

DEFINICION DE DIAS DE DISEÑO PARA  
EL AREA BIOCLIMATICA DE ROSARIO #

Daniel Perone\* y Elio Di Bernardo:

Centro de Estudios Bioambientales (CEB)  
Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño  
Universidad Nacional de Rosario  
Riobamba 250 bis - 2000 Rosario

RESUMEN

Este trabajo se analizan estadísticamente los datos meteorológicos horarios registrados entre 1979 y 1983 en la Estación Aeropuerto Fisherton del SMN, a los efectos de definir un conjunto de días de diseño que describan específicamente las condiciones microclimáticas del área. Las características de estos días de diseño se completan estimando, mediante un modelo de sol y distribución de brillos directos, la radiación global horaria diaria para cualquier latitud, fecha, hora y posición del plano, según heliofanía relativa media registrada en cada caso.

El objetivo es disponer de una gama de situaciones tipificadas y discriminadas a partir de las variables determinantes para nuestro clima (temperatura, humedad y asoleamiento) que permitan la evaluación del comportamiento térmico natural o artificial de edificios, o bien la comparación y mejora de proyectos para el área bioclimática.

INTRODUCCION

En términos generales, el clima de la ciudad de Rosario y su zona de influencia (33°S, 60°W y 30m de altitud sobre el margen occidental del Río Paraná) se encuadra según Thornthwaite en el tipo "pampeano subhúmedo húmedo". Las cuatro estaciones están claramente definidas: dos períodos de transición templados y relativamente cortos, un período cálido y húmedo que se extiende desde diciembre hasta marzo, y otro frío que comienza a fines de mayo y termina a principios de noviembre. Los datos meteorológicos

estadísticos (2) de las principales variables climáticas para la zona son los siguientes:

| VARIABLE           | invierno | verano  |
|--------------------|----------|---------|
| extensión (días)   | 90-100   | 120-130 |
| temp max media (C) | 16-18    | 27-30   |
| temp min media (C) | 4-6      | 14-17   |
| temp media (C)     | 9-12     | 21-24   |
| tensión vapor (mb) | 9-11     | 17-19   |
| radiación (MJ/m2)* | 7-11     | 18-25   |

\*valores aproximados de radiación solar global media diaria sobre plano horizontal interpolados entre las estaciones Paraná, Rafaela, Marcos Juárez, Pergamino, Oliveros, Castelar y San Miguel, según datos de la Red Solarimétrica (CNIE) entre 1979 y 1983.

Sin embargo, dicha tipificación y estos valores medios no alcanzan a describir adecuadamente las condiciones del clima de una región para un análisis energético riguroso de edificios, ya que al promediar indiscriminadamente el conjunto de datos se encubren las frecuencias, modos y dispersiones de las variables, medidas que realmente interesan para definir las características microclimáticas de un área determinada. Es por esto que creemos poco conveniente el criterio de grados-día (3), muy utilizado en regiones de clima muy frío, para analizar térmicamente una vivienda en base a la temperatura exterior media de todo un período y a una temperatura interior de confort constante preestablecida. Esto es por las dificultades para su estimación en una región de clima templado y variable como el nuestro, y además por las condiciones socioeconómicas del país: suponer que un usuario logrará mantener artificialmente una temperatura de confort constante en su vivienda durante todo

Becario del CONICET  
Director del CEB  
Parcialmente financiado por SECYT

el invierno, es sin dudas una hipótesis demasiado optimista y difícilmente verificable.

Por otro lado, la estimación de la radiación solar que incide sobre la envolvente de un edificio es sumamente complicada si se recurre a los registros y métodos convencionales. En primer lugar, la ausencia de estaciones de medición en la zona obliga a interpolar los valores correspondientes a estaciones más o menos cercanas, que además no cuentan todas con mediciones de períodos suficientemente prolongados, con la consiguiente pérdida de exactitud. También, es reconocida la propia incertidumbre de los datos registrados producto de fallas del instrumental, falta de mantenimiento, errores de integración, etc. (4). Por último, todos los métodos para calcular las componentes directa y difusa de la radiación global registrada en un plano horizontal (necesario para obtener los valores correspondientes a otros planos) introducen cierto número de suposiciones (constantes empíricas según tipificaciones climáticas globales, etc.) que no hacen sino aumentar el grado de incertidumbre de los valores finalmente hallados (5).

Es por ello que, para nuestro medio y según nuestros objetivos, no resultan del todo convenientes estos métodos para describir adecuadamente las condiciones climáticas locales. Consecuentemente, la idea desarrollada en este trabajo consiste en definir modelos que permitan reproducir en forma aproximada tanto la radiación solar incidente sobre el edificio, como la variación horaria de la temperatura en los días más típicos de la zona, de manera de poder cubrir distintas situaciones de invierno y verano en la evaluación térmica de edificios.

A tal fin, se analizaron estadísticamente los datos meteorológicos horarios registrados entre 1979 y 1983 por la Estación Aeropuerto Fisherton del Servicio Meteorológico Nacional.

#### ANÁLISIS CLIMÁTICO DE INVIERNO

La muestra para el período frío se limitó a los meses de junio, julio, agosto, estudiándose en primer término la distribución de frecuencias de la variable "temperatura de bulbo seco media diaria" (TBS). La figura 1 es el polígono de distribución de frecuencias absolutas ( $f_x$ ) y relativas ( $f_x/n$ ) obtenido para la variable TBS, siendo la población total de la muestra ( $n$ ) de 460 días. La figura completa la descripción del comportamiento de la variable, ya que muestra las frecuencias acumuladas absolutas ( $F_x$ ) y relativas ( $F_x/n$ ) que le corresponden a cada intervalo. El rayado vertical identifica a aquellos intervalos que serán estudiados en detalle (74%), descartándose al resto por considerar que los días con TBS superiores a 14°C no pueden ser calificados como realmente fríos, ya que podría prescindirse sin inconvenientes de calefacción artificial. En estos casos, puede asegurarse (6) que son suficientes las cargas térmicas internas (metabólicas, luces, etc.), más un pequeño aporte solar, y una modesta inercia térmica de la construcción para lograr condiciones de confort adecuadas en cualquier tipo de vivienda tradicional (muros de mampostería, ventanas pequeñas, etc.).

El valor más bajo observado para la variable TBS no fue inferior a 1.5°C y el más alto no superó los 25.5°C, obteniéndose una media aritmética de 11.0°C con un desvío estándar de dispersión (S) de 4.0°C. El inter-

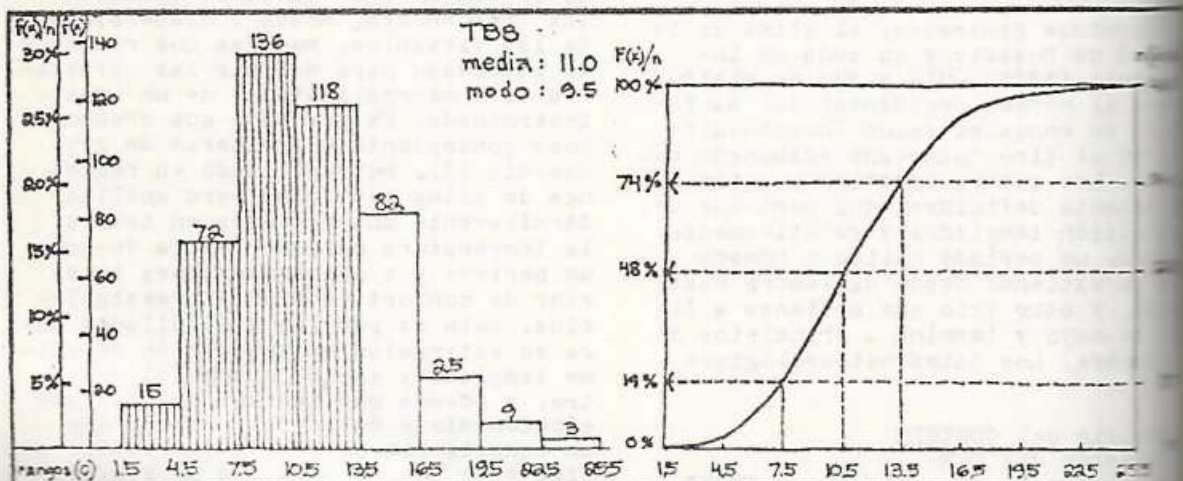


Figura 1

medial correspondió al rango comprendido entre 7.5 y 10.5 C (30%) y el modo fue de 9.5 C.

Estas medidas de posición utilizadas simultáneamente describen más acabadamente el comportamiento de la variable que la simple media aritmética, que generalmente se emplea como único indicador. Por ejemplo, en este caso la media sola no es demasiado representativa debido a la asimetría del polígono de frecuencias, provocada probablemente por las temperaturas altas observadas en los meses de agosto.

A partir de este análisis se reubicaron los días seleccionados en tres grupos, unificando el primer y segundo intervalo, ya que al primero (1.5-5 C) le correspondía una frecuencia relativa muy baja (3%) como para considerarlo como grupo independiente.

Después, se estudió la distribución de frecuencias para la variable "heliofania relativa media diaria" (HR) en cada uno de los grupos establecidos, subdividiéndolos en tres subgrupos a partir de las siguientes consideraciones:

- Días soleados  $\frac{HR}{HR} > 70\%$
- Días p/cubiertos  $\frac{HR}{HR} < 70\% > 30\%$
- Días nublados  $\frac{HR}{HR} < 30\%$

La figura 3 indica la redistribución del polígono de frecuencias absolutas y relativas para cada subgrupo:

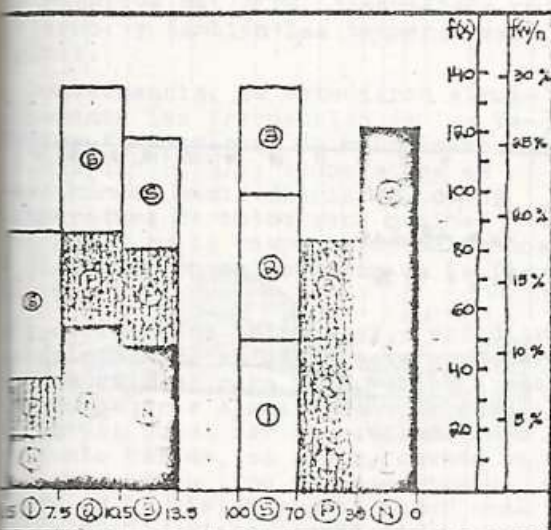


Figura 3

Seguidamente, se estudió la evolución horaria de la temperatura obteniéndose una curva de oscilación media para cada subgrupo de días con características similares.

En la figura 4 se muestran dichas curvas para los días soleados y nublados, indicándose la dispersión de la temperatura horaria mediante el rayado vertical y la de la media diaria con el horizontal.

Como era de esperar, se observa una marcada diferencia en la evolución de la temperatura entre los días soleados y los nublados, aún cuando las temperaturas medias diarias sean prácticamente iguales. En los primeros se da una gran amplitud térmica diaria, del orden de los 14 C, con una marca mínima que ocurre, por lo general, entre las 7 y 8 hrs. (hora civil) y un valor máximo que se registra entre las 14 y 16 hrs., con ascensos de temperatura de hasta 4 y 5 C/h. Los días del subgrupo 1-S (muy fríos y soleados) presentan, casi invariablemente, cielos muy claros y temperaturas mínimas por debajo de 0 C, habiendo en estos casos probabilidad de heladas en las zonas de baja masa térmica construida (áreas suburbanas). Por el contrario, en los días nublados la amplitud es mucho más reducida (entre 4 y 8 C) y por lo tanto rara vez se producen saltos de temperatura de más de 1 C/h y nunca se registran marcas inferiores a 0 C.

Estas observaciones, que parecen muy obvias y prescindibles, es necesario tenerlas presente ya que como consecuencia de dichas situaciones el comportamiento térmico de las viviendas y más aún la sensación de confort de las personas, serán completamente diferentes en un caso o en otro. Esto confirma lo ya comentado acerca del criterio de grados-día, que propone trabajar con un único valor promedio para todo el período frío, sin tener en cuenta las consideraciones formuladas.

Comparando entre sí a los distintos subgrupos de días soleados, puede comprobarse que la evolución horaria de la temperatura es prácticamente igual en todos ellos, cualquiera sea la temperatura media del día. Y algo similar ocurre con los días nublados aunque con una relativamente mayor dispersión, ya que éstos (y especialmente los días lluviosos) son bastante irregulares en su comportamiento.

En consecuencia, es posible definir una curva de oscilación standard de la temperatura para cada tipo de día (soleado o nublado), promediando hora por hora las diferencias entre cada valor horario y la temperatura media diaria respectiva.

Estas curvas standard, que muestra la

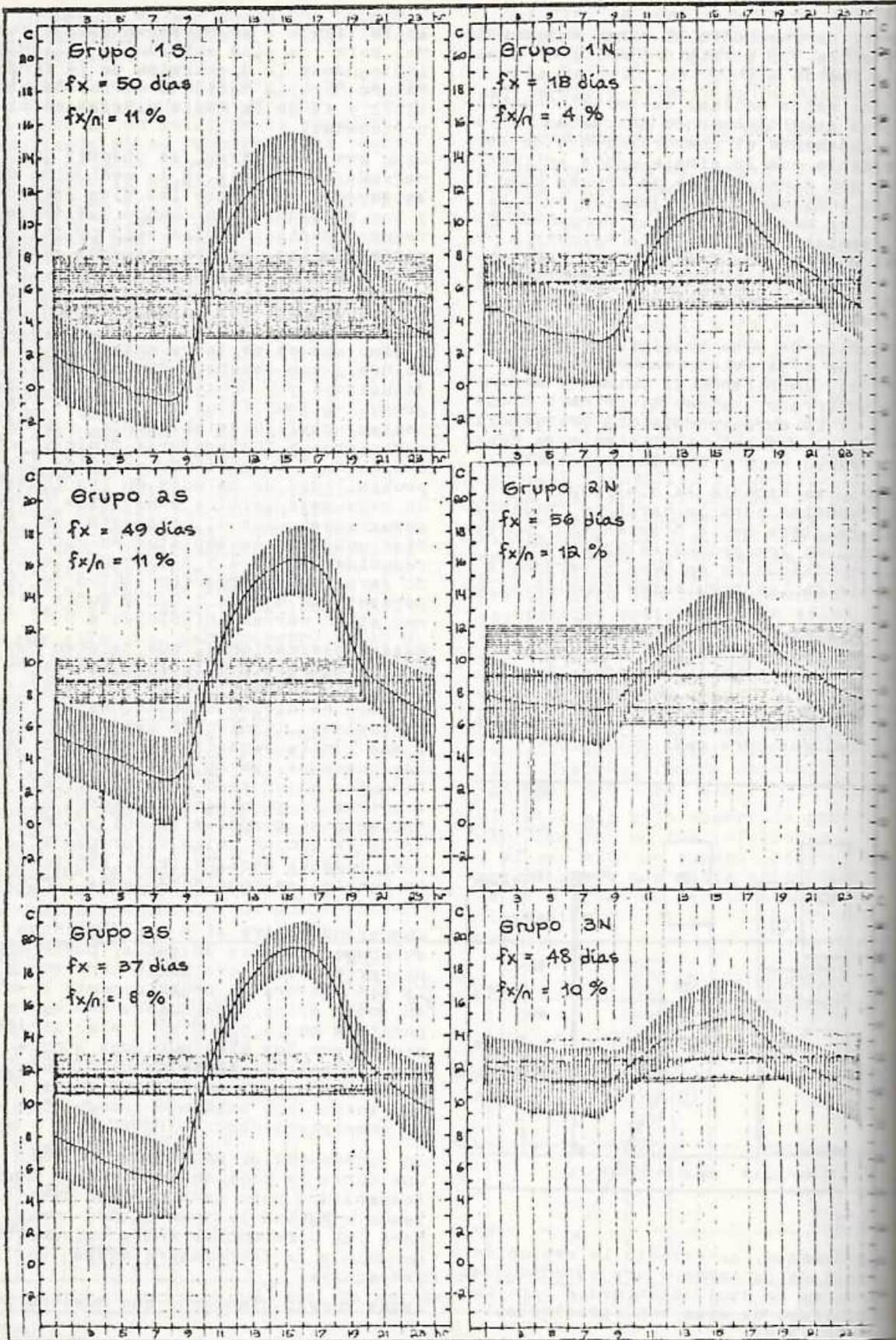


Figura 4

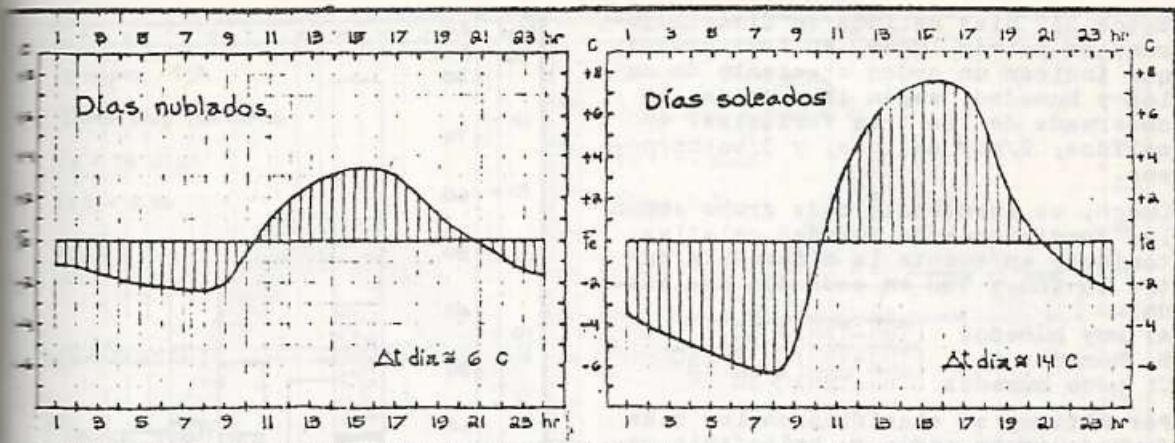


Figura 5

Figura 5, permiten reproducir la oscilación horaria aproximada de la temperatura de un día cualquiera, cuando se cuenta solamente con el valor de la temperatura media y el porcentaje de nubosidad o heliofanía relativa, o en última instancia sólo con las temperaturas máxima y mínima.

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE VERANO

Para el período cálido la muestra se limitó a los meses de diciembre, enero, febrero y marzo del quinquenio en estudio, totalizando una población de 38 días. En este caso el análisis climático es algo más complejo que el de invierno, ya que para nuestra zona es necesario tener en cuenta la humedad relativa del aire, despreciada en invierno, y también las temperaturas mínimas.

En consecuencia, se estudiaron simultáneamente las frecuencias de las variables "temperatura de bulbo seco media diaria" (TBS), "temperatura de bulbo húmedo media diaria" (TBH), y "temperatura de bulbo seco máxima" (TBS max), cuyos respectivos polígonos de distribución se observan en la figura 6.

Para definir los intervalos a estudiar anteriormente, se establecieron determinados valores para cada variable que deberían ocurrir simultáneamente para que un día pueda ser considerado como climatológicamente cálido, es decir, cuando es necesario algún tipo de acondicionamiento en la vivienda para estar confortable (7). Dichas condiciones son:  $TBS > 23\text{ C}$ ,  $TBH > 19\text{ C}$  y  $TBS\text{ max} > 30\text{ C}$ , que están indicadas por el rayado vertical en los polígonos de frecuencias. Los días que superaban los límites establecidos resultaron ser 232 a lo largo de los cinco años analizados, representando un 38% del total de la muestra.

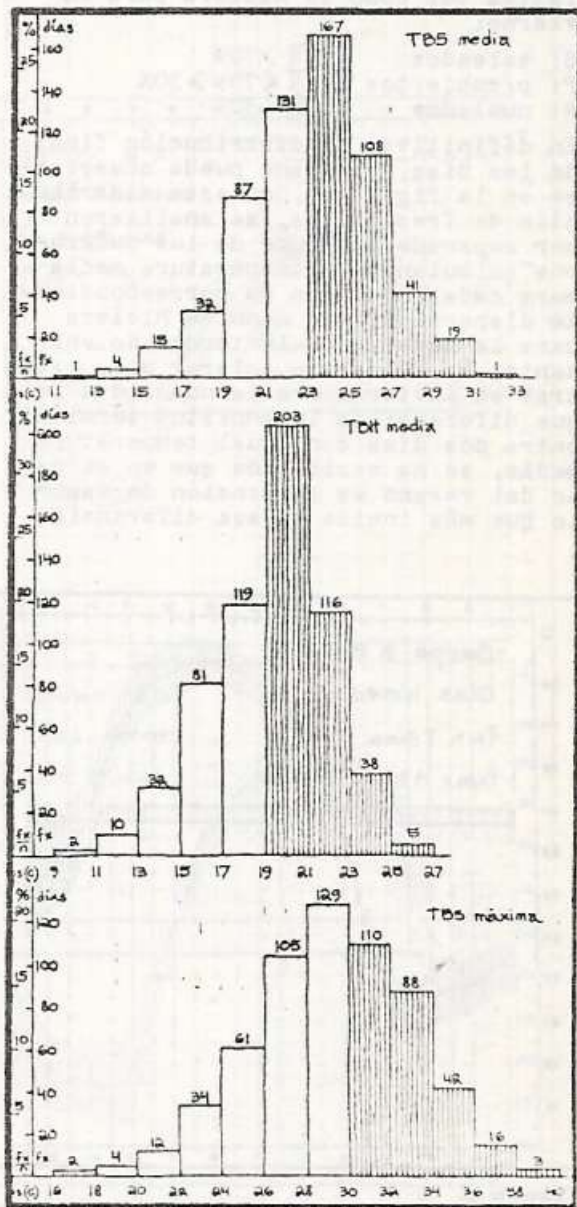


Figura 6

Estos 232 días cálidos se distribuyeron, en primer lugar, en tres grupos que indican un orden creciente de calor y humedad, según la combinación observada de las tres variables: 1/ cálidos, 2/muy cálidos, y 3/bochornosos.

Luego, se subdividió cada grupo según las condiciones de humedad relativa, teniendo en cuenta la diferencia entre la  $\overline{TBS}$  y  $\overline{TBH}$  en cada día analizado:

- A: muy húmedos  $(\overline{TBS} - \overline{TBH}) < 3C$
- B: húmedos  $(\overline{TBS} - \overline{TBH}) > 3C < 5C$
- C: poco húmedos  $(\overline{TBS} - \overline{TBH}) > 5C$

Por último, se clasificaron los días de cada grupo según su heliofanía relativa tal como se hiciera para invierno:

- S: soleados  $\overline{HR} > 70\%$
- P: p/cubiertos  $\overline{HR} < 70\% > 30\%$
- N: nublados  $\overline{HR} < 30\%$

En definitiva, la distribución final de los días de verano puede observarse en la figura 7. Con esta distribución de frecuencias, se analizaron por separado cada uno de los subgrupos calculando la temperatura media para cada hora, con su correspondiente dispersión, tal como se hiciera para la muestra de invierno. No obstante, es necesario aclarar que, mientras en invierno era la nubosidad lo que diferenciaba la amplitud térmica entre dos días con igual temperatura media, se ha verificado que en el caso del verano es la tensión de vapor lo que más incide en esa diferencia.

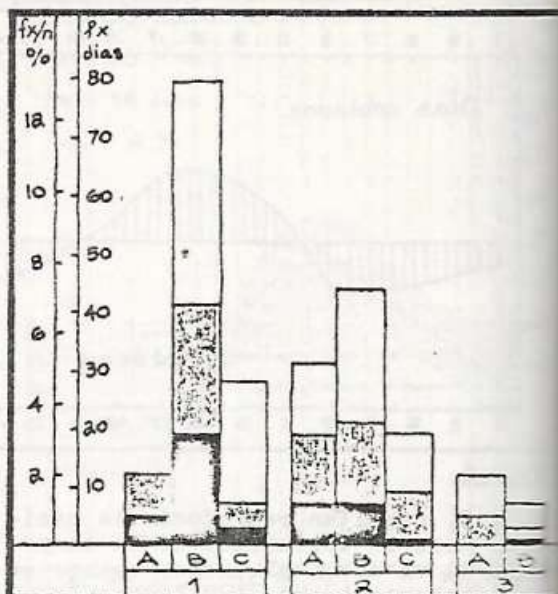


Figura 7

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos para cada subgrupo, consignándose las respectivas dispersiones y frecuencias de cada tipo de día.

Las conclusiones que pueden extraerse son más o menos similares a las del invierno, con la salvedad ya mencionada respecto de la tensión de vapor como variable definitoria de la amplitud térmica diaria. Consecuentemente con el mismo procedimiento anterior se construyeron las curvas standard

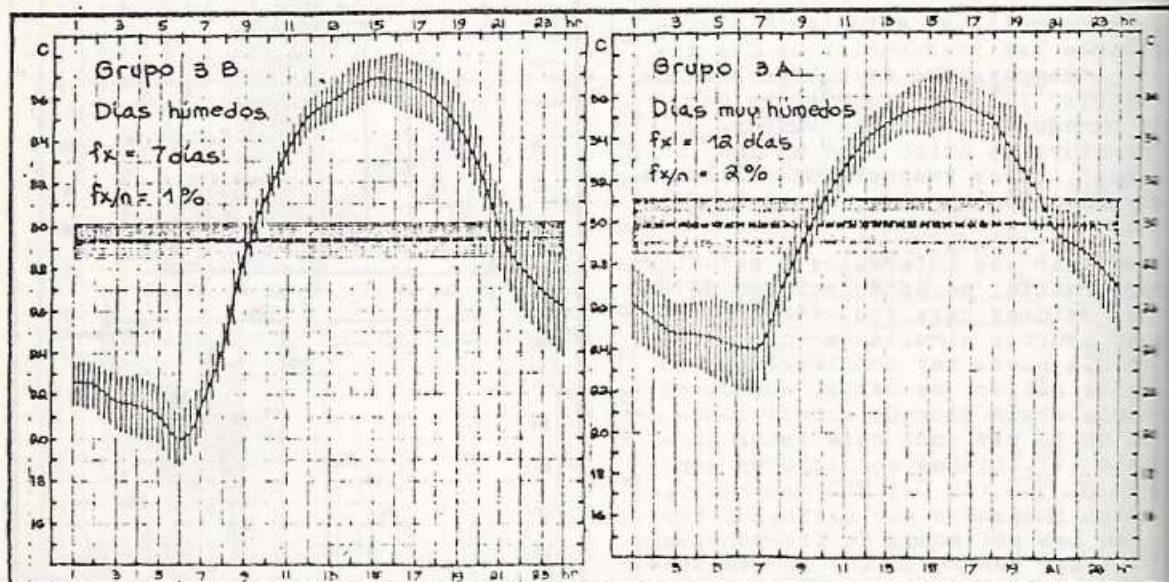
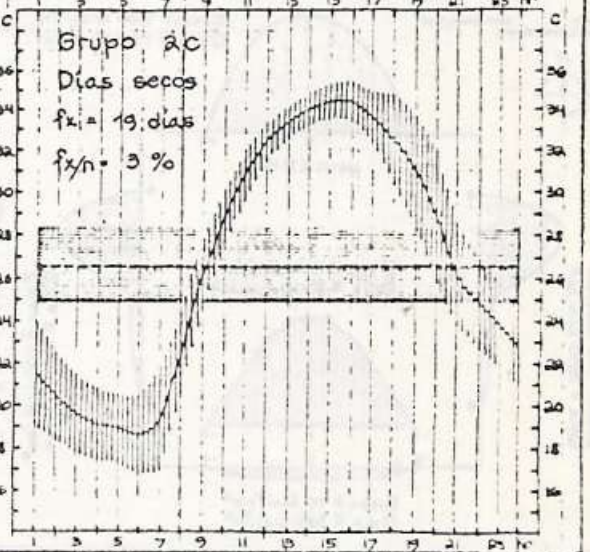
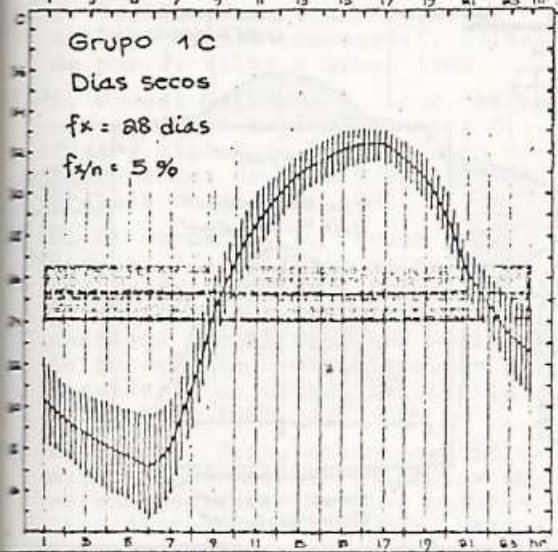
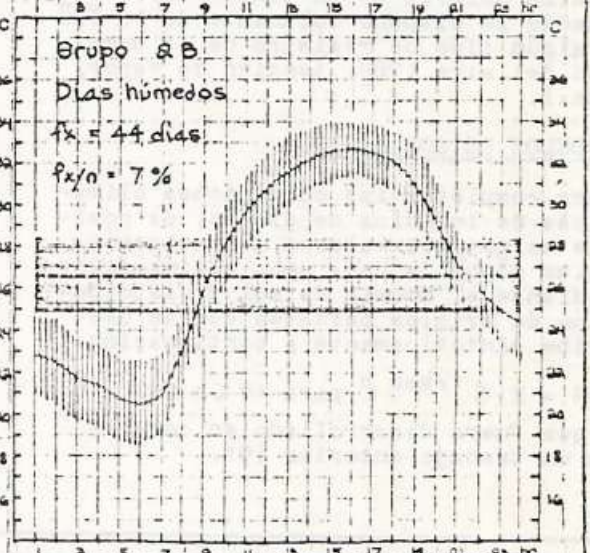
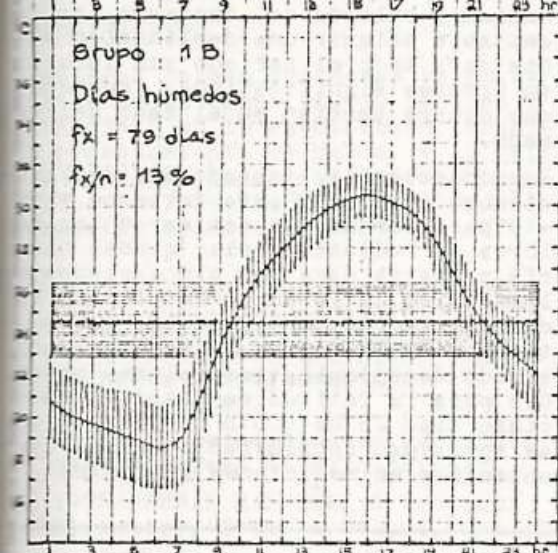
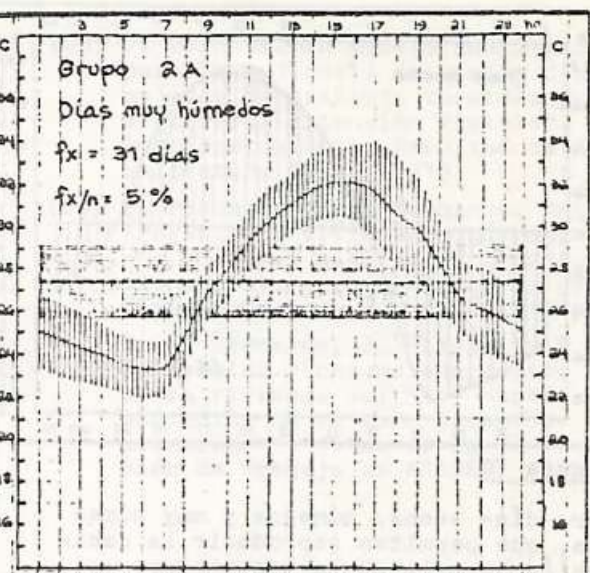
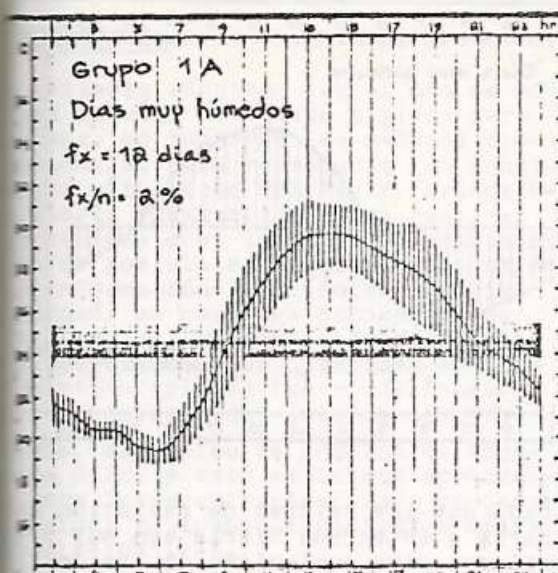


Figura 8



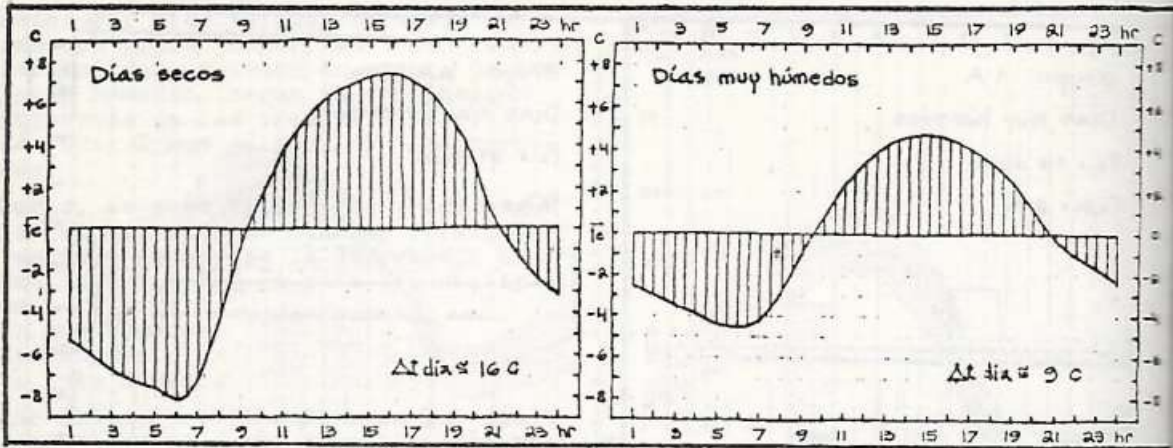


Figura 10

para días secos, húmedos y muy húmedos, que permiten reproducir la oscilación horaria de la temperatura cuando se dispone solamente de la TBS y algún tipo de registro de la humedad del aire (TBH, tensión de vapor, etc.).

#### MODELOS DE SOL Y CIELO

Para completar las condiciones climáticas de los días de diseño, es posible asignarles valores de radiación solar global a cada uno, estimándolos mediante el modelo de sol y distribución de brillos celestes que se describe sintéticamente a continuación:

$$ESN = K \tau^{1/\sin h} \text{ para } 10 \leq h \leq 90 \quad (8)$$

y que fuera desarrollado en detalle en un trabajo anterior (9).

Dado que los valores de radiación horaria e integrada diaria son muy similares para cualquiera de las declinaciones solares del invierno, es aceptable asignar una declinación media para todo el período sin incurrir en errores significativos, fenómeno que ocurre también en el caso del verano.

En consecuencia, tomando una declinación media de  $+19^\circ$  para invierno y de  $-18^\circ$  para verano, se estimaron los valores de radiación solar global horaria y diaria para los cinco planos elementales de la envolvente de un edificio (norte, este, oeste, sur y techo). En la figura 11 se muestran, a modo de ejemplo, los valores obtenidos para la latitud de Rosario con cielo tipo JB78c (CSTB 61 limpio) que se aproximan considerablemente a los obtenidos en mediciones realizadas

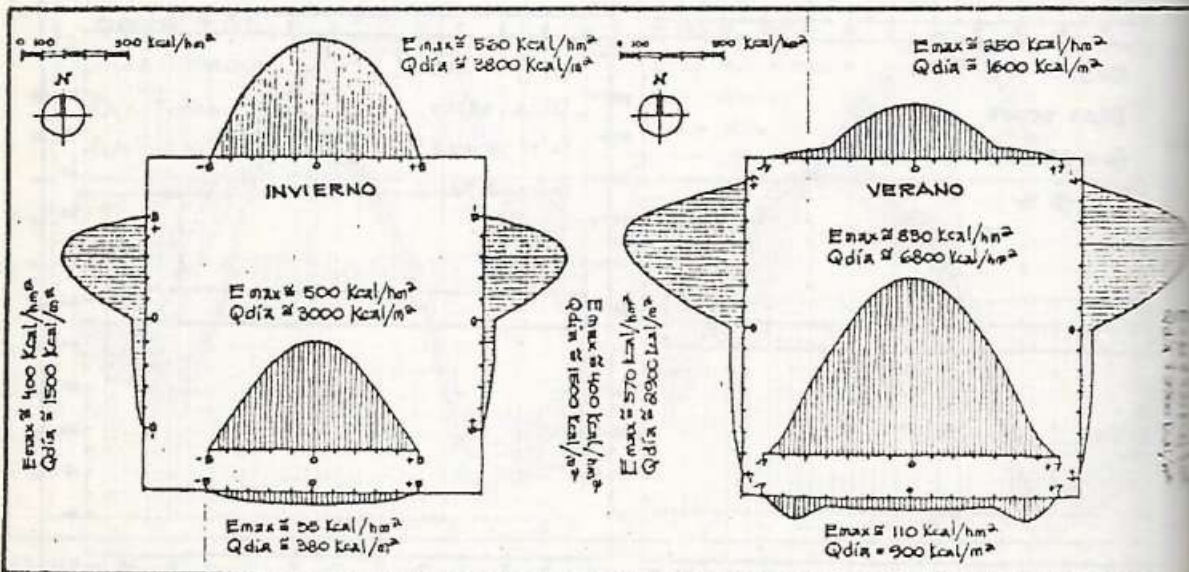


Figura 11



## CONCLUSIONES

El criterio adoptado con el uso de modelos de días de diseño típicos para una zona, en lugar de los métodos convencionales para reproducir las condiciones climáticas del lugar, brinda una cierta flexibilidad para realizar las evaluaciones térmicas de edificios. Esto es posible dado que se dispone de una información suficientemente discriminada en paquetes homogéneos de días, con sus respectivas frecuencias de dispersiones, que describen en forma particularizada las condiciones microclimáticas del área en estudio.

Además, el empleo de modelos es sumamente útil, y esto es lo más importante para los arquitectos, para comparar y evaluar rápidamente distintos diseños alternativos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de N. Cannelli, J. Vazquez y M. Glikstein en la recolección, archivo y procesamiento de datos, y al Jefe de la Estación Meteorológica Aeropuerto Fisherton, Sr. Berzano, por toda la información brindada.

## REFERENCIAS

- (08) J. Borgato. "Un modelo analítico para la radiancia de cielos despejados de distinta turbidez y arbitraria extensión visible". Publicación de la Facultad de Arquitectura (UNR), 1979.
  - (09) D. Perone y E. Di Bernardo. "Anteproyecto de vivienda suburbana con sistemas pasivos de acondicionamiento". Actas de la IX Reunión de Trabajo de ASADES, 1984.
  - (10) E. Di Bernardo, J. Elicabe y R. Piacentini. "Consumo energético de la vivienda Sol 55 y experimentación de su muro colector-accumulador". Actas de la VI Reunión de Trabajo de ASADES, 1980.
- (1) J. Burgos y A. Vidal. "Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite".
  - (2) Servicio Meteorológico Nacional. "Estadísticas Climatológicas".
  - (3) 1976 ASHRAE HANDBOOK & Product Directory, Systems Volume, Cap 43.
  - (4) J. Duffie y W. Beckman. "Solar energy thermal processes". Editado por J. Wiley & Sons, 1980.
  - (5) H. Grossi Gallegos y otros. "Relaciones entre las componentes difusa y global de la radiación solar". Actas de la VII Reunión de Trabajo de ASADES, 1981.
  - (6) E. Di Bernardo, D. Perone y J. Vazquez. "Estudio económico energético del confort térmico luminoso". Trabajo parcialmente financiado por el Programa Nacional de Energía No Convencional de la Secretaría de Estado de Ciencia y Técnica, 1985.
  - (7) B. Givoni. Curso sobre acondicionamiento térmico de edificios en verano mediante energías naturales, dictado en el IADIZA, Mendoza, marzo 1984.