

# 6

---

**MÉTODO DE DISEÑO MICROCLIMÁTICO PARA  
EL USO DE LA VEGETACIÓN EN LOS ESPACIOS  
EXTERIORES URBANOS.**

## **6.1 INTRODUCCIÓN.**

El objetivo del método, es guiar al arquitecto, en el proceso de diseño de espacios exteriores en entornos urbanos, de tal manera, que estos posean las características ambientales, que respondan a las expectativas de confort del usuario, yendo más allá de los criterios funcionales y estéticos, aprovechando las características geométricas, físicas y biológicas de la vegetación, como instrumento de acondicionamiento microclimático.

## **6.2 MÉTODO DE DISEÑO PROPUESTO.**

Este método está planteado para acompañar de una manera paralela y lógica al proceso de diseño de un espacio urbano, sin pretender restringir la creatividad del diseñador, por el contrario, creemos que añadir a los criterios funcionales y estéticos, la componente microclimática, enriquecerá de manera importante el producto final de este proceso.

El método se inicia determinando el tipo de espacio a analizar. En el capítulo 3, se han definido como los principales componentes de la trama urbana, las plazas y las calles, esto desde luego es una simplificación hecha para poder llevar a cabo el análisis con mayor facilidad. Por lo tanto lo primero será definir si analizaremos una plaza, una calle o una combinación de ambas.

El siguiente paso es el análisis arquitectónico, se trata de un análisis cualitativo, donde se ven las características físicas, espaciales y formales del sistema, tocando los siguientes temas de diseño: la ubicación, la forma del sistema, sus límites y los elementos vegetales que lo componen, según el método de análisis definido en el capítulo 4.

De acuerdo con el análisis arquitectónico, se generará una estrategia de diseño microclimático, siguiendo las pautas de diseño, establecidas en el capítulo 5, para elaborar el anteproyecto del espacio urbano.

El siguiente paso es estimación del grado de confort ambiental de los usuarios alcanzado de dicho espacio, y si es el caso de los efectos sobre el balance energético de

los edificios adyacentes. En el capítulo 5 se han definido los algoritmos que nos permitirán hacer este análisis.

Finalmente, si los resultados son satisfactorios, se procederá al desarrollo del proyecto definitivo, si no es así, se deberán de replantear las estrategias de diseño correspondientes, para luego volver a evaluar el sistema.

### **6.2.1 ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO.**

Para estudiar la relación entre la vegetación presente en los sistemas urbanos y el microclima generado en cada uno, se considerará que cada espacio exterior es un sistema que tiene como datos de entrada los parámetros climáticos locales y como salida los parámetros microclimáticos.

La trama, como sistema principal de un núcleo urbano, está compuesto por dos subsistemas básicos: el sistema calle - vegetación y el sistema plaza - vegetación, en cada sistema se estudiarán cuatro temas de análisis, que son: ubicación, forma, límites y elementos vegetales.

La tabla 6.2 nos muestra el desarrollo total del análisis arquitectónico, con todos los temas y aspectos de diseño, también se aprecian las posibles repercusiones climáticas de cada uno.

### **6.2.2 ESTRATEGIA DE DISEÑO MICROCLIMÁTICO.**

A partir del análisis arquitectónico y con ayuda de las pautas de diseño, se definirán una serie de acciones a seguir para la realización del anteproyecto de espacio exterior.

La tabla 6.3 nos indica la acción a seguir, según el elemento vegetal propuesto y los elementos climáticos que se requieran controlar.

La tabla 6.4 nos muestra la relación entre los parámetros de los elementos sólidos con las estrategias de control. La 6.5 relaciona los parámetros de los elementos vegetales y las estrategias a seguir.

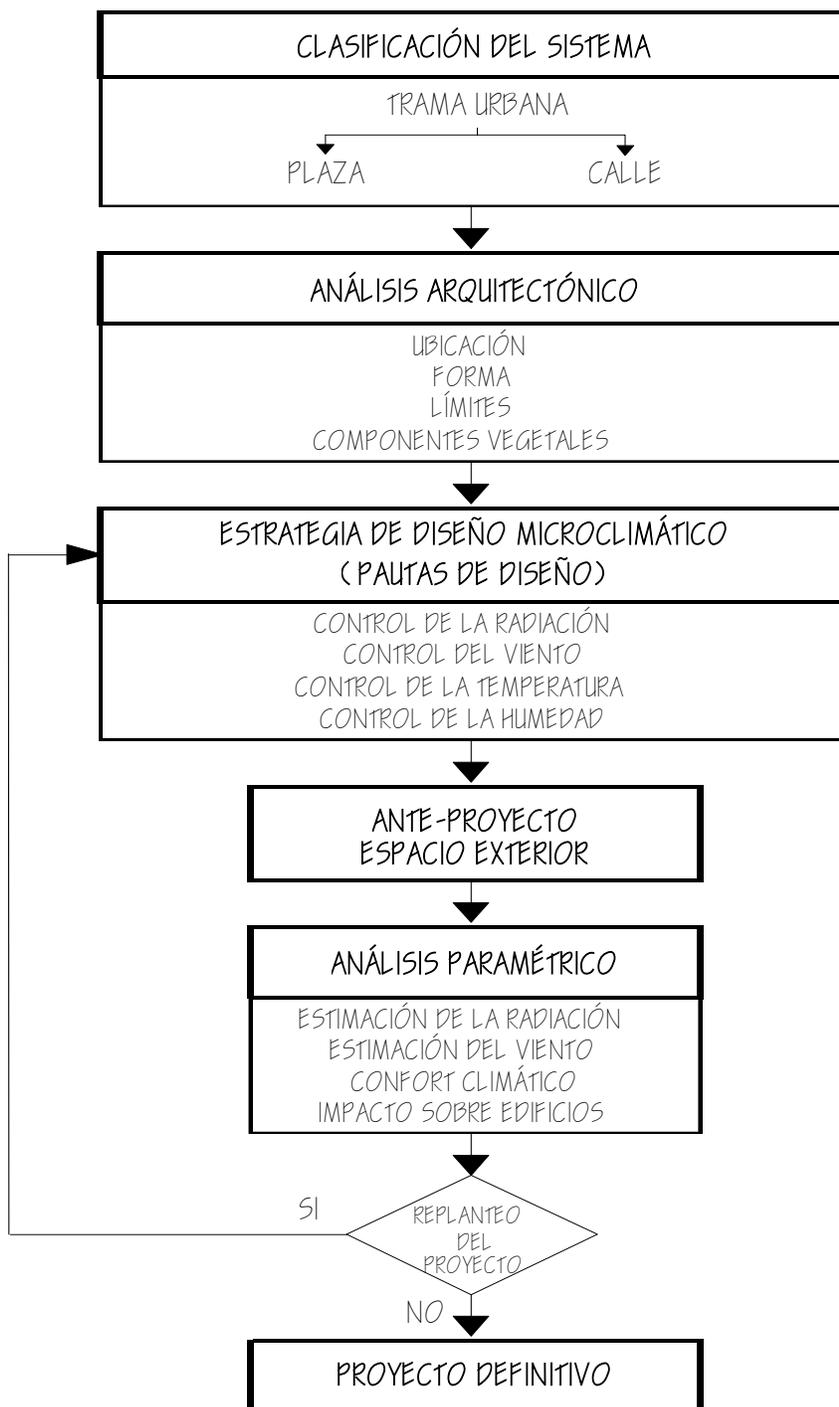
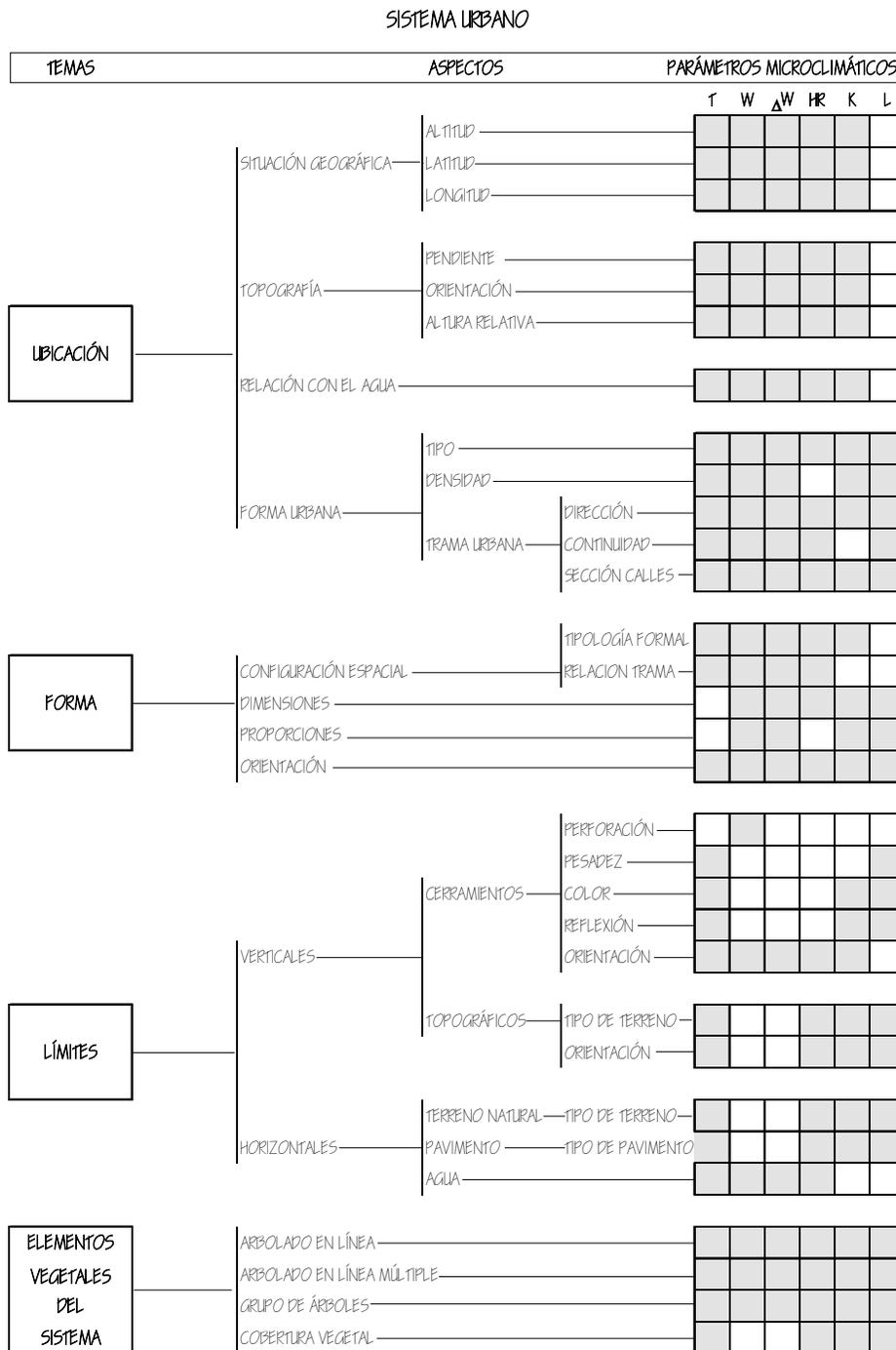


Figura 6.1 Diagrama del método de diseño microclimático.



**PARÁMETROS CLIMÁTICOS**

- |                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| T Temperatura del aire       | HR Humedad relativa   |
| W Velocidad media del viento | K Radiación solar     |
| ΔW Dirección del viento      | L Radiación terrestre |

Tabla 6.2 Desarrollo del análisis arquitectónico.

ELEMENTOS VEGETALES		Control de la radiación				Control del viento		Control de la temperatura	
		reflejada	difusa	directa	terrestre	velocidad	dirección	latente	sensible
Arbolado en grupo	sencilla	1,4	1,4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
	múltiple	4	4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
	setos	1,4	1,4	-	1,2	-	-	-	-
	barrera	1,4	1,4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
Arbolado	homogéneo	1,4	1,4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
	heterogéneo	1,4	1,4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
Pérgola	horizontal	1,4	1,4	1	1,2	-	-	-	1,3
	vertical	1,4	4	1	1,2	5,7	6,8	7,8	1,8,3
	inclinada	1,4	1,4	1	1,2	-	-	-	1,3
Cobertura vegetal	horizontal	4	4	-	1,2,3	-	-	-	2,3
	vertical	4	1,4	1	1,2,3	5,6,7	-	-	2,3
	inclinada	4	1,4	1	1,2,3	5,6,7	-	-	2,3

### ESTRATEGIAS DE CONTROL

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1 Proyección de sombras                            | 5 Obstrucción del viento   |
| 2 Control de temp. superficial ( incremento)       | 6 Deflexión del viento     |
| 3 Control de temperatura del terreno ( incremento) | 7 Filtración del viento    |
| 4 Control de reflexiones ( incremento)             | 8 Encauzamiento del viento |

Tabla 6.3 Estrategias de control climático atribuidas a los elementos vegetales.

PARÁMETROS DE ELEMENTOS SÓLIDOS			ESTRATEGIAS DE CONTROL						
			1	2	3	4	5	6	7
Radiativas	emisividad	alta			■		■		
		media	■	■	■	■	■		
		baja	■	■		■			
	transmisividad	alta		■		■		■	
		media	■						
		baja	■		■		■		■
	albedo	alta	■		■		■	■	
		media	■						
		baja		■		■			■
Térmicas	conductividad	alta			■		■		
		media							
		baja	■	■		■			
	capacitancia	alta		■		■			
		media							
		baja	■		■		■		
Higroscopicidad	alta			■		■			
	media			■		■			
	baja		■		■				

ESTRATEGIA DE CONTROL

- |  |  |
|--|--|
| 1 Proyección de sombras                      | 5 Control de temp. del terreno (disminución) |
| 2 Control de temp. superficial (incremento)  | 6 Control de reflexiones (incremento)        |
| 3 Control de temp. superficial (disminución) | 7 Control de reflexiones (disminución)       |
| 4 Control de temp. del terreno (incremento)  |  |

Tabla 6.4 Relación entre los parámetros de los elementos sólidos y las estrategias de control.

PARÁMETROS DE LA VEGETACIÓN		ESTRATEGIAS DE CONTROL												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Estructurales	Geometría	cilíndrica												
		cónica												
		cónica invertida												
		ovoidal												
		hemisférica												
	Disposición	continuo												
		irregular												
		agrupado												
	Altura	altos												
		medianos												
bajos														
enanos														
Tamaño de las hojas	grandes													
	medianas													
	pequeñas													
Transmitancia	transparente													
	semitransparente													
	denso													
Penetrabilidad	penetrable													
	semipenetrable													
	impenetrable													
Foliales	Carácter	caducifolia												
		perennifolia												
	Stress hídrico	tolerante												
		marjinal												
		susceptible												
	Stress por viento	tolerante												
		marjinal												
	susceptible	tolerante												
		marjinal												
	Exposición solar	pleno sol												
media sombra														
sombra total														

ESTRATEGIA DE CONTROL

- |  |  |
|--|--|
| 1 Proyección de sombras                      | 7 Control de reflexiones (disminución) |
| 2 Control de temp. superficial (incremento)  | 8 Obstrucción del viento               |
| 3 Control de temp. superficial (disminución) | 9 Deflexión del viento                 |
| 4 Control de temp. del terreno (incremento)  | 10 Filtración del viento               |
| 5 Control de temp. del terreno (disminución) | 11 Encauzamiento del viento            |
| 6 Control de reflexiones (incremento)        |  |

Tabla 6.5 Relación entre los parámetros de los elementos vegetales y las estrategias de control microclimático

### 6.2.3 ANÁLISIS PARAMÉTRICO.

El análisis paramétrico se realiza mediante los modelos descritos en los apartados 5.4, 5.5 y 5.6 del capítulo anterior.

Dado que uno de los principales objetivos de controlar el microclima de los espacios exteriores, es crear un ambiente confortable para las personas que lo utilicen, la manera de evaluar si las acciones emprendidas son las correctas, será estimando el grado de confort ambiental alcanzado en dicho espacio.

Las condiciones de confort entre un espacio interior y uno exterior, son muy diferentes, en los exteriores no se pretende alcanzar una sensación de bienestar equiparable a la obtenida en recintos interiores climatizados, de hecho más que "climatizar" un sitio, lo que se puede lograr es "atenuar" las condiciones climáticas; en condiciones extremas será francamente difícil alcanzar un nivel de confort aceptable.

El modelo de confort que se presentó en el apartado 5.4, se basa en el balance energético del cuerpo de una persona, con el cual se estiman los flujos de entrada y salida de energía y se hace un balance de lo que entra contra lo que sale, de tal manera que si el resultado está alrededor de cero ( $\pm 50 \text{ W/m}^2$ ), se puede esperar que la persona esté térmicamente confortable. Si el valor es alto ( $>150 \text{ W/m}^2$ ) en sujeto tendrá calor, y si es bajo ( $<-150 \text{ W/m}^2$ ) tendrá frío.

Los datos de entrada que requiere el modelo de confort son :

1. Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )
2. Velocidad del viento (m/s)
3. Humedad relativa (%)
4. Radiación total absorbida por la persona ( $\text{W/m}^2$ )
5. Aislamiento de la ropa
6. Permeabilidad de la ropa
7. Energía generada por el metabolismo de la persona ( $\text{W/m}^2$ )

La velocidad del viento en el sitio se puede estimar a partir de los datos del observatorio meteorológico más cercano, con el modelo empírico de la sección 5.6, los datos requeridos son :

1. Velocidad del viento en el observatorio (m/s)
2. Densidad urbana (edificios + vegetación)
3. Altura de la persona sobre el suelo (1,5 m usualmente)

La radiación recibida por una persona en espacios exteriores, se puede estimar usando el modelo del apartado 5.5, el cual requiere los siguientes datos de entrada :

1. Elevación solar (grados)
2. Radiación solar global sobre el plano horizontal del observatorio ( $W/m^2$ )
3. Radiación solar difusa como porcentaje de la global (%)
4. Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )
5. Transmisividad de la vegetación u objetos entre el sol y la persona (%)
6. Albedo de los objetos en el hemisferio celeste (%)
7. Albedo de la superficie del suelo (%)
8. Albedo de la persona (generalmente 37 % para una persona vestida).
9. Factor del cielo visible (%)

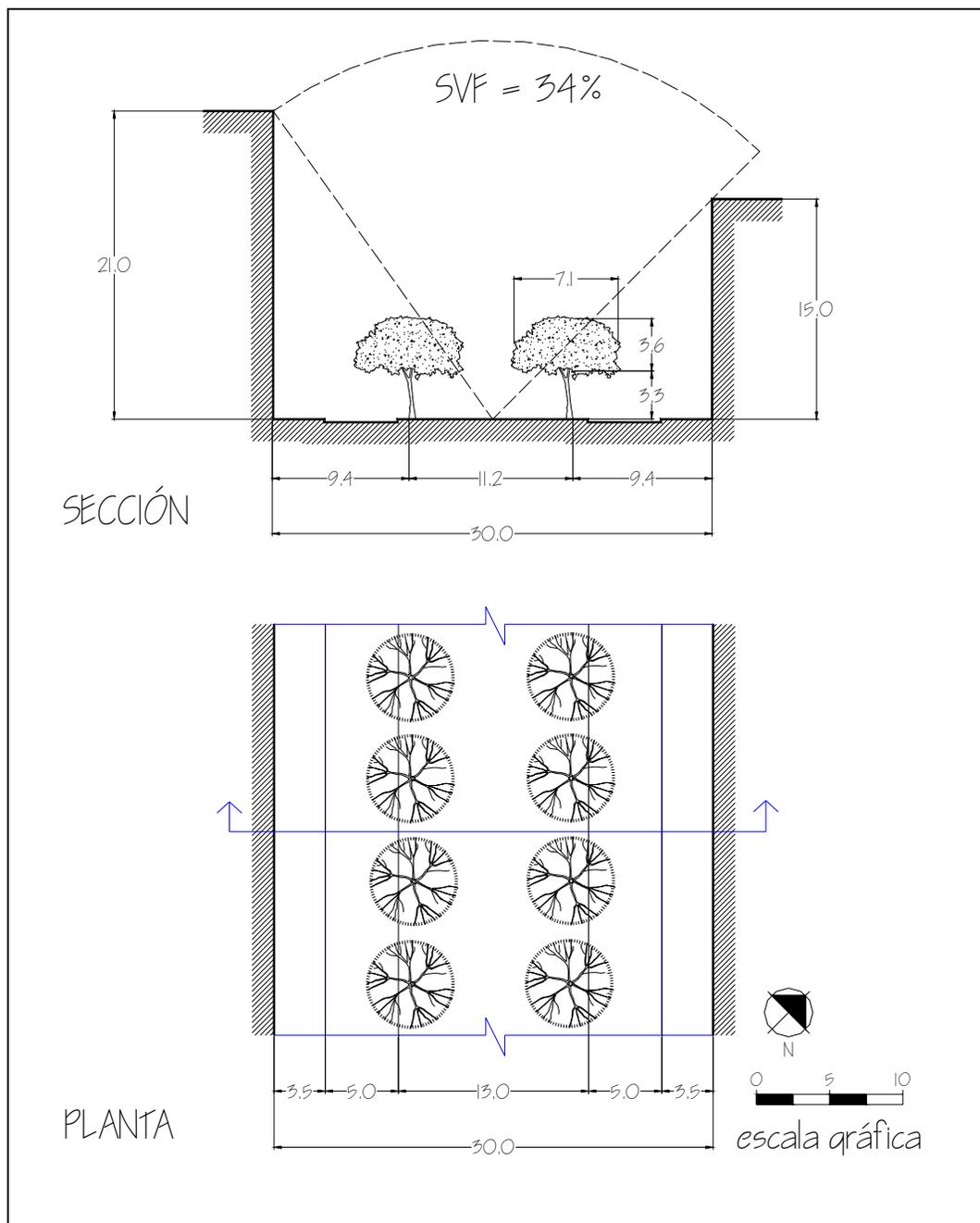
El factor de cielo visible para una calle, se puede calcular mediante el modelo descrito en el mismo apartado, los datos requeridos son : la altura promedio de las fachadas en cada lado de la calle ( $H_1$  y  $H_2$ ) y la anchura total de la calle ( $D$ ), todo esto en metros (m).



**FORMA.**

Tipología formal : Cañón urbano con límites asimétricos, 1 paseo peatonal central, 2 aceras laterales y 2 calzadas

Orientación : NO-SE



6.4 Configuración espacial de la calle.

### LÍMITES.

Límites verticales :	Cerramientos	Perforación :	Opaco a la radiación solar, Impenetrable al viento
		Color :	Gris y ocre
		Reflexión :	Albedo 20%
		Orientación :	SO y NE
Límites horizontales :	Pavimento asfaltado	Color :	Negro - gris obsc.
		Reflexión :	Albedo 15%
		Orientación :	SO
		Pendiente	mínima 0,05-0,1%
	Baldosas de hormigón	Color :	gris cemento
		Reflexión :	albedo 20%
		Orientación :	SO
		Pendiente	mínima 0,05-0,1%

### ELEMENTOS VEGETALES.

Arbolado en línea doble formando un paseo peatonal	Especie :	Tilia europea (tilo)
	Color :	verde oscuro
	Sombra :	verano : 6 - 22 % invierno : 45 - 70 %

### ANÁLISIS MICROCLIMÁTICO.

La radiación solar, debido a las proporciones entre la anchura de la calle y la altura de los edificios que la limitan, así como a la dirección de la trama urbana, penetra durante buena parte del día, sobre todo por las mañanas, lo que resulta muy agradable en invierno. Por ejemplo, en un punto situado en el centro de la calle, en julio el sol penetra de las 8:00 a las 15:00 hrs. y en diciembre de las 8:30 a las 12:00 hrs.

La transmitancia solar de la Tilia europea, es del 45-70% en invierno y del 6-22% en verano, datos que se corroboraron con mediciones en campo. Para la evaluación paramétrica, se utilizaron valores promedio.

En verano aproximadamente un 60% de la calzada peatonal central permanece sombreada por los árboles.



*Figura 6.5 Vista general de la calle.*

La dirección y velocidad del viento no están afectados por la vegetación, debido a que la posición de ésta dentro del sistema, es paralela a la trama urbana, que es la que realmente influye.

La humedad está claramente más afectada por la procedencia del viento que por la presencia de vegetación; se observó que ésta aumentaba apreciablemente cuando el viento provenía del mar (dirección NO).

La temperatura de las superficies que limitan la calle, permanece muy cercana a la del aire cuando están a la sombra, en cambio, cuando reciben los rayos solares, la diferencia de temperaturas entre éstas y el aire puede llegar a 25° C, mientras que la copa de los árboles permanece a una temperatura similar a la ambiente.

Esta diferencia de temperaturas determina de alguna manera el microclima que existe bajo la sombra de los árboles, dado que la menor temperatura radiante que existe bajo esta se traduce en un menor flujo de radiación terrestre (onda larga).

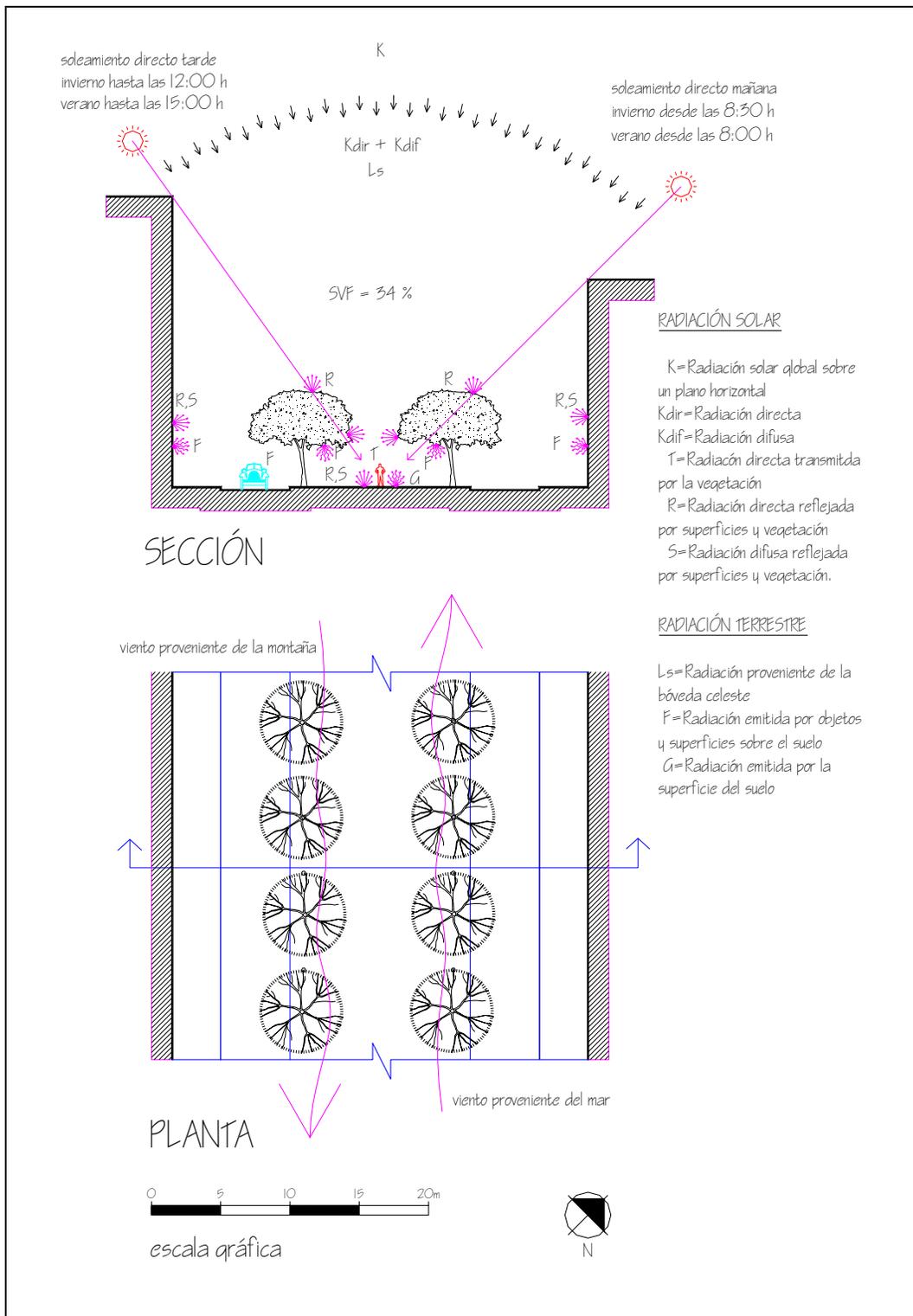


Figura 6.6 Análisis microclimático del sitio.

### 6.3.2 ANÁLISIS PARAMÉTRICO.

El análisis paramétrico se ha hecho para un día de invierno y otro de verano, simulando diversas condiciones, con el objetivo de apreciar los efectos de la vegetación y el entorno urbano.

La primera simulación se hizo considerando las condiciones actuales de la calle, la segunda se hizo con una transmisividad de 0 %, es decir como si la calle estuviera permanentemente bajo la sombra de objetos sólidos, finalmente en la tercera se suprimieron los árboles conservando el factor de cielo visible, (transmisividad de 100%).

Tanto para verano como para invierno, se seleccionaron días con radiación solar lo más uniforme posible, para poder apreciar el efecto del factor de cielo visible, en el soleamiento de la calle y su efecto en balance energético de la persona.

Además de los parámetros climatológicos que se observan en la gráfica 6.7 ( $T_a$ ,  $W$ ,  $HR$ , y  $K$ ), se usaron como datos de entrada los siguientes parámetros :

	Verano	Invierno
Aislamiento de la ropa	75	250
Permeabilidad de la ropa	175	50
Energía generada por el metabolismo de la persona	90 W/m <sup>2</sup> (de pie)	90 W/m <sup>2</sup> (de pie)
Radiación solar difusa como porcentaje de la global	10 %	10 %
Transmisividad de la vegetación entre el sol y la persona	14 %	57
Albedo de los objetos en el hemisferio celeste	20 % (cemento)	20 % (cemento)
Albedo de la superficie del suelo	15% (asfalto)	15% (asfalto)
Albedo de la persona	37 %	37 %
Factor del cielo visible	34 %	34 %

---

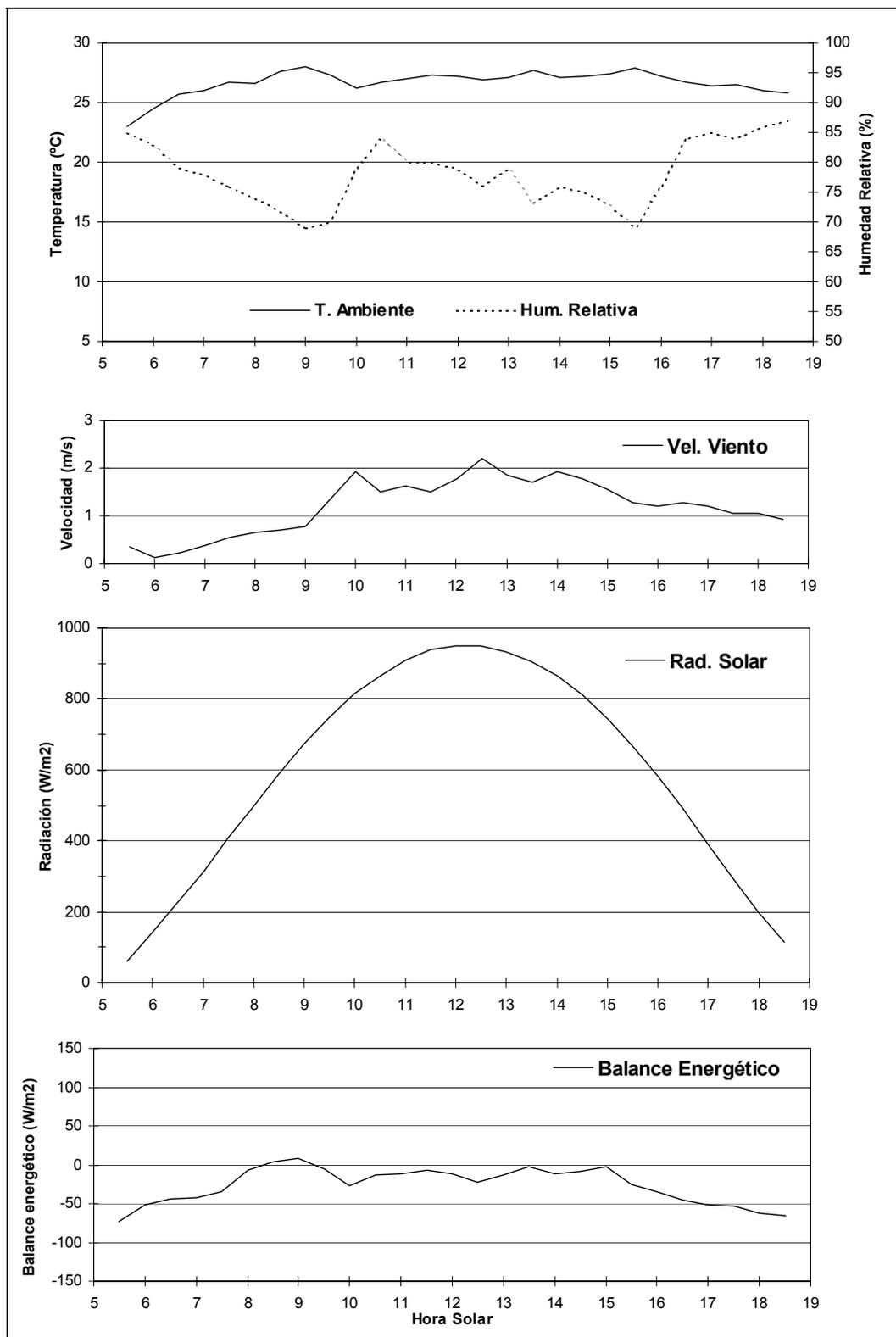


Figura 6.7 Estimación del balance energético en las condiciones actuales para un día de verano.

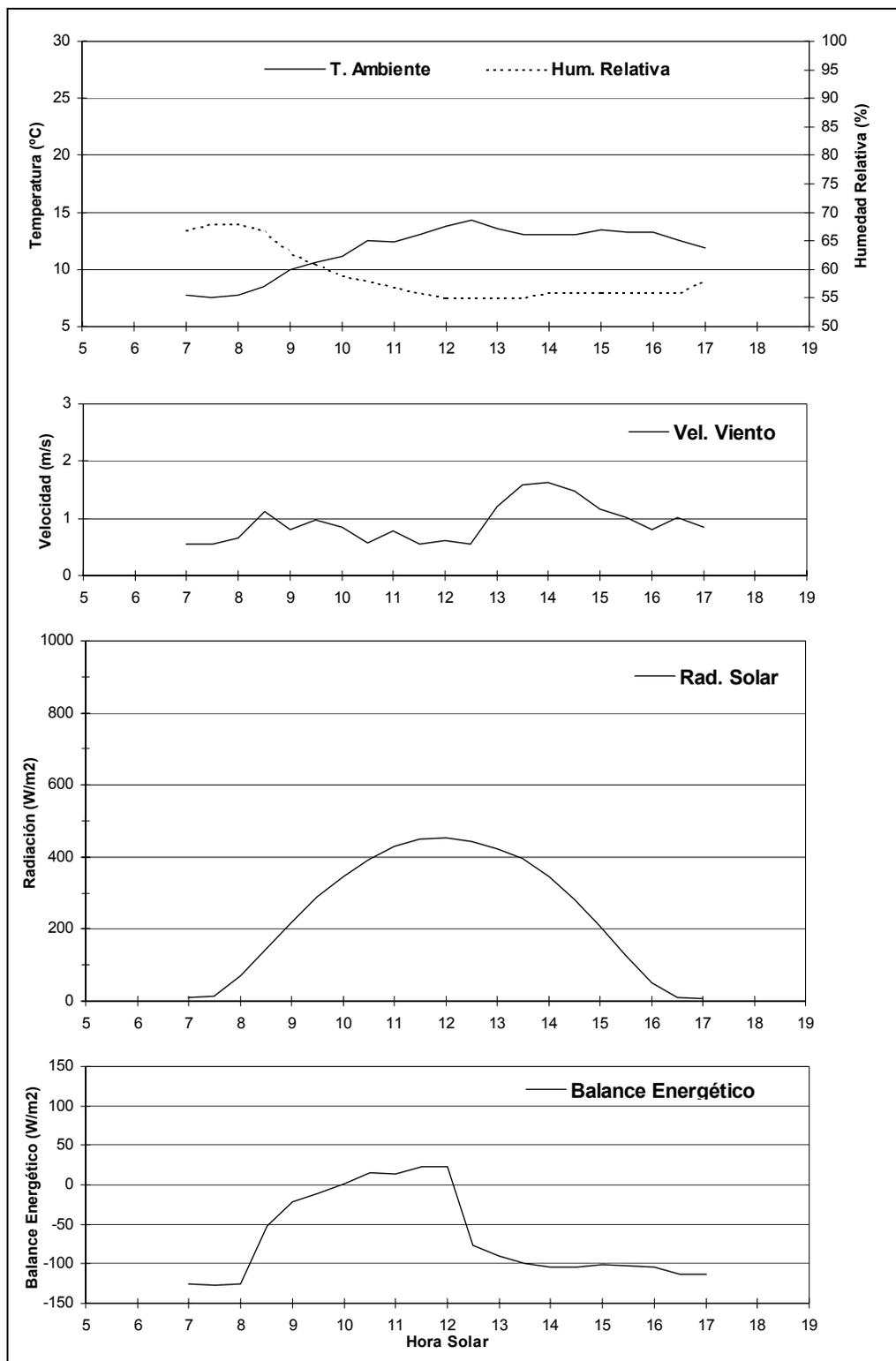


Figura 6.8 Estimación del balance energético en las condiciones actuales para un día de invierno.

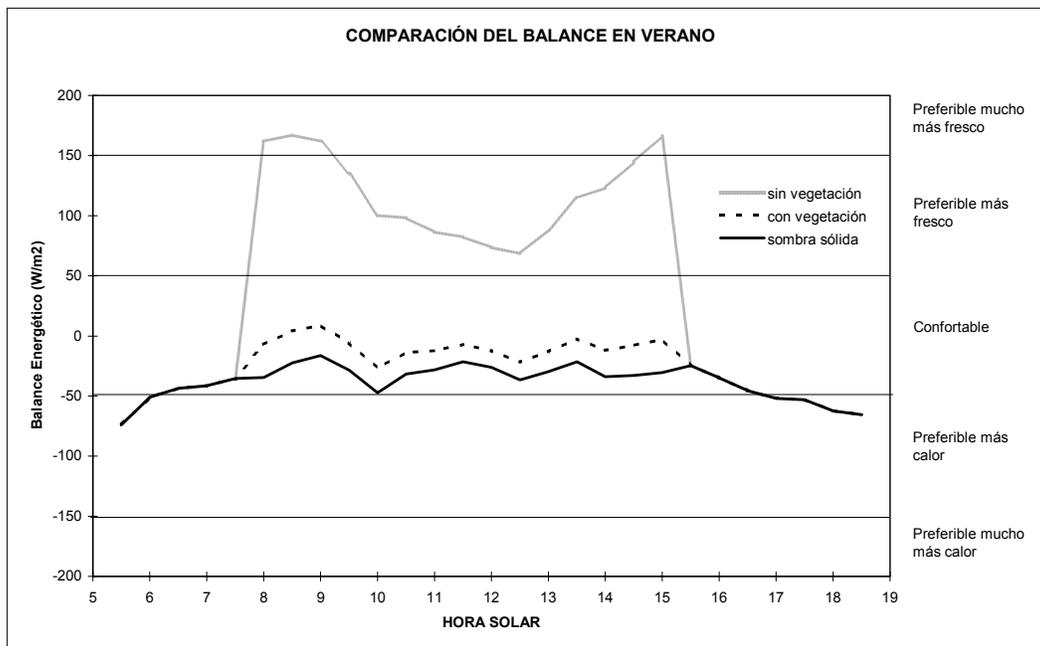


Figura 6.9 Comparación del balance energético variando las condiciones de sombra.

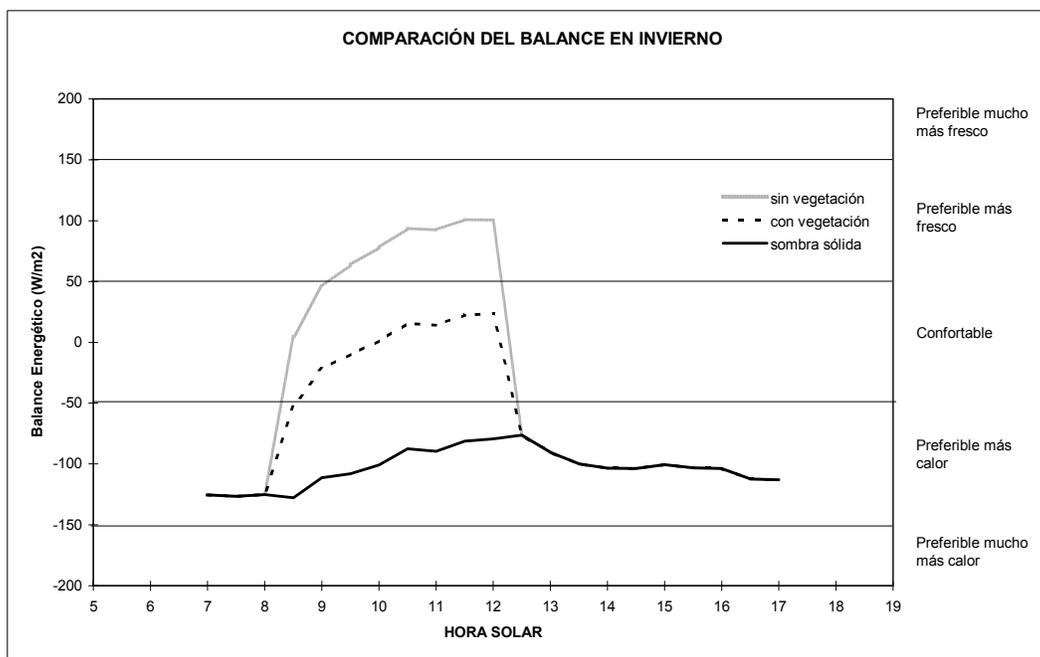


Figura 6.10 Comparación del balance energético variando las condiciones de sombra.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el día de verano en condiciones normales, salvo para las primeras y últimas horas del día (cuando hay menos soleamiento), el balance permanece entre  $-50$  y  $50$   $W/m^2$ , lo que indica que para una persona vestida con camiseta, pantalones cortos, calcetines y zapatillas deportivas, la sensación es de confort, la actividad metabólica que se consideró es para una persona de pie. Cabe destacar que este día de verano no fué muy caluroso, la temperatura ambiente oscila entre  $23$  y  $27$  grados centígrados y la radiación solar global máxima llegó a  $950$   $W/m^2$ .

Al variar la transmitancia, simulando que siempre se está bajo la sombra de los edificios, el balance bajó en promedio  $20$   $W/m^2$ , aún así se sigue estando dentro de la zona de confort.

La diferencia es notable cuando se eliminó por completo la sombra de la vegetación (transmitancia  $100$  %), el efecto del soleamiento se aprecia desde el momento que empieza a entrar el sol en la calle ( $8:00$  h.) el balance entra en la zona de sensación de calor, entre  $100$  y  $150$   $W/m^2$ , permaneciendo allí hasta que deja de entrar el sol ( $15:00$ ).

Durante el invierno la diferencia entre la horas de soleamiento y las de sombra, es mucho más apreciable, debido por una lado a que la vegetación proyecta una sombra menos densa y por otro que al ser menor la temperatura ambiente, el efecto de radiación solar en la sensación de confort es más apreciable.

Cuando se simula la sombra durante todo el día siempre se está en la zona de frío, a pesar de que se consideró una persona vestida con camisa de manga larga, pantalones largos, calcetines, zapatos gruesos, suéter y anorak. En cambio con sombra de vegetación y sin obstrucciones, la sensación es incluso de un poco de calor, en las horas cercanas al medio día.

Ambas simulaciones (invierno y verano ) ponen de manifiesto que la sensación de confort en espacios exteriores, depende mucho más de la radiación, independientemente de la fuente, que de los otros parámetros climáticos, por lo que habrá que poner especial atención a este aspecto cuando se piense en diseñar un espacio de este tipo.

## 6.4 BIBLIOGRAFÍA.

Cornoldi, A., Los, S. "**Hábitat y energía**", Colección Tecnología y Arquitectura, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1982.

Izard, J. L., Guyot, A. "**Arquitectura bioclimática**" Colección Tecnología y Arquitectura, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1980.

Mascaró, L. R. "**Ambiência urbana = Urban enviroment**". Sagra-D. C. Luzzatto, Porto Alegre, 1996.

Mazria, E. "**The passive solar energy book, a complete guide to passive solar home, greenhouse and building design**", Rodale Press, Emaus, Estado Unidos, 1979.

Olgay, V. "**Design with climate**", Princeton University Press, Princeton, 1973.

Oke, T. R. "**Boundary layer climates**". 2ª ed. Routledge, London, 1990.

Robinette, G. O. "**Landscape Planning for Energy Conservation**". Van Nostrand Reinhold Co. New York, 1983.

Serra F., R. "**Clima lugar y Arquitectura, manual de diseño bioclimático**", edita CIEMAT, Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 1989.