

John Martin Evans

Profesor-Investigador.
Centro de Investigación
Hábitat y Energía
Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo,
Universidad de Buenos
Aires. Argentina.
e-mail: evans@fadu.uba.ar

Recibido: junio 2000
Aceptado: noviembre 2000

TÉCNICAS BIOCLIMÁTICAS DE DISEÑO: LAS 'TABLAS DE MAHONEY' Y LOS 'TRIÁNGULOS DE CONFORT'

JOHN MARTIN EVANS

TECNICAS BIOCLIMATICAS DE DISEÑO: LAS 'TABLAS DE MAHONEY' Y LOS 'TRIÁNGULOS DE CONFORT'

BIOCLIMATIC DESIGN RESOURCES: THE 'MAHONEY TABLES' AND THE CONFORT TRIANGLES'

RESUMEN

ABSTRACT

Este trabajo presenta el concepto y aplicación de los Triángulos de Confort, técnica de diseño basada en la experiencia de las Tablas de Mahoney, desarrolladas hace tres décadas con la participación del autor. Si bien ambas técnicas facilitan la elección de recursos apropiados de diseño bioclimático según las condiciones meteorológicas típicas de cada mes, los Triángulos de Confort permiten visualizar la relación entre condiciones climáticas y condiciones deseables de confort, seleccionar recursos de diseño bioclimático y verificar el funcionamiento de edificios existentes, con énfasis en la amplitud térmica y su modificación al incorporar inercia térmica, ventilación selectiva y la utilización de energía solar en proyectos de arquitectura.

This paper presents the concept and application of the Comfort Triangles, a design tool based on the experience of the Mahoney Tables, developed three decades ago with the authors participation. Though both design tools indicate appropriate bioclimatic design resources, according to the typical meteorological conditions in each month, the Comfort Triangles allow a visualisation of climatic conditions and desirable comfort requirements, as well as support for the selection of bioclimatic design resources and verification of conditions in existing buildings. The Triangles emphasise temperature variation and its favourable modification by thermal inertia, selective ventilation and use of solar energy in architectural projects.

PALABRAS CLAVES

arquitectura bioclimática, confort térmico, pautas de diseño.

KEY WORDS

bioclimatic architecture, thermal comfort, design principles.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de las condiciones requeridas para lograr confort térmico involucra múltiples variables climáticas y culturales, adicionalmente a la vestimenta, la postura y el nivel de actividad física. Varias herramientas gráficas fueron desarrolladas con el fin de evaluar las condiciones con tablas y diagramas que permitan la visualización de dos variables principales, típicamente temperatura del aire y humedad relativa o absoluta. El Diagrama Bioclimático de Olgay (1963) y el Diagrama Psicrométrico de Givoni (1981) son probablemente las herramientas más conocidas y utilizadas.

Dado el número de variables, estos diagramas tienden a una simplificación o reducción de las mismas, por ejemplo, limitando la zona de confort para actividades sedentarias en ropa liviana para una o posiblemente dos épocas del año, para una combinación de condiciones de temperatura, humedad, radiación y movimiento de aire en un momento de tiempo, etc. Sin embargo, en climas desérticos o continentales, la amplitud de temperatura exterior durante el día es muy importante, factor que influye notablemente en la capacidad de lograr el nivel esperado de confort.

En el interior de los edificios, la amplitud de la temperatura depende en parte de las características térmicas de los materiales, especialmente la capacidad térmica de materiales utilizados en los elementos interiores y la inercia térmica de la envolvente. Los edificios pesados, con terminaciones interiores duras y paredes y techos exteriores con gran inercia térmica, permiten reducir la amplitud térmica interior, mientras los edificios con materiales livianos con reducida inercia y aislamiento térmico, tendrán mayor amplitud de temperatura en su interior. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que la amplitud térmica

interior también depende de la protección solar, las estrategias de ventilación empleada y los horarios de uso de los espacios interiores. Sin embargo, a diferencia a las condiciones típicas fluctuantes experimentadas en la vida diaria, gran parte de los estudios utilizados para establecer escalas de confort ponen énfasis en condiciones estables y permanentes, como resultado de los siguientes factores:

- Los estudios de confort térmico, realizados en laboratorio con cámaras climáticas, utilizan temperaturas constantes.
- Las respuestas de encuestas de usuarios están normalmente referidas a condiciones en un momento establecido y específico.
- Los sistemas de acondicionamiento artificial pretenden establecer condiciones ambientales ideales, fijas, y constantes. Normas de confort (por ejemplo, ISO 7730, 1993) responden a este requerimiento.

Sin embargo, es importante notar que las variaciones de temperatura son imprescindibles para el funcionamiento de sistemas solares pasivos y varios recursos de diseño bioclimático. Cuando se analizan y comparan condiciones de confort, la manera que varían las

temperaturas horarias medidas en el interior de edificios o que fluctúan las salidas de programas de simulación, puede ser más importante que las temperaturas específicas en un momento dado.

2. IMPORTANCIA DE LA AMPLITUD TÉRMICA

Considerando las variables ambientales básicas de confort térmico, temperatura, humedad, movimientos de aire y radiación, la Tabla 1 indica el efecto de variaciones de las mismas, expresado como el cambio equivalente de la temperatura bulbo seco para obtener la misma sensación térmica. En todos los casos, se comparan variaciones posibles en un día, en un ámbito apto para actividad sedentaria.

Variable	Unidad	Variación	Cambio de sensación térmica	Otros factores
Temperatura, bulbo seco	Celsius	19 a 25°C o 23 a 29°C	6°K	
Humedad	Humedad relativa %	40-80%	2°K (con altas temperaturas)	Condensación o sequedad
Movimiento de aire	Metro/segundo	0 - 2 m/s 0 - 1 m/s	2°K (con altas temperaturas) 2°K (con bajas temperaturas)	Molestias: polvo, levanta papeles
Radiación: Temp. Media Radiante TMR (MRT)	Celsius	-2 a +2°C	2°K	Condensación, discomfort por asimetría

Tabla 1. Variaciones máximas de las condiciones ambientales en un espacio de actividades sedentarias y su impacto sobre la sensación térmica.

La Tabla 1 demuestra que la variación aceptable de temperatura tiene tres veces más importancia en el confort que la máxima variación aceptable o posible de las otras variables. Sin embargo, y a diferencia de los otros factores, la variación de temperatura también permite la aplicación de recursos para moderar favorablemente las condiciones interiores.

Los siguientes recursos de diseño bioclimático requieren importantes variaciones de temperatura para su eficaz funcionamiento:

Inercia térmica: La incorporación de inercia térmica en espacios interiores permite disminuir la variación de temperatura interior. Materiales densos aumentan su temperatura en menor grado que los materiales de baja capacidad térmica cuando están sujetos a la misma cantidad de calor. Sin embargo, en edificios con acondicionamiento artificial donde la temperatura está controlada entre límites muy estrechos, la capacidad térmica no aporta mayores ventajas.

Retraso térmico: El uso de materiales densos, de gran capacidad térmica en paredes y techos de la envolvente, permite retrasar la transmisión de calor hacia el interior, reduciendo el calentamiento del espacio en los períodos cuando las temperaturas exteriores son altas, disminuyendo también las pérdidas nocturnas. La combinación de capas interiores densas y un material aislante en el medio de las capas constructivas permite lograr buena inercia con menor peso de los elementos de la envolvente.

Ventilación selectiva: A medio día, por ejemplo, cuando las temperaturas exteriores superan los niveles deseables, se puede reducir la tasa de ventilación. Por el contrario, a la noche, se puede aumentar las tasas de ventilación para refrescar el interior ("refrescamiento nocturno"). Utilizando esta estrategia en combinación con inercia térmica, se llega a reducir la temperatura media y la amplitud térmica interior. En épocas más frías, se puede reducir la ventilación nocturna y aumentar la ventilación a medio día cuando las temperaturas exteriores son confortables, levantando la temperatura media.

Ganancias solares: El ingreso de radiación solar a través de aberturas vidriadas aumenta la temperatura interior. Este factor permite lograr el almacenamiento del calor en los materiales densos de los espacios interiores, reduciendo sobre calentamiento diurno y mejorando el confort nocturno.

3 • TABLAS DE MAHONEY

Las Tablas de Mahoney fueron desarrolladas en 1969 y publicadas en una monografía de Naciones Unidas, de Koenigsberger, Mahoney y Evans (1971); asimismo, algunas secciones con las Tablas fueron incluidas en Koenigsberger et al. (1974). La edición de estas publicaciones, traducidas además al castellano y al francés, aseguró una amplia difusión del método. Es interesante notar que el concepto fue desarrollado durante un estudio realizado en Nigeria. Allí, el clima cambia gradualmente desde las condiciones cálidas y húmedas sobre la costa en el sur, con poca variación durante el año, a las condiciones típicas del desierto en el norte, con mayor amplitud térmica diaria y cambios estacionales más pronunciados.

Los libros sobre arquitectura tropical proponían soluciones prototípicas para climas característicos, tales como los cálidos y húmedos de las zonas ecuatoriales, o los calurosos y secos del desierto, ejemplificados por el libro de Olgyay. Sin embargo, el mayor problema reside en definir las pautas bioclimáticas de diseño para climas de transición, donde los proyectistas requieren información sobre las modificaciones de las pautas a medida que varían las condiciones climáticas.

Estas Tablas proponen un análisis realizado en cuatro etapas:

- Análisis de **datos meteorológicos** típicos de cada mes, preparados con ciertas simplificaciones al fin de caracterizar sus rasgos principales.
- Comparación de dichos datos con **zonas de confort**. A diferencia de otros estudios, las zonas de confort contemplan variaciones según la temperatura media anual, considerando un modelo «adaptable» (adaptive model) de confort (F. Nicol, 1995) y distintas zonas para día y noche. Los resultados son un registro de los meses con condiciones cálidas, confortables o frías, de día y noche. En la Tabla 2 se indican los valores propuestos.
- Identificación de **indicadores** que surgen del análisis de condiciones climáticas coincidentes con «confort» o «disconfort» en cada mes. Por ej., «calor» con «alta humedad» y «baja amplitud térmica».
- Definición de **pautas de diseño**, dependiendo del número de meses con distintos indicadores.

A diferencia de los diagramas de Olgyay o Givoni, la Tablas de Mahoney permiten evaluar la duración de las condiciones de disconfort y la necesidad de responder con recursos bioclimáticos específicos, equilibrando las necesidades en distintas épocas del año. Por ejemplo, un día con temperaturas calurosas, con alta humedad y baja amplitud térmica, corresponde al indicador H1 (movimiento de aire) mientras el calor asociado con alta amplitud térmica y baja humedad corresponde al indicador A1 (capacidad térmica). Según la Tabla 3 de Mahoney, en climas compuestos, con estaciones húmedas y secas, la inercia térmica es deseable en techos con un mínimo de seis meses del indicador A1, mientras es recomendable en paredes con un mínimo de 3 meses del indicador A1.

En la aplicación de estas Tablas, la amplitud de temperatura mayor a 10° fue considerada como un indicador de la necesidad de incorporar inercia térmica, mientras una amplitud menor permite una eficaz utilización de la ventilación cruzada. En el primer caso, se requieren ventanas de tamaño controlado así como plantas profundas y compactas, mientras en el segundo caso, se requieren plantas de escasa profundidad y aberturas de mayores dimensiones.

Humedad media	Grupo de Humedad	Confort Día	Confort Noche	Confort Día	Confort Noche	Confort Día	Confort Noche
		TMA* < 15° C		TMA* = 15 - 20° C		TMA* > 20° C	
0-30 %	1	21-30	12-21	23-32	14-23	26-34	17-25
30-50 %	2	20-27	12-20	22-30	14-22	25-31	17-24
50-70 %	3	19-26	12-19	21-28	14-21	23-29	17-23
70-100 %	4	18-24	12-18	20-25	14-20	22-27	17-21

* TMA = Temperatura media anual.
Fuente: Koenigsberger et al. (1970).

Tabla 2 Condiciones de confort

4. TRIÁNGULOS DE CONFORT

Como resultado del desarrollo de los conceptos planteados anteriormente y las experiencias recogidas con la aplicación de las Tablas de Mahoney, se desarrolló una técnica gráfica de diseño bioclimático con mayor énfasis en la amplitud térmica, Evans y de Schiller (1986). Aquí se presenta una revisión de la misma, tomando en cuenta la variación de condiciones durante el día. El gráfico presentado en la Figura 1 permite lograr la visualización directa y el análisis comparativo de la variación periódica diaria de temperatura, con el fin de facilitar las siguientes tareas y aplicaciones:

- **Presentación y comparación de datos climáticos**, tales como temperatura media máxima y mínima mensual, representativos de la variación diaria típica de temperatura durante distintas épocas del año.
- **Definición de zonas de confort según el nivel de actividad física** (dormir, descansar, sentar, caminar, trabajar, etc.).
- **Selección de estrategias de diseño bioclimático** con el fin de obtener modificaciones favorables de la variación de la temperatura exterior para lograr condiciones interiores deseables. Se identifican las estrategias apropiadas a través de la comparación entre las condiciones exteriores registradas en la estación meteorológica y las condiciones deseables indicadas en las zonas de confort representadas en el mismo gráfico.
- **Evaluación de la variación diaria de las temperaturas interiores** utilizando registros de mediciones en proyectos realizados o datos obtenidos de simulaciones numéricas. Dicha evaluación indica la eficacia relativa de estrategias alternativas utilizadas en el proyecto.

El eje horizontal del gráfico representa la temperatura media del periodo analizado, 24 horas en general, mientras el eje vertical indica la amplitud o diferencia entre temperatura máxima y mínima durante el mismo periodo. La temperatura media corresponde a grados Celsius (°C), mientras la diferencia de temperatura se mide en grados Kelvin (°K). Un punto en el gráfico representa la variación de temperatura durante el día con la combinación de temperatura media y rango.

La Figura 1 indica cuatro zonas de confort: actividad sedentaria **A**, descanso **B**, circulación interior **C** y exterior **D**, formando triángulos.

El triángulo **A** se configura de la siguiente forma: con 18°C, las condiciones medias son confortables pero sin variaciones de temperatura. A medida que aumenta la temperatura media se mantiene confort con mayor amplitud térmica hasta los 23°C aprox.; con mayor temperatura, la amplitud térmica aceptable disminuye hasta llegar a 28°C aprox. Con baja humedad relativa y/o poblaciones acostumbradas a altas temperaturas, el límite máximo de la zona de confort puede alcanzar hasta 32°C. Sin embargo, una amplitud mayor a 10°C es excesiva para mantener confort aún ajustando la vestimenta, y por esta razón, el triángulo tiene forma truncada.

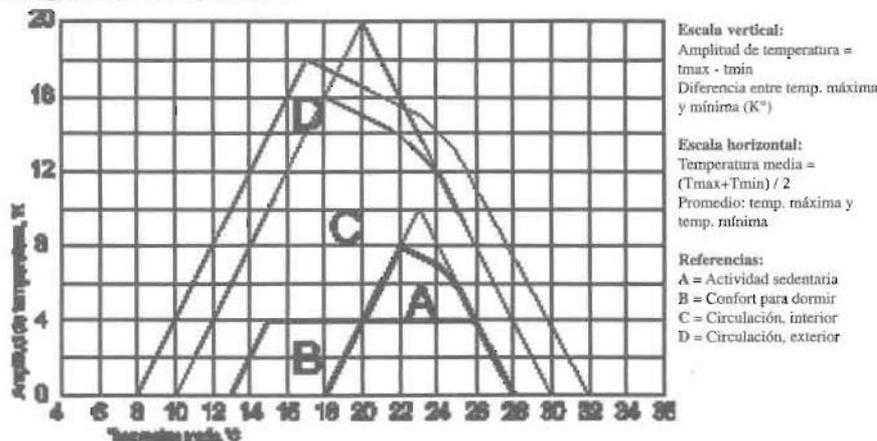


Fig. 1 Triángulos de Confort

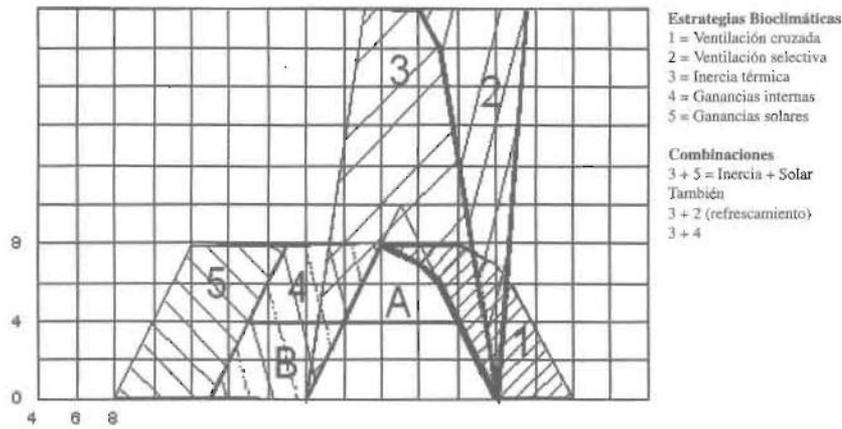


Fig. 2 Estrategias bioclimáticas

Las estrategias indicadas en la Figura 2 pueden ofrecer los siguientes resultados:

ventilación cruzada o movimiento de aire, usando ventiladores de techo, por ej., puede reducir la temperatura aparente en 2°K , con velocidades aceptables en oficinas, escuelas, etc. En espacios de circulación, mayores velocidades y disminuciones de temperatura son posibles.

ventilación selectiva, permite reducir la temperatura media en 3°K , logrando diferencias menores en zonas con menor amplitud.

inercia térmica, puede llegar a reducir la amplitud interior en una tercera parte de la amplitud exterior. Por ejemplo, con una amplitud exterior de 15°K , es posible mantener una amplitud interior de sólo 5°K o aún menor, con un diseño térmico consciente y cuidadoso.

ganancias internas, pueden aumentar $3\text{--}4^{\circ}\text{K}$ o más la temperatura media en edificios bien aislados, mientras las **ganancias solares** permiten alcanzar valores de hasta 10°K . Dado que las ganancias internas y solares son intermitentes, conviene incorporar materiales con adecuada capacidad térmica a fin de controlar la amplitud interior.

5. EJEMPLOS DE APLICACIONES: BUENOS AIRES Y MARACAIBO

En la Figura 3 se presentan dos ejemplos de la aplicación de los «Triángulos de Confort». En **Buenos Aires**, las temperaturas medias exteriores registradas en el mes de julio, indicadas por un círculo, varían entre 6 y 14°C . Si bien, con ganancia solar aumenta la temperatura media y la amplitud, incorporando materiales de gran capacidad térmica en los espacios interiores se pueden lograr condiciones confortables. En **Maracaibo**, las temperaturas medias varían entre 24 y 34°C . El uso de ventilación constante puede disminuir la temperatura media en 2 o 3 grados, aunque la amplitud resulte excesiva para lograr confort. Con ventilación selectiva, la amplitud es menor, pero todavía las condiciones no coinciden con las óptimas necesarias para actividades sedentarias.

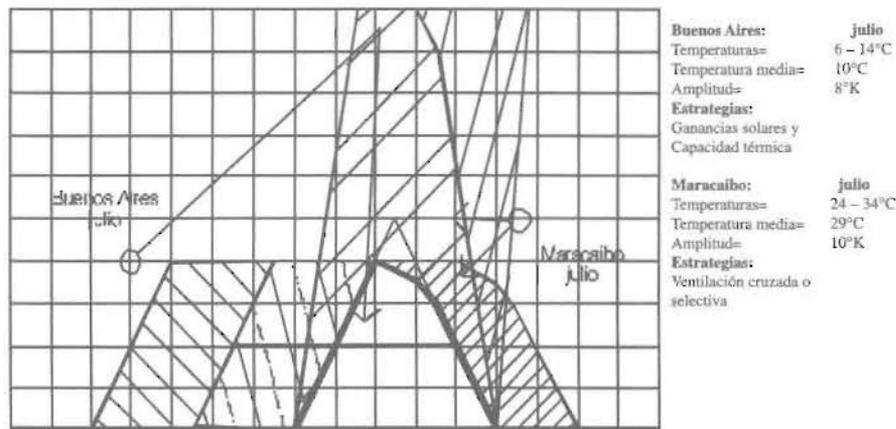


Fig. 3. Ejemplo de la aplicación de los Triángulos de Confort.

6. CONCLUSIONES

La amplitud térmica es una variable importante en los procesos de análisis climático, la definición de condiciones de confort, selección de estrategias bioclimáticas y verificación del comportamiento térmico en edificios construidos o de simulaciones numéricas. Las técnicas de análisis presentadas en este trabajo incorporan la variable *amplitud térmica* en forma explícita con el fin de permitir una mejor clasificación y visualización de las condiciones térmicas como apoyo al proyectista.

REFERENCIAS

- Evans, J. M. y de Schiller, S. (1986), *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, EUDEBA, Buenos Aires.
- Evans, J. M. (1999), *Thirty years of the Mahoney Tables*, in Szokolay, S. (Editor) *Proceedings of PLEA'99*, University of Brisbane, Brisbane, pp 161-164.
- Evans, J. M. (2000), *Comfort Triangles, Analysis of temperature variations and design strategies in passive architecture*, Paper accepted for publication, *Proceedings, PLEA 2000*, Cambridge.
- Givoni, B. (1976), *Man, Climate and Comfort*, Elsevier, London.
- ISO 7730 (1993), *Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. ISO, Geneva. (El método presentado en esta norma fue desarrollado por O. Fanger.)
- Koenigberger, O. H., Mahoney, C. y Evans, J. M. (1970), *Climate and house design*, United Nations, New York (También en castellano, *Clima y el diseño de casas*).
- Koenigberger, O.H., Ingersoll, Mayhew y Szokolay (1973), *Manual of Tropical Housing & Building, Part 1, Climatic design*, Longmans, London (Versión en castellano, Paraninfo, Barcelona).
- Olgay, V. (1963), *Design with climate*, Princeton University Press, Princeton N. J.,

©2000. COTEDI 2000. Todos los derechos reservados.

ISBN 980-232-789-1. Hecho el Depósito de Ley. Depósito Legal If 18520007201194