

# DATOS CLIMÁTICOS DE CUATRO CIUDADES DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, PARA LA SIMULACIÓN DE USO DE ENERGÍA EN EDIFICACIONES UTILIZANDO EL PAQUETE "TRNSYS"

Ignacio R. Martín Domínguez, Rosana Hernández Álvarez  
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.  
Miguel de Cervantes 120 Complejo Industrial Chihuahua  
31109 Chihuahua, Chih. México.  
Tel. (614) 439-1148 Fax (614) 439-1112  
[ignacio.martin@cimav.edu.mx](mailto:ignacio.martin@cimav.edu.mx), [rosana.hernandez@cimav.edu.mx](mailto:rosana.hernandez@cimav.edu.mx)

## RESUMEN

En éste trabajo se presentan los datos climáticos suficientes para llevar a cabo simulaciones del uso de energía en edificaciones, o diseño de sistemas de aprovechamiento de energía solar, para el estado de Chihuahua. La información presentada es para las cuatro ciudades del estado de las cuales existe información climática incompleta, pero suficiente para permitir generar los datos faltantes. Las condiciones climáticas de las ciudades analizadas son representativas de sus respectivas regiones. Los datos climáticos disponibles se recopilaron de los registros de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Los datos faltantes (irradiación) fueron generados a partir de valores de insolación registrados por la CNA, utilizando métodos empíricos disponibles en la literatura.

Se validaron los datos generados de irradiación utilizando el paquete de simulación de sistemas térmicos TRNSYS, se generaron valores de temperatura ambiente horaria para la ciudad de Chihuahua, y se compararon los valores simulados contra datos experimentales registrados por la CNA durante el año 2001. Encontrándose que los valores generados se ajustan adecuadamente a los datos experimentales disponibles, por lo que los datos de irradiación son aceptables para ser utilizados en la simulación de uso de energía en edificaciones.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de vivienda aparece con el mismo hombre, ya que además del alimento y el vestido, la primera y más general necesidad del humano ha sido el contar con un espacio para resguardarse de las inclemencias del tiempo y tener seguridad personal. A través de la historia las características de la vivienda han sido definidas por las condiciones naturales y los materiales disponibles en cada región, grado de civilización y prosperidad de las personas que las habitan.

Confort térmico es la combinación de temperatura, humedad, grado de actividad y cantidad de ropa a las que el ser humano experimenta una sensación de satisfacción con el ambiente. De acuerdo con ASHRAE [2001], las condiciones de confort térmico se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de confort

	Piel	Ambiente
Temperatura	32°C a 34°C	20°C a 25°C
Humedad Relativa	25% a 45%	30% a 50%

Algunas de las consecuencias de no contar con condiciones de confort en los espacios ocupados por el ser humano son: resfriados y enfermedades del sistema respiratorio en el invierno, y dolores de cabeza, deshidrataciones, baja presión, desgano y baja de eficiencia en las actividades cotidianas en el verano.

Cuando las condiciones ambientales externas son extremas y la capacidad de aislamiento de una vivienda no alcanza a proveer de condiciones de confort a sus usuarios, por lo general estos tienen que recurrir a instalar dispositivos termomecánicos para calentar, enfriar, humidificar o desecar el ambiente interno y mantener con ello condiciones de confort adecuadas. Esto tiene repercusiones en la economía familiar y nacional, y puede causar además un fuerte impacto ambiental en las grandes concentraciones de población. La vivienda es el objeto material con vida útil más larga que un individuo fabrica o adquiere, de ahí la importancia en poder tener un diseño eficiente de la misma. No solo en lo referente a cuestiones estructurales, sino también en cuanto a sus características de aislamiento térmico y ventilación, para lograr proveer a sus ocupantes de un ambiente sano y confortable, además de seguro.

El gasto excesivo de energía en el acondicionamiento de espacios tiene un impacto económico y ambiental, ya que en México por ejemplo, todavía el 85% de la electricidad se genera de combustibles fósiles (no renovables). La Secretaría de Energía [2002] reporta que la energía consumida en el sector doméstico en México se distribuye como se muestra en la figura 1.

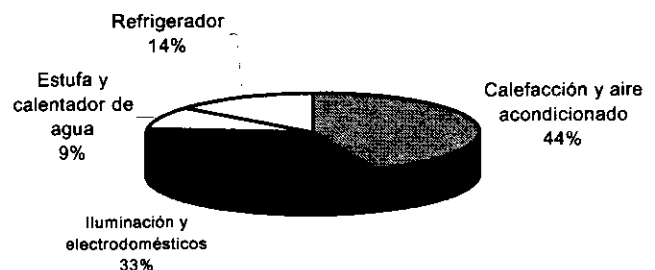


Figura 1. Distribución del uso de energía sector doméstico

Como puede apreciarse, los conceptos de acondicionamiento de aire (calefacción y enfriamiento) consumen casi la mitad de la

energía utilizada. En aquellas comunidades donde las condiciones climáticas son extremas, el dotar de equipos para el acondicionamiento de aire a una vivienda representa un costo inicial fuerte, y su operación a lo largo del año puede ser una parte importante del gasto familiar. Por ello es muy pertinente el poder estimar con la mejor precisión posible cuales serán las cargas térmicas que existirán en una edificación dada, para con ello poder determinar el tamaño adecuado de los equipos de acondicionamiento de aire a instalarse. De igual forma la habilidad de predecir con precisión las cargas térmicas permite el poder evaluar diferentes diseños y materiales, que reduzcan las necesidades energéticas de la vivienda y consecuentemente requieran equipos más pequeños y baratos, y con ello menores consumos energéticos a lo largo de la vida útil de la edificación.

Para la estimación de los flujos de energía que se dan en una vivienda, existen metodologías que van desde procedimientos muy simplificados hasta la utilización de paquetes de cómputo especializados. Los métodos simplificados son adecuados únicamente para obtener una aproximación muy gruesa de las cargas térmicas en estado estable, en condiciones de diseño, y solo se utilizan para dimensionar los equipos de acondicionamiento de aire. Estas metodologías son, sin embargo, incapaces de permitirle al diseñador el hacer una estimación de los efectos de los complejos procesos de transferencia de calor y masa que se dan en una vivienda, a lo largo de periodos de tiempo extendidos, en los cuales las condiciones ambientales están cambiando continuamente, pasando del día a la noche y de una estación a otra. Tampoco es posible estimar, con esos métodos, cuales serán los consumos de energía (eléctrica, gas, combustóleo, etc.) que se van a requerir a lo largo del año para mantener la vivienda en condiciones de confort. Además, las condiciones ambientales son diferentes para diferentes localidades geográficas, y los tipos de materiales y métodos de construcción cambian de una región a otra. Por ello, para realizar un análisis serio del comportamiento térmico de una vivienda se requiere la utilización de paquetes de cómputo especializados.

## CHIHUAHUA

El estado de Chihuahua abarca el 12.6% de la superficie nacional, y presenta una diversidad de climas y vegetaciones debido a la variedad de sus relieves y latitudes. En general se puede decir que presenta condiciones climatológicas extremas, ya que en verano las temperaturas diurnas pueden ir de los 30°C a los 38°C, y por la noche de los 15°C a los 23°C. En el invierno las temperaturas diurnas pueden ir de los 5°C a los 20°C y por la noche de los -10°C a los 5°C para las diferentes ciudades del Estado. Lo anterior se ejemplifica, para el caso de la ciudad de Chihuahua, Chih., observando el comportamiento de las temperaturas promedio, máximas y mínimas, a lo largo de un año, como se muestra en la figura 2.

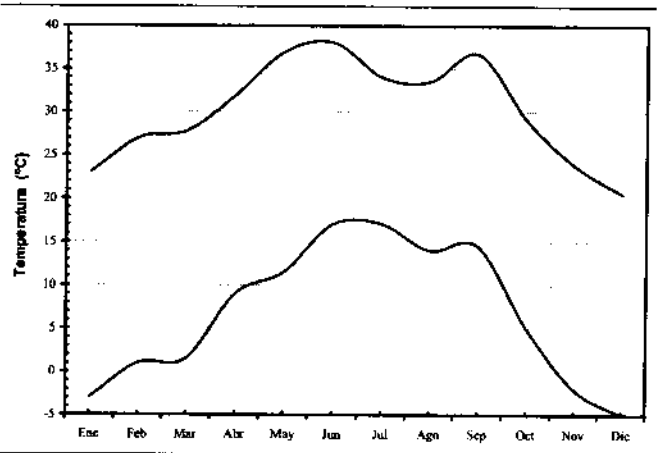


Figura 2. Temperaturas máxima y mínimas promedio mensuales en la ciudad de chihuahua

En esa figura también se observa el efecto de la baja humedad relativa de la región semi-desértica, puesto que la diferencia de temperaturas entre el día y la noche es en promedio de 23°C.

La figura 3 muestra valores de temperatura horaria para la ciudad de Chihuahua, Chih., en un periodo típico de verano. En la misma figura se muestran la franja de valores de confort, y se puede observar que la temperatura ambiente excede ampliamente los valores máximos de confort durante el día, aunque por la noche se tienen temperaturas más frescas.

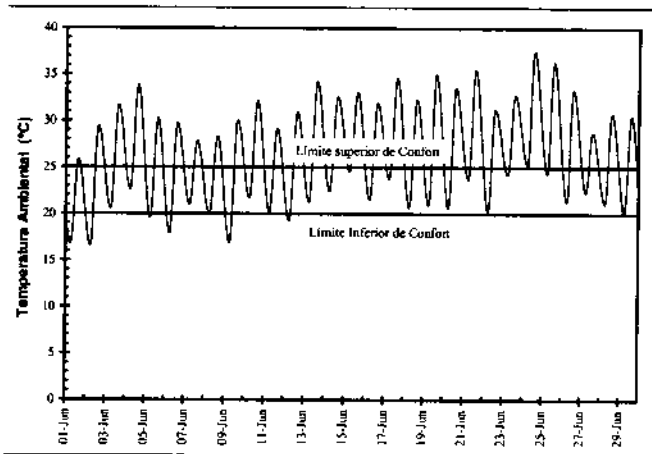


Figura 3. Variación típica horaria de temperatura ambiental en Chihuahua, Chih. durante el verano (Junio)

La figura 4 muestra la misma información, pero para el periodo típico de invierno. En ella es posible apreciar que en el invierno la temperatura exterior rara vez alcanza siquiera la temperatura mínima de confort.

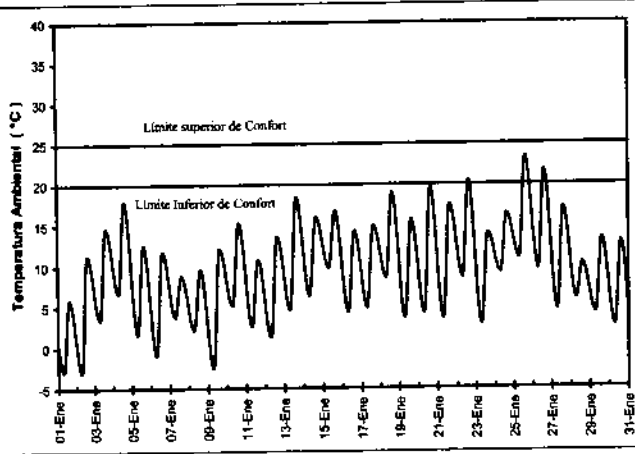


Figura 4. Variación típica horaria de temperatura ambiental en Chihuahua, Chih. durante el invierno (Enero)

Como se puede apreciar, tanto en verano como en invierno las condiciones ambientales en la ciudad de Chihuahua son extremas, quedando fuera de los valores de confort. Por lo anterior, los habitantes del estado se ven forzados a acondicionar térmicamente las viviendas. Si además se considera que en el norte del país existen otras zonas con condiciones más extremas, como es el caso de las regiones serranas en invierno, y las regiones más desérticas y/o de menor altitud sobre el nivel del mar durante el verano, se pone de relevancia la necesidad de contar con herramientas de cálculo que permitan optimizar el diseño térmico de la vivienda humana, de forma tal que se pueda proveer a sus ocupantes del confort requerido, minimizando simultáneamente el uso de energéticos requeridos para su climatización y reduciendo con ello también el impacto ambiental generado.

### TRNSYS

Uno de los paquetes de cómputo más utilizados para la estimación del uso de energía en edificaciones es TRNSYS, acrónimo de *Transient Systems*, el cual permite simular las interacciones térmicas de cualquier edificación con su medio ambiente, y calcula las cantidades de energía consumidas por los aparatos utilizados para climatizarla.

Para realizar la simulación del comportamiento térmico de una edificación utilizando TRNSYS, se requiere una descripción detallada de la vivienda, que incluya geometría y dimensiones de la envolvente de la vivienda, tamaño y número de ventanas, propiedades térmicas y de transporte de los materiales de construcción (conductividad térmica, calor específico, densidad y espesor). Además se necesita la información del entorno climatológico del inmueble, es decir temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento; reinantes en el punto geográfico donde se localiza, así como temperatura y humedad relativa deseadas en el interior.

En nuestro país la CNA tiene a su cargo la operación de estaciones meteorológicas, que miden algunas de las variables requeridas como datos para la simulación térmica de edificaciones. Sin embargo por lo general no existen mediciones de irradiación.

En el estado de Chihuahua se cuenta con infraestructura para mediciones meteorológicas en solo cuatro ciudades, Chihuahua capital, Nuevo Casas Grandes, Temosachi y Parral, pero por el momento esta última estación está fuera de servicio. Las variables medidas son temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, pero no irradiación. Afortunadamente se tienen al menos datos de insolación y días de lluvia al mes. Para el caso de Ciudad

Juárez se tomaron los datos climáticos de El Paso, Texas, disponibles en el mismo TRNSYS.

### ESTIMACIÓN DE DATOS DE IRRADIACIÓN

En ausencia de los datos experimentales de irradiación, es posible utilizar correlaciones empíricas para estimarla, a partir de datos de insolación. Para generar los datos de irradiación se utilizaron las correlaciones empíricas de Ångström, [1924], con las modificaciones de Page [1971], y el método de Jeevananda [1971]. Para lo anterior fue necesario contar con información sobre humedad relativa promedio, latitud, duración promedio del día en el mes, número de días lluviosos en el mes, localización geográfica y tipo de vegetación. En las tablas 2, 3 y 4 se encuentran los datos geográficos para las cuatro ciudades del estado de Chihuahua que cuentan con suficiente información climática. Los datos geográficos se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2001)

Tabla 2.- Datos geográficos de las ciudades analizadas

Ciudad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Clima	Vegetación
Chihuahua	28°38'	106°04'	1440	Bsh	A
Juárez	31° 44'	106°29'	1140	Bwk	P,m
Nuevo Casas Grandes	30°23'	107°57'	1480	Bwk	A
Temosachi	28°57'	107°50'	1880	Bslk	B

Tabla 3.- Climas presentes en el estado de Chihuahua

Tipo	Símbolo	% de la superficie estatal
Cálido sub húmedo con lluvias en verano	A(w)	0.32
Semicalido sub húmedo con lluvias en verano	ACw	2.64
Templado sub húmedo con lluvias en verano	C(w)	13.36
Semifrio sub húmedo con lluvias en verano	C(E)(w)	10.25
Semi seco muy cálido y cálido	BS1(h')	0.45
Semi seco semi cálido	BS1h	1.02
Semi seco templado	BS1k	15.70
Semi seco semi frio	BS1k''	0.60
Seco semi cálido	BSh	6.15
Seco templado	BSk	9.03
Muy seco semi cálido	BWh	14.60
Muy seco templado	BWk	25.88

Tabla 4.- Símbolos para vegetación

Agricultura	A
Pastizal	P
Bosque	B
Selva	S
Matorral	M

Tabla 5.- Datos climáticos para Chihuahua, Chih.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Irradiación (J/m <sup>2</sup> -día)
Ene	9.3	55		13,550
Feb	13.7	40		17,500
Mar	15.1	31		22,150
Abr	21.0	35		24,660
May	23.2	27		29,310
Jun	26.3	53		24,980
Jul	25.7	49		24,970
Ago	25.5	54		22,340
Sep	24.3	55		22,020
Oct	17.9	61		17,580
Nov	11.7	60		14,180
Dic	10.7	52		12,710

Para generar la información sobre irradiación, se utilizaron los dos métodos mencionados, para Chihuahua, Juárez, Nuevo Casas Grandes y Temosachi. Se encontró que las variaciones en los resultados obtenidos por ambos métodos eran muy poco significativas (de 1 a 8 J/m<sup>2</sup>), y los valores reportados son los promedios de ambos métodos.

## RESULTADOS

En las tablas 5, 6, 7 y 8 se muestra la información climática mensual disponible para cada ciudad, así como los valores calculados de irradiación.

Tabla 6.- Datos climáticos para Ciudad Juárez, Chih

	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Irradiación (J/m <sup>2</sup> -día)
Ene	8.5	7.2	28	12,770
Feb	13.4	10.3	25	16,800
Mar	14.3	13.4	27	21,670
Abr	20.1	18.1	28	26,838
May	22.2	22.7	32	29,514
Jun	25.8	27.2	49	29,520
Jul	26.9	28.3	91	27,820
Ago	23.1	27.1	91	25,930
Sep	21.9	24.2	78	22,560
Oct	18.2	18.3	55	18,610
Nov	12.1	11.9	32	14,120
Dic	8.9	7.5	28	11,700

Con la información de las tablas 5 a 8 se completa la información climática necesaria para realizar simulaciones de edificaciones en las cuatro ciudades anotadas. Si se desea simular edificaciones situadas en otras ciudades de la región, se pueden tomar los datos de la ciudad, aquí presentados, que tenga más similitud con la localidad de interés.

Tabla 7.- Datos climáticos para Nuevo Casas Grandes, Chih.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Irradiación (J/m <sup>2</sup> -día)
Ene	6.6	50	2.7	14,800
Feb	10.3	37	3.6	18,130
Mar	12.9	31	2.5	23,060
Abr	18.1	23	3.7	28,770
May	22.4	22	2.1	31,990
Jun	25.9	39	1.8	28,080
Jul	25	49	1.1	25,280
Ago	23.9	50	1.8	24,810
Sep	24.6	39	1.2	23,890
Oct	16.6	55	1.7	18,750
Nov	9.3	46	1.4	16,120
Dic	9.1	47	1.1	13,630

## VALIDACIÓN

Con los datos de irradiación ya disponibles se probó el generador de clima horario de TRNSYS, el cual genera valores horarios de temperatura a partir de datos climáticos promedio mensuales. Los resultados se compararon con valores observados y reportados por la estación meteorológica de la ciudad de Chihuahua, para diferentes días del año.

Tabla 8.- Datos climáticos para Temosachi, Chih.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Irradiación (J/m <sup>2</sup> -día)
Ene	5.2	73	5.5	12,890
Feb	7.9	66	5.0	14,160
Mar	9.0	58	3.1	18,740
Abr	14.7	45	4.2	22,710
May	17.5	46	2.6	25,010
Jun	21.2	48	2.9	23,600
Jul	21.8	73	1.9	21,390
Ago	23.5	73	2.5	20,420
Sep	19.4	67	2.1	19,760
Oct	13.7	71	2.2	16,730
Nov	7.6	71	2.8	13,630
Dic	6.8	72	2.8	11,280

Se encontró que la diferencia promedio, entre los datos generados por TRNSYS y los datos experimentales fue de 3°C, lo cual es menor a la diferencia de temperaturas que se observa de un año a otro, de acuerdo con los valores históricos registrados por el servicio meteorológico.

Las siguientes gráficas muestran la comparación de temperaturas horarias reportadas por la estación meteorológica de Chihuahua y las generadas por TRNSYS a partir de la información climática y geográfica, para 4 días del año 2001.

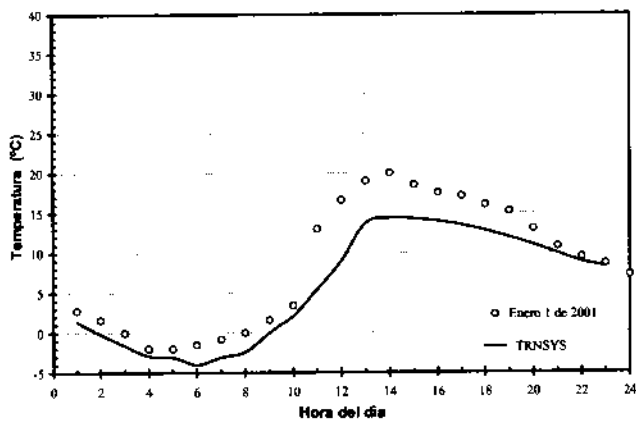


Figura 5. Temperatura horaria en Chihuahua, Chih. Enero 2001

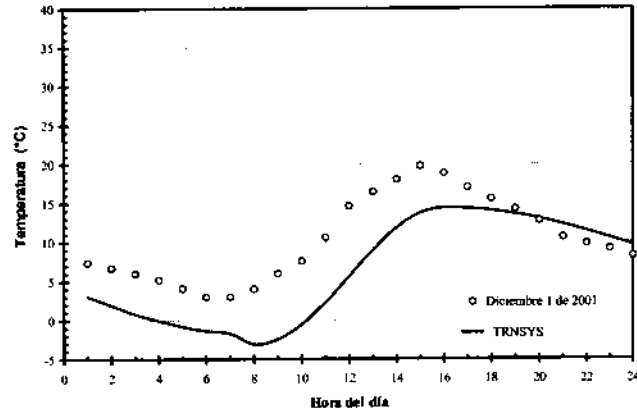


Figura 8. Temperatura horaria en Chihuahua, Chih. Diciembre 2001

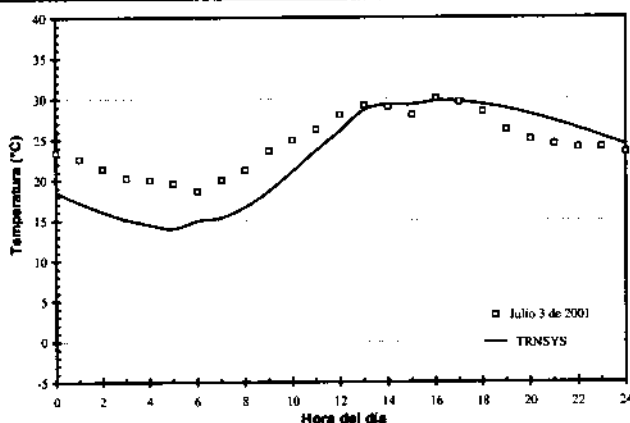


Figura 6. Temperatura horaria en Chihuahua, Chih. Julio 2001

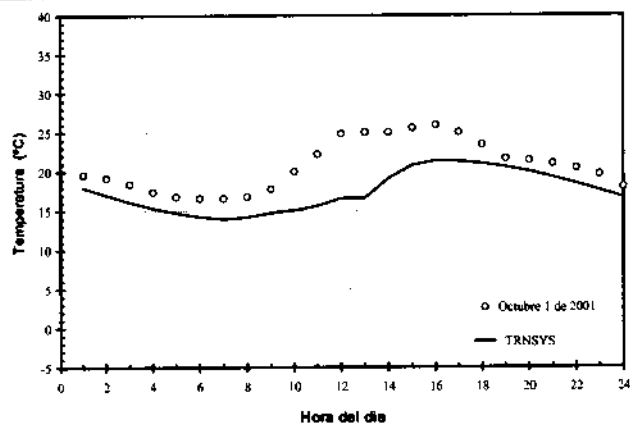


Figura 7. Temperatura horaria en Chihuahua, Chih. Octubre 2001

## CONCLUSIONES

En regiones geográficas con condiciones climáticas extremas se requiere optimizar el diseño térmico de la vivienda humana, para minimizar los costos de adquisición y operación de los equipos de acondicionamiento de aire, requeridos para lograr condiciones de confort.

La optimización del diseño térmico de edificaciones forzosamente requiere el uso de paquetes de cómputo especializados, y éstos a su vez requieren una serie de datos geográficos y climáticos de la localidad, que en ocasiones no están disponibles fácilmente.

Es posible generar datos de irradiación mediante métodos empíricos, cuando no se tienen valores experimentales, a partir de otra información más fácil de obtener.

El comportamiento de los datos de temperatura generados por TRNSYS, basado en la información aquí reportada, resulta mismo muy confiable y preciso, y puede utilizarse para simular adecuadamente el comportamiento térmico de viviendas en el estado de Chihuahua.

## REFERENCIAS

Ångström, A. (1924). Solar and Terrestrial Radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 50, p. 50

ASHRAE (2001) Fundamentals Handbook, Cap. 8 Thermal Comfort. American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Atlanta, GA USA

INEGI (2001) Carta de uso de suelo y vegetación. Chihuahua

Jeevananda, S. (1971) An empirical method for the estimation of total solar radiation. Solar Energy, Vol 13, p 289

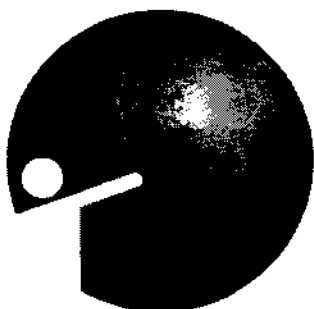
Page, J.K. (1964) The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40° north - 40° south. Proc. UN Conference on new sources of energy. Vol 4, p 378

Secretaría de Energía (2002) [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)

# **XXVI SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR**

11 al 15 de Noviembre de 2002

***Chetumal, Quintana Roo***



## **MEMORIA**

### **EDITORES**

**Dr. Rubén J. Dorantes Rodríguez  
M.I. Eduardo Rincón Mejía  
M.S. Laura E. Hernández  
Ing. Leónidas A. Pérez Estrada**

**Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.**