



**III ENCONTRO NACIONAL
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

**CUANTIFICACION DEL IMPACTO DE LAS SOMBRAS DE
LOS EDIFICIOS**

José Miguel Aroztegui, Arq.

Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Universidad de la República.
Bv. Artigas 103 1. Montevideo. CEP 11200. Uruguay.
Fax 586 2 406063 E-mail JMIGUEL@FARQ.EDU.UY

RESUMEN

Se presenta una metodología para cuantificar el impacto térmico de las sombras teniendo en cuenta las condiciones climáticas locales. Se define la Temperatura Neutra al Exterior para caracterizar las horas frías. El porcentaje de horas frías sombreadas en relación al total de horas frías con Sol, cuantifica el desagrado (impacto) sobre una retícula de puntos del entorno. Un programa de computador procesa los datos, presentando la distribución del impacto, expresado numérica y gráficamente para facilitar el análisis (3 dimensiones, secciones y planos de igual impacto).

ABSTRACT

This paper presents a methodology to quantify the thermal impact of shading taking into account local climate conditions. The Exterior Neutral Temperature is defined to identify the cold hours in open spaces. The % of shaded cold hours in the total cold sunlight hours, quantify the impact on a grid around the obstruction. Data are processed by a computer program, to develop the index impact distribution numerically and graficaly in order to simplify the analysis (3D, cross sections and equal impact planes).

PALABRAS-CLAVE

Impacto Térmico, Medio Ambiente, Sombra

1. INTRODUCCION

La evaluación del impacto producido por las sombras de los edificios en climas con varias estaciones rigurosas, es un tema complejo. El signo y la intensidad del efecto producido cambia a lo largo del año y aún durante un mismo día. El confort térmico en espacios exteriores está fundamentalmente determinado por la acción combinada del asoleamiento, la temperatura y la velocidad del aire. La complejidad de estas variables hace difícil una acción orientada a la preservación de la, - calidad del ambiente. Esto impulsa la creación de instrumentos de cuantificación que den base a criterios para la gestión.

El procedimiento usualmente empleado se basa en determinar para puntos específicos del entorno, el tiempo sombreado en que las temperaturas medias del aire son inferiores a una referencia de confort. Este enfoque es práctico para el empleo manual de métodos gráficos. Pero no permite cuantificaciones para una evaluación general del impacto.

El trabajo propone una metodología para cuantificar ese impacto en el ambiente térmico en torno a obstáculos, teniendo en cuenta condiciones climáticas locales, que incluyen las variables temperatura del aire, vientos, radiación solar y márgenes flexibles en las condiciones de aceptabilidad, que tienen en cuenta las ropas y los hábitos culturales. El procesamiento por computador permite realizar este análisis con rapidez y con salidas que instrumentan la adopción de decisiones para la gestión de los espacios urbanos.

2. BASES DEL METODO.

2.1. Temperatura Neutra al Exterior.

La neutralidad térmica, como valoración subjetiva de un ambiente, puede ser definida estadísticamente por el procedimiento empleado por Humphreys (1975). La Temperatura Neutra T_n , temperatura ambiental considerada por la población "ni caliente ni fría" pone en evidencia la lógica correlación entre las expectativas de la población ante ambientes acondicionados naturalmente, reflejadas en los hábitos de vida, vestimentas y nivel de actividades. Se comprueba una relación lineal entre la temperatura media mensual T_{mm} y la T_n , válida para ambientes interiores, donde la velocidad del aire es baja y las temperaturas medias radiantes no se apartan excesivamente de la del aire.

Los ambientes exteriores imponen la consideración de dos variables de difícil apreciación: la radiación solar y la velocidad del viento. La primera agrega el efecto de una temperatura radiante orientada por la posición del Sol y toda la complejidad de los tipos de cielos y las reflexiones del entorno. La segunda, se caracteriza por una acentuada turbulencia y por estar enormemente afectada en el espacio y en el tiempo por accidentes aleatorios al nivel del peatón. Estas dificultades exigen aceptar simplificaciones mientras se progresa en el dominio de las variables.

La Temperatura Neutra al Exterior T_{ne} es definida con base en iguales fundamentos que la T_n interna, pero incorporando los efectos de los principales agentes térmicos externos. T_n y

T_{ne} serán diferentes: el viento normalmente reduce la temperatura sensible y las radiaciones solares la incrementan. La dispersión de la valoración de las condiciones térmicas depende del control de los parámetros ambientales. Para los valores centrales de la distribución, T_{ne} será igual a T_n mas la compensación algebraica de los efectos generados por el viento y el Sol.

2.2. Efecto combinado del viento y Sol.

Givoni (1981) emplea el Index of Thermal Stress ITS, como indicador de la sensación térmica de individuos expuestos a condiciones exteriores. Las principales variables (intensidad de radiaciones solares, velocidad y temperatura del aire, ropas y actividad) son correlacionadas con coeficientes tabulados para situaciones típicas. Para una tasa de sudor nula confort en actividad sedentaria y arbitrando condiciones medias para las características del entorno (ropas 0,8 clo, actividad sedentaria, humedad relativa entre 35 y 65%), se determina la ecuación 1 con la suma de los efectos de los agentes exteriores a la temperatura neutra interior:

$$T_{ne} = 3,6 + 0,31.T_{mm} + \frac{100 + 0,1.R_{dn}(1 - 0,52.(V^{0,2} - 0,88))}{11,6V^{0,3}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: T_{ne} = Temperatura Neutra al Exterior (° C)
 T_{mm} = Temperatura media mensual (° C)
 R_{dn} = Radiación solar directa normal (W/m²)
 V = Velocidad media del aire (m/s)

La densidad de flujo de radiación solar directa medida perpendicularmente a los rayos R_{dn} (W/m²) se calcula de acuerdo a un modelo para cielo claro, ajustado a las condiciones de Montevideo (Rivero, 1989).

Es inviable modelizar, experimental o matemáticamente, las variadas situaciones del efecto térmico producido por el viento sobre peatones en espacios urbanos. Las informaciones disponibles sobre características del viento en espacios urbanos corresponden a tipificaciones gruesas. Los datos disponibles en la generalidad de los casos son los promedios mensuales de velocidad de vientos medidos en estaciones meteorológicas. El análisis deberá apoyarse en ellos, efectuando la corrección por la clase de "rugosidad" local, que va desde clase I "horizonte marítimo" hasta clase V "centro de grandes ciudades". La velocidad media disminuye al aproximarse al centro; las turbulencias en cambio crecen. El coeficiente que afecta la velocidad del registro meteorológico al nivel del peatón (Gandemer 1981), es:

rugosidad	clase I	clase II	clase III	clase IV	clase V
nivel 1,5m	0,98	0,65	0,40	0,2	0,12

2.3. Indicador del impacto de la sombra.

El desagrado provocado por la sombra -significancia del impacto- proviene del sombreado en los momentos en que las temperaturas medias del aire son inferiores a la Temperatura Neutra Exterior ($t_{aire} < T_{ne}$), o sea en el período frío “ pf ”. Sin embargo, el impacto debe ser evaluado considerando la duración del período en el año. Si solo hay una hora fría en el año con el sol sobre el horizonte y en esa hora hay sombra, el impacto será ínfimo y no el 100%, porque la duración del período frío es ínfima.

La significación del impacto en un punto se cuantifica, en consecuencia, por el porcentaje del período frío en que el punto considerado está en sombra con el Sol sobre el horizonte, ponderado de acuerdo a la duración del período frío con sol posible.

$$I (\%) = 100F_p \sum \left(\frac{\tau'' pf'' ensombra}{\tau'' pf'' Solpossible} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Siendo} \quad F_p = \frac{\tau'' pf'' Solpossible}{\tau Solpossible}$$

2.4. Estructura del flujo de datos.

2.4.1. Datos climáticos.

La forma corriente en que se presentan los datos de temperaturas del aire son los promedios mensuales de las máximas, mínimas y medias. Se ha programado un modelo de cálculo que permite determinarlas hora a hora y día a día, a partir de estos datos. Se basa en la variación inedia de temperaturas observada en Uruguay (Rivero, 1988)---Se procesa la información de archivos de acceso directo, que deben incluir la latitud, los promedios mensuales de velocidad de viento y la clase de rugosidad a considerar.

2.4.2. El obstáculo y su entorno.

Se analizan obstáculos constituidos por placas planas, apoyadas en el suelo, con bordes verticales de cualquier altura y con borde superior recto. Las dimensiones pueden ser dadas en cualquier unidad. Las dimensiones del entorno analizado se ajustan a la altura del obstáculo, generando automáticamente una matriz cuyo módulo es 1/5 de la altura mayor. La dimensión de la matriz es 21 x 21 teniendo en su centro a la placa. La retícula así dimensionada permite una buena idea del impacto que merece ser analizado.

2.4.3. Flujo de cálculo.

Como resultado del análisis, cada punto de la matriz tendrá asignado el vector indicador del porcentaje de las horas frías del año en que hay sombra en el punto por responsabilidad del obstáculo, ponderado por la duración del período frío. Se realizan las siguientes operaciones:

1. En cada **día del año**, para todos los intervalos desde la salida del Sol hasta la puesta, si $t_{aire} < T_{ne}$, entonces se acumulan los intervalos como "período frío con Sol" *PFS*.
2. Para cada **punto de la retícula**, en cada día del año y para todos los intervalos desde la salida del Sol hasta la puesta, si la $t_{aire} < T_{ne}$ y si el punto está en sombra, entonces se acumulan los intervalos como "período frío obstruido", *PFO*.
3. Para cada punto de la retícula, de las etapas 1 y 2 se obtiene el indicador para ese día $I = (PFO/PFS) \cdot 100$.
4. De día en día y para cada pinito de la retícula, se van acumulando los indicadores del impacto. Al termina;- el año se obtiene el indicador el cada pinito de la matriz, que será ponderado por la proporción de lloras frias con el sol sobre el horizonte.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

El programa SOMBRAS fué implementado en Turbo Pascal 7.0 (Aroztegui Massera, 1995), procesa los datos, con una fácil interacción con el usuario.

Los datos climáticos de las estaciones meteorológicas pueden ser previamente archivados, o pueden ser introducidos, modificados o eliminados al comienzo del trabajo. Para el caso de Uruguay se han archivado datos de 14 Estaciones, que barren las regiones climáticas del territorio.

La placa a analiza;- y su orientación debe ser introducida por el usuario. Una vez efectuado el procesamiento, los resultados pueden ser guardados en un archivo, al cual se accede directamente. Cuando solo interesa evaluar el impacto de un lado de la placa, es conveniente realizar el estudio para media matriz, para reducir el tiempo de procesamiento.

Debe ser asignado el intervalo de tiempo en que el programa analizará la posición del Sol y las condiciones climáticas. Este intervalo será decisivo en el tiempo de procesamiento. Para un lado de la placa, con intervalos de 60 minutos, se obtiene una buena aproximación en 4 minutos de procesamiento. No es significativa la mejoría de precisión reduciendo el intervalo a menos de 30 minutos.

Las salidas permiten una profundización progresiva en el análisis. Iniciando con la visión globalizadora de la matriz completa (o de media matriz), se puede continuar con plantas de igual impacto y con cortes por coordenadas de especial interés. Se dispone de los valores del ' impacto desplegados sobre la matriz con impresión directa de pantalla. La impresión de las salidas gráficas debe ser realizada con el auxilio de un capturador de imágenes y de un programa de impresión gráfica. Es posible realizar el análisis de diedros rectos, como esquinas de edificios por ejemplo, superponiendo las salidas numéricas de cada plano analizado separadamente.

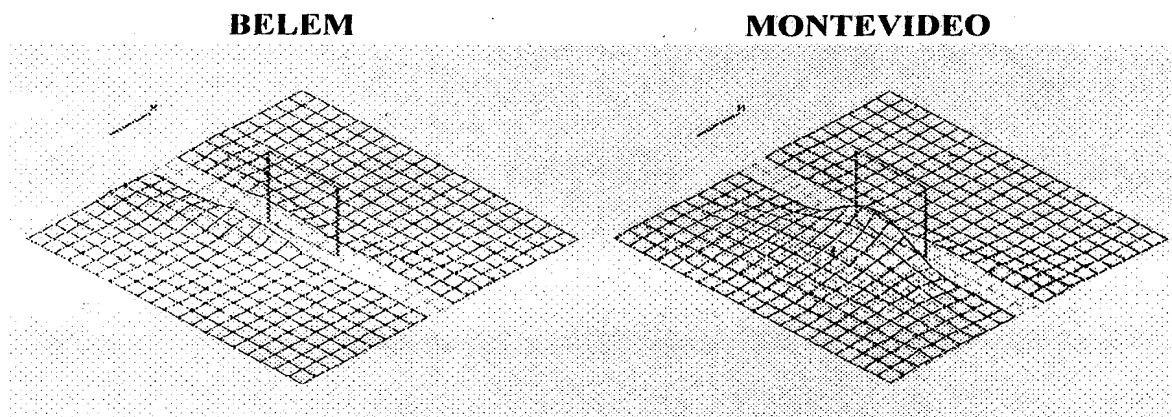
La disponibilidad del Año Típico permitiría acceder directamente a los registros horarios de datos climáticos. Esta posibilidad aún no ha sido instrumentada.

Se presentan ejemplos en Anexo. Es interesante comparar los impactos de una misma placa situada en Montevideo y Belem. Se perciben claramente las marcadas diferencias en el impacto, resultados de muy distintas latitudes, temperaturas y vientos.

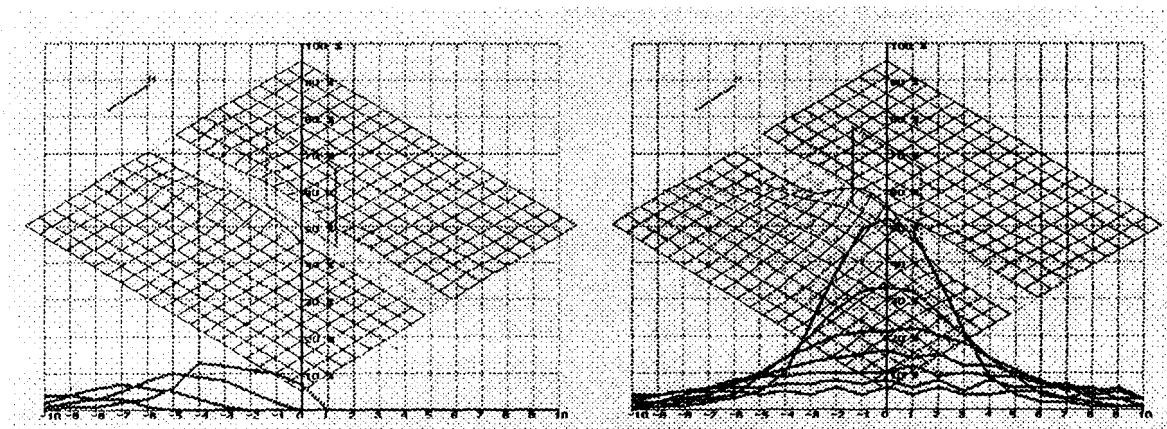
4. REFERENCIAS.

1. HUMPIREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. BRE Current Paper 76/75. Londres, UK.
2. GIVONI, B. Man, Climate and Architecture. Building Research Station, Technion. 2' Ed. 1981 Londres.
3. GANDEMER, J. GUYOT, A. La Protection contre le Vent. Brochare du CSTB, 1981. Paris, Francia.
4. RIVERO, R. Publicación SC15. 1989. Montevideo, Uruguay.
5. RIVERO, R. Arquitectura y Clima. Ed. Universidad de la República, 1988. Montevideo, Uruguay.
6. AROZTEGUI MASSERA, J. M. Programa Sombras 1.0, Algoritmos y Manual de Uso.

ANEXO



a.



b.

0	0	0	0	0	2	4	2	1	0	0	1	2	3	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	4	4	2	1	P	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	6	3	1		1	2	4	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	7	5	2		1	5	4	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	6	8	3	L	2	7	3	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	5	10	6		5	7	2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	3	9	13		9	6	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	8	12	A	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	5	11		8	3	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	A	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	3	2	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	2	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	1	2	1	0	0	0	0	0

c.

1	3	3	3	4	2	2	1	1	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
1	2	4	4	4	4	2	2	1	1	P	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0
1	2	3	5	5	5	4	3	2	1		1	3	2	0	0	0	0	0	0	0
1	2	3	5	6	6	6	4	3	2		2	3	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	4	5	6	7	8	7	4	3	L	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3	4	6	9	9	10	9	5		5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	5	7	9	11	14	14	10		4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	4	7	10	13	17	20	23	A	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	6	8	10	14	20	27	37		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	4	7	10	15	21	32	49		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	6	8	10	16	21	33	52		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	4	6	12	14	22	32	45	C	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	6	8	9	15	20	25	35		6	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3	4	5	10	12	18	20	21		6	3	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	3	4	6	9	12	14	14	9	A	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	3	5	6	9	10	11	9	4		4	5	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	4	5	6	7	8	7	4	2		3	3	3	1	0	0	0	0	0	0
0	3	4	3	6	7	5	6	3	2		2	3	4	1	1	0	0	0	0	0
1	3	2	5	6	4	6	3	2	1		1	2	3	1	1	0	0	0	0	0
1	2	3	6	3	5	3	3	1	1		1	1	3	2	1	1	0	0	0	0
1	2	5	3	3	3	3	1	1	1		1	1	3	2	1	1	0	0	0	0

Figura 1. Salidas del Programa SOMBRAS para una misma placa situada en Belem y Montevideo
 a. 3 dimensiones.
 h. Secciones paralelas a la placa.
 c. Planilla de impacto sobre la retícula.