de un componente opaco construccional

Balance de energía

El balance de energía (calor) debemos realizarlo para los siguientes nodos:

- i).- intra-construccionales localizados en una capa de material homogéneo (nodo A de la figura a.3). El diagrama detallado correspondiente se muestra en la figura a.4
- ii).- superficiales internos (nodo B de la figura a.3). El balance de energía es similar al anterior, solo que incluye dos modos adicionales de transferencia de calor. El diagrama detallado correspondiente se muestra en la figura a.5
- iii).- puntos de aire (nodo I de la figura a.6). Describe los procesos de conducción de calor por convección de zonas adyacentes y del exterior, convección superficial de los componentes construccionales contiguos y fuentes convectivas de calor.

i).- Nodos intra-construccionales

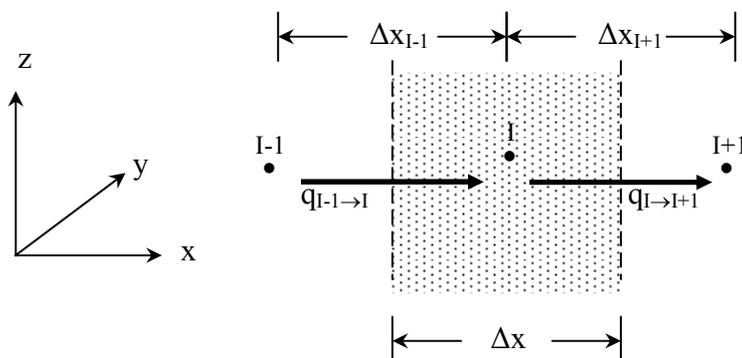


Figura a.4 Capa homogénea de una construcción de capas múltiples con nodo para el balance de calor

El balance de energía térmica para el $I^{\text{ésimo}}$ volumen de control (VC) queda definido por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{almacenamiento} \\ \text{de calor en el VC} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{conducción al} \\ \text{VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{fuente de calor} \\ \text{dentro del VC} \end{array} \right\} \quad (\text{a.1})$$

ii).- Nodos superficiales internos

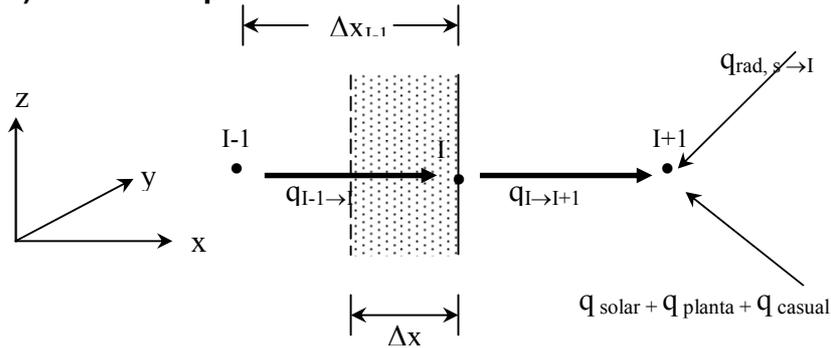


Figura 2.5 Balance de calor sobre un nodo de la superficie interna

El balance de energía térmica para el $I^{\text{ésimo}}$ volumen de control (VC) queda definido por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Almacenamiento} \\ \text{de calor en VC} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{conducción al} \\ \text{VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{fuentes de calor} \\ \text{dentro del VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por radiación de} \\ \text{longitud de onda larga al VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{convección al VC} \end{array} \right\} \quad (\text{a.2})$$

iii).- Nodos sobre puntos de aire

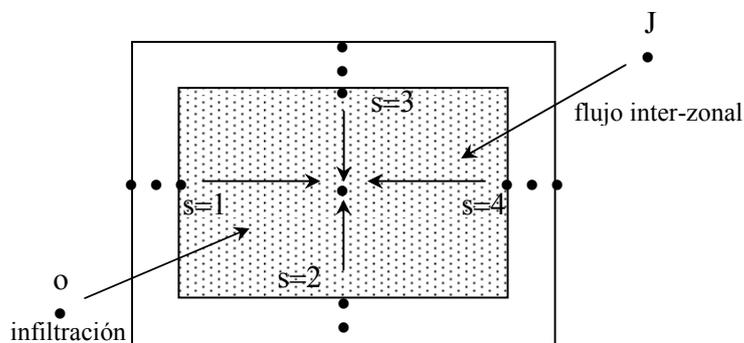


Figura a.6 Balance de calor sobre un nodo de la superficie interna

El balance de energía térmica para el $l^{\text{ésimo}}$ volumen de control (VC) queda definido por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Almacenamiento} \\ \text{de calor en VC} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{convección al VC} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por advección} \\ \text{al VC (intra-zonal)} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por advección al VC} \\ \text{(infiltración)} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{fuentes de calor} \\ \text{dentro del VC} \end{array} \right\} \quad (\text{a.3})$$

Matemáticamente, los términos individuales en los balances de energía anteriores representados por las ecuaciones (a.1.1), (a.1.2) y (a.1.3) pueden respectivamente expresarse como:

Para la ecuación (a.1.1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{almacenamiento de} \\ \text{calor en el VC} \end{array} \right\} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \dots \dots \dots (\text{a.4})$$

donde ρ es la densidad $\{\text{kg/m}^3\}$ del material; c_p es el calor específico $\{\text{J/kg}\cdot\text{K}\}$; T es la temperatura $\{\text{C ó K}\}$; t es el tiempo $\{\text{s}\}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{conducción al VC} \end{array} \right\} = \frac{\partial q_x''}{\partial x} \dots \dots \dots (\text{a.5})$$

donde q_x'' es el flujo de calor conductivo en la dirección x $\{\text{W/m}^2\}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{fuente de calor dentro} \\ \text{del VC} \end{array} \right\} = q_{planta}''' \dots \dots \dots (\text{a.6})$$

donde q_{planta}''' es calor inyectado por el componente de planta empotrado $\{\text{W/m}^3\}$.

Para la ecuación (a.1.2) y la figura (a.1.4):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por conducción} \\ \text{al VC} \end{array} \right\} = k_{l-1} \frac{\Delta y \Delta z}{\Delta x_{l-1}} (T_{l-1}^t - T_l^t) \dots \dots (\text{a.7}) \quad (\text{a.2.7})$$

donde $k_{I=1}$ es la conductividad térmica $\{W/m \cdot K\}$ del material entre los nodos (I) e (I-1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{fuentes de calor} \\ \text{dentro del VC} \end{array} \right\} = q_{solar,I}^t + q_{cas rad,I}^t + q_{planta,I}^t \quad (\text{a.8})$$

donde $q_{solar,I}^t$ es la radiación absorbida; $q_{cas rad,I}^t$ es la energía radiante absorbida de fuentes casuales y $q_{planta,I}^t$ es la energía radiante de planta; todas estas para el nodo I.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por radiación de} \\ \text{longitud de onda larga al VC} \end{array} \right\} = \sum_{S=1}^N h_{r,S \rightarrow I}^t \Delta y \Delta z (T_S^t - T_I^t) \quad (\text{a.9})$$

donde N es el número de superficies adyacentes en contacto radiante; $h_{r,S \rightarrow I}^t$ es el coeficiente linearizado de transferencia de calor por radiación $\{W/m^2 K\}$;

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{convección al VC} \end{array} \right\} = h_{c,I}^t \Delta y \Delta z (T_{I+1}^t - T_I^t) \quad (\text{a.10})$$

donde $h_{c,I}^t$ es el coeficiente de transferencia de calor por convección $\{W/m^2 K\}$ entre la superficie con el nodo I y el punto nodal de aire.

Para la ecuación (a.2.3) y la Figura (a.2.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por} \\ \text{convección al VC} \end{array} \right\} = \sum_{S=1}^N h_{c,S}^t A_S (T_S^t - T_I^t) \quad (\text{a.11})$$

donde N es el número de superficies adyacentes en contacto térmico; $h_{c,S}^t$ es coeficiente de transferencia de calor por convección para la superficie S y A_S es el área de la superficie en cuestión.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por advección} \\ \text{al VC por aire intra-zonal} \end{array} \right\} = \sum_{J=1}^M \dot{m}_{J \rightarrow I}^t c_p (T_J^t - T_I^t) \dots \dots \dots (\text{a.12})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{calor neto por advección} \\ \text{al VC (intra-zonal)} \end{array} \right\} = \sum_{J=1}^M \dot{m}_{O \rightarrow I}^t c_p (T_O^t - T_I^t) \dots \dots \dots (\text{a.13})$$

donde $\dot{m}_{J \rightarrow I}$ y $\dot{m}_{o \rightarrow I}$ son los flujos de aire de la zona (J) a la (I) y del exterior a la zona I, respectivamente {kg/s};

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{fuentes de calor} \\ \text{dentro del VC} \end{array} \right\} = q_{cas\ conv, I}^t + q_{plant, I}^t \dots\dots\dots \quad (\text{a.14})$$

Linearización y discretización del sistema de ecuaciones diferenciales

Las ecuaciones anteriores deben ser ahora linearizadas, discretizadas de tal manera que podamos expresarlas como un sistema lineal de ecuaciones algebraicas en términos de las variables independientes.

Al hacer esto, introducimos errores intrínsecos debidos a la representación finita de las ecuaciones diferenciales. Adicionalmente, debemos considerar aspectos de estabilidad numérica para los algoritmos aplicados.

Respecto al error introducido por la discretización de las ecuaciones diferenciales podemos hacer muy poco si deseamos resolverlas numéricamente. Podemos hacer sin embargo, una evaluación de la magnitud del error introducido mediante la resolución de un sistema de ecuaciones cuya solución exacta nos sea conocida

El relación a la estabilidad numérica, ESP-r utiliza el esquema de Crank-Nicolson donde el usuario puede determinar el resolver el sistema de ecuaciones entre completamente implícito hasta completamente explícito. El ejemplo siguiente muestra el método para el esquema 50% implícito (50% explícito):

Sustituyendo las ecuaciones (a.1.4) – (a.1.6) en la ecuación (a.1.1) obtenemos:

$$(\rho c_p) \frac{\partial T}{\partial t} dV \equiv - dV \frac{\partial q_x'''}{\partial x} + dV q_{planta}''' \dots\dots\dots \quad (\text{a.15})$$

Si integramos esta ecuación para el VC, obtenemos:

$$(\rho c_p) \int_{\Delta V} \frac{\partial T}{\partial t} dV \equiv - \int_{\Delta V} dV \frac{\partial q_x''}{\partial x} + \int_{dV} dV q_{planta}'' \dots\dots\dots \quad (\text{a.16})$$

Discretizando:

$$(\rho c_p \Delta x \Delta y \Delta z) \frac{T_I^{t+\Delta t} - T_I^t}{\Delta t} \equiv q_{I-1 \rightarrow I}^t - q_{I \rightarrow I+1}^t + q_{planta} \dots \dots \dots \quad (\text{a.17})$$

Aproximando $q_{I-1 \rightarrow I}^t$ y $q_{I \rightarrow I+1}^t$ explícitamente (tiempo actual), tenemos:

$$(\rho c_p \Delta x \Delta y \Delta z) \frac{T_I^{t+\Delta t} - T_I^t}{\Delta t} \equiv k_{I-1} \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta x_{I-1}} (T_{I-1}^t - T_I^t) - k_{I+1} \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta x_{I+1}} (T_I^t - T_{I+1}^t) + q_{planta}^t \quad (\text{a.18})$$

Si para los flujos de calor por conductividad y las fuentes de planta expresamos esta ecuación en forma implícita, obtenemos:

$$(\rho c_p \Delta x \Delta y \Delta z) \frac{T_I^{t+\Delta t} - T_I^t}{\Delta t} \equiv k_{I-1} \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta x_{I-1}} (T_{I-1}^{t+\Delta t} - T_I^{t+\Delta t}) - k_{I+1} \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta x_{I+1}} (T_I^{t+\Delta t} - T_{I+1}^{t+\Delta t}) + q_{planta}^{t+\Delta t} \quad (\text{a.19})$$

Adicionando ecuaciones (a.2.18) y (a.2.19) y factorizando las diferentes $T^{t+\Delta t}$, obtenemos

$$\left[2 \frac{(\rho c_p)_I}{\Delta t} + \frac{k_{I-1}}{\Delta x \Delta x_{I-1}} + \frac{k_{I+1}}{\Delta x \Delta x_{I+1}} \right] T_I^{t+\Delta t} - \left[\frac{k_{I-1}}{\Delta x \Delta x_{I-1}} \right] T_{I-1}^{t+\Delta t} - \left[\frac{k_{I+1}}{\Delta x \Delta x_{I+1}} \right] T_{I+1}^{t+\Delta t} - \frac{q_{planta, I}^{t+\Delta t}}{\Delta x \Delta y \Delta z} \equiv \left[2 \frac{(\rho c_p)_I}{\Delta t} - \frac{k_{I-1}}{\Delta x \Delta x_{I-1}} - \frac{k_{I+1}}{\Delta x \Delta x_{I+1}} \right] T_I^t + \left[\frac{k_{I-1}}{\Delta x \Delta x_{I-1}} \right] T_{I-1}^t + \left[\frac{k_{I+1}}{\Delta x \Delta x_{I+1}} \right] T_{I+1}^t + \frac{q_{planta, I}^t}{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (\text{a.20})$$

Ésta – y el resto de las ecuaciones obtenidas de los balances de energía, ecuaciones (a.1.2) y (a.1.3) – pueden reducirse a una estructura similar repitiendo el procedimiento anterior; haciéndolo y colectando términos, obtenemos una ecuación de la forma

$$\alpha_I T_I^{t+\Delta t} + \sum_{J=1}^N \alpha_J T_J^{t+\Delta t} + \beta_{I,I} q_{planta, I}^{t+\Delta t} + \sum_{S=\{solar, casual, \dots\}} \gamma_{I,S} q_{S,I}^{t+\Delta t} + \sum_{a=\{suelo, \dots\}} \omega_{I,a} T_a^{t+\Delta t} = \chi_I T_I^t + \sum_{J=1}^N \chi_J T_J^t + \psi_{I,I} q_{planta, I}^t + \sum_{S=\{solar, casual, \dots\}} \xi_{I,S} q_{S,I}^t + \sum_{S=\{suelo, \dots\}} \zeta_{I,a} q_{S,a}^t \quad (\text{a.21})$$

donde α , χ son los coeficientes de autoacoplamiento (contiene las propiedades termofísicas, coeficientes de radiación y convección y los flujos de aire interzonales, dependiendo de la localización del nodo bajo consideración); β , ψ contienen los coeficientes de planta; γ , ζ contienen los coeficientes de ganancias solar y casual.

Ecuación (a.1.21) puede representarse en forma matricial en la forma:

$$(\text{a.22})$$

$$\mathbf{A} \Theta^{t+\Delta t} = \mathbf{Z}$$

representando: \mathbf{A} una matriz de dimensiones $n \times 2n$ (escasamente poblada) que contiene todas las incógnitas ($T_{I,I-1,I+1}^{t+\Delta t}$) y \mathbf{Z} un vector de dimensión n que contiene todas las contribuciones conocidas (tiempo actual t). n es el número de nodos del modelo en nuestro esquema de diferencias finitas.

Particionamiento.

Con el objeto de simplificar la matriz resultante de objetos reales – normalmente con varias unidades interconectadas - ESP-r particiona el set de n ecuaciones lineales de n incógnitas y emplea el método de eliminación de Gauss para resolverlo.

Objetos de interés, poseen normalmente varias unidades interconectadas y físicamente interdependientes. Para simplificar la matriz resultante y con ello reducir memoria requerida, tiempo computacional, etc.; ESP-r está diseñado para permitir el particionamiento en zonas del objeto bajo estudio. La interdependencia que existe entre ellas es manejada mediante la actualización de información cada paso en tiempo, permitiendo así el avance quasi-real del sistema.

Una casa representada por una cocina, un comedor, una sala y un estacionamiento tal como se presenta en el esquema de la figura a.7 es “naturalmente” particionada en las zonas mencionadas.

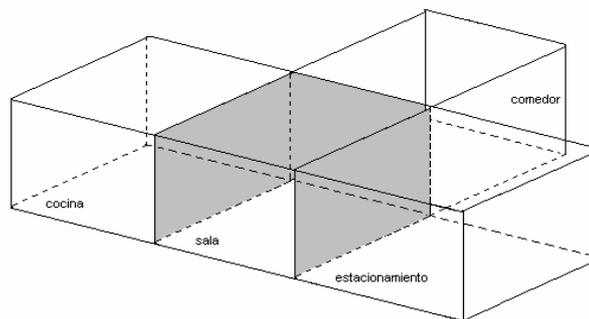


Figura a.7 representación de una casa de 4 zonas.

$$\begin{matrix} T_a \\ T_{\text{planta}} \end{matrix} \quad \begin{matrix} Z_{19} \end{matrix}$$

Tabla a.2

Para la resolución de esta matriz, ESP-r extrae sub-particiones del balance de calor para nodos exteriores e intra-construccionales, El resto de las ecuaciones – nodos interiores y puntos de aire – son agrupados en otra matriz. Integrado en tiempo a este proceso está la resolución de las ecuaciones de dinámica de fluidos. La solución final es aquella que cumple con las restricciones de convergencia (error máximo tolerable) prescritas a la misma.

Modelos para la Dinámica de Fluidos.

Ecuaciones de Conservación de Masa, Momento y Energía.

La ecuación (a.22) representando la solución del sistema de ecuaciones generadas por el balance de energía contiene términos como $\dot{m}_{J \rightarrow I}$ y $\dot{m}_{O \rightarrow I}$. Estos a su vez están acoplados a parámetros de flujo y energía (velocidad, viscosidad, temperatura, etc.) y la evaluación de éstos requiere de un balance de masa, momento y energía del sistema en consideración, lo que conlleva la necesidad de resolver las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía para nuestro objeto de estudio.

La Dinámica de Fluidos Computacional nos brinda una miríada de métodos para resolver éstas ecuaciones. ESP-r tiene implementada una serie de controles que permiten elegir los métodos y/o adaptarse automáticamente a los diferentes regímenes de flujo dominantes.

Las ecuaciones básicas de partida son:

Conservación de masa:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.23)$$

donde ρ es la densidad $\{\text{kg/m}^3\}$, u , v y w son las componentes de la velocidad a lo largo de los ejes cartesianos x , y y z , respectivamente.

Conservación de momento:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vu) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wu) = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x} \right) \right] \text{ en la } \quad (\text{a.24})$$

dirección x;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wv) = \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial y} \right) \right] \text{ en la } \quad (\text{a.25})$$

dirección y y

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho z) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uz) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vz) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wz) \\ = \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial z} \right) \right] - \rho g \beta (T_\infty - T) \end{aligned} \quad (\text{a.26})$$

en la dirección z;

donde μ es la viscosidad {Pa·s}, β el coeficiente de expansión térmica del aire, {°K⁻¹}, P es la presión {Pa} y T es la temperatura {°C ó °K}.

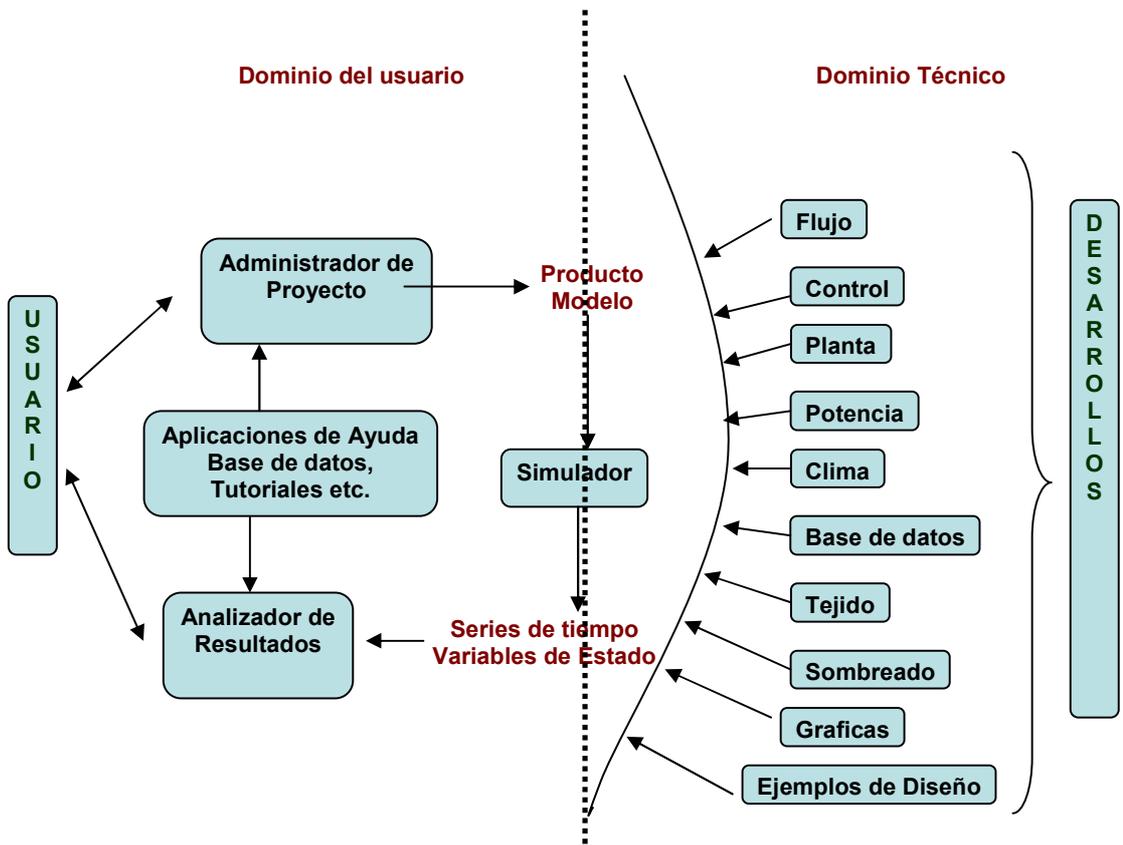
Conservación de energía:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho c_p u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho c_p v T) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho c_p w T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + q''' \quad (\text{a.27})$$

donde c_p es la capacidad calorífica del aire {J/kg·K} y k es la conductividad del aire {W/m·K}.

En las ecuaciones anteriores se emplea la notación común de tensores donde el índice j aparece, por ejemplo, en el término $\frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right)$.

Las ecuaciones (a.24) - (a.28) caracterizan el movimiento transiente del flujo de aire hacia y desde el volumen de control. Estas ecuaciones son resueltas para nuestra variable independiente T. Las cinco variables (T, P, u, v y w) en las cinco ecuaciones constituyen un sistema cerrado factible de resolver una vez discretizado en tiempo y espacio.



Estructura del ESP-r

Fig.a.9

B. Confort térmico.

El concepto de confort Térmico, es definido por las siguientes variables: temperatura del aire, temperatura radiante, radiación solar, ropa, actividad física, velocidad local del aire, corrientes de aire y humedad.¹

Otros autores al analizar espacios climáticamente controlados definen las siguientes: temperatura y velocidad del aire, humedad y temperatura radiante media. Los que condicionan el confort térmico de la mayoría de los ocupantes del espacio, necesitando implementar los efectos del movimiento del aire local de la superficie alrededor de los ocupantes.²

Como puede notarse la temperatura del aire por si sola no es un parámetro suficiente para determinar las condiciones del medio ambiente térmico.

Una definición más precisa la presenta Robert Öman, del ISO 7730 de 1984, como sigue:

“ El confort térmico es definido como las condiciones en las que la mente expresa satisfacción con el medio ambiente térmico.”

Puede complicarse ya que las personas tienen diferentes inclinaciones por estos factores, sin embargo las experiencias de una persona con el confort térmico depende de de uno a otro factor, sus deseos individuales y los siguientes 6 factores: Temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad, nivel de actividad y resistencia térmica de la ropa.³

El clima térmico es determinado por los primeros cuatro parámetros, mientras que el confort térmico solo depende de los dos últimos; la actividad y la ropa.

Clima térmico es por lo tanto parte del concepto más amplio de confort térmico, puesto que las condiciones de temperatura son solo parte del clima térmico.

¹ Wall María, *Climate and Energy Use in Glazed Spaces*, p. 351.

² Todde Valentino, *Climate and Buildings. Sensitivity to Draught in Turbulent Air Flows*. p. 3.

³ Öman Robert, *Glass-covering of Large Bulidings Volumes. An Interdiscilimary evaluation of a Shopping Center*, p. 41

Por lo tanto el clima térmico puede ser descrito por cuatro cantidades, fuera de las cuales solo la humedad normalmente tiene la mayor importancia. La velocidad del aire es significativa sobre el 0.1 m/s. La temperatura radiante media tiene mayor importancia en las temperaturas de alrededor de las superficies afectando la radiación de calor del cuerpo humano. Si la radiación solar alcanza al cuerpo humano este factor no ha sido considerado en los seis anteriores.

Un espacio grande cubierto por vidrio esta caracterizado aproximadamente por lo siguiente:

Grandes superficies frías de vidrio en invierno, posiblemente resulte una baja temperatura radiante media y un esbozo frío por abajo.

La velocidad del aire es difícil de predecir, especialmente en las proximidades de las entradas.

Ocasionalmente radiación solar intensa.⁴

Esto demuestra que no hay razones fuertes para no usar la temperatura del aire sola como una medida del clima térmico. Con algunas cantidades es posible cuantificar la combinación de influencias de algunos de todos los parámetros anteriores.

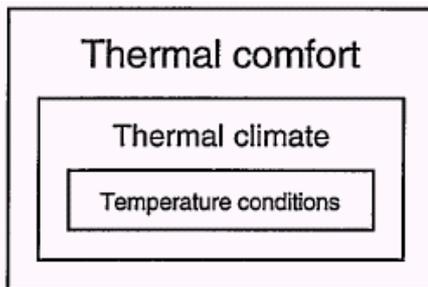


Figure 4.1. Thermal comfort is determined by the thermal climate as well as by activity, clothing and individual wishes. The thermal climate in turn is determined by temperature conditions (air and surface temperatures), air velocity and humidity.

Temperatura operativa: t_0 (°C) es una combinación de valores de la temperatura del aire y la temperatura radiante media. En velocidades lentas del aire (<0.1 m/s) los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación del cuerpo humano son aproximadamente igual a (4 W/m^2) Porque la temperatura operativa puede ser a menudo estimada como el promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media.

Temperatura radiante media: \bar{t}_r (°C) es principalmente importante el promedio de la temperatura circundante de las superficies.

⁴ Ibid pag. 42

La temperatura radiante media es definida como la temperatura de superficie uniforme en un cuarto imaginario con superficies negras (emisividad = 1), el cual dará lugar al mismo intercambio de calor por radiación de una persona en un medio ambiente actual no uniforme.

La temperatura radiante media así como las temperaturas operativas y equivalentes son de este modo definidas con relación a una persona, porque la estructura de la persona, postura y posición son de importancia.

Temperatura equivalente t_{eq} (°C), Es más o menos la temperatura que una persona detecta; un valor combinado de la temperatura del aire, temperatura radiante media y velocidad del aire. La temperatura equivalente es definida como la temperatura uniforme del aire y superficie de un cuarto imaginario con velocidad del aire igual a cero y superficies negras (emisividad = 1), en el cual una persona intercambiará la misma pérdida de calor seco por radiación y convección como en el medio ambiente actual (con movimientos de aire y temperaturas no uniformes).

El efecto de enfriamiento de la velocidad del aire, es así cuantificado como una temperatura inferior. La ropa es también tomada en cuenta, pues la influencia de la velocidad del aire aumenta cuando la ropa que disminuye.

La temperatura equivalente puede ser estimada con la siguiente ecuación de Madsen (1978):

$$t_{eq} = 0.55t_a + 0.45\bar{t}_r + \left(\frac{0.24 - 0.75\sqrt{v_a}}{1 + I_{cl}} \right) (36.5 - t_a) \dots\dots\dots (C-1)$$

donde el último término es solo incluido cuando $v_a > 0.1$ m/s.

t_a = Temperatura del aire (°C)

\bar{t}_r = Temperatura radiante media (°C)

v_a = Velocidad del aire relacionada al cuerpo humano (m/s)

I_{cl} = Resistencia térmica de la ropa (clo)

Los dos primeros términos de la ecuación resultan principalmente de la temperatura operativa, mientras que el tercer término se cuantifica del efecto de enfriamiento del movimiento del aire. Hay otras ecuaciones disponibles para la estimación de la temperatura equivalente.

Temperatura de confort: t_{conf} = (°C) es un cálculo óptimo (ideal) de temperatura equivalente, cuando la ropa, actividad y humedad son dados. La temperatura de confort así puede ser vista como un valor deseado tal cual que muchas personas son posiblemente satisfechas con el clima térmico.

PMV: voto promedio de predicción es un índice que predice el valor medio de los votos de un grupo grande de personas en la escala de siete puntos siguiente:

+3 caliente
+2 calido
+1 ligeramente calido
0 neutral
-1 ligeramente fresco
-2 fresco
-3 frío⁵

El concepto fue introducido por Fanger (1970) donde proporciona una ecuación compleja para el cálculo de PMV.

PPD (%) Porcentaje de predicción de insatisfacción: Es un índice que predice el porcentaje de un amplio grupo de personas que están térmicamente insatisfechas (inconfortable) ejemplo elegido caliente (+3) calido (+2) o fresco (-2) o frío (-3) en una escala de 7.

Este concepto también fue propuesto por Fanger (1970) donde PPD = 5% fue definido como mínimo en PMV = 0, por ejemplo en un clima térmico opcional. PPD es fácilmente determinado de PMV con un diagrama o una ecuación, ver Fanger (1970) y ISO 7730.

Una recomendación general sobre los requerimientos de confort térmico es:

$-0.5 < PMV < + 0.5$ correspondiendo a $PPD < 10\%$.

Resistencia térmica de la Ropa: I_{cl} = Es dado en la unidad clo donde 1 clo = es la resistencia térmica $0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$ correspondiente a una típica oficina de negocios. Una persona desnuda tiene 0 clo, y con una bolsa de dormir pueden obtenerse 6 clo. I_{cl} = puede ser fácilmente estimado de tablas por ejemplo ISO 7730.

Nivel de actividad del hombre, Metabolismo M: esta dado en las unidades met, donde $1.0 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$ de la superficie del cuerpo, es igual a el metabolismo para una persona sentada o descansando. El área de la superficie de una personas promedio es de aproximadamente 1.8 m^2 . La actividad más baja es durmiendo, 0.8 met , y la más alta es de 4 met , correspondiendo por ejemplo a un trabajo con una máquina pesada o caminando rápido (6.7 Km/h), M puede ser fácilmente estimado fácilmente de de las tablas ejemplo de ISO 7730.

Sí se evapora la humedad más baja aumenta la difusión, indicando que más agua refresca el cuerpo humano; uno experimenta el clima como algo más fresco.

⁵ Ibid pag 44

Humedades más bajas corresponden por lo tanto a algunas temperaturas de confort más altas.

Fuera de los cuatro parámetros que determinan el clima térmico de interior, la humedad tiene a menudo la menos importancia. En una humedad más alta uno experimenta el clima como algo más caliente, puesto que la difusión del vapor de agua a través de la piel disminuye. Una humedad más baja aumenta la difusión, indicando que más agua está evaporada, que refresca el cuerpo humano; uno experimenta el clima como algo más fresco. Una humedad más baja por lo tanto corresponde a una temperatura algo más alta de la comodidad, que compensa la pérdida de calor creciente por la evaporación con disminución, que compensa la evaporación creciente de la pérdida de calor con pérdida de calor disminuida la convección y radiación.

En la convección en cubiertas de cristal las temperaturas superficiales tienen un interés especial, debido a superficies vidriadas grandes con las temperaturas superficiales bajan perceptiblemente en relación con la temperatura del aire en invierno. En general la temperatura del aire y la temperatura de la superficie circundante (cuantificada por la temperatura radiante media) tienen a menudo aproximadamente la misma importancia para el confort térmico, pues los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación son a menudo aproximadamente iguales (cerca de 4 W/m²). Esta igualdad significa que la temperatura del aire y la temperatura radiante media, en la mayoría de los casos se da aproximadamente el mismo valor cuando se calcula la temperatura operativa y equivalente. Hay en la práctica en la mayoría de los casos que la relación mayor corresponde siempre a las temperaturas superficiales que son más bajas. En muchos casos la diferencia entre temperatura del aire y la temperatura radiante media es muy pequeña, y medir solamente temperatura del aire así a menudo da un valor muy aproximado también a la temperatura radiante media.

Velocidad del aire: tiene importancia a la vez por enfriamiento convectivo del cuerpo humano en su totalidad, y por un posible enfriamiento convectivo local de la parte del cuerpo.

Table 4.1. Air velocity has a cooling effect on the human body. This effect is here quantified as the corresponding lowering of the equivalent temperature (constant air velocity, comparison with 0 m/s). The calculations have been made with Equation 4.1, provided the air temperature and clothing are 20 °C and 0.8 clo respectively. Similar values can also be obtained indirectly from tables in ISO 7730, compare with Table 6.4.

Air velocity, m/s	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	1.0
Cooling effect, °C	0	0.5	0.9	1.6	2.7	4.7

A velocidad constante del aire el efecto de enfriamiento se puede, por ejemplo, cuantificar con el tercer término en la ecuación (a) donde la temperatura equivalente se disminuye con velocidad creciente del aire. Como puede ser visto de la tabla 4.1, la influencia de una velocidad baja uniforme del aire es significativa. Si, por ejemplo, la temperatura del aire se baja a partir de 0. m/s a > 0,1 m/s durante la estación caliente, la temperatura del aire puede ser aproximadamente bajada a 1°C con confort térmico sin cambios, así con un ahorro de energía del orden de 5% puede ser alcanzado.

La influencia de la velocidad del aire que fluctúa es muy complicada, considera Fanger et. al. (1988) y a Melikov (1988). Para cuantificar la fluctuación de la velocidad del aire, la intensidad de la turbulencia de la cuantificación se utiliza, definida como la desviación de estándar de la velocidad del aire se dividió por su valor medio. Se ha demostrado que la influencia de los aumentos de la intensidad de la turbulencia significa rápidamente velocidad del aire. También la dirección de la velocidad del aire en lo referente al cuerpo humano tiene importancia, considera Mayer et. al. (1988). Para resumir, la influencia del aire, su fluctuación y también su dirección tienen importancia.

La importancia de la ropa y de la actividad se puede cuantificar con la temperatura de confort, por ejemplo calculado con una medida del confort térmico. Los ejemplos de temperaturas de confort apropiado para un centro comercial se demuestran más adelante en la tabla 4,2. Las temperaturas del aire (ideales) óptimas correspondientes pueden ser más altas o bajar más que las temperaturas de la confort, pero están en la mayoría de los casos son algo más altas para compensar el efecto de enfriamiento de la velocidad del aire y de las superficies frías que lo rodean.

Como se puede considerar de la tabla 4,2 la influencia de la ropa y la actividad son significativas. Mientras que diversas actividades están ocurriendo en el mismo tiempo, y la gente usa diferente ropa, es difícil de decir que hay solamente una temperatura de la confort para una ocasión.⁶

⁶ Ibid pag 46

Table 4.2. Comfort temperatures with different clothing and activity. The values varies somewhat with the humidity, and these values are valid at the vapor pressure 1.2 kPa, corresponding to 50 % humidity at 20 °C air temperature.

C l o t h i n g	A c t i v i t y	
	1.0 met seated, relaxed	1.6 met shopping
0.5 clo light summer clothing	26.7 °C	23.3 °C
1.0 clo indoor winter clothing	23.8 °C	19.4 °C
1.5 clo "heavy trad. European business suit"	20.9 °C	15.5 °C
2.0 clo example of outdoor winter clothing	18.0 °C	11.6 °C

En la mayoría de los autores relacionados con el confort Térmico es de destacar la definición de los mismos conceptos y constantes basados generalmente en la ISO 7730.

Las siguientes son otros conceptos y definiciones de estos autores

(PMV) Predicted Mean Vote y el (PPD) Predicted Percentage of Dissatisfied (ISO 7730 International Standard).

Temperatura operativa

Es la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante puede intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación más la convección como en el actual medio ambiente no uniforme.

La temperatura operativa es así una combinación de temperaturas de superficie y la temperatura del aire.

El índice PMV esta basado en el balance de calor del cuerpo humano. El hombre esta en equilibrio térmico cuando la producción de calor interno del cuerpo es igual al calor perdido al medio ambiente. El balance de calor consiste de parámetros relacionados con la ropa, la actividad (tasa Metabólica) temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire y presión parcial del aire. Ver ISO 7730 (1994)

El índice PMV predice el valor medio de los votos de un grupo grande de personas sobre una escala de 7 puntos para la sensación térmica. La escala se encuentra entre -3 y +3 donde -3 es definido como frío, +3 como caliente y 0 como neutral.

El índice PPD predice el porcentaje de personas que probablemente se sienta incomodo a lo caliente y lo frío. El resto del grupo puede sentirse térmicamente

neutral, levemente acalorado o levemente fresco. El cálculo del índice PPD esta basado en el índice PMV. En ISO 7730 se recomienda que el índice PPD sea más bajo que el 10 %. Esto es Equivalente a un ± 0.5 del índice PMV.⁷

Para estimar la velocidad local del aire la cual es necesaria para los cálculos de confort, es calculada en los términos desarrollados por Heiselberg(1994).

Heiselberg examina las condiciones de flujo en un cuarto con una pared de superficie fría, por ejemplo una pared de vidrio, como pruebas de laboratorio.

Los resultados de estas medidas fueron descritos en las siguientes expresiones las cuales muestran la relación entre la máxima velocidad del aire y la altura del muro, la distancia del muro y la diferencia de temperatura entre la superficie del muro y el aire del cuarto. Para una distancia tan larga como 2 m del muro, la siguiente expresión es dada por Heiselberg:

$$v_{\max} = 0.028 * \sqrt{d * \Delta t} \dots\dots\dots (c.2)$$

donde:

v_{\max} = Velocidad máxima del aire (m/s)

d = distancia de la pared (m)

Δt = Diferencia de temperatura entre la superficie del muro y el aire (°C)

Cuando una corriente baja fría puede ocurrir, la velocidad máxima del aire es calculada de acuerdo con la ecuación 1. Esta Velocidad es usada luego como la velocidad del aire en el local para calcular el “confort térmico”.

Las corrientes de aire son factores los cuales pueden influir en el confort termico. En ISO 7730, las corrientes de aire son descritas como un enfriamiento local no deseado por el cuerpo, debidas al movimiento del aire. En esta norma, la siguiente ecuación es dada para calcular el valor de la corriente:

$$DR = (34 - T_{local}) * (v - 0.05)^{0.62} * (0.37 * v * TU + 3.14) \dots\dots(c.3)$$

donde:

DR = El valor de la corriente es decir el porcentaje de personas insatisfechas debido a la corriente (%)

T_{local} = Temperatura del aire del local(°C)

v = velocidad media del aire del local (m/s)

⁷ Wall maria, op. cit. pp 352-353

TU = La Intensidad de la turbulencia del local definida como el cociente de la desviación estándar de la velocidad del aire del local y la velocidad media del aire del local (%)

De acuerdo con Heiselberg (1994), la intensidad de la turbulencia a mas de 2 m de la pared de vidrio puede ser estimada como un 20 %.

La ISO 7730 modela el valor de la corriente de aire aplicada a personas ligeras principalmente en actividad sedentaria, con una sensación térmica hacia la neutral.

El modelo esta basado en estudios de personas expuestas a temperaturas del aire de 20 °C a 26 °C, velocidades medias del aire de 0.05 m/s a 0.4 m/s y intensidades de turbulencia de 0% a 10%.⁸

Las condiciones de confort térmico de una persona están definidas como “aquel estado mental en el cual es expresada satisfacción con el medio ambiente térmico” (Olesen, 1982, p17) El balance de calor del cuerpo es la condición necesaria para el confort térmico de una persona, pero las condiciones no son suficientes para establecer la condición térmica confortable. Hay solo un estrecho rango el cual proveerá el confort térmico bajo las condiciones de balance térmico. Una razón es que el confort térmico es relativo al sudor perdido por el cuerpo.

Los efectos sobre el cuerpo humano del confort térmico han sido extensamente estudiados, y ahora se establecerá que es influenciado por seis factores:

- Ropa
- Actividad metabólica
- Temperatura del aire alrededor del cuerpo
- Temperatura radiante media alrededor del cuerpo
- Movimiento del aire alrededor del cuerpo.
- Humedad ambiente.

Índices de Confort térmico.

Un índice térmico es para integrar los efectos anteriores, estos son más fáciles de usar en la práctica. Muchos de los índices de confort térmico e índices de Stress han sido desarrollados en un largo periodo de investigación y los siguientes índices térmicos son los más ampliamente usados:

- Temperatura efectiva (ET o ET*)
- Voto promedio de predicción (PMV)
- Temperatura efectiva Standard (SET)
- Índice de bulbo húmedo de termómetro de globo (WBGT)

⁸ ibid. pag. 354

- ANSI/ASHRAE 55-1992, Condiciones de medio ambiente térmico para ocupantes humanos.
- ISO Standard 7730, Medio ambientes térmicos moderados.⁹

Otros conceptos vinculados al confort térmico.

La constante de tiempo de confort.¹⁰

La constante del tiempo, τ es una medida matemática conveniente para describir las propiedades térmicas de los edificios. Sin embargo si un edificio es usado para lograr el confort de los inquilinos como una casa de una familia sencilla, consideración ha ser tomada para la temperatura máxima y mínima interior aceptada por los inquilinos. Un ajuste de la constante del tiempo por lo tanto útil esta dada por la figura

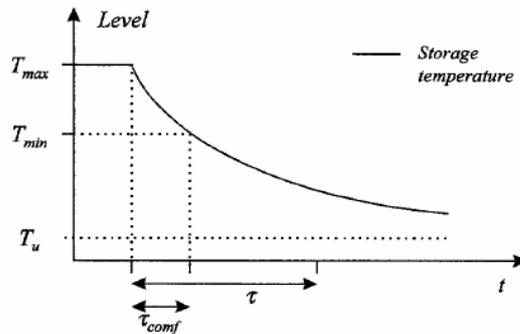


Figure 4.4. The "comfort" time constant, τ_{conf} , is the time to reach the minimum accepted temperature from the maximum accepted temperature.

De la figura se desprende lo siguiente:

$$T_{min} = (T_{max} - T_u) * e^{-\frac{\tau_{conf}}{\tau}} + T_u \dots\dots\dots (c.4)$$

donde

- $\tau =$ es la constante de tiempo (s)
- $T_{min} =$ es la temperatura mínima aceptada (°C)
- $T_{max} =$ es la temperatura máxima aceptada (°C)
- $T_u =$ es la temperatura neutra (°C)

⁹ Zhiwu Wang, *Controlling Indoor Climate. Passive Cooling of Residential Buildings in Hot-humid Climates in China*, pag. 51-52

¹⁰ Hedbrant Johan, *On the Thermal Inertia and Time Constant of Single-family Houses*, pag. 28

Por lo tanto la constante de tiempo de confort $\tau_{comf} =$ puede ser calculada como:

$$\tau_{comf} = -\tau * \ln\left(\frac{T_{min} - T_u}{T_{max} - T_u}\right) \dots\dots\dots(c.5)$$

C. Elementos de astronomía de posición aplicables a la física de edificios.

La Declinación solar, puede ser determinada por los siguientes modelos:

- $\text{Sen}(Dc) = 0.4 * \text{Sen}(0.986 * D - 80) \dots\dots\dots (D.1)$
- $\text{Sen}(Dc) = 0.4 * \text{Sen}[(0.986 * d - 80) + 2 * \text{Sen}(0.986 * D - 2)] \dots (D.2)$
- $Dc = 23.45 * \text{Sen}[360 * (284 + D / 365)] \dots\dots\dots (D.3)$
- $Dc = 23.5 * \text{Sen}(2 \text{PI} * d / 365) \dots\dots\dots (D.4)$
- $Dc = 0.4 * \text{Sen}[0.986(D - 82)] \dots\dots\dots (D.5)$
- $Dc = 0.302 - 22.43 * \text{Cos}W'D - 0.229 * \text{Cos}2W'D - 0.243 * \text{Cos}3W'D + 3.851 * \text{Sen}W'd + 0.002 * \text{Sen}2W'D - 0.055 * \text{Sen}3W'D \dots\dots\dots (D.6)$

- $D_c = (0.006918 - 0.399912 * \text{Cos}(T) + 0.070257 * \text{Sen}(T) - 0.006758 * \text{Cos}^2(T) + 0.000907 * \text{Sen}^2(T) - 0.002697 * \text{Cos}^3(T) + 0.00148 * \text{Sen}^3(T)) / (180/\text{PI})$ (D.7)

Donde:

- D = Número de día del año.
- d = Número de día a partir del equinoccio de primavera.
- W' = $2(\text{PI})/366$ expresado en radianes.
- T = $2\text{PI}(D - 1)/365$

En la literatura consultada para estos modelos se menciona que el (D.4) y el (D.5) son aproximados y solo son válidos cuando no se requiere una precisión superior al grado. El modelo (D.6) proporciona una precisión del orden de 12" de arco.¹¹

Para el modelo (D.3) la precisión es de 0.1 en promedio en los solsticios y por el contrario el error es apreciable de 0.8 a 1 grado en los equinoccios. El modelo (D.1) proporciona una precisión de 1' a 30' de arco.¹²

En una evaluación de los siete modelos con una muestra sistemática de mediciones reales en la ciudad de Guanajuato, para los meses de febrero, marzo, y abril estos presentan una precisión de 0.0 a 1 grado, marcándose pequeñas diferencias entre las mismas por ejemplo para el mes de febrero y marzo el 56% de los datos tiene una diferencia con los datos reales de 0.0 a 0.5 grados y el 86% entre 0.0 y 1 grado. Los modelos (D.4), (D.6) y (D.7) son los más aproximados para febrero y el (D.1), (D.2) y (D.3) para marzo; Para abril todos los modelos presentan una diferencia aproximada a 1 grado.

Al igual que la Declinación también fue posible determinar en base modelos matemáticos la Ecuación del tiempo los siguientes son varios ejemplos de los cuales puede obtenerse:

$$E.T. = 9.9 * \text{Sen}[2(0.986 * D + 100)] - 7.7 * \text{Sen}(0.986 * D - 2) \dots\dots\dots (D.8)$$

$$E.T. = 0.0002 - 0.4197 * \text{Cos}W'D + 3.2265 * \text{Cos}2W'D + 0.00903 * \text{Cos}3W'D + 7.3509 * \text{Sen}W'D + 9.3912 * \text{Sen}2W'D + 0.3361 * \text{Sen}3W'D$$

$$E.T. = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \text{sen } B - 0.014615 \cos^2 B - 0.04089 \text{sen } 2 B) \dots\dots\dots (D.9)$$

Donde:

- D = Número de día del año.
- W' = $2\text{PI}/360$
- B = $(D - 1) 360/365$

¹¹Bernard R., et. al. **La Radiación Solar, conversión térmica y aplicaciones**, ed Lavoisier, París, 1982, Pag. 22.
¹²Ch. Perrin de Brichambaut y Ch. Vauge, **Le Gisement Solaire. evaluation de la ressource energetique.**, ed. Lavoisier, París, 1982, pag 109-110.

E.T. es expresado en minutos, el modelo (D.8)¹³ expresa los minutos que se habrán de restar al tiempo solar medio. En el modelo (D.9) se indica la diferencia en minutos entre el tiempo solar verdadero y el tiempo solar medio, y no indica si la cantidad se resta o se suma, pero sabiendo que por el 6 de enero la Tierra se encuentra en el Perihelio,¹⁴ por lo tanto la duración del día solar verdadero es menor que el día solar medio, y por consecuencia es necesario restar dicha diferencia. El modelo (D.9) puede presentar un error de unos 15 segundos.¹⁵

D. Modelos para el análisis de los procesos de transferencia de calor.

Para el análisis de la transferencia de calor es posible encontrar elementos de la teoría general en varios textos sobre la materia, se destaca el de Principios de transferencia de calor, de Jaime Cervantes de Gortari, donde se puede encontrar los elementos básicos para este campo de estudio, mas adelante existen textos enfocados al análisis de la transferencia de calor en edificios de los cuales tratamos mas adelante.

¹³Ch. Perrin de Brichambaut y Ch. Bauge, **Le Gisement** op. cit. pag. 113.

¹⁴El Perihelio es la distancia más cerca entre la Tierra y el Sol, el Afelio es la más alejada; esto se debe a que la trayectoria de la Tierra es elíptica, con el Sol en uno de los focos, por lo tanto existirán dos posiciones extremas de la Tierra con respecto a este, una más cercana y otra más alejada.

¹⁵R. Bernard et. al., **La radiación**, op.cit. pag. 30.

a. Descripción del Método para transferencia de calor.

Un modelo para el cálculo de transferencia de calor en edificios, es el procedimiento desarrollado por Harness Edward,¹⁶ el cual se basa en los siguientes aspectos:

b. Condiciones de estado constante.

Cuando la temperatura en cada punto de un objeto es constante en tiempo, la condición se llama “estado constante”.

Para un edificio el “estado constante” existe si de uno a otro la temperatura exterior e interior son constantes.

Índice de transferencia de calor.

$$Q_c = kA(T_1 - T_2) / d \dots\dots\dots (E.1)$$

Donde

- Q_c = índice de transferencia de calor (Js⁻¹ Watts)*
- A = área del sólido (m²)*
- T₁ - T₂ = temperatura ambas caras (°C)*
- d = espesor del sólido.(m)*
- k = Conductividad (W/m°C)*

Conductividad Térmica k índice de flujo de calor por conducción a través de una unidad de área con unidad de espesor y unidad de diferencia de temperatura entre las caras

$$q_c = (k / d)A(T_1 - T_2) \dots\dots\dots (E.2)$$

Los siguientes conceptos también son necesarios para el análisis de las condiciones térmicas en los edificios:

C = Conductancia del sólido k/d índice de transferencia de calor a través de la unidad de área de un material sólido cuando la temperatura de sus lados es 1 °C (a mayor espesor del sólido menor conductancia).

16 (Harness Edward ,Solar radiation Control in Buildings)

Resistividad (ρ) recíproco de conductividad $1/k$ °C/W

Resistencia es definido como el inverso de la conductancia

$R = 1/C = d/k = d(\rho)$ $R =$ producto de su espesor y la resistividad del material.

Conductancia de Superficie (f) = $1/\text{resistencia de superficie}$ $1/R$

La resistencia de superficie se ve influida por velocidad del aire, temperatura del aire, espesor de la superficie y la temperatura de los cuerpos circundantes.

Emisividad: Relación de la energía emitida por la superficie y la energía emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura de la superficie.

La emisividad es igual a la absorptividad de una unidad térmica de un cuerpo negro. Un cuerpo negro es un perfecto absorbedor así como un perfecto emisor de radiación térmica.

$$q_r = \sigma e * AT^4 \dots\dots\dots (E.3)$$

Donde

$q_r =$ Calor radiante por el objeto en unidad de tiempo

$A =$ Área del objeto (m^2)

$T =$ Temperatura absoluta ($^{\circ}K$)

$\sigma =$ Constante de Stefan-Boltzmann = 5.735×10^8

e = emisividad de la superficie (no dimensional) (W/m^2K^4)

Transmitancia valor “U”

Recíproco de su resistencia total = $1/Rt$

Calor conducido a través del vidrio aire exterior- aire interior

$$q_c = UA(T_0 - T_1) \dots\dots\dots (E.4)$$

donde:

U = Aire a Aire transmitancia térmica de la superficie del aire
 A = Área total de la Superficie
 T_0 = Temperatura aire exterior
 T_1 = Temperatura aire interior

Calor transmitido a través del vidrio debido a la incidencia de radiación solar directa y difusa.

$$q_t = ID * A_s * \tau_1 + Id * A * \tau_2) \dots\dots\dots (E.5)$$

donde:

ID = Intensidad de la radiación solar normal a la superficie del vidrio.
 Id = intensidad de la radiación Solar difusa sobre la superficie del vidrio.
 A_s = Área del vidrio bajo el Sol.
 A = Área total
 τ_1 = Trasmisividad del vidrio para radiación directa.
 τ_2 = Trasmisividad del vidrio para radiación difusa.

c. Estado transitorio.

Para determinar la ganancia de calor en estado transitorio es necesario conocer las siguientes expresiones que a posterior se le agrega los aspectos relacionados con el retardo térmico Φ de los elementos opacos y el factor de decremento δ .

$$Ia = f_0(T_s - T_0) = f_0(T_{sa} - T_s) \dots\dots\dots (E.6)$$

ó

$$T_{sa} = T_0 + Ia / f_0 \dots\dots\dots (E.7)$$

T_{sa} = La temperatura Sol-aire se puede entender como: (la ganancia de calor por radiación solar) = ganancia de calor (sin radiación solar) con la temperatura exterior más alta que la verdadera.

T_0 = Temperatura aire exterior.
 T_s = Temperatura superficie exterior
 T_{sa} = Temperatura Sol-Aire

I = Intensidad de la Radiación Solar (Directa + Difusa) normal a la superficie

a = Absoritividad

f_0 = Conductancia de la superficie exterior.

La ganancia de calor a través de elementos opacos se puede calcular por la siguiente ecuación (Harness 1980), (Muncey 1979):

$$q_t = UA(T_{sa} - T_i) \dots\dots\dots(\text{E.8})$$

donde

U = transmitancia térmica aire-aire

A = Área del elemento.

T_i = temperatura del aire interior

Con los elementos anteriores las condiciones de estado transitorio se puede expresar como sigue:

$$T_{sa(t)} = T_{sa,m} + \Delta T \dots\dots\dots (\text{E.9})$$

Donde

ΔT = desviación de la temperatura de su valor medio

La ganancia de calor instantánea a través de un elemento puede ser calculada como dos componentes, 1) debido a al temperatura Sol-aire media $T_{sa,m}$ y 2) debido a la desviación instantánea del valor medio de esta ΔT .

1) En el primer caso se asume que la temperatura Sol-aire media $T_{sa,m}$ y la temperatura interior T_i son constantes. De esta se obtiene la siguiente ecuación:

$$q_1 = UA(T_{sa,m} - T_i) \dots\dots\dots (\text{E.10})$$

2) Para el segundo caso al considerar los efectos de ΔT incluye el intervalo de tiempo (retardo térmico) y el factor de decremento de los elementos. Si el valor de la temperatura Sol-aire a Φ horas t es denotado como $T_{sa(t-\phi)}$ la desviación promedio del rango de flujo de calor puede escribirse:

$$q_2 = UA \delta (T_{sa(t-\phi)} - T_{sa,m}) \dots\dots\dots (E.11)$$

si $q = q_1 + q_2$ entonces su valor esta dado por:

$$q = UA[(T_{sa,m} - T_i) + \delta(T_{sa(t-\phi)} - T_{sa,m})] \dots\dots\dots (E.12)$$

flujo instantáneo de calor

$\delta =$ *Factor de decremento*

$\Phi =$ *Intervalo de tiempo (retardo térmico)*

Un sistema similar de cálculo emplea R. W. R Muncey en el texto ***Calculations Heat transfer for buildings.***

E. Glosario.

A

ACT: Año climático Tipo.

AÑO CLIMATOLOGICO. Período continuo de doce meses durante el cual se produce un ciclo climático anual completo, puede variar de una región a otra.

ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Sociedad Americana de Ingenieros en aire acondicionado, Refrigeración y calefacción.

C

Calor específico: cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa por 1° C. (J/Kg °C)

Capacidad Térmica: producto de su masa y el calor específico (J/°C)

Comfort: medida de aceptabilidad humana del ambiente físico.

Condiciones de comfort: Tal como el nombre lo indica, implica proporcionar un ambiente cómodo para la mayoría de habitantes. Los seres humanos están razonablemente cómodos con un rango entre la humedad relativa del 20% al 55% con temperaturas normales de comodidad. Es por lo tanto común el especificar, para limitar la humedad en verano y para no especificar un límite en invierno. Una especificación típica indicaría una condición interna de 22 °C/al 50% de humedad relativa mantenida en 30 °C/20 °C de bulbo húmedo en condiciones externas en verano. En invierno, la temperatura interna de 21 °C y saturada en -3 °C la temperatura del aire exterior.

Comfort térmico: La comodidad térmica se define generalmente como esa condición de la mente que expresa la satisfacción con el ambiente térmico (ISO 1984). La condición de la comodidad térmica es una sensación subjetiva de la satisfacción, los diseñadores de edificios procuran satisfacer a los habitantes tanto como sea posible (generalmente 80 % o más). El descontento se puede causar en el cuerpo en su totalidad al ser demasiado caliente o frío, o por la calefacción o refrescarse de forma indeseada de una parte particular del cuerpo (malestar local).

Convección: El proceso esencial en el caso de la convección es el flujo de un fluido sobre una superficie sólida, acompañado por una transferencia del calor entre la superficie y el fluido. El movimiento del fluido, puede ser debido a los cambios en su densidad causada por los cambios en su temperatura, por la

convección natural; o puede ser creado por medios mecánicos, por la convección forzada.

D

DOE: Departamento de energía USA.

E

ESP-r: (Environmental Systems Performance; r por Research) Funcionamiento de los Sistemas Ambientales. Un medio ambiente computacional para simulación de edificios y plantas de energía.

ESRU: (Energy Simulation Research Unit) Unidad de Investigación en Simulación de energía.

G

Grado día(s): El concepto de grado día o la diferencia acumulada de la temperatura permite determinar el requerimiento para calentar un edificio.

GNU: (General Public Licence). Licencia Pública General.

I

ISCS: (International Solar Cicle Studies) Centro de Estudios internacional sobre el Ciclo Solar.

M

TMY: (typical meteorological year) año meteorológico tipo

N

NCC: (National Climatic Center) Centro Climático Nacional (USA) ahora NCDC
Centro
Nacional de Datos Climáticos.

NSF (National Science Fundation) (USA) Fundación Nacional de la Ciencia

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Administración Nacional Oceánica y atmosférica (USA)

P

PMV (Predicted mean vote): grado de confort derivado del trabajo de Fanger. PMV se deriva de la física del traspaso térmico combinada con un ajuste empírico a la sensación. PMV * representa un nuevo índice de la temperatura que incorpore humedad de la piel en la ecuación de PMV usando temperatura efectiva y temperatura efectiva estándar para caracterizar el ambiente.

R

R (r): Índice de Correlación

Rmax: Número de Wolf Máximo.

RISE (Research Initiative and Science Engineering) Iniciativa de Investigación y Ciencia de la Ingeniería.

RWC Belgium World Data Center: Centro regional de emergencias: Centro Mundial de datos de Bélgica

S

SERC: (Science and Engineering Research Council); Consejo de Investigación de la Ciencia y la Ingeniería.

SIDC (Solar Influences Data Analysis Center) Centro de análisis de datos de la influencia solar.

T

Temperatura: característica de un objeto que determina la dirección del flujo del calor. Cuando el objeto se pone en contacto térmico con otro objeto, los flujos del calor de la temperatura más alta se oponen a la temperatura más baja. Es medido por una escala empírica de la temperatura basada en una cierta característica conveniente de un material o el instrumento, tal como la escala de Celcius, o por una escala de la temperatura absoluta, tal como la escala de Kelvin.

Temperatura ambiente: La temperatura del aire fuera de un cuarto o de una zona.

Temperatura efectiva estandar (SET*) Un índice de la temperatura que considera traspasos térmicos radiativos y latentes.

Temperatura efectiva (ET) : Índice de la temperatura que considera traspasos térmicos radiativos y latentes. ET * representa la nueva temperatura que se desarrolla en un tiempo más que en un estado estacionario.

Transmitancia térmica (valor "U"): El flujo del calor transmitido con un área de unidad de una estructura dada, dividida por la diferencia entre la temperatura ambiente efectiva de cualquier lado de la estructura, bajo condición de estado constante. Expresado como un valor "U".

TRY (Test Reference Year), Año referencia de prueba.

U

"U"- Value: (See thermal transmittance)

Z

Zona de comfort: El rango de condiciones del interior considerada aceptable por cierta proporción (generalmente más del 80%) de la gente que trabajaba o que vive en el espacio.

7.REFERENCIAS

1 REFERENCIAS.

- Barradas victor L. (1994) *Instrumentación Biometeorológica*, UNAM, FCE, México, 113p. (Ediciones Científicas Universitarias)
- Balcom J. Douglas, (1988), *Passive Solar Buildings*, v. 7, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 534p. Col. (Solar Heat Technologies: Fundamentals and Applications 10 vols.).
- Bernard R et. al. (1982) *La Radiación Solar: Conversión Térmica y Aplicaciones*. Tr. J. Aguilar y J de la Rubia, Lavoisier, Paris, 258p.
- Beausoleil-Morrison, I. (2000), *The Adaptive Coupling of Heat and Air Flow Modelling within Dynamic Whole-Building Simulation*, tesis doctoral, Universidad de Strathclyde; Glasgow, Reino Unido
- Bravo silvia (1987) *Encuentro con una Estrella*, Fondo de Cultura Económica, México, 143p., (col. La Ciencia desde México no. 38)
- Cervantes de Gortari Jaime, (1999) *Fundamentos de Transferencia de Calor*, UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, 583p (Ediciones Científicas Universitarias)
- Clarke, J. A. (1977), *Environmental Systems Performance*, tesis doctoral, Universidad de Strathclyde; Glasgow, Reino Unido.
- Ch. Perrin de Brichambaut y Ch. Vauge, (1982), *Le Gisement Solaire. evaluation de la ressource energetique.*, ed. Lavoisier, París, 221p.
- Eigil Friis-Christensen and Henrik Svensmark, (1996), <<*What do we really know about the Sun-climate connection?*>>, Committee on Space Research - Inter-Agency Solar Terrestrial Program (COSPAR- IASTP), Proceedings of the Symposium D0.1, vol, 20 Issues 4-5 pag. 913-921 , Julio, <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/IASTP/43/>
- Firor, J., (1990). *The Changing Atmosphere: A Global Challenge*, Yale University, pp.145.
- *Física Ambiental: Aspectos térmicos*, cap. 1,2, y 3 [O. Koenisgberger *Manual de Edificios y Viviendas Tropicales (Diseño Climático).*]

- Fletcher C. A. J. (1988), *Computational Techniques for Fluid Dynamics*, Vol. I y Vol. II; Springer-Verlag.
- Garduño, R. (1994). *El Veleidoso Clima*, Col. La Ciencia desde México No. 127, Fondo de Cultura Económica, México, , pp.171.
- Hall, I. J., et. Al., (1978) <<*Generation of a typical meteorological year*>>, Proc. of the 1978 Annual Meeting of the American Section of the International Solar Energy Society, Denver, Colorado
- Hedbrant Johan, (2001) *On the Thermal Inertia and Time Constant of Single-family Houses*, Institute of Technology Linköpings Unbiversitet, Suiza, 118p
- Holman J. P. (1980), *Transferencia de Calor*, tr. Rafael Santiago Cárdenas, C.E.C.S.A., México, 534p.
- Hui, C. M., (1996). *Energy Performance of Air-conditioned Buildings in Hong Kong*, PhD Thesis, University of Hong Kong.
- Karlekar B.V. y R.M. Desmond (1985), *Transferencia de Calor* 2ª.ed. Interamericana, México. 794p.
- Lassen K, <<*Long-term Variations in Solar Activity and their Apparent Effect on the Earth's Climate*>>, Danish Meteorological Institute, Solar-Terrestrial Physics Division, Copenhagen, The Millennium Group, <http://www.tmgnow.com/repository/solar/lassen1.html>
- National Aeronautics and space Administration (NASA), (1973), *Possible relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena*, syposium Goddard Space Fligt Center, Nov. 7-8, 262p.
- NCC, 1976. *Test Reference Year (TRY)* Tape Reference Manual, TD-9706, National Climatic Center, Asheville, North Carolina.
- Olyay Victor, (1998), *Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*, tr. Josefina Frontado y Luis Clavet, Gustavo Gili, Barcelona 203p

- Öman Robert, (1994) *Glass-covering of Large Buildings Volumes.* An Interdisciplinary evaluation of a Shopping Center, Swedish Council for building Research, Suiza, 97p
- Otaola, A. J., et. al., (1993). *El Sol y la Tierra. Una Relación Tormentosa*, Col. La Ciencia desde México no. 114, Fondo de Cultura Económica, México, pp.121.
- Palacio Pérez Arturo y Alejandro Rodríguez Valdés, *Estimación de la Radiación Solar y de la temperatura Ambiente Instantáneas.*
- R. W. R Muncey,(1979) *Calculations Heat transfer for buildings*, Applied Science Publishers London, 110p
- Rivera, A. (2000). *El Cambio Climático: el Calentamiento de la Tierra.* Debate, Madrid, pp. 270.
- Roache, P. J. (1982), *Computational Fluid Dynamics*, Hermosa Publishers.
- Ruiz Fernández Javier,(2003), *La correlación Ta - Rmax*, <http://www.astrocantabria.org/parhelio/articorrel.html>
- Sharag-Eldin, Adil M. K. (1998), *Predicting Natural Ventilation in Residential Buildings in the context of Urban Environmental*, dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Dr. Of Philosophy in Architecture Graduate División University of California, Berkeley. 394p.
- Stamper, E., 1977. *Weather data*, ASHRAE Journal, 19 (2): 47, February.
- Tejeda Martínez Adalberto, (1991), *« Simulación de la Marcha diaria del Confort Higrotérmico en la Republica Mexicana »»*, I Encuentro Nacional de Diseño y Medio Ambiente, Universidad de Colima, CFE, Colima, 180p.
- Todde Valentino, (1998), *Climate and Buildings.* Sensitivity to Draught in Turbulent Air Flows, Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Suiza, 98p

- Wall María, (1996), *Climate and Energy Use in Glazed Spaces*, Lund Institute of Technology Lund University, 404p
- Zhiwu Wang, (1996) *Controlling Indoor Climate*. Passive Cooling of Residential Buildings in Hot-humid Climates in China, Lund Institute of Technology Lund University, 253p

Fuentes de internet:

- SOLPA 2000, Euroconferencia: "The solar cycle and Terrestrial Climate", Instituto Astrofísico de Canarias, septiembre 25 al 30, <http://www.iac.es/proyect/solspa>
- International Solar Cycle Studies (ISCS), (2001) "Solar Variability; Climate; and Space Weather", Junio 13 al 16 <http://rise.hao.ucar.edu/ISCS/report.html>
- Nacional Climate Data Center (NCDC)
<http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/MCDWPubs?action=getpublication>
- Solar Influences Data Analysis Center (SIDC)
<http://sidc.oma.be/>
- Energy Systems Research Unit
<http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>