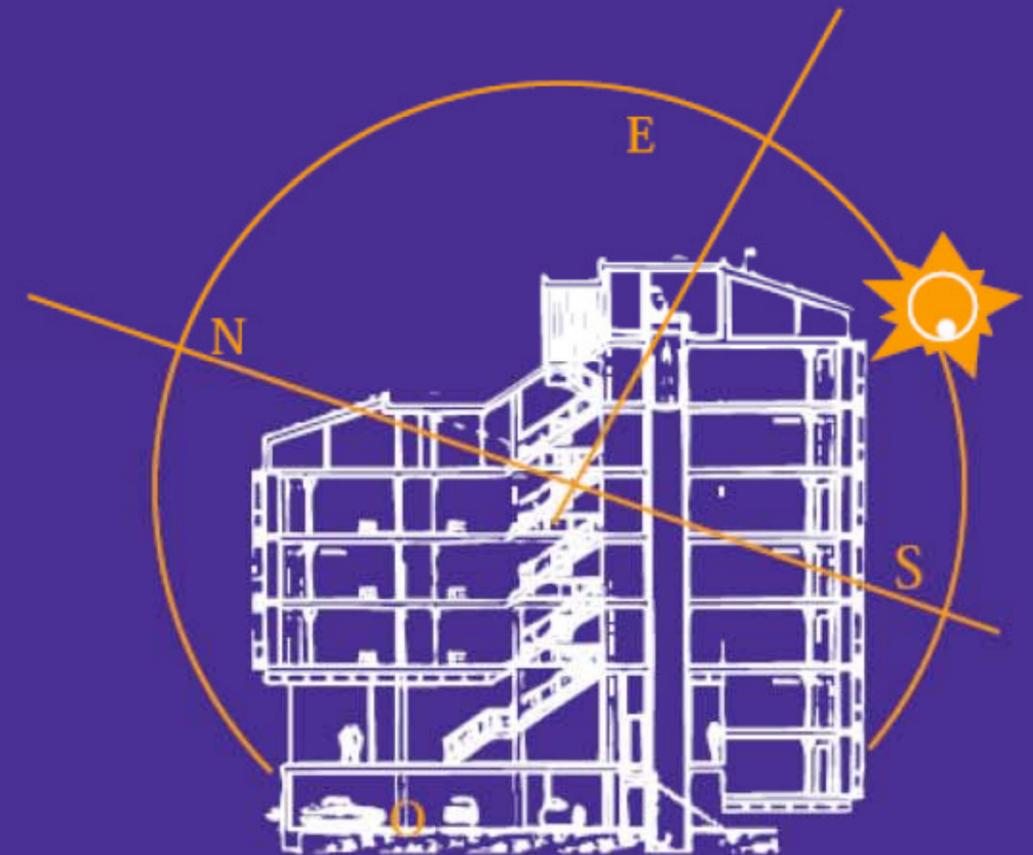


## Tesis doctoral

Modelo de evaluación de la demanda energética en la planificación urbanística.  
Aplicación al estudio de Parque Goya



Doctorando: Miguel Ángel Hernández Cruz  
Director tesis: Dr. José Antonio Turégano Romero  
Área de Máquinas y Motores Térmicos  
Departamento de Ingeniería Mecánica

# Índice

<b>1. Objetivos y alcance de la tesis</b>	<b>1</b>
1.1 Oportunidad de esta tesis	3
1.2 Las simulaciones energéticas: Estado del arte	19
1.3 Hipótesis y objetivos de la tesis	27
<b>2. Antecedentes históricos del urbanismo y planificación urbanística</b>	<b>29</b>
2.1 Movimiento solar	34
2.2 Primeras ciudades	34
2.3 Ciudades griegas	35
2.4 Ciudad romana	38
2.5 Ciudad musulmana y medieval	41
2.6 La ciudad barroca	42
2.7 Urbanismo en el siglo XIX y XX	43
2.8 Parámetros urbanísticos y consumo energético	58
2.8.1 Planificación urbanística	58
2.8.2 Los Planes Parciales y los parámetros urbanísticos	62
2.8.3 Reducción del consumo energético en urbanismo	64
2.9 Introducción de aspectos reguladores energéticos en urbanismo	68
2.9.1 Planeamiento con escasa o nula definición	70
2.9.2 Planeamiento con evaluación energética más normas de concurso	71
2.9.3 Planeamiento que utiliza la ordenanza como soporte de la mayor parte de las condiciones bioclimáticas	72
<b>3. Balance energético de edificios y método de modelación propuesto</b>	<b>75</b>
3.1 Balance energético de edificios con demanda de calefacción	76
3.1.1 Balance energético de los cerramientos	77
3.1.2 Balance energético del recinto	78
3.2 Métodos de cálculo	79
3.3 Datos climáticos utilizados en simulación energética de edificios	83
3.3.1 Datos climáticos en métodos simplificados	83
3.3.2 Datos climáticos en métodos detallados. Ficheros TRY	84
3.3.2.1 Ficheros TRY basados en datos medios mensuales	86
3.3.2.2 Ficheros TRY basados en datos horarios climáticos	95
3.3.2.3 TRY sintéticos o reales en la modelación	95
3.3.2.4 La función de los TRY sintéticos en el análisis urbanístico	96

3.4	Parámetros necesarios para realizar el balance energético	96
3.5	Procedimiento de validación del ‘método propuesto’ en urbanismo	98
3.5.1	Selección de métodos de cálculo	101
3.5.2	Condiciones de referencia de cálculo (CRC) de edificios patrón	102
3.5.3	Edificios patrón empleados en la validación	103
3.5.3.1	Vivienda unifamiliar aislada	104
3.5.3.2	Unifamiliares adosadas	107
3.5.3.3	Bloque de 6 viviendas	109
3.5.3.4	Bloque de 40 viviendas	112
3.5.3.5	Bloque de 80 viviendas	116
3.5.4	Generación del clima horario en la validación	120
3.5.4.1	Test de validación en la construcción de los TRY sintéticos	121
3.5.5	Localización y clima de las poblaciones analizadas en la validación	125
3.5.6	Importancia de la precisión de los modelos de conversión de la radiación solar. Análisis de las diferentes desviaciones posibles.	127
3.6	Análisis de resultados y validación del método propuesto	136
3.6.1	Efectos de la inercia térmica y modificación de su cálculo en el Método 5000	137
3.6.2	Cálculo de una inercia térmica apropiada	150
3.6.3	Método propuesto para calefacción	153
3.6.4	Modificación de la captación solar en cerramientos opacos	159
3.6.5	Método propuesto para refrigeración	160
3.6.6	Validación combinada de calefacción y refrigeración	162
3.6.7	Validación del cálculo con el modelo propuesto	164
3.7	Criterios adicionales del método propuesto	165
<b>4.</b>	<b>Diseño de urbanizaciones desde el punto de vista energético. Aplicación al caso de Parque Goya</b>	<b>167</b>
4.1	Extensión del método propuesto a la evaluación energética de una urbanización	168
4.1.1	Sombreamiento propio	169
4.1.2	Sombreamientos externos	173
4.1.3	Sombreamiento combinado exterior y propio	183
4.1.4	Implementación del cálculo energético de una urbanización	184
4.2	Edificios y Urbanización de referencia	185
4.2.1	Consideraciones mínimas de comportamiento para el ahorro de energía en edificios	187
4.2.2	Demanda máxima de la urbanización de referencia	188
4.2.3	Demanda mínima de la urbanización de referencia	189
4.2.4	Estimación del ahorro energético o bondad del diseño de una urbanización	190
4.3	Análisis de parámetros que condicionan la demanda energética	191

4.3.1	Parámetros propios del edificio	191
4.3.1.1	Edificios base para los análisis de parámetros del edificio y de la urbanización	192
4.3.1.2	Influencia del grado de aislamiento	196
4.3.1.3	Porcentaje de acristalamiento y orientación del edificio	203
4.3.2	Parámetros urbanísticos	209
4.3.3	Resumen de parámetros de diseño que afectan a la demanda energética	217
4.3.4	Compacidad de áreas urbanas	218
4.4	Optimización de la demanda energética de urbanizaciones	221
4.5	Aplicación de la metodología de análisis urbanístico a Residencial Parque Goya	223
4.5.1	Propuesta urbanística en Residencial Parque Goya	223
4.5.2	Contexto bioclimático de Residencial Parque Goya	224
4.5.3	Consumos energéticos en Residencial Parque Goya	225
4.5.4	Características del confort	233
4.5.5	Anomalías	237
4.5.6	Resultados de la aplicación de la metodología de análisis urbanístico propuesta a Residencial Parque Goya	245
4.5.7	Conclusiones	250
<b>5.</b>	<b>Síntesis, aportaciones y perspectivas</b>	<b>253</b>
5.1	Síntesis	253
5.2	Aportaciones	263
5.3	Perspectivas	268
<b>6.</b>	<b>Conclusiones de la tesis</b>	<b>271</b>
6.1	Conclusiones	271
<b>Anexo A. Características de materiales</b>		<b>277</b>
<b>Anexo B. Radiación horaria sobre fachadas</b>		<b>279</b>
B.1	Radiación global horaria media mensual sobre horizontal	279
B.2	Radiación difusa horaria media mensual sobre horizontal	283
B.3	Radiación directa horaria media mensual sobre horizontal	285
B.4	Validación del cálculo de la radiación horaria sobre superficies	287
<b>Anexo C. Ordenanzas Regulatoras en el Plan Parcial de Residencial Parque Goya</b>		<b>291</b>
C.1	Descripción de la actuación urbanística de Residencial Parque Goya	292
C.2	Ordenanzas reguladoras de Residencial Parque Goya	299
<b>Anexo D. Balance energético de edificios. Revisión de métodos de cálculo simplificados y detallados</b>		<b>323</b>
D.1	Método simplificado (Grados Día)	323

D.2 Métodos simplificados corregidos de calefacción (Método 5000 y UNE-EN 832)	329
D.2.1 Método 5000	331
D.2.2 Norma UNE-EN 832	352
D.3 Método simplificado corregido de refrigeración	354
D.3.1 Método detallado (TSBI3)	358
D.3.1.1 Características y potenciales del programa TSBI3	365
<b>Anexo E. Generación TRY a partir de datos climáticos horarios</b>	<b>367</b>
E.1 Construcción de un TRY a partir de datos climáticos horarios	367
<b>Bibliografía</b>	<b>375</b>

---

# Capítulo 4

## Diseño de urbanizaciones desde el punto de vista energético. Aplicación al caso de Parque Goya

---

Una vez obtenido el método de cálculo para un edificio el siguiente paso es aplicarlo al cálculo de todos los edificios que conforman la urbanización. Al comienzo del capítulo se plantea cómo extender la evaluación a la demanda de la urbanización considerando las incidencias de sombreado entre los diferentes edificios que la configuran. Las sombras arrojadas se calcularán cada hora con el objeto de precisar la minoración real de la ganancia solar que se produce. Esta extensión del cálculo a la urbanización con un método sencillo y suficientemente válido es uno de los objetivos principales que persigue la tesis.

En el método, por lo tanto, el cálculo de la radiación solar será horario determinando para cada hora el porcentaje de sombreado sobre las fachadas del edificio. Aunque el método propuesto es simplificado se hace necesario este cálculo horario de la radiación, para ello se propone la generación horaria sintética TRY de la radiación con el modelo de Bahadori expuesto en el apartado 3.3.2.1.

En los capítulos anteriores, tan sólo se ha planteado el método para estimar la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios que configuran una urbanización como unidades independientes, no habiéndose considerado cuáles eran los parámetros de orientación, separación entre edificios, o aspectos de optimización como el grado de aislamiento, el acristalamiento, etc, que configuraban la mejor opción de diseño de la urbanización que conducía a obtener menores necesidades energéticas.

Una vez incorporado al método propuesto el análisis de sombreado horario arrojado entre edificios que minora la captación solar, se puede abordar la optimización de los parámetros de diseño de las urbanizaciones. Como objetivo se muestran diferentes análisis de componentes de los edificios o condiciones urbanísticas que permiten conocer cómo afectan éstos a la demanda final de la urbanización. Los resultados obtenidos sirven de primera información a los diseñadores para sensibilizarlos respecto a la importancia de ciertos factores en la demanda de una urbanización. El objetivo fundamental, sin embargo, es establecer una prioridad en la secuencia de optimizaciones relativas de forma que en el proceso se parta de posiciones de sí optimizadas y quede la actuación limitada a unos pocos parámetros, los más significativos en el nivel de la planificación urbanística.

Por ejemplo, es frecuente la idea de que un edificio que tiene sus fachadas principales orientadas al este y al oeste consume menos energía frente a uno que está orientado al sur y al norte, cuestión nada más alejada del resultado mostrado a lo largo de los diferentes análisis de esta tesis.

Además de enunciar nociones de diseño consciente desde el punto de vista del ahorro, los resultados muestran tendencias del ahorro energético, siendo extrapolables con cierta cautela a otras localidades.

El empleo de una herramienta informática como URSOS, en la que se implementa el método propuesto en la tesis, permite ajustar de modo sencillo los criterios de diseño de las urbanizaciones, siendo la concreción de consideraciones de diseño más precisas que unas simples recetas generales sobre diseño, lo que posibilita la optimización de los diferentes parámetros de manera precisa y consciente al permitir la comparación entre diferentes propuestas urbanísticas o variaciones en los edificios como porcentaje de acristalamiento, grado de aislamiento, ....

El capítulo se completa con el análisis de las Fases II y III de la urbanización Residencial Parque Goya, a las que se ha aplicado la metodología de evaluación urbanística propuesta en la tesis. Los resultados pondrán de manifiesto, por ejemplo, valoraciones con efecto en nuevos desarrollos urbanísticos en aspectos como la abundancia de viviendas unifamiliares.

#### **4.1. Extensión del método propuesto a la evaluación energética de una urbanización**

Una vez evaluado el método propuesto para el cálculo de las necesidades de calefacción y refrigeración de un edificio, hay que hacerlo extensivo al análisis de todos los edificios que componen la urbanización objeto de estudio.

Para este análisis se debe tener en cuenta para cada edificio las sombras que le arrojan los diferentes edificios de la urbanización, que hacen disminuir su ganancia solar al eliminarse parte de los aportes de la radiación directa, difusa y reflejada. La componente más importante es la radiación directa (Ministerio Fomento – IDAE, 1999).

Además de los sombreados externos, un edificio puede tener fachadas o aleros propios que también reducirán la ganancia solar del edificio, siendo perjudiciales en menor medida en invierno y muy beneficiosos en verano al eliminar parte de la captación solar.

Para determinar estos sombreados existen diferentes métodos basados en aproximaciones como pueden ser el propuesto por la norma UNE-EN 832 (2000) o la simplificación realizada por el Ministerio Fomento- IDAE (1999) en el libro de ‘Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas’, en los cuáles se realiza una estimación media anual del sombreado.

Sin embargo estos valores medios tienen un grave inconveniente en el análisis diferenciado del comportamiento de la demanda en verano e invierno, siendo relevante el cálculo medio mensual diario o mensual si se quiere incidir en un buen diseño (aleros, ventanas, sombras en galerías, ...). Así, aunque la tesis pretende sistemas simplificados, en este caso son inapropiados y debe asumirse un cálculo más detallado.

En los próximos apartados se van a analizar estos métodos y el que se propone como válido para estimar la pérdida energética.

Para obtener la demanda de calefacción y refrigeración de todos los edificios de una urbanización se puede proceder a un cálculo ordenado de cada uno de ellos, teniéndose en cuenta la reducción de la ganancia solar por sombreado a la que está sometido cada edificio. En el apartado de

implementación se describirá con más detalle la metodología de cálculo a emplear y que ha sido utilizado en el programa URSOS.

#### 4.1.1. Sombreamiento propio

Un edificio habitualmente tiene galerías o el propio alero de la cubierta del edificio, que provocan sombreados en el edificio reduciéndose la captación solar. La componente que más se reduce es la directa, llegando a eliminarse por completo con un adecuado alero. Para el caso de una ventana orientada al sur, situada en Zaragoza, con un alero que produce sombra completa en verano la radiación global incidente sobre la ventana se reduce aproximadamente a la mitad frente a no disponer de alero.

En la figura 4.1 se muestra el sombreado que produce un alero sobre una ventana de un edificio. La ganancia directa anulada es la que corresponde a la del área sombreada, siendo diferente para cada instante del año. En la imagen se analiza el día 15 de julio a las 16:00 (tiempo solar verdadero), produciéndose un sombreado de un 19% sobre el área de la ventana.

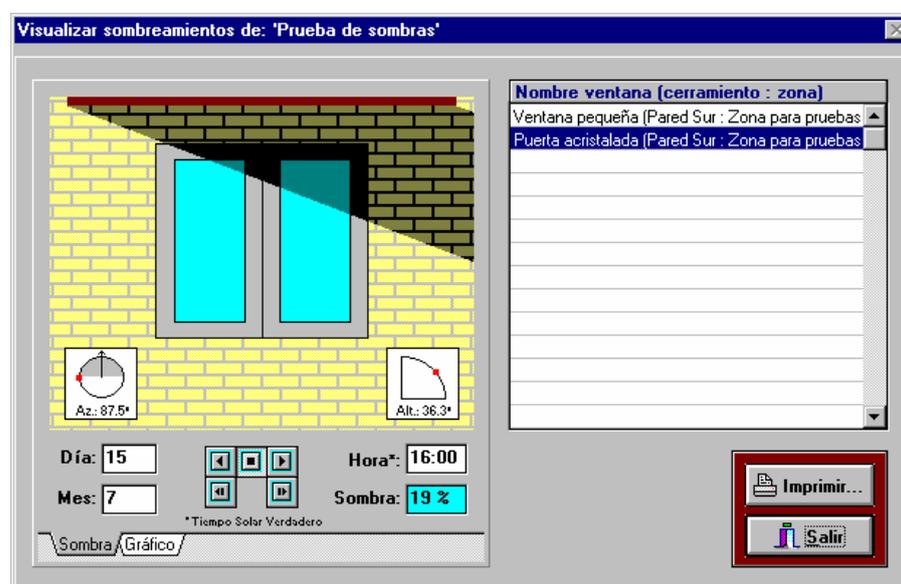


Figura 4.1. Análisis de sombreado sobre una ventana producido por un alero superior en un instante determinado del año para una ventana orientada al sur. (Fuente: Hernández M.A. et al, 2000).

Para determinar el sombreado se pueden utilizar los ángulos vertical y horizontal, descritos en Hernández M.A. (2005) sobre conceptos de radiación solar. En la figura 4.2 se incluye un esquema de estos ángulos.

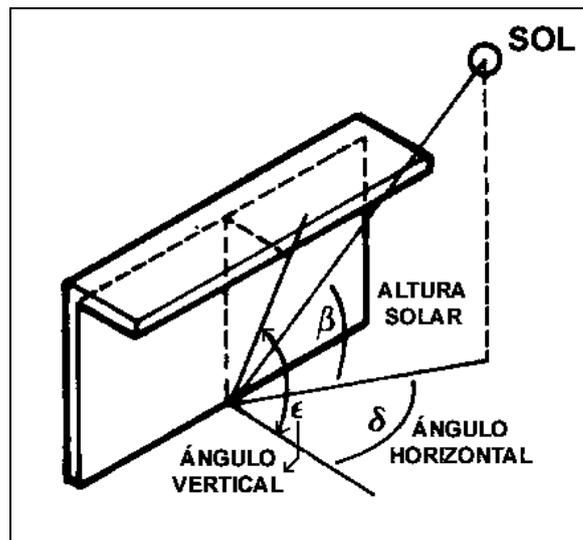


Figura 4.2. Ángulos de sombreado horizontal y vertical.

El área sombreada se determina proyectando la esquina del alero que produce el sombreado a partir de los ángulos horizontal y vertical sobre la fachada analizada, determinando posteriormente por geometría la sombra estimada.

Los parámetros que definen el punto de sombra son x e y (figura 4.3) calculados a partir de la anchura del alero (AAS). En las ecuaciones siguientes se determinan las coordenadas de estos puntos.

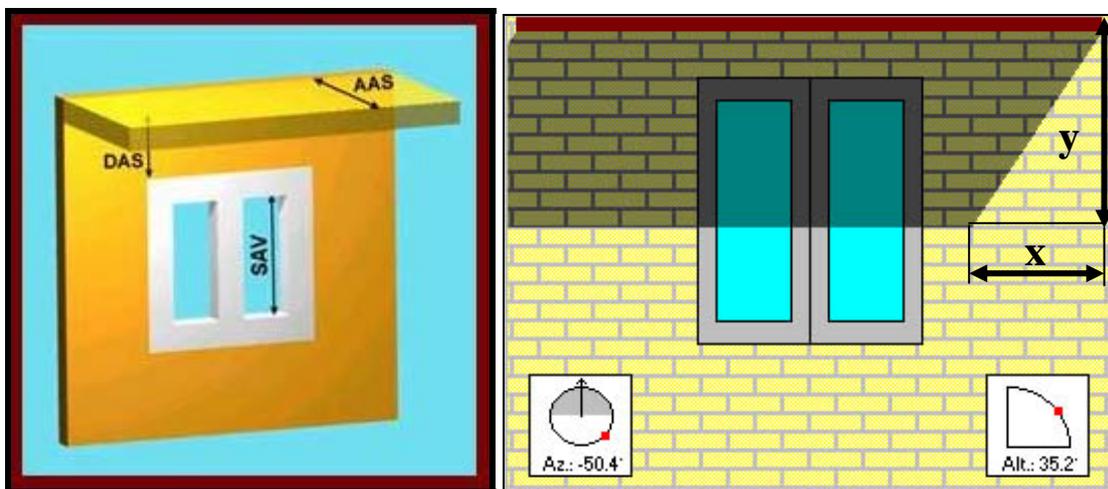


Figura 4.3. Definición geométrica de un alero y de los parámetros (x, y) que identifican la coordenada del punto de sombreado sobre la fachada. Éstos permitirán el cálculo del coeficiente de sombreado sobre la fachada.

$$x = AAS \times \text{tag}(\delta) \quad (\text{m}) \quad [4.1]$$

$$y = AAS \times \text{tag}(\varepsilon) \quad (\text{m}) \quad [4.2]$$

- $x$ : Distancia horizontal de sombreamiento desde la esquina del alero, (m).
- $y$ : Distancia vertical de sombreamiento desde la esquina del alero, (m).
- AAS: Anchura superior del alero, (m).
- $\delta$ : Ángulo horizontal de sombreamiento, ( $^{\circ}$ ).
- $\varepsilon$ : Ángulo vertical de sombreamiento, ( $^{\circ}$ ).

Para determinar la demanda energético de un edificio, el método propuesto se basa en datos medios mensuales por lo que lo usual sería obtener un coeficiente de sombreamiento medio mensual para una ventana que multiplicado por la radiación global incidente devolviera la captación solar sobre el elemento.

Esta metodología suele ser la empleada en este tipo de métodos. Un ejemplo lo representa la norma UNE-EN 832 (2000) y el nuevo Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Fomento, 2006), que incluso calculan un coeficiente medio anual de sombreamiento en función del ángulo del voladizo, la latitud del lugar y la orientación. En las siguientes figuras se muestra un esquema de los aleros y los coeficientes de sombreamiento medio anual a aplicar.

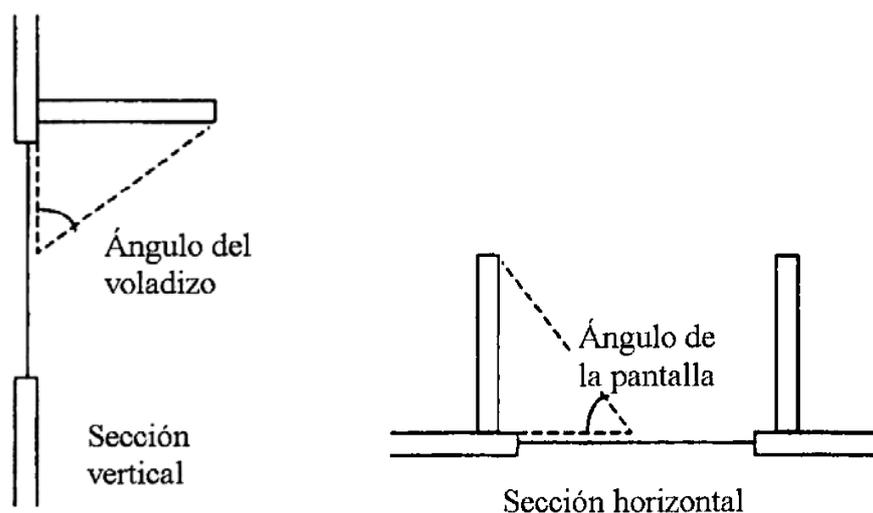


Figura 4.4. Definición de alero vertical (sección vertical) y aleros laterales (sección horizontal). (Fuente: UNE-EN 832, 2000).

**Factores de sombra parciales para los voladizos  $F_o$ .**

Ángulo del voladizo	45° lat N			55° lat N			65° lat N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,66

Tabla 4.1. Factor de sombreamiento medio anual ( $F_o$ ) para reducción de la ganancia solar anual a través de ventanas debido a un alero superior. (Fuente: UNE-EN 832, 2000).

ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,2 < L/H ≤ 0,5	0,5 < L/H ≤ 1	1 < L/H ≤ 2	L/H > 2
		S	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,82 0,87 0,93	0,50 0,64 0,82
SE/SO	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,90 0,94 0,98	0,71 0,82 0,93	0,43 0,60 0,84	0,16 0,27 0,65
E/O	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,92 0,96 0,99	0,77 0,86 0,96	0,55 0,70 0,89	0,22 0,43 0,75

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Tabla 4.2. Factor de sombreado medio anual ( $F_o$ ) para reducción de la ganancia solar anual a través de ventanas debido a un alero superior según el Código de la Edificación. (Fuente: Ministerio de Fomento, 2006).

#### Factores de sombra parciales para las pantallas $F_t$

Ángulo de la pantalla	45° lat N			55° lat N			65° lat N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

Tabla 4.3. Factor de sombreado medio anual ( $F_t$ ) para reducción de la ganancia solar anual a través de ventanas debido a aleros laterales. (Fuente: UNE-EN 832, 2000).

La ganancia solar a través de una ventana ( $H_{Ge}$ ) se obtiene con la siguiente expresión:

$$H_{Ge} = A \times H_G \times F_o \times F_t \quad (\text{kWh/día}) \quad [4.3]$$

- $H_{Ge}$ : Radiación global efectiva que incide sobre una ventana, (kWh/día).
- $H_G$ : Radiación global incidente sobre una ventana por unidad de superficie, (kWh/m<sup>2</sup>día).
- $A$ : Área acristalada de la ventana analizada, (m<sup>2</sup>).
- $F_o$ : Factor de reducción de la captación por sombreado de un alero superior, (adimensional).
- $F_t$ : Factor de reducción de la captación por sombreado de aleros laterales, (adimensional).

Según lo indicado, la norma UNE-EN 832 o el nuevo Código Técnico de la Edificación (2006) definen para el factor de sombreado total un valor medio. Este valor, sin embargo, no tiene por qué ser un valor adecuado siendo éste un aspecto clave del diseño racional. Habrá meses con exceso de sombreado que corresponderán precisamente a los meses de invierno que es cuando más necesaria es la captación solar para reducir la demanda de calefacción. Por lo tanto en los meses fríos la demanda estimada puede ser superior a la obtenida con un cálculo diferenciado del sombreado por meses.

Para determinar el sombreado sobre una superficie acristalada, se recomienda en esta tesis calcular el sombreado hora a hora para un día medio de cada mes, evaluando la energía incidente de forma horaria, siguiendo la metodología incluida en el Anexo B sobre Radiación Horaria sobre Fachadas. Como conclusión la energía incidente horaria sobre una ventana se obtiene anulando la radiación directa en la parte sombreada.

La radiación directa horaria ( $H_{Dh}$ ) que incide sobre la superficie en ausencia de sombreado será:

$$H_{Dh} = H_{DHh} \times \frac{\cos(i)}{\sin(h)} \quad (\text{W/m}^2) \quad [4.4]$$

Una vez obtenida la radiación horaria directa ( $H_{Dh}$ ), la difusa ( $H_{dh}$ ) y la reflejada ( $H_{rh}$ ) sobre la superficie analizada, la radiación global horaria ( $H_{Gh}$ ) es:

$$H_{Gh} = (1 - f) \times H_{Dh} + H_{dh} + H_{rh} \quad (\text{W/m}^2) \quad [4.5]$$

- $f$ : Fracción de ventana sombreada que se determinará a partir de las coordenadas  $x$  e  $y$  mediante análisis geométrico, (valor limitado entre 0 y 1).

Los valores anteriores de los que no se ha comentado su cálculo aparecen descritos en el Anexo B.

Para calcular la energía total del día medio representativo del mes se evalúa la radiación global horaria total en los instantes medios entre hora y hora (10:30, 11:30, 12:30, etc). Sumando todos los valores se obtendrá la energía diaria media captada por la superficie sombreada, existiendo por lo tanto coeficientes de reducción ( $F_o$ ) diferentes para cada mes.

#### 4.1.2. Sombreamientos externos

De forma similar al sombreado producido por los aleros, la norma UNE-EN 832 (2000) vuelve a proponer un método de evaluación medio anual del sombreado producido por obstáculos exteriores como edificios o montañas, o incluso otras fachadas del propio edificio, volviendo a incurrir en la misma deficiencia enunciada en cuanto al sombreado de aleros.

El esquema del sombreado exterior y de los coeficientes de sombra en función de la altura del horizonte, la latitud y la orientación de la fachada del edificio se muestran en la figura 4.5 y tabla 4.4.

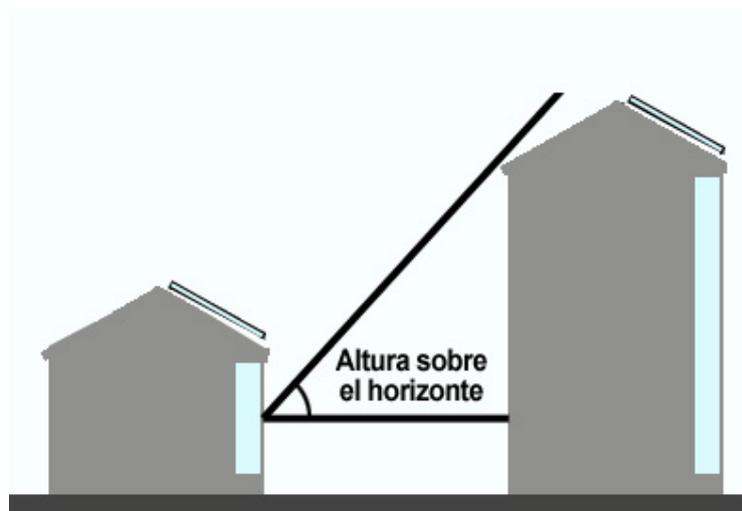


Figura 4.5. Sombreamiento exterior sobre un edificio definido en función de la altura sobre el horizonte.

**Factores de sombra parciales para el horizonte  $F_h$**

Altura sobre el horizonte	45° lat N			55° lat N			65° lat N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00	0,94	0,92	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,98	0,68	0,75	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,94	0,49	0,62	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	0,90	0,40	0,56	0,89	0,29	0,49	0,85

Tabla 4.4. Factor de sombreado medio anual ( $F_h$ ) para reducción de la ganancia solar anual a través de ventanas debido a un obstáculo exterior. (Fuente: UNE-EN 832, 2000).

Cuando se combinan aleros y existe un sombreado exterior<sup>1</sup>, la radiación global efectiva según la norma UNE-EN 832 (2000) se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$H_{Ge} = A \times H_G \times F_e \times F_o \times F_t \quad (\text{kWh/día}) \quad [4.6]$$

- $F_e$ : Factor de reducción de la captación diaria por sombreado de un obstáculo exterior, (adimensional).

Para determinar el sombreado exterior que produce un obstáculo que se interpone entre el rayo solar y un edificio se deberá calcular para cada hora la energía incidente con y sin obstrucción. En la siguiente figura se observan los ángulos y distancias que entran en juego en el cálculo del sombreado.

<sup>1</sup> En el sombreado exterior deben incluirse las propias fachadas del edificio que arrojen sombras sobre la fachada o área acristalada que se está analizando.

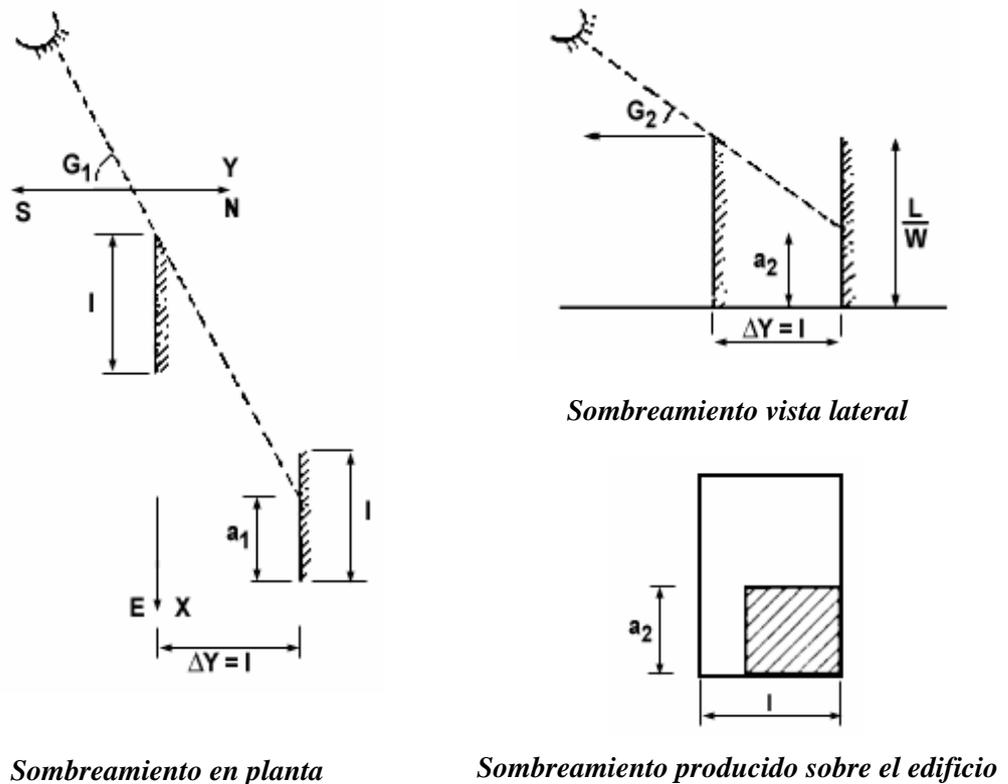


Figura 4.6. Determinación sombreamiento exterior sobre una fachada donde:  $G_1$ = ángulo horizontal,  $G_2$ = ángulo vertical,  $a_1$ = dimensión sombra en horizontal y  $a_2$ = dimensión sombra vertical sobre la fachada (Fuente: Elsayed M.M. et al, 1991).

El método propuesto por Elsayed M.M. (1991) parte del cálculo geométrico de todas las sombras arrojadas por los edificios que rodean a la fachada analizada. Una vez combinadas todas las sombras, el área no rayada será sobre la que incida toda la radiación global mientras que el área en sombra sólo recibirá la componente difusa y reflejada.

Para obtener la radiación diaria habría que recalcular cada hora el porcentaje de sombreamiento, por lo que este método resulta lento comparado con el propuesto a emplear en el análisis de urbanizaciones.

El método propuesto se basa en determinar la radiación que llega sobre un punto de una fachada (ventana, muro, etc) partiendo del horizonte que se ve desde este punto, asignando el estado de sombra o no sombra para cada hora de análisis en función de si el Sol está obstaculizado por el horizonte (edificios, árboles, montañas, etc) o no.

Existen diferentes aplicaciones de cálculo que utilizan este método para obtener el sombreamiento, entre estos programas en el ámbito urbanístico hay que destacar las siguientes aplicaciones que determinan la radiación incidente sobre fachadas partiendo de una geometría urbana:

- LEMA de Leclercq P. (1996) utiliza la aplicaciones de cálculo de radiación DIRAD y ERAS.

- SOMBRERO de Niewinda A. et al (1996).
- OMBRE - URBANE de Carboni A. et al (1996 y 1998).
- SOLAR - TOOLBOX de Rudy M. (1998).
- SUNCAD y DITEC de Aste N. (1998).
- SENCE de Kristl Z. et al (2001).
- SUSTARC de Capeluto I.G. et al (2003).
- ENVI-met de Bruse M. et al (1998 y 2004).

Para determinar la radiación diaria incidente del día medio de un mes se evalúa, hora a hora, si desde el punto se ve el Sol. La radiación global recibida en cada hora estará compuesta por las componentes difusa, directa y reflejada en el caso de no obstrucción, mientras que en el caso de no ser visible directamente el Sol se tiene que contabilizar tan sólo la componente difusa y reflejada. Se realiza la aproximación de no reducción de éstas en el caso de sombreado, aproximación indicada por el Ministerio de Fomento – IDAE (1999).

En la figura 4.7 se muestra el movimiento aparente del Sol para un día desde la salida hasta la puesta del Sol. A las 12:00 (TSV) el Sol se encontrará a la altura máxima situándose en la orientación sur, supuesta la ubicación en latitudes N. El horizonte representado es el que se ve desde un punto determinado de una fachada, existiendo sombreado al pasar en ciertos instantes del día el Sol por detrás de los edificios de la urbanización.

Para analizar los diferentes elementos de captación de toda la urbanización, se podría definir el horizonte que ve cada punto de análisis. Esta forma de cálculo supondría un coste computacional elevado siendo más recomendable construir desde un principio el horizonte de todas las fachadas de los edificios que se ven desde un punto de referencia de la urbanización, realizando un simple cambio de coordenadas del horizonte para cada elemento de captación de la urbanización, una vez almacenados inicialmente todos los datos de distancias y ángulos que definen cada fachada, de este modo incluso se permite realizar el estudio de las sombras propias del edificio objeto arrojadas sobre cada fachada particular analizada del edificio.

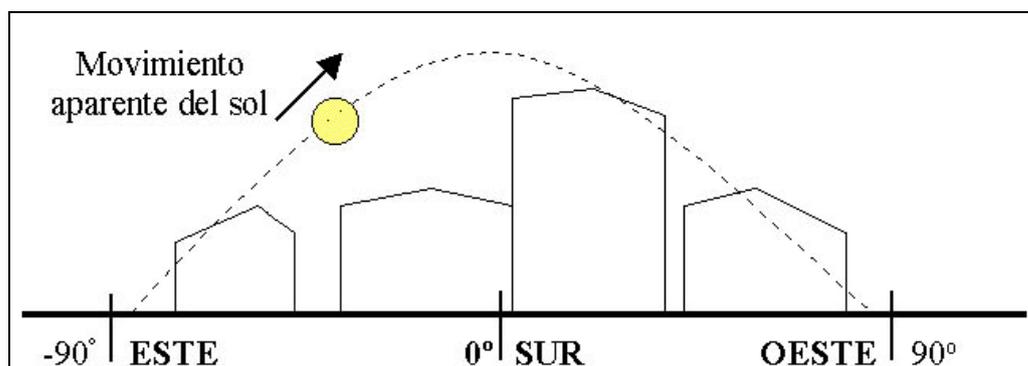


Figura 4.7. Trayectoria aparente del Sol para un día del año. Un punto de vista desde una fachada ve el horizonte definido por los edificios que tiene delante incluidas las propias fachadas del edificio que pudieran producir sombras sobre la fachada analizada. Cuando el Sol está detrás del perfil de los edificios se produce sombreado sobre el punto de vista. En este caso hay tres edificios que producen sombreado.

En primer lugar hay que partir de la caracterización de un edificio a partir de los parámetros geométricos que lo caracterizan, éstos son:

- Dimensiones: largo, ancho, alto,...
- Cota del terreno en la base del edificio respecto al plano horizontal de referencia del eje de coordenadas común de la urbanización.

Debiendo obtenerse para todas las fachadas de los edificios y para cada uno los vértices de sus bases los parámetros que se enuncian a continuación, teniéndose en cuenta como eje de coordenadas principal el común de la urbanización respecto al punto origen elegido.

- Ángulo de posición ( $\theta$ ).
- Diferencia de cota ( $H$ ) entre la altura del edificio en el vértice analizado y el punto origen de la urbanización ( $z=0$ ).
- Distancia ( $d$ ) de todos los vértices respecto al origen medida sobre horizontal.

En la figura 4.8, se muestran los diferentes ángulos y distancias que definen la base de un edificio respecto a un eje de coordenadas común para todos los edificios de la urbanización.

Para determinar la distancia de cada edificio en el plano horizontal ( $z=0$ ) se utilizará la expresión siguiente que calcula la distancia entre el origen de coordenadas ( $x_o, y_o, z_o$ ) y un punto de la base del edificio ( $x_1, y_1, z_1$ ) según la expresión siguiente:

$$d = \sqrt{(x_o - x_1)^2 + (y_o - y_1)^2} \quad (\text{m}) \quad [4.7]$$

El ángulo característico de cada vértice proyectado sobre el plano horizontal ( $z=0$ ) es el formado por el eje de coordenadas X y la recta definida con origen en el eje de coordenadas ( $x_o, y_o, z_o$ ) y final en el vértice de la base analizado ( $x_1, y_1, z_1$ ). La expresión [4.8] permite obtener el ángulo para cada vértice.

$$\theta = \arccos\left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) \quad (^\circ) \quad [4.8]$$

- $a = (x_1 - x_o),$  (m)
- $b = (y_1 - y_o),$  (m)

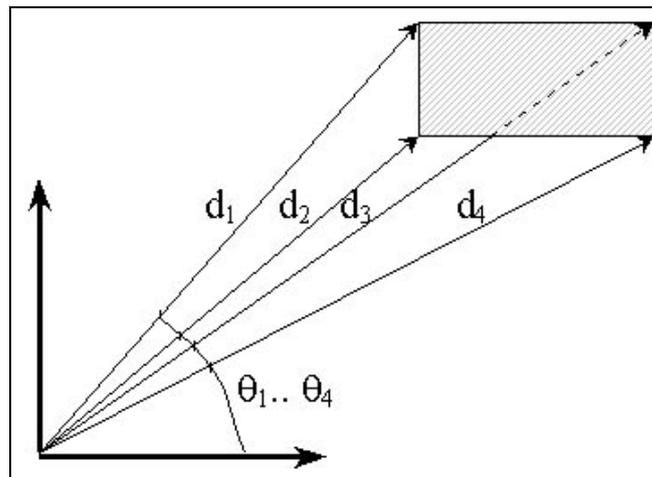


Figura 4.8. Parámetros que definen la base de un edificio respecto a un eje de coordenadas único en la urbanización.

La diferencia de cota ( $H$ ) se obtendrá de sumar a la altura del edificio la cota de la base de éste.

Una vez obtenidos todos los parámetros característicos de cada punto de la base, se deberán almacenar para posteriormente permitir los cambios de coordenadas de modo rápido mediante una aplicación informática (URSOS, METEO, etc).

Para evaluar el sombreadamiento que produce el horizonte sobre un punto de una fachada, por ejemplo una ventana, se utiliza un eje de coordenadas ( $X''$ ,  $Y''$ ,  $Z''$ ) perpendicular a la fachada, siendo el eje  $X''$  paralelo a ésta, el eje  $Y''$  perpendicular en dirección hacia el exterior de la fachada y el eje  $Z''$  perpendicular al plano horizontal. Este eje se representa en la figura 4.9.

Una vez definido este nuevo eje se tiene que realizar un cambio de coordenadas con el objetivo de obtener los nuevos ángulos  $\theta'$  y  $d'$  con los que se ve el vértice  $P(x,y,z)$  desde el eje de coordenadas ( $X''$ ,  $Y''$ ,  $Z''$ ).

Antes de comenzar a desarrollar las ecuaciones que rigen el cambio de coordenadas, se expone el cálculo que permite caracterizar el giro según el eje vertical  $Z$ , representado en la figura 4.10. Se utilizará como convenio de signos que un giro de este eje en sentido horario será negativo y antihorario positivo. En el nuevo sistema coordenado un punto  $P(x,y,z)$  cumplirá las siguientes ecuaciones de cambio de coordenadas.

$$x = x_o + (x'' \cdot \cos \phi - y'' \cdot \text{sen } \phi) \quad (\text{m}) \quad [4.9]$$

$$y = y_o + (x'' \cdot \text{sen } \phi + y'' \cdot \cos \phi) \quad (\text{m}) \quad [4.10]$$

$$z = z_o + z'' \quad (\text{m}) \quad [4.11]$$

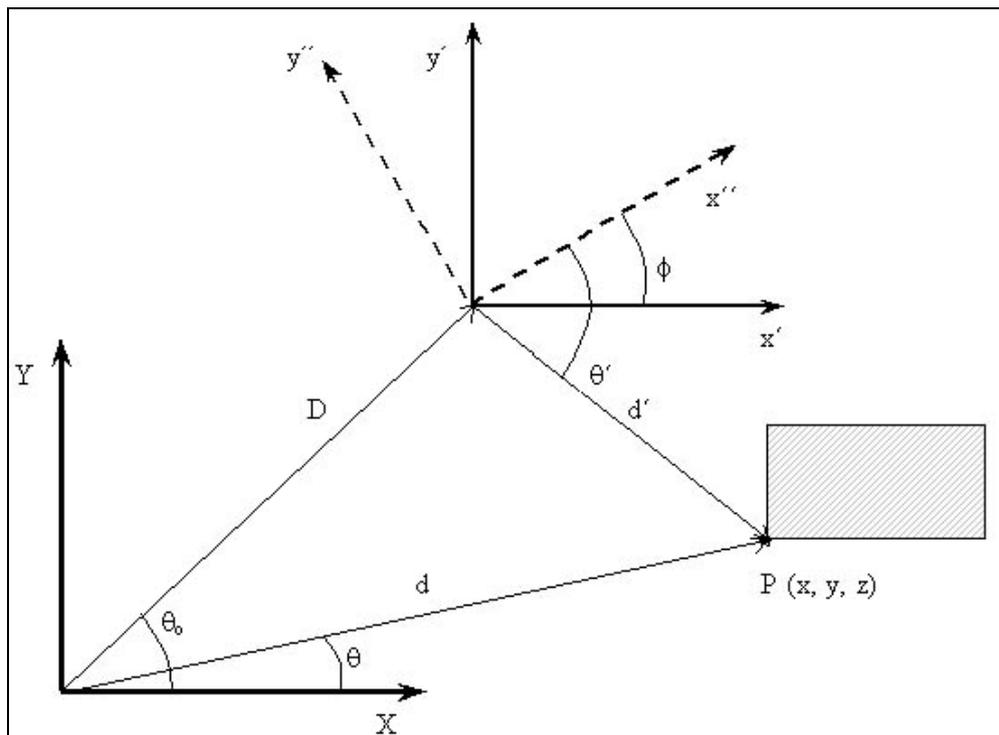


Figura 4.9. Cambio de coordenadas y posicionamiento de un vértice P respecto al nuevo eje coordenado (X'', Y'', Z''). El eje (X, Y, Z) es el origen de coordenadas de la urbanización.

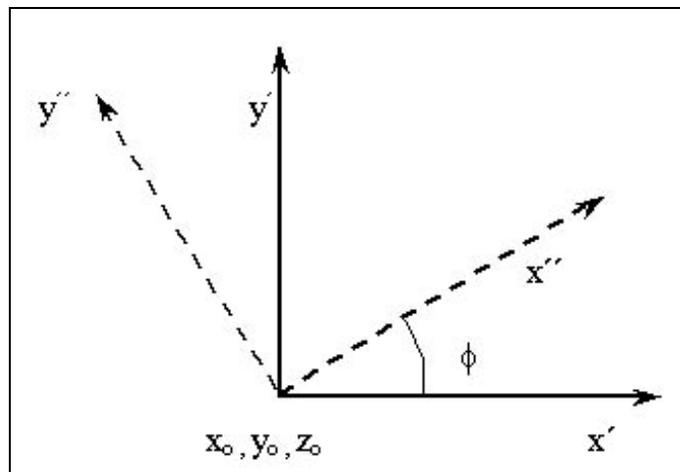


Figura 4.10. Giro sobre uno de los ejes de coordenadas.

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores los parámetros de la figura 4.9, el punto quedará definido sobre los ejes principales con las siguientes expresiones:

$$x = D \cdot \cos \theta_0 + (d' \cdot \cos \theta' \cdot \cos \phi - d' \cdot \sin \theta' \cdot \sin \phi) \quad (m) \quad [4.12]$$

$$y = D \cdot \sin \theta_0 + (d' \cdot \cos \theta' \cdot \sin \phi + d' \cdot \sin \theta' \cdot \cos \phi) \quad (m) \quad [4.13]$$

$$z = z_0 + z' \quad (m) \quad [4.14]$$

Para trabajar en el eje de coordenadas ( $X'', Y'', Z''$ ) se necesita despejar de las ecuaciones anteriores las dos variables ( $\theta'$  y  $d'$ ) que posicionan el punto P respecto al nuevo eje. A continuación se procede a obtener estos dos parámetros.

$$d' = \frac{x - D \cdot \cos \theta_o}{\cos \theta' \cdot \cos \phi - \sin \theta' \cdot \sin \phi} \quad (\text{m}) \quad [4.15]$$

$$\frac{y - D \cdot \sin \theta_o}{x - D \cdot \cos \theta_o} = \frac{\cos \theta' \cdot \sin \phi + \sin \theta' \cdot \cos \phi}{\cos \theta' \cdot \cos \phi - \sin \theta' \cdot \sin \phi} \quad [4.16]$$

$$\theta' = \arctg \left( \frac{y - D \cdot \sin \theta_o}{x - D \cdot \cos \theta_o} \right) - \phi \quad (^\circ) \quad [4.17]$$

$$d' = \frac{x - D \cdot \cos \theta_o}{\cos \left[ \arctg \left( \frac{y - D \cdot \sin \theta_o}{x - D \cdot \cos \theta_o} \right) \right]} \quad (\text{m}) \quad [4.18]$$

El valor de la diferencia de cota ( $H'$ ) de cada vértice respecto al eje de coordenadas nuevo ( $X'', Y'', Z''$ ) se determinará sumando a la cota desde el origen ( $H$ ) la diferencia de cota existente entre el nuevo eje ( $z''$ ) y la cota del origen de coordenadas de la urbanización. Habitualmente se le asignará a esta última la cota de nivel 0 m.

Utilizando este procedimiento se pueden posicionar todos los edificios respecto a un punto de una fachada (ventana u otro tipo de elemento acristalado) obteniendo el perfil del horizonte que se representará mediante un diagrama solar cilíndrico (ver figura 4.11), representándose en el eje de coordenadas los ángulos  $\theta'$  de cada vértice y en el eje de ordenadas el ángulo de la altura ( $h'$ ) correspondiente a cada vértice de las bases, trazando de este modo el perfil aparente de cada una de las fachadas (incluidas las fachadas del propio edificio para contemplar el caso de sombras propias). El ángulo de la altura de cada vértice se puede obtener con la expresión [4.19].

$$h' = \arctg \left( \frac{H}{d'} \right) \quad (^\circ) \quad [4.19]$$

Una vez obtenido el perfil que se ve desde el punto de la fachada a analizar, definido por los ángulos  $\theta'$  y  $h'$ , se debe realizar una corrección a todos los ángulos  $\theta'$  sumándoles el ángulo de orientación de la fachada ( $R$ ) conformado entre la dirección sur y la dirección del eje  $Y''$ . De este modo, el horizonte queda enclavado en su orientación correcta absoluta compatible con el acimut y la altura solar. En la figura 4.12 se representan estos ángulos para un vértice (A) en la base de una fachada orientada  $30^\circ$  al oeste desde la dirección sur.

Para cada una de las ventanas o acristalamientos que conforman una fachada habría que realizar la obtención del perfil de sombreado exterior que se visualiza, debiendo calcular para cada una la reducción de la captación solar por bloqueo. Extendido este cálculo para todas las ventanas de todos los edificios que conforman la urbanización supondría un tiempo de computación elevado, y dado que además en esta fase de diseño urbanístico no se habrá concretado la posición exacta de las ventanas o sus dimensiones, se ha creído más pertinente repartir los huecos acristalados uniformemente en la fachada (en altura y en longitud).

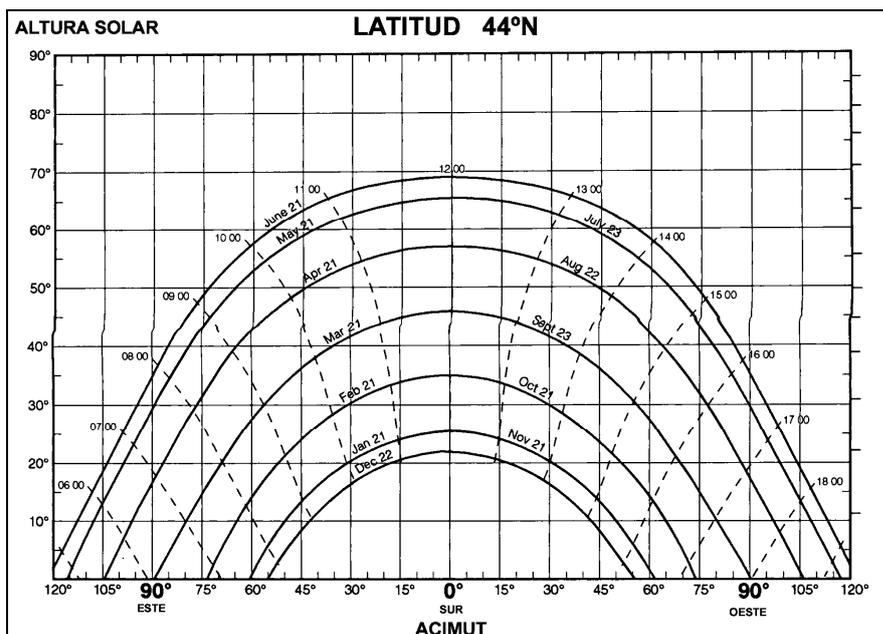


Figura 4.11. Representación gráfica de la altura solar frente al acimut para una latitud de 44° en diagrama cilíndrico. (Fuente: Goulding J.R. et al, 1993)

Para estimar la energía recibida sobre la fachada analizada, se dividirá la fachada proporcionalmente en zonas rectangulares, determinando para el centro de cada una el perfil de sombreado y la radiación incidente por unidad de superficie. La radiación total para cada zona se obtendrá al multiplicar la radiación incidente por el área acristalada de dicha zona, mientras que la energía total sobre los acristalamientos de la fachada se obtendrá sumando la radiación recibida de todas las subdivisiones de la fachada.

Hay que hacer constar que para todo el año el horizonte final que se ve desde un punto de análisis de una fachada es el mismo, tan sólo variará para los diferentes meses la posición del Sol (altura y acimut), por lo que se reduce enormemente el cálculo al aplicar esta consideración no teniendo que realizar recálculos innecesarios.

Para saber si en una hora determinada de un día existe sombreado sobre el punto de la fachada analizado, basta con comprobar si la altura solar ( $h$ ) es superior a la altura del horizonte ( $h'$ ) en la posición del Sol para dicha hora, existiendo sombreado en el caso de ser inferior la altura solar.

En la figura 4.12 se representan dos posiciones del Sol para un mismo día (mañana y tarde). En el instante '1' no existe sombreado al ser la altura solar ( $h_1$ ) superior al ángulo de visión del edificio ( $h_1'$ ), para el caso '2' existe sombreado sobre el punto analizado, al verificarse que  $h_2' > h_2$ .

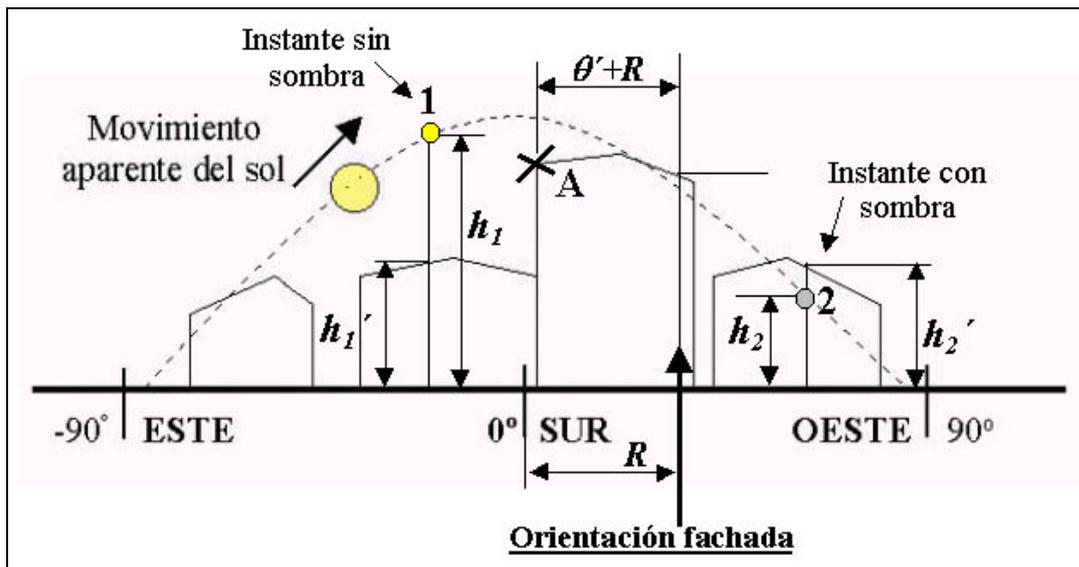


Figura 4.12. En el instante 1 no existe sombreado al encontrarse el Sol por encima de los edificios, sin embargo para el instante 2 se producirá sombreado sobre el acristalamiento desde el que se analizan las sombras externas.

La radiación global horaria incidente en una fachada sin sombreado es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada, debiéndose anular la componente directa cuando exista sombreado ( $h' > h$ ).

La radiación solar recibida en un día medio representativo de un mes, se calcula sumando los diferentes valores de la radiación global horaria calculadas en los instantes medios entre hora y hora (10:30, 11:30, 12:30, etc). Sumando todos los valores horarios para un día se obtendrá la energía diaria media captada por la superficie analizada.

Dado que para cada punto de una fachada existe un horizonte diferente, para obtener la ganancia solar sobre todos los acristalamientos de una fachada habría que calcular el horizonte de todas las ventanas, resultando un cálculo tedioso.

Como medida de aproximación, y ya que en el método propuesto de cálculo del edificio no se tiene que especificar la posición de las ventanas, se puede suponer que el área acristalada se distribuye uniformemente en una fachada.

Bajo esta hipótesis, se puede dividir la fachada en rectángulos iguales calculando para el centro geométrico de cada uno de ellos la existencia de sombreado o no, obteniéndose un coeficiente medio de sombreado horario ( $F_{eh}$ ) a partir del número total de rectángulos sombreados respecto al número total en que se ha dividido la fachada [4.20].

$$F_{eh} = \frac{R_S}{R_T} \quad [4.20]$$

- $F_{eh}$ : coeficiente de sombreado medio horario sobre una fachada, (valores entre 0 a 1).

- $R_S$ : número rectángulos sombreados en una fachada para una hora determinada.
- $R_T$ : número rectángulos en que se divide una fachada para analizar el sombreado.

#### 4.1.3. Sombreamiento combinado exterior y propio

En la mayor parte de los edificios existirá sombreado combinado al presentarse un horizonte alrededor (edificios, árboles, montañas, incluso las fachadas del propio edificio) de la fachada a analizar y además existirán habitualmente aleros propios en el edificio, teniéndose que calcular combinadamente el sombreado.

Partiendo de la hipótesis de división de una fachada en rectángulos iguales para determinar el sombreado externo, la ganancia solar sobre los acristalamientos de la fachada debe introducir a la vez las sombras horarias que producen los aleros.

Sirviendo de recordatorio, la radiación global horaria ( $H_{Gh}$ ) sobre una ventana que cuenta con aleros se obtiene con la ecuación:

$$H_{Gh} = (1 - f) \times H_{Dh} + H_{dh} + H_{rh} \quad (\text{W/m}^2) \quad [4.21]$$

- $f$ : Fracción de ventana sombreada, (valor limitado entre 0 y 1).

En la mayoría de las fachadas de los edificios existirán ventanas sombreadas por algún obstáculo del horizonte. Para estos casos el cálculo de la energía horaria captada por éstas deberá contabilizar la anulación de la componente de radiación directa [4.21].

En el caso de no estar sombreada una ventana por los obstáculos del horizonte, se deberá mantener el coeficiente de sombreado obtenido para el cálculo de los aleros (apartado 4.1.1. Sombreamientos propios).

La energía captada por todas las ventanas de una fachada se determinará tras los siguientes pasos:

- Obtención del factor de sombra tipo de las ventanas por aleros.
- Determinación del factor de fachada sombreada ( $F_{eh}$ ).
- Reasignación de sombreado exterior sobre las ventanas.
- Cálculo de la energía captada en una hora por todas las ventanas de la fachada.
- Obtención de la radiación global captada por todas las ventanas para un día entero sumando los valores de la captación solar de cada hora.

De todos los pasos el que requiere aplicar una nueva ecuación es el de la reasignación de sombreado exterior sobre las ventanas, esta expresión se muestra a continuación.

$$H_{GhT} = \sum_{zona=1}^n A \times (1 - F_{eh}) \times [(1 - f) \times H_{Dh} + H_{dh} + H_{rh}] + A \times F_{eh} \times f \times (H_{dh} + H_{rh})$$

(W) [4.22]

- $H_{GhT}$  : Captación solar total horaria a través de superficies acristaladas de una fachada constituida por n zonas rectangulares incluyendo el sombreado propio y el externo procedente del horizonte visto por la fachada, (W).
- f: Fracción de ventana sombreada asignado a cada zona rectangular, (valor limitado entre 0 y 1).
- A: Área total acristalada de la zona de la fachada analizada, (m<sup>2</sup>).

Para obtener la energía total captada en un día por los acristalamientos de la fachada se sumarán los valores de captación horaria ( $H_{GhT}$ ) para todas las horas del día evaluadas en las medias horas (10:30, 11:30, 12:30, etc), obteniéndose valores directamente de energía (Wh).

Una consideración a realizar es el tamaño del mallado rectangular. Cuanto menor sea el tamaño de éste más precisión tendrá el cálculo, pero existirá penalización de tiempo de computación, por lo que deberá existir en las herramientas de cálculo la posibilidad de realizar mallados groseros dependiendo de la rapidez del procesador y del número de edificios de la urbanización.

La anterior metodología de cálculo es la que se propone como método válido de análisis de sombreado en urbanizaciones, habiéndose considerado diferentes aproximaciones implícitas en el modelado de los edificios (reparto uniforme de acristalamiento en cada fachada, simplicidad de formas de los edificios, ...) por la propia sencillez de los métodos de cálculo propuestos del balance energético de edificios, que no exigen un elevado grado de detalle del edificio como hubiera ocurrido de utilizar una método dinámico u horario.

#### 4.1.4. Implementación del cálculo energético de una urbanización

Para llevar a cabo la demanda de energía de la urbanización objeto de estudio en primer lugar se deberá obtener el horizonte de vista desde un punto de referencia de todas las fachadas que constituyen el edificio.

El punto que se tome de referencia será desde el que se realicen los diversos cambios de coordenadas para la obtención de la captación solar de cada fachada.

Supuesto 'N' edificios en la urbanización, se deberá calcular de uno en uno la demanda anual tanto de calefacción como de refrigeración aplicando los métodos de cálculo propuestos.

Dado que para cada día del año el Sol se sitúa en diferentes posiciones de altura y acimut, variando además a lo largo del día, antes de aplicar el método de cálculo de demanda se obtendrá la ganancia solar media mensual de todas las fachadas del edificio teniendo en cuenta los diferentes sombreados combinados horarios expuestos en el subapartado anterior.

Depende de la morfología de la trama de calles y de la propia tipología de los edificios, si existieran fachadas tipo desde las cuales se observará un similar perfil del horizonte, se podría reducir el tiempo de procesamiento de cálculo determinando el aporte solar para cada uno de estos

tipos, asignando el valor obtenido a los diferentes edificios que contienen alguna de estas fachadas tipo. Este caso se presenta cuando se utilizan urbanizaciones en las que se desarrollan mallas de calles y se distribuyen los edificios de forma simétrica.

Una vez conocida la ganancia solar media mensual de cada edificio se procederá al cálculo de la demanda para dicho mes, iterando sucesivamente el proceso hasta completar todo el año.

Calculado el primer edificio se debe proceder a continuar edificio por edificio realizando la rutina de cálculo de cada uno, siendo la demanda de la urbanización la suma de la demanda de cada edificio que la compone.

La determinación de la captación solar horaria media mensual combinada con los métodos de la demanda media mensual propuestos, configuran la '*metodología de cálculo de urbanizaciones propuesta*' de esta tesis, en la cuál se partía de la hipótesis de simplificación máxima de los datos de un edificio, ya que al principio del proyecto urbanístico no se conoce con precisión sus características constructivas, siendo los datos utilizados una idealización de formas, grado de aislamiento, áreas de acristalamiento, etc.

En la figura 4.13 se muestra un esquema del proceso de cálculo propuesto en la tesis para el análisis de urbanizaciones de forma global.

## 4.2. Edificios y Urbanización de referencia

La metodología de análisis de urbanizaciones expuesta a lo largo del apartado anterior tiene como objetivo obtener la demanda de calefacción y refrigeración de los diferentes edificios, bloques, unifamiliares adosados, pareados, etc, que configuran la urbanización.

A partir de un diseño de la urbanización, siempre que se obtenga una reducción de la demanda energética total (calefacción + refrigeración) se estará ante una mejora, mientras que un aumento indicará una pérdida de eficiencia, bien por una peor distribución de los edificios (orientación desfavorable, aumento de sombreadamiento, etc) o la sustitución de edificios con factores de forma superiores.

Para comparar las modificaciones de una urbanización hay que empezar fijando alguna restricción de diseño: mantenimiento idéntico del número de viviendas y/o igualdad de la superficie útil de los edificios que configuren la urbanización. Bajo la hipótesis seleccionada se podría utilizar la demanda de energía por unidad de superficie climatizada ( $\text{kWh/m}^2$  año) como elemento comparador de la bonanza entre diferentes diseños.

Incluso la demanda por unidad de superficie climatizada permitirá comparar urbanizaciones diferentes en tamaño, tipologías, número de viviendas etc, facilitando las decisiones de diseño a los urbanistas al obtenerse un indicador energético de la calidad de una promoción.

En la demanda energética no sólo juega un papel fundamental el diseño urbano, también lo modifica la calidad de las propias viviendas, pudiéndose reducir la demanda por el aumento de aislamiento, diferenciación de porcentaje de acristalamiento por fachadas, etc.

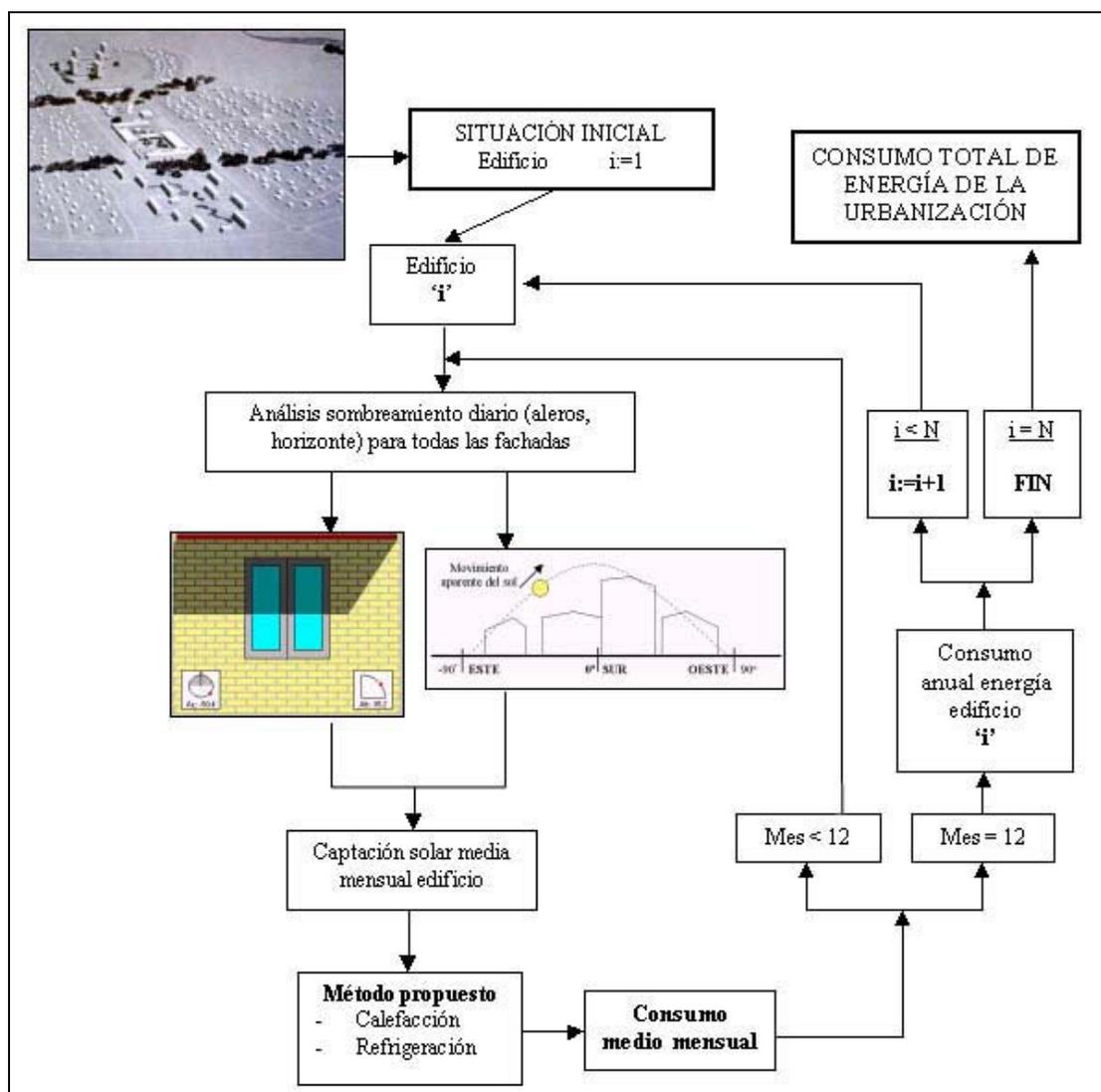


Figura 4.13. Esquema de la metodología de cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración para la urbanización objeto de estudio.

Como se ha señalado en el apartado 1.1 existen diferentes niveles de actuación en un planteamiento urbanístico. Correspondiendo con estos niveles hay actuaciones que modifican la demanda final y, el consumo correspondiente. La demanda energética depende de tres factores: la urbanización, el edificio y las instalaciones auxiliares y su adecuado acoplamiento con los sistemas de captación de energías renovables. Estas instalaciones se escapan al enfoque de la tesis por lo que solo se consideran las modificaciones de los dos primeros para optimizar el ahorro de energía de un área urbana. Esta metodología se ha aplicado en las urbanizaciones de Zaragoza ‘Residencial Parque Goya’ (3.500 VPO, 1996) y ‘Valdespartera’ (9.600 VPO, 2002), habiendo redactado el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza los condicionantes bioclimáticos en los Planes Parciales que desarrollan ambas zonas.

En el primer caso, a través de un proyecto de investigación europeo Thermie (nºBU 178/95) se han monitorizado 3 edificios, que han permitido a lo largo de dos años de monitorización ininterrumpida, de 2000 a 2002, verificar que se han logrado ahorros energéticos de un 61% respecto a edificios de muy alta calidad constructiva de Zaragoza.

En el segundo caso se realizaron diversos test de la aplicación URSOS en la que se ha implementado la metodología de esta tesis, habiendo sido complementados y verificados con el programa de simulación dinámica danés TSBI3.

Al disponer de dos factores, cuando un edificio no tenga una buena orientación o esté sometido a sombreado elevado se podrá aumentar el grado de aislamiento para compensar las pérdidas energéticas y mejorar de este modo la demanda final de la urbanización.

La urbanización de referencia que permitirá fijar el esfuerzo en cuanto al ahorro energético realizado por una urbanización tiene que contar con los mismos condicionantes del diseño urbanístico y de los propios edificios de referencia que sean restricciones en el caso real. Se deberá obtener como referencias la demanda máxima correspondiente a un mal diseño y la demanda mínima para la mejor combinación.

Esta horquilla de valores permitirá saber la racionalidad de un diseño desde el punto de vista energético. Si la demanda se acerca al peor caso, la urbanización y los edificios serán muy malos, mientras que si se acerca al valor mínimo se habrá optado por un diseño bueno desde el punto de vista del ahorro energético.

En algunas circunstancias alcanzar el mínimo puede ser complicado, ya que pueden existir restricciones de diseño además de condicionantes (tipos edificios, alturas, formas, orientaciones) que aun partiendo de una pre-optimización no llegue al mínimo de demanda global de la urbanización, simplemente por no poder ordenar los edificios por las restricciones externas de diseño impuestas<sup>2</sup>. Para estos casos se podrá alcanzar un mínimo local trabajando a nivel de los edificios (aislamiento, acristalamientos diferenciados por fachadas, etc).

En los subapartados siguientes se fijan los condicionantes de diseño de la urbanización y de los edificios de referencia. Primero se comienza por plantear unas actuaciones a incluir obligatoriamente en el modo de operación de los edificios que deben ser tenidas en cuenta en los métodos de cálculo propuestos en la tesis.

#### **4.2.1. Consideraciones mínimas de comportamiento para el ahorro de energía en edificios**

En un edificio se pueden incluir unas medidas generales que favorezcan el ahorro, siendo éstas fáciles de implementar y ajustándose al uso eficiente de un edificio. Es evidente que estas medidas serán adoptadas por el usuario o no, pero al objeto de la tesis se deberá tener un criterio bien definido. Estas medidas deben diferenciarse para la época de invierno y de verano.

Las medidas a aplicar para el balance energético en invierno son las siguientes:

- Bajar las persianas por la noche. Con esta medida se aumenta el grado de aislamiento de las superficies acristaladas.

---

<sup>2</sup> Por ejemplo, en Residencial Parque Goya existían condicionantes externos compuestos por las calles limítrofes de la urbanización, al haber incluido viviendas unifamiliares con peor factor de forma que incrementaban la demanda respecto a las viviendas en bloque o incluso la reducción de espacio libre que generaban los unifamiliares que supuso incluir edificios en manzanas rectangulares frente al uso de edificios lineales de menor demanda. Todos estos condicionantes hacían difícil alcanzar la referencia de mínima demanda de la urbanización, habiéndose optimizado la solución final de diseño entorno a un mínimo local de demanda.

- Mantener subidas las persianas durante las horas de sol.

Para el caso de verano:

- Bajar las persianas o utilizar venecianas que por el día produzcan un sombreado total del 80%. En el libro de Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas (Ministerio de Fomento – IDAE, 1999), se fija la transmitancia de los elementos de sombreado en un 20%, valor análogo al propuesto.
- Aumentar la renovación de aire del edificio si la temperatura exterior es inferior a la de confort interior. Se estima una tasa de renovación de tres renovaciones/hora.

Aplicando estas medidas a todos los edificios que se analicen con los métodos propuestos se reducirá la demanda de energía con tan sólo aplicar técnicas de mejora del confort térmico y del ahorro energético.

#### 4.2.2. Demanda máxima de la urbanización de referencia

La demanda máxima de la urbanización de referencia se obtendrá al aplicar los siguientes criterios a cada edificio que constituye la urbanización objeto de análisis:

- Mantener la misma forma, tamaño y color de los edificios.
- Sustituir el área acristalada, repartiendo proporcionalmente el acristalamiento del edificio en todas las fachadas del mismo, colocando como nueva área una superficie total que suponga el 10% de la superficie a climatizar del edificio, (o la definida como obligatoria en la normativa municipal sobre iluminación o el CTE).
- El coeficiente global de aislamiento del edificio ( $K_g$ ) será, inicialmente, el máximo permitido por la normativa previa sobre aislamiento (NBE-CT-79). Una vez entrado en vigor el nuevo Código Técnico de la Edificación el valor de referencia hay que reconsiderarlo fijándose de nuevo los valores máximos a que éste obligue. En la tabla 4.5 y 4.6 se muestra una comparativa de los valores fijados por ambas para el caso de Málaga, Zaragoza y Soria. Como se comprueba en las tablas siguientes, se ha pasado a una exigencia normativa de un incremento de aislamiento entre un 48% y un 68%, valores con los que logrará un alto ahorro energético.

La demanda máxima de referencia de la urbanización se obtendrá al calcular el balance energético de los edificios con las modificaciones anteriores al aplicar los métodos propuestos en la tesis, para cada edificio se tendrá que evaluar también los sombreados propios y del horizonte.

Coeficientes de conducción ( $W/m^2 K$ )	NBECT-79			Código Técnico de la Edificación (2006)		
	Cubierta	Muro	Suelo	Cubierta	Muro	Suelo
Málaga	1,4	1,8	1,6	0,50	0,94	0,53
Zaragoza	1,2	1,6	1,4	0,38	0,66	0,49
Soria	0,7	1,4	1,2	0,35	0,57	0,48

Tabla 4.5. Coeficientes de conducción máxima según la normativa previa NBECT-79 y los valores del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006).

	NBE-CTE-79 frente a CTE (2006)		
	Cubierta	Muro	Suelo
Málaga	64%	48%	67%
Zaragoza	68%	59%	65%
Soria	50%	59%	60%

Tabla 4.6. Incremento del grado de aislamiento según los niveles del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) respecto al aislamiento de la normativa previa NBECT-79.

A nivel europeo, las diferentes normativas nacionales fijan valores cada vez menores del coeficiente de conductividad de los cerramientos, medida que contribuye a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de la edificación, objetivo de las políticas europeas en medio ambiente.

El nuevo Código Técnico de la Edificación ya aprobado (marzo 2006) ha seguido la metodología extendida a nivel europeo fijando valores de aislamiento altos. En la tabla siguiente se muestra un extracto de los diferentes niveles de aislamiento de varios países europeos (Eichhommer W. et al, 1999).

W/m <sup>2</sup> K	Dinamarca	Alemania	Inglaterra	Irlanda
Muros exteriores	0,3	0,5	0,45	0,45
Ventanas	1,8	0,7	3	3,6
Techo	0,15	0,22	0,2	0,25
Suelo	0,2	0,5	0,35	0,45

Tabla 4.7. Coeficiente de conductividad máxima en diferentes países europeos (Fuente: Eichhommer W. et al, 1999).

#### 4.2.3. Demanda mínima de la urbanización de referencia

De los cálculos realizados con anterioridad para la comprobación de los métodos propuestos, se ha verificado que para los diferentes climas la demanda mínima de energía se obtenía con edificios de alta compacidad.

Por lo tanto la mínima demanda se obtendrá para un edificio compacto. El edificio elegido para determinar la mínima demanda de la urbanización es el de 40 viviendas lineales orientado al sur (figura 4.14 y 4.15), teniendo en cuenta que:

- El color de las fachadas y cubierta será tonos claros, considerándose un valor de absorptancia de estos de 0,2.
- El coeficiente global de aislamiento del edificio ( $K_g$ ) será el máximo permitido por la normativa vigente o la que regule en cada momento el nivel de aislamiento del edificio.
- En la fachada norte existirá una superficie acristalada equivalente al 10% de la superficie climatizada de las estancias contiguas a la fachada norte, mientras que

para la fachada sur el valor indicado será de un 20% respecto a las estancias de esta fachada.

- Bajo las hipótesis anteriores se determinará la mínima demanda de energía del edificio por unidad de superficie climatizada sin tener en cuenta los sombreamientos exteriores que pudiera tener el edificio. Esta consideración supondrá el máximo de aprovechamiento solar en invierno.

Para calcular la mínima demanda de la urbanización se determina la demanda por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas y se multiplica por la superficie climatizada total de todos los edificios que configuran la urbanización a analizar.

El valor de acristalamiento en la fachada sur (20%) es el que se suele recomendar como máximo para edificios aislados y con elevada inercia térmica (Givoni B., 1991). Otro ejemplo de validez de esta consideración queda reflejado en el documento de análisis de edificios bioclimáticos IEA Task 13 (1995), donde todos los edificios de alto ahorro energético analizados en diversos países poseen valores similares al indicado para la fachada sur.

A partir del porcentaje recomendado para la fachada sur Givoni indica que se pueden producir sobrecalentamientos en ciertas épocas del año, generándose disconfort en el interior de los edificios ya que se dispondrá de valores muy altos de ganancia solar con pérdidas reducidas a través de los cerramientos.

La demanda mínima de la urbanización se obtendrá al multiplicar la superficie total de todos los edificios de la urbanización analizada por la demanda de energía por unidad de superficie ( $\text{kWh/m}^2$  año) del edificio de referencia de mínima demanda. El valor obtenido será el de menor demanda que se puede tener en un área urbana aplicando estrictamente la normativa sobre aislamiento.

Una mejora en el aislamiento de los edificios conducirá directamente a una disminución de la demanda de la urbanización, aunque en climas cálidos no es una medida tan efectiva (Znouda E. et al, 2007). Pudiendo ser tomada esta decisión por los urbanistas y aplicándola como normativa en un Plan Parcial. Un ejemplo de aplicación se tiene en Residencial Parque Goya en el que se fijó que los edificios deberían estar aislados un 20% más que la normativa nacional.

Esta medida puede ser un instrumento que pueden utilizar las administraciones regionales o municipales en el desarrollo de sus actuaciones urbanísticas en la consecución de la reducción de las emisiones de  $\text{CO}_2$ , contribuyendo cómo uno de los principales objetivos de las Agendas 21 municipales.

#### **4.2.4. Estimación del ahorro energético o bondad del diseño de una urbanización**

Para conocer el ahorro energético de una urbanización se debe contar con alguna referencia. En este caso los valores mínimo y máximo de la urbanización serán las referencias. Cuanto más próxima esté la demanda de la urbanización analizada al valor mínimo mejor será el diseño urbanístico.

El porcentaje de ahorro estimado ( $AE$ ) de la urbanización se obtendrá de aplicar la siguiente ecuación:

$$AE = 100 \times \frac{Q_{max} - Q_{urb}}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (\%) \quad [4.23]$$

- $AE$ : Porcentaje de ahorro estimado de la urbanización analizada referenciado respecto a la demanda máxima y mínima posibles, (%).
- $Q_{max}$ : Demanda máxima de calefacción y refrigeración de la urbanización diseñada con los edificios de referencia de demanda máxima, (kWh/m<sup>2</sup> año).
- $Q_{urb}$ : Demanda de la urbanización diseñada con los edificios definidos por el urbanista, arquitecto o ingeniero, (kWh/m<sup>2</sup> año).
- $Q_{min}$ : Demanda mínima de calefacción y refrigeración de la urbanización diseñada con los edificios de mínima demanda sin sombreado exterior, (kWh/m<sup>2</sup> año).

En algunos casos el valor del porcentaje de ahorro estimado podrá ser superior al 100%. Esta situación se producirá cuando se realicen esfuerzos superiores de aislamiento en los edificios y la urbanización tenga optimizada la ordenación de los edificios con sombreados mínimos entre ellos.

### 4.3. Análisis de parámetros que condicionan la demanda energética

En este apartado se recogen diversos análisis relacionados con las consideraciones de diseño que afectan a los edificios. En primer lugar se estudian los factores que afectan a la demanda de un edificio (aislamiento, acristalamiento, ...), pasando después al análisis de los parámetros urbanísticos, concluyendo con un análisis comparativo de diferentes propuestas basadas en el desarrollo de viviendas en bloque o las modernas aglomeraciones de viviendas unifamiliares, que se están generalizando como un modo nuevo de vida en ciudades en expansión.

#### 4.3.1. Parámetros propios del edificio

Los parámetros principales que afectan a la demanda de un edificio son:

- El grado de aislamiento de los cerramientos. Un aumento del aislamiento reduce las pérdidas por conducción a través de los cerramientos.
- Los porcentajes de acristalamiento de las fachadas. A mayor superficie acristalada mayor es la ganancia solar, la cuál será beneficiosa en invierno y perjudicial en verano.
- La orientación del edificio. La captación solar es diferente en función de las orientaciones de las fachadas acristaladas del edificio. En general las peores orientaciones son las expuestas al oeste y al este, siendo mejor la distribución de viviendas orientadas al sur y al norte.
- Los sombreados exteriores sobre el edificio. En climas fríos la existencia de sombreados reduce la captación solar en invierno, siendo tan sólo beneficiosa en verano.

A continuación se analizan los factores que dependen sólo del propio edificio sin contar con los sombreados exteriores, planteando dos tipologías diferentes de edificio sobre las que se van a realizar los análisis.

#### 4.3.1.1. Edificios base para los análisis de parámetros del edificio y de la urbanización

En los análisis que se realizan en este apartado se han tomado dos edificios diferentes como base para los análisis energéticos considerando que están sometidos a las Condiciones de Referencia de Cálculo (CRC). El primero es el edificio de 40 viviendas lineal propuesto en el capítulo anterior, sobre el cuál se ha realizado una variación para obtener 8 viviendas unifamiliares.

Los unifamiliares se han obtenido desde el inicial de 40 viviendas eliminado 3 plantas intermedias, configurándose 8 unifamiliares adosados de 180 m<sup>2</sup> de superficie en 2 plantas.

Como recordatorio de la configuración del bloque lineal de 40 viviendas se han incluido las siguientes figuras que muestran la apariencia de este edificio.

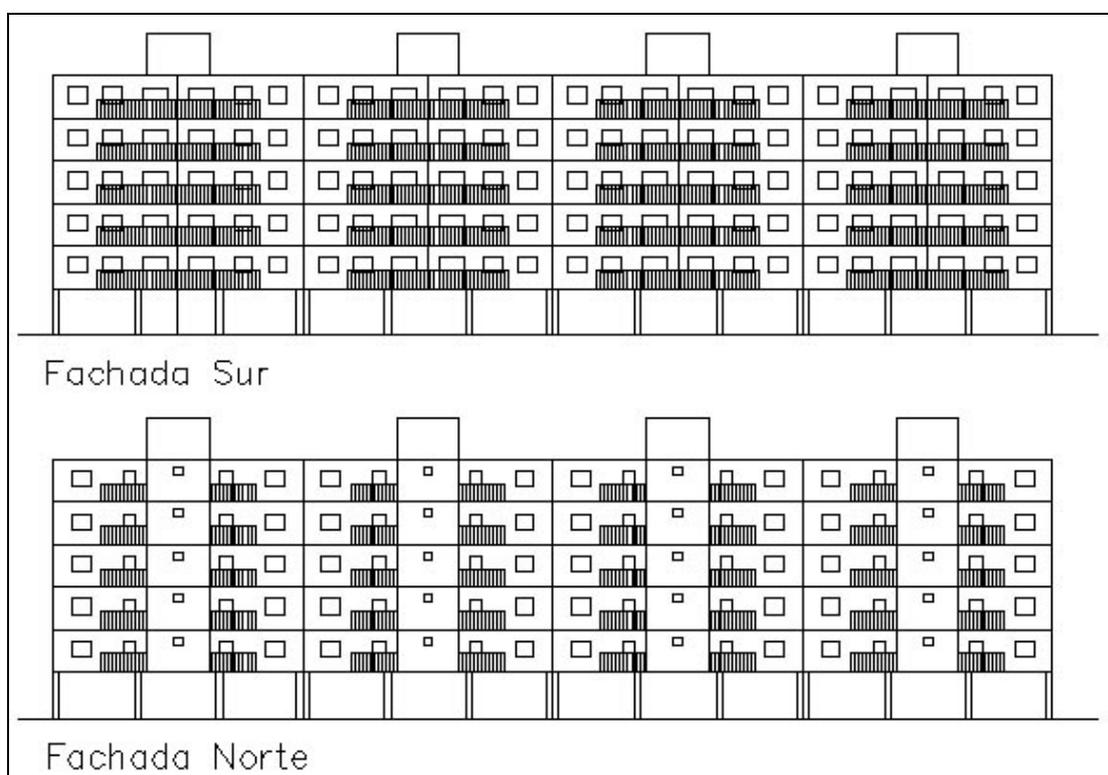


Figura 4.14. Alzado sur y norte del bloque patrón de 40 viviendas.

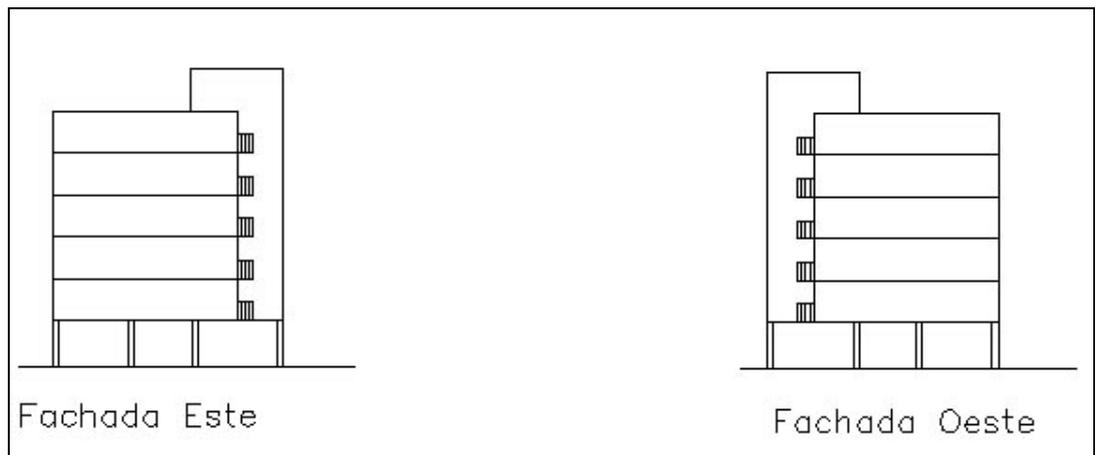


Figura 4.15. Alzado este y oeste del bloque patrón de 40 viviendas.

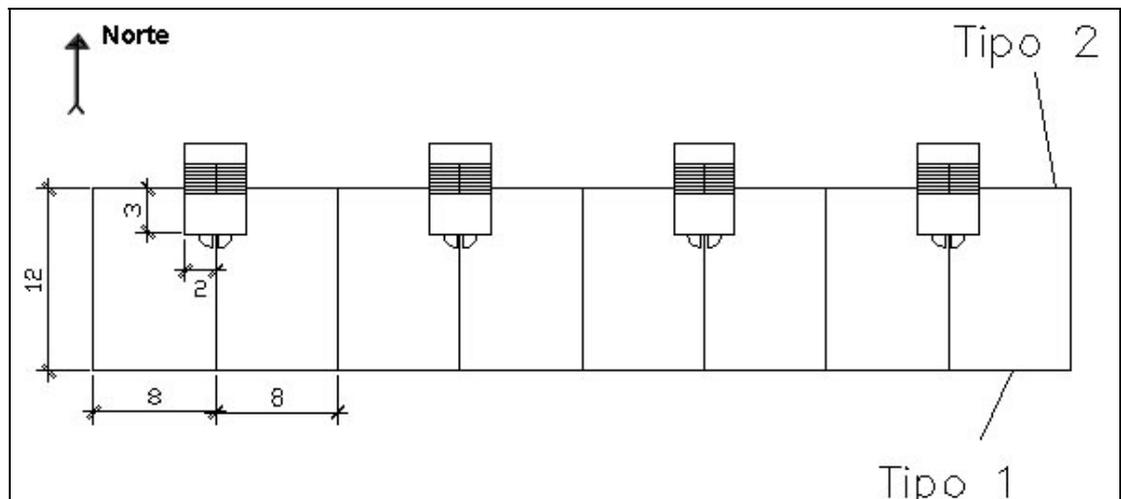


Figura 4.16. Planta del bloque patrón de 40 viviendas, con referencia del tipo de fachada en cada vivienda.

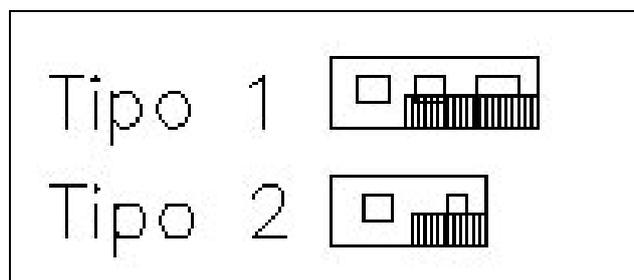


Figura 4.17. Fachadas tipo sur y norte del bloque patrón de 40 viviendas.

El bloque lineal se ha elegido como edificio base para los análisis energéticos por su alta compacidad y favorable disposición para la captación de la radiación solar, resultando ser el de menor demanda de todos los estudiados a lo largo del capítulo anterior.

Si una urbanización se configura con esta tipología constructiva, automáticamente estará asegurada su baja demanda siguiendo algunas premisas que se describirán en apartados posteriores.

Este bloque base ha sido sometido a las siguientes modificaciones:

- Grado de aislamiento de la envuelta del edificio como muros, techos, suelos, ventanas, etc.
- Variación del porcentaje de acristalamiento de la fachada más expuesta a la captación solar.
- Modificación de la orientación del edificio.
- Variaciones de la separación entre edificios para analizar la importancia de los sombreados arrojados entre edificios.
- Combinaciones múltiples de las variaciones anteriores.

Las simulaciones se han realizado con la aplicación danesa de simulación dinámica TSBI3, introduciendo en todos los modelos de edificios las premisas de ahorro energético básicas planteadas en el apartado 4.2.1 sobre '*Consideraciones mínimas de comportamiento para el ahorro de energía en edificios*'. Entre ellas se encontraba el bajar las persianas por la noche, la utilización de sombreado en verano en las ventanas o la utilización de una mayor tasa de renovación de aire nocturna como se indicaba.

Bajo las premisas anteriores, en primer lugar se han realizado diversos cálculos para las poblaciones españolas, basados en el grado de aislamiento de la norma previa sobre condiciones térmicas (NBECT-79) que ha sido sustituida por el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006).

Debido a que el nuevo CTE aumenta el grado de aislamiento para los cerramientos entre un 48% y un 67% para las poblaciones analizadas (Málaga, Zaragoza y Soria), también se han realizado los cálculos con este nivel normativo e incluso se ha realizado un análisis con un aumento del 25% sobre el aislamiento del nuevo código.

En las tablas 4.5 y 4.6 se mostraba una comparativa del grado de aislamiento exigido por la norma NBECT-79 y el nuevo CTE. Para todas las poblaciones españolas la nueva normativa supone un incremento medio del nivel de aislamiento cercano al 50%, salvo en los huecos acristalados.

Con estas variaciones se consigue apreciar las modificaciones que supondrá el nuevo código en el panorama energético nacional y cómo nos situamos respecto a las diferentes normativas europeas (tabla 4.7), habiéndose comparado las demandas nacionales con los que se tendría en Dinamarca o Leicester aplicando sus respectivas normativas en el edificio base de 40 viviendas lineales.

La configuración del edificio base para cada población es el planteado en el apartado 4.2.3 '*Demanda mínima de la urbanización de referencia*' como el edificio de menor demanda energética para la urbanización de referencia.

Las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas del edificio de 40 viviendas orientado al sur, sin tener en cuenta sombreamientos exteriores y con una superficie de captación en la fachada sur del 10% de la superficie útil del edificio se muestran en la tabla 4.8.

Demanda (kWh/año)	NBECT-79			Código Técnico de la Edificación (2006)		
	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
Málaga	15630	94080	<b>109710</b>	13508	90111	<b>103619</b>
Zaragoza	73978	49237	<b>123215</b>	25482	54157	<b>79639</b>
Soria	199182	5332	<b>204514</b>	91369	14478	<b>105847</b>

Tabla 4.8. Demanda mínima del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima según el grado de aislamiento de la norma NBECT-79 y del nuevo CTE (2006).

Aunque la nueva normativa supere en un 50% las exigencias del grado de aislamiento de los cerramientos del edificio, salvo en ventanas, el ahorro energético esperado al aplicar el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) al edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis enunciadas anteriormente conlleva un ahorro elevado para Zaragoza y Soria de 35,4% y 48,2% respectivamente, sin embargo para el caso de Málaga el ahorro tan sólo es de un 5,6%, como muestra la tabla 4.9.

Demanda (kWh/año) y ahorro energético	Demanda NBECT-79	Demanda CTE-2006	Demanda energético
Málaga	109710	103619	<b>5,6%</b>
Zaragoza	123215	79639	<b>35,4%</b>
Soria	204514	105847	<b>48,2%</b>

Tabla 4.9. Porcentaje de ahorro de energía bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima que se obtendría al aplicar el nuevo CTE (2006) al edificio de 40 viviendas respecto a las exigencias de aislamiento de la norma previa NBECT-79.

Demanda (kWh/m <sup>2</sup> año)	Demanda NBECT-79	Demanda CTE
Málaga	30,5	28,8
Zaragoza	34,2	22,1
Soria	<b>56,8</b>	<b>29,4</b>

Tabla 4.10. Demanda mínima por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima según el grado de aislamiento de la norma previa NBECT-79 y del nuevo CTE (2006). El mayor ahorro con el incremento de aislamiento se producirá para climas fríos.

En el siguiente apartado se analizan las diferentes modificaciones de la demanda energética del edificio de 40 viviendas, estudiando la casuística posible entre las combinaciones de grados de aislamiento y los porcentajes de acristalamiento.

#### 4.3.1.2. *Influencia del grado de aislamiento*

En el apartado 6.1 se ha mostrado un resultado que en principio puede resultar sorprendente, éste se producía en Málaga para el edificio de 40 viviendas al aumentar el grado de aislamiento desde la norma NBECT-79 al nuevo CTE (2006), el ahorro energético total que se producía era tan sólo de un 5,6%, correspondiendo un 13,5% al ahorro en calefacción y un 4,2% a la demanda de refrigeración.

Con este resultado se demuestra que para climas cálidos el aumento de aislamiento no es proporcional al ahorro energético, siendo menos efectiva esta medida frente al efecto que induce de ahorro en climas fríos (Znouda E. et al, 2007). En concreto el grado de aislamiento para Málaga se ha reducido un 48% (muros) y un 67% (suelos) consiguiéndose un ahorro de tan sólo un 5,6%.

Para Málaga, se produce este ligero ahorro ya que el término de las pérdidas por conducción del edificio representa una pequeña parte de la demanda de calefacción o refrigeración.

Para los climas cálidos será más efectiva la utilización de colores claros o materiales reflexivos en las fachadas y el uso de elementos de sombreado exterior que anulen la captación solar del edificio en verano, principal demanda energética, frente al aumento del grado de aislamiento.

El uso de materiales reflexivos como acabado de los edificios puede contribuir aminorar apreciablemente la demanda de refrigeración, habiéndose encontrado reducciones de la temperatura exterior del cerramiento hasta de 10,2 °C (Synnefa A., et al, 2007), incluso utilizándolos como acabados de pavimentos en áreas urbanas de Atenas Synnefa A., et al (2006) encontraron que la temperatura ambiental de los espacios urbanos se podía reducir en días calurosos en 2°C durante el día y por la noche se rebaja la temperatura en 5,9°C. En esta línea de trabajo en Atenas se habían analizado previamente a la aplicación a espacios urbanos y edificios 93 tipos de acabados y baldosas por Doulus L. et al (2004).

Además una reducción de la superficie de acristalamiento en la fachada sur será beneficiosa al disminuir la captación solar y por lo tanto la demanda de refrigeración. Aplicando una reducción del 50% a la superficie acristalada respecto al caso base, la demanda total anual desciende un 8,1% con los cerramientos de la NBECT-79 y un 9,4% con los indicados por el CTE.

En contraposición cuanto más frío es el clima más efectiva es la medida del aumento de aislamiento, el caso más significativo es Soria en el que un aumento del aislamiento entre un 50% (cubiertas) y un 60% (muros) conduce para el edificio de 40 viviendas a una reducción de las necesidades de un 48,2%.

Para Zaragoza con un clima medio, el aumento de aislamiento presenta un ahorro de un 35,4% con incrementos de aislamiento entre un 59% y un 68%. No se reduce en mayor medida la demanda ya que el incremento de aislamiento produce mayores necesidades de refrigeración.

De la tabla 4.8 se comprueba que para Zaragoza y Soria los aumentos de aislamiento generan incrementos de refrigeración. Esta causa se debe a que, en las condiciones impuestas, una vez que

penetra la radiación en el edificio cuanto más aislado está menos facilidad presenta el edificio para disiparla por conducción al exterior y mayor demanda de refrigeración presentará<sup>3</sup>.

En Málaga si se incrementa el grado de aislamiento un 25% respecto al CTE también se aprecia una tendencia de aumento de la demanda de refrigeración del edificio de un 3%.

Para aumentar el grado de aislamiento de un cerramiento se puede incrementar el espesor del aislamiento que lo constituye, de este modo se reduce su conductividad térmica. Si se procede a incrementar el espesor de éste llega un momento en el que existe un comportamiento asintótico no produciéndose ahorros proporcionales al esfuerzo económico que hay que realizar para alcanzar espesores en la demanda de un edificio (Mahlia T.M.I. et al, 2007).

En el gráfico siguiente se muestra la evolución de la conductividad térmica del muro vertical de doble hoja empleado en las simulaciones. En la cámara de aire se ha colocado como aislante poliestireno extrusionado haciendo variaciones de centímetro en centímetro.

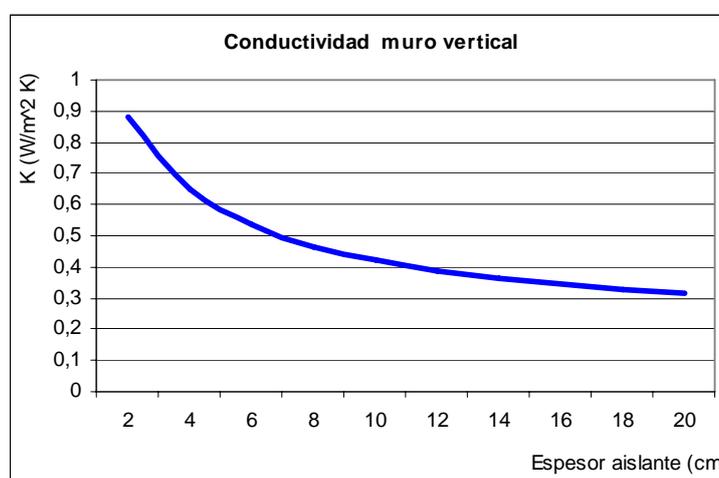


Figura 4.18. Evolución de la conductividad térmica de un muro de doble hoja al variar el espesor de aislamiento.

El siguiente caso analizado muestra la evolución de la demanda energética del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima para el clima de Zaragoza con diferentes espesores de aislamiento de poliestireno extrusionado en los muros exteriores verticales, en el resto de cerramientos se ha mantenido el grado de aislamiento de la norma NBECT-79. La evolución de la demanda se muestra en la figura 4.19 y el ahorro producido se recoge en la figura 4.20, comprobándose cómo al aumentar el espesor se va reduciendo el porcentaje de ahorro posible.

<sup>3</sup> Sin eliminar la captación solar en los acristalamientos de un edificio para periodos cálidos, la utilización de elevado aislamiento provocará mayor sobrecalentamiento, sin embargo, si se reduce la captación solar y se aprovecha la ventilación nocturna el sobreaislamiento no provocará sobrecalentamientos en los periodos diurnos.

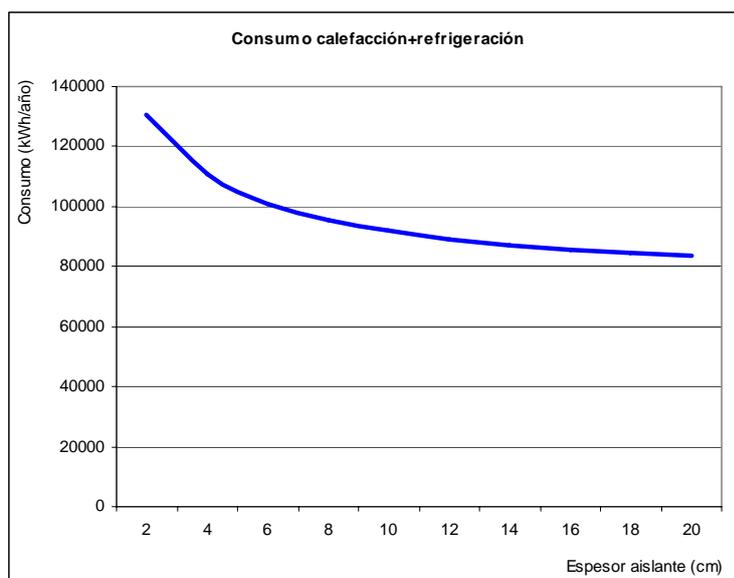


Figura 4.19. Evolución de la demanda total de energía del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima localizado en Zaragoza con el aislamiento fijado por la norma previa NBECT-79 variando el espesor de aislamiento de los muros verticales.

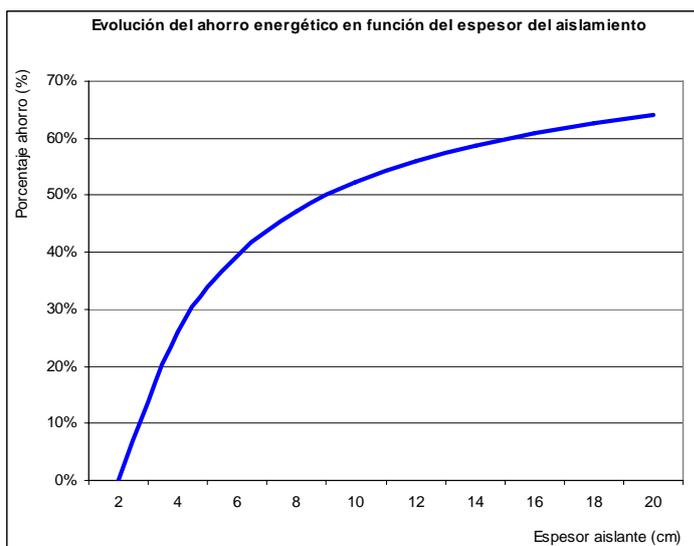


Figura 4.20. Evolución del ahorro energético del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima localizado en Zaragoza con el aislamiento fijado por la NBECT-79 variando el espesor de aislamiento de los muros verticales.

En la figura 4.21 se muestra el ahorro relativo de demanda energética total al aumentar el espesor del aislamiento en los muros verticales. Los primeros centímetros de aislamiento son más efectivos en cuanto al ahorro energético.

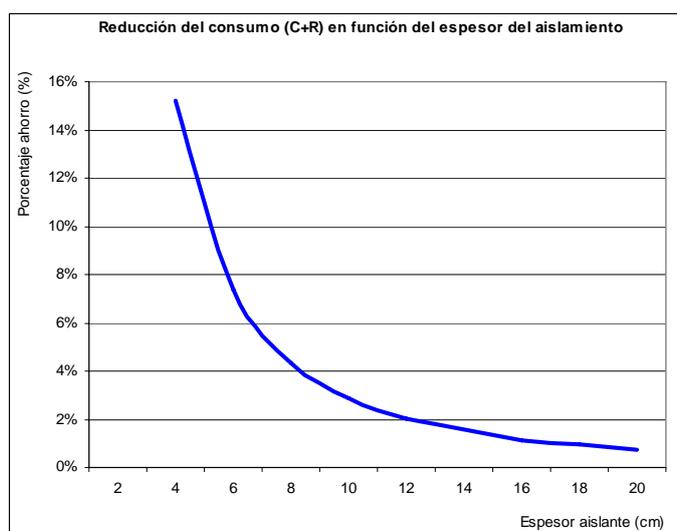


Figura 4.21. Evolución del porcentaje del ahorro energético que se consigue por cada incremento de espesor de aislamiento de los muros verticales del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima localizado en Zaragoza manteniendo en el resto de cerramiento el aislamiento fijado por la NBECT-79.

Con este análisis queda demostrado cómo el incremento efectivo de aislamiento tiene un límite, el cual debe ser fijado por optimización económica entre el coste del incremento de aislamiento y el ahorro económico debido al coste de combustible no consumido. En edificación también se tiene que introducir como condicionante añadido que un aumento del espesor de los cerramientos disminuye el área útil de la vivienda, por lo tanto si el precio de la vivienda se determina con esta área se estará reduciendo la ganancia del promotor, debiendo ser considerado como una penalización económica en la optimización energética.

En cuanto al aislamiento se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- El aumento de aislamiento de un edificio bajo las hipótesis propuestas en la tesis hace aumentar la demanda de refrigeración de forma generalizada.
- Respecto a la demanda total de energía, cuanto más cálido es un clima menos efectivas son las medidas del incremento de aislamiento.
- El ahorro energético producido por el incremento del espesor de un aislamiento tiene un comportamiento asintótico, no siendo recomendable superar ciertos espesores ya que el periodo de recuperación de la inversión (pay-back) puede hacer no rentable económicamente recurrir a espesores elevados. El número de años de recuperación de la inversión se determinará dividiendo el sobrecoste por incremento de aislamiento más la reducción del beneficio de venta del edificio al disminuir el área útil por el ahorro económico anual del combustible no consumido, por lo tanto dependerá de las circunstancias de un mercado cambiante.

Habitualmente la inversión de sobreaislamiento en climas fríos con espesores no excesivos se compensa en pocos años, mientras que en climas cálidos es más difícil la justificación económica.

Para cada caso particular se deberá realizar un estudio. Por ejemplo, hay que indicar que en alguno de los trabajos realizados por el Grupo de Energía y Edificación sobre optimización energética de edificios, al solicitar presupuestos para la construcción de un forjado se encontraron precios muy dispersos, alguno de los presupuestos duplicaba al de menor coste.

Además existe un efecto escala que se aplica en la construcción, existiendo costes inferiores cuanto mayor es el volumen de una obra con idénticas dificultades constructivas y para la misma ubicación.

Dada la reciente puesta en marcha de la normativa sobre aislamiento que incluye el CTE, se ha creído conveniente introducir una comparativa de la demanda de energía al aplicar la nueva normativa al bloque de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima, frente a la demanda que se tendría si se construyera éste en Copenhague o Leicester bajo sus normativas actuales, más estrictas en cuanto al nivel de exigencia comparadas con el nuevo CTE.

En la figura 4.22 se muestra la demanda de calefacción y de refrigeración bajo la normativa previa (NBECT-79) y los valores normativos de Inglaterra y Dinamarca, mientras que en la figura 4.23 se compara la demanda estimada al aplicar a las diferentes poblaciones españolas los valores de conductividad térmica del nuevo CTE.

Las evoluciones de demanda representadas en las figuras 4.22 y 4.23 tienen en cuenta la influencia en la variación del grado de acristalamiento en la fachada sur, encontrándose el área vidriada entre un 5% y un 20% de la superficie útil de las estancias del edificio que limitan con dicha fachada, valores equivalentes en este caso a un área acristalada comprendida entre un 22,5% y un 90% del área total de la fachada sur del edificio.

Por ejemplo, para el caso de la urbanización de Valdespartera se exigía un acristalamiento en la fachada sur respecto al área de las estancias contiguas entre un 16,6% y un 25%, siendo más correcta esta definición en un Plan Parcial frente a utilizar el área acristalada total de la fachada como parámetro, tal como se fijó en Residencial Parque Goya.

La demanda del edificio al aplicar la norma NBECT-79 muestra cómo para el caso de Soria sus necesidades energéticas son el triple frente a la aplicación de las normas inglesa y danesa, además Málaga y Soria presentan también valores de demanda superiores, aún teniendo Leicester y Copenhague climas más fríos.

Esta mayor demanda de los edificios en España clamaba por una urgente actualización en cuanto al grado de exigencia de aislamiento en los edificios, con el objetivo de reducir la demanda energética de los nuevos edificios. Esta actualización finalmente se recoge en el nuevo Código Técnico de la Edificación (2006).

Como indica la figura 4.23, la reducción de la demanda al aplicar el CTE, acerca la demanda de los edificios en España al de las normativas de Dinamarca e Inglaterra, pero sin embargo se sigue teniendo una demanda superior de energía en los edificios españoles, tendencia constatada de igual modo por García X. (2004) en sus análisis de la importancia del factor de forma. Para Soria la demanda es el doble mientras que para Zaragoza y Málaga igualan prácticamente la demanda, salvo en el caso de utilizar grandes superficies acristaladas en el que Málaga incrementa en gran cuantía su demanda.

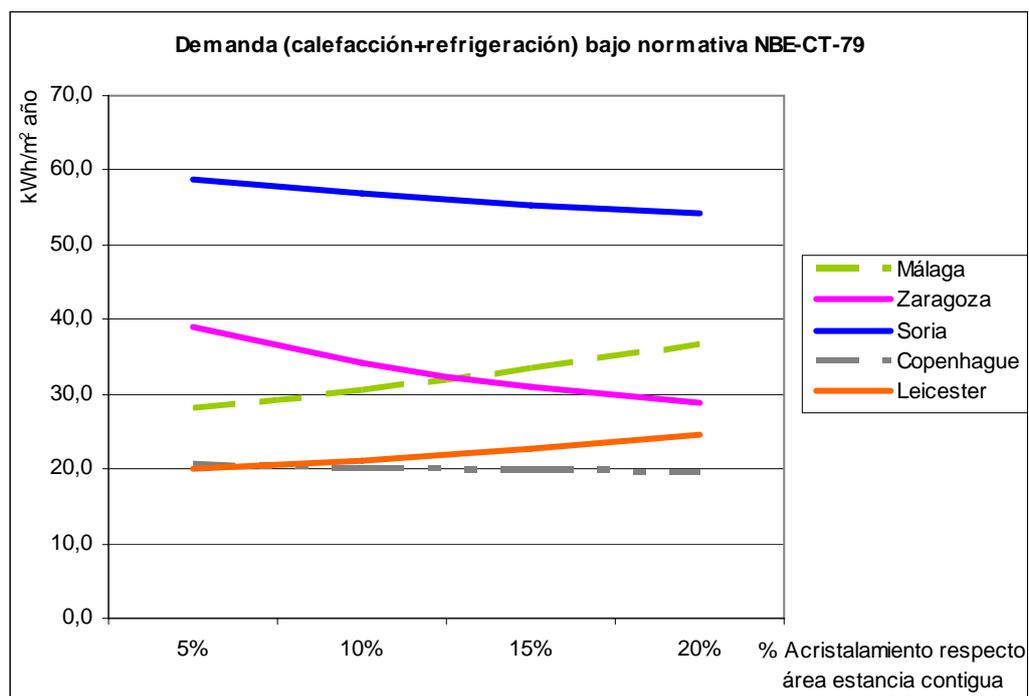


Figura 4.22. Demanda de energía por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas, bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima, para diferentes poblaciones incorporando el aislamiento exigido por la NBECT-79 para las poblaciones españolas y aplicando las normas nacionales de Dinamarca e Inglaterra a Copenhague y Leicester. La evolución de demanda tiene en cuenta la variación del porcentaje de acristalamiento en la fachada sur respecto a la superficie útil de las estancias del edificio que limitan con dicha fachada. Aproximadamente con el tamaño de estancias habituales en viviendas, un 20% de acristalamiento respecto a la estancia refleja que respecto al área exterior de fachada los huecos acristalados están en torno a un 30%.

Porcentaje de ahorro	Málaga	Zaragoza	Soria	Copenhague	Leicester
5%	8,1%	-14,3%	-3,3%	-3,3%	5,3%
10% (Referencia)	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>
15%	-9,9%	9,5%	2,8%	2,0%	-7,5%
20%	-20,1%	15,5%	4,4%	2,4%	-15,9%

Tabla 4.11. Porcentaje de ahorro de energía por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas, bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima, para diferentes poblaciones incorporando el aislamiento exigido por la NBECT-79 para las poblaciones españolas y aplicando las normas nacionales de Dinamarca e Inglaterra a Copenhague y Leicester. El porcentaje de ahorro tiene en cuenta la variación del porcentaje de acristalamiento en la fachada sur respecto a la superficie útil de las estancias del edificio que limitan con dicha fachada, considerándose como valor de referencia el 10% obligatorio según las normativas municipales de iluminación.

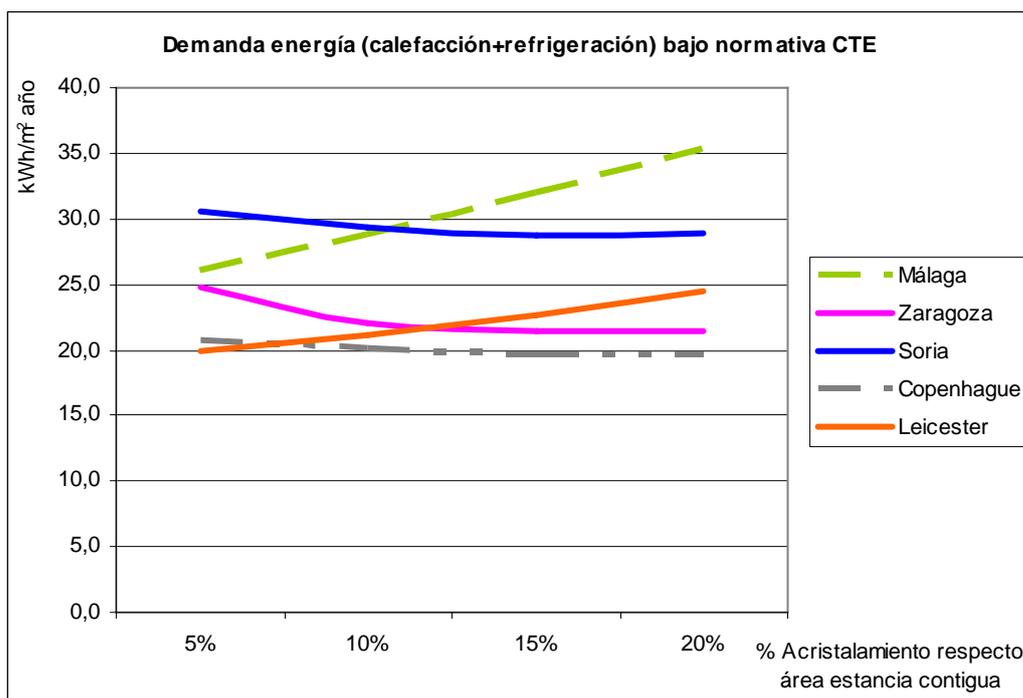


Figura 4.23. Demanda de energía por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas, bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima, para diferentes poblaciones incorporando el aislamiento exigido por el CTE para las poblaciones españolas y aplicando las normas nacionales de Dinamarca e Inglaterra a Copenhague y Leicester. La evolución de demanda tiene en cuenta la variación del porcentaje de acristalamiento en la fachada sur respecto a la superficie útil de las estancias del edificio que limitan con dicha fachada.

Porcentaje de ahorro	Málaga	Zaragoza	Soria	Copenhague	Leicester
5%	9,4%	-12,2%	-3,9%	-3,3%	5,3%
10% (Referencia)	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>
15%	-11,0%	3,0%	2,2%	2,0%	-7,5%
20%	-22,8%	2,8%	1,8%	2,4%	-15,9%

Tabla 4.12. Porcentaje de ahorro de energía por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas, bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima, para diferentes poblaciones incorporando el aislamiento exigido por el CTE para las poblaciones españolas y aplicando las normas nacionales de Dinamarca e Inglaterra a Copenhague y Leicester. El porcentaje de ahorro tiene en cuenta la variación del porcentaje de acristalamiento en la fachada sur respecto a la superficie útil de las estancias del edificio que limitan con dicha fachada, considerándose como valor de referencia el 10% obligatorio según las normativas municipales de iluminación.

Las tablas anteriores muestran cómo para todas las poblaciones en general un incremento de acristalamiento hasta el 20% reduce la demanda de energía, salvo para las poblaciones de Málaga y Leicester. No se puede generalizar para todas las poblaciones que el incremento de acristalamiento sea bueno, ya que en el balance energético entran en juego multitud de parámetros interrelacionados incluido el propio clima del lugar, por lo que será necesario utilizar un método de cálculo para poder obtener el óptimo acristalamiento del edificio analizado.

Hay que hacer constar que un incremento del área acristalada en las fachadas con orientaciones no próximas al sur conducirán a mayores demandas como se analiza en el siguiente apartado.

#### 4.3.1.3. Porcentaje de acristalamiento y orientación del edificio

La ganancia solar de un edificio depende del porcentaje de acristalamiento disponible y de la orientación a la que está expuesto. En la figura siguiente se muestra la radiación global incidente media diaria sobre una superficie vertical expuesta a diferentes orientaciones, comprobándose la importancia de colocar la mayor superficie acristalada en la orientación de mayor captación invernal y menor exposición en la época estival.

De la figura 4.24 se extrae como conclusión que la fachada que más ahorro energético puede propiciar es la orientada al sur, cumpliéndose las premisas anteriormente enunciadas.

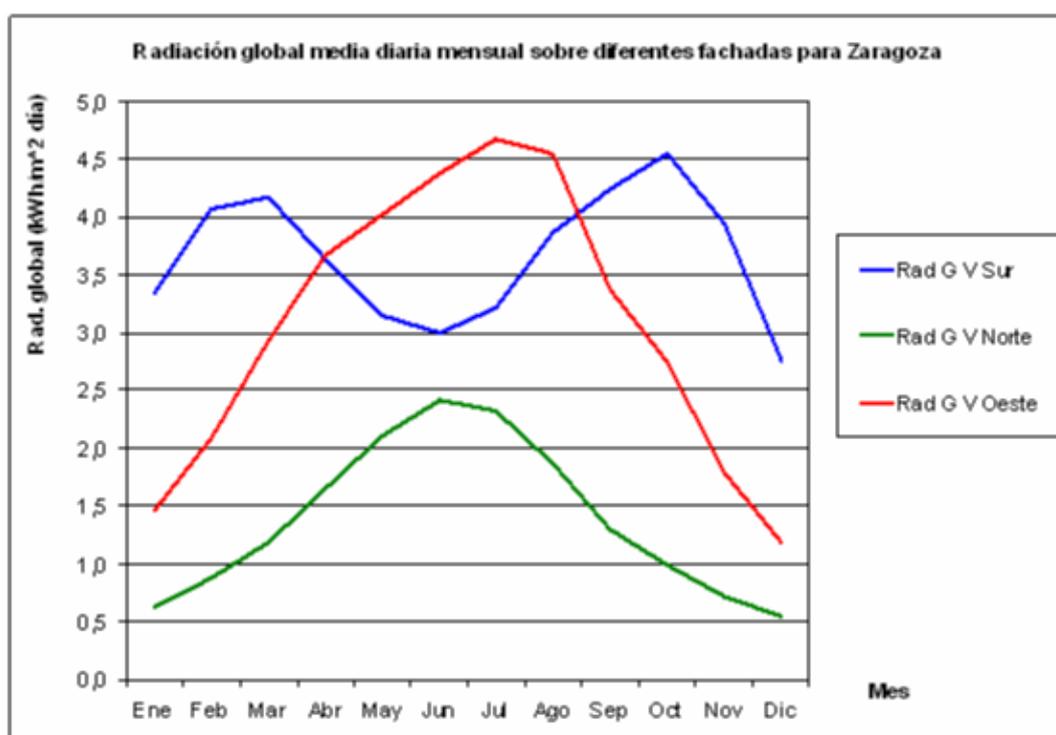


Figura 4.24. Radiación global media diaria incidente sobre superficies verticales con orientación sur, norte y oeste para Zaragoza.

El mismo edificio expuesto a diferentes orientaciones presentará una demanda variable en función de la captación solar que incida sobre las superficies acristaladas. Se han llevado a cabo diversas simulaciones del edificio base (40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima) sometiéndolo a diferentes orientaciones (al sur = 0°, con giros del sur hacia el oeste de 30°, 60° y 90°), climas y grados de aislamiento para verificar la variación de demanda que puede suponer la orientación.

Para Copenhague y Leicester los cerramientos cumplen las exigencias mínimas de aislamiento definidas en sus normativas nacionales correspondientes, mientras que para el edificio localizado en España se han llevado a cabo los análisis con la exigencia mínima de la norma NBECT-79 y el nuevo Código Técnico de la Edificación.

La tabla 4.13 recoge los resultados de la demanda de calefacción más la refrigeración de todos los casos analizados sin el efecto de los sombreados exteriores, recogiendo en el apartado siguiente el efecto que producen los enmascaramientos combinados con la rotación del edificio.

La mínima demanda para todas las poblaciones y casos analizados se encuentra con la fachada principal orientada al sur, tal como cabría esperar, sin embargo para cada localización la variación de orientación presenta diferentes incrementos de la demanda, quedando reflejados en la tabla 4.14.

En la tabla 4.13 se ha incluido climas fríos como el Copenhague o Leicester para mostrar que también para estas latitudes se comprueba que los edificios orientados al sur consumen menos energía.

<b>Demanda energía</b> (Calefacción+Refrigeración) (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
Málaga NBECT-79	30,5	32,5	36,7	38,3
<b>Málaga CTE-2006</b>	<b>28,8</b>	<b>30,8</b>	<b>35,0</b>	<b>36,4</b>
Zaragoza NBECT-79	34,2	38,0	44,4	48,4
<b>Zaragoza CTE-2006</b>	<b>22,1</b>	<b>25,4</b>	<b>31,0</b>	<b>34,3</b>
Soria NBECT-79	56,8	57,7	60,1	61,9
<b>Soria CTE-2006</b>	<b>29,4</b>	<b>30,6</b>	<b>33,2</b>	<b>34,9</b>
Copenhague	20,0	22,1	25,4	27,2
Leicester	21,1	22,0	24,1	25,9

Tabla 4.13. Demanda de calefacción más refrigeración por unidad de superficie climatizada del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima (10% de acristalamiento en la fachada principal), sometido a giros en dirección sur hacia el oeste de 30°, 60° y 90°. Los edificios tienen el mínimo aislamiento que marca las normas NBECT-79 y CTE (2006), mientras para los casos de Leicester y Copenhague se utiliza el aislamiento mínimo de sus países.

<b>Incremento demanda</b> (%)	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
Málaga NBECT-79	-	6,5%	20,6%	25,6%
<b>Málaga CTE-2006</b>	<b>-</b>	<b>6,9%</b>	<b>21,6%</b>	<b>26,4%</b>
Zaragoza NBECT-79	-	10,9%	29,7%	41,4%
<b>Zaragoza CTE-2006</b>	<b>-</b>	<b>14,6%</b>	<b>40,0%</b>	<b>55,1%</b>
Soria NBECT-79	-	1,6%	5,8%	9,0%
<b>Soria CTE-2006</b>	<b>-</b>	<b>4,0%</b>	<b>13,0%</b>	<b>18,8%</b>
Copenhague	-	10,4%	26,5%	35,9%
Leicester	-	4,1%	14,5%	22,5%

Tabla 4.14. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima (10% de acristalamiento en la fachada principal), sometido a giros en dirección sur hacia el oeste de 30°, 60° y 90°. Los edificios tienen el mínimo aislamiento que marcan las normas NBECT-79 y CTE (2006), mientras que para los casos de Leicester y Copenhague se utiliza el aislamiento mínimo de sus países.

El análisis de resultados de las tablas 4.13 y 4.14 muestra alguna de las grandes conclusiones que surgen del análisis energético de urbanizaciones y de la necesidad de la utilización de herramientas informáticas en la fase de prediseño para decidir la orientación, formas y grado de aislamiento de los edificios que pueden conformar la urbanización.

En concreto el dato más destacado se produce en Zaragoza o Málaga, si se parte del bloque de 40 viviendas orientado hacia el oeste con un grado de aislamiento alto (CTE) resultará una demanda análoga a estar mal aislado (NBECT-79) pero orientado al sur. Por ejemplo, para el caso de Zaragoza con el edificio orientado al oeste con grado de aislamiento alto la demanda es de 34,3 kWh/m<sup>2</sup> año, mientras que para un aislamiento bajo y orientación sur la necesidad energética es prácticamente igual, 34,2 kWh/m<sup>2</sup> año.

Para climas fríos y con baja radiación esta tendencia no se produce, ya que en estos casos cobra más importancia el nivel de aislamiento frente a la pérdida de captación solar, este es el caso de Soria como se observa en la tabla 4.13.

De la tabla 4.14, se puede verificar cómo la demanda de un mismo edificio orientado al sur y al oeste puede acarrear incrementos de consumo del 55,1% (Zaragoza) y del 25,6% (Málaga), rondando entre el 20% y el 35% para zonas de latitudes elevadas como Dinamarca o Inglaterra. La tabla 4.14 se ha representado gráficamente en la figura 4.25.

En este punto viene a colación un comentario introducido en el segundo capítulo de la tesis cuando se realizaba un repaso histórico del Urbanismo Energético y de la Arquitectura Bioclimática. En este capítulo se enunciaba el caso de una urbanización construida en Karlsruhe (Alemania) en 1929 en la que se orientaron todos sus edificios lineales con exposiciones este – oeste. En aquel entonces no existían herramientas informáticas que dijeran que iba a ser un desastre energético, como así se pudo demostrar años después al comparar la demanda de estos edificios con otros bien orientados.

Otra de las conclusiones que pueden obtenerse de la tabla 4.14 surge al verificar que el incremento de demanda por la variación de la orientación es mayor en porcentaje cuanto mayor sea el grado de aislamiento. Para Soria girar 90° el edificio objeto de análisis bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima con un mayor aislamiento fruto del CTE (2000) supone un incremento de la demanda de un 18,8% frente a un 9,0% para el que cumple estrictamente la NBECT-79. La lógica está en el efecto de la ganancia solar que es un % variable combinado con una pérdida equivalente en todas las direcciones.

Para aumentar la captación solar de un edificio se puede recurrir al incremento de la superficie de captación solar, medida que reducirá la necesidad de calefacción y producirá un aumento de la demanda de refrigeración.

Al edificio base orientado al sur se le han realizado diversas modificaciones del porcentaje de acristalamiento de la fachada principal, existiendo climas para los que un incremento de la superficie acristalada reduce la demanda de necesidades (Zaragoza, Soria y Copenhague), mientras que para Málaga y Leicester aumentan las necesidades. Estas tendencias se han mostrado en las figuras 4.22 y 4.23 y corresponde al mayor o menor rigor del clima combinando con la mayor o menor cantidad de horas de Sol en invierno/verano.

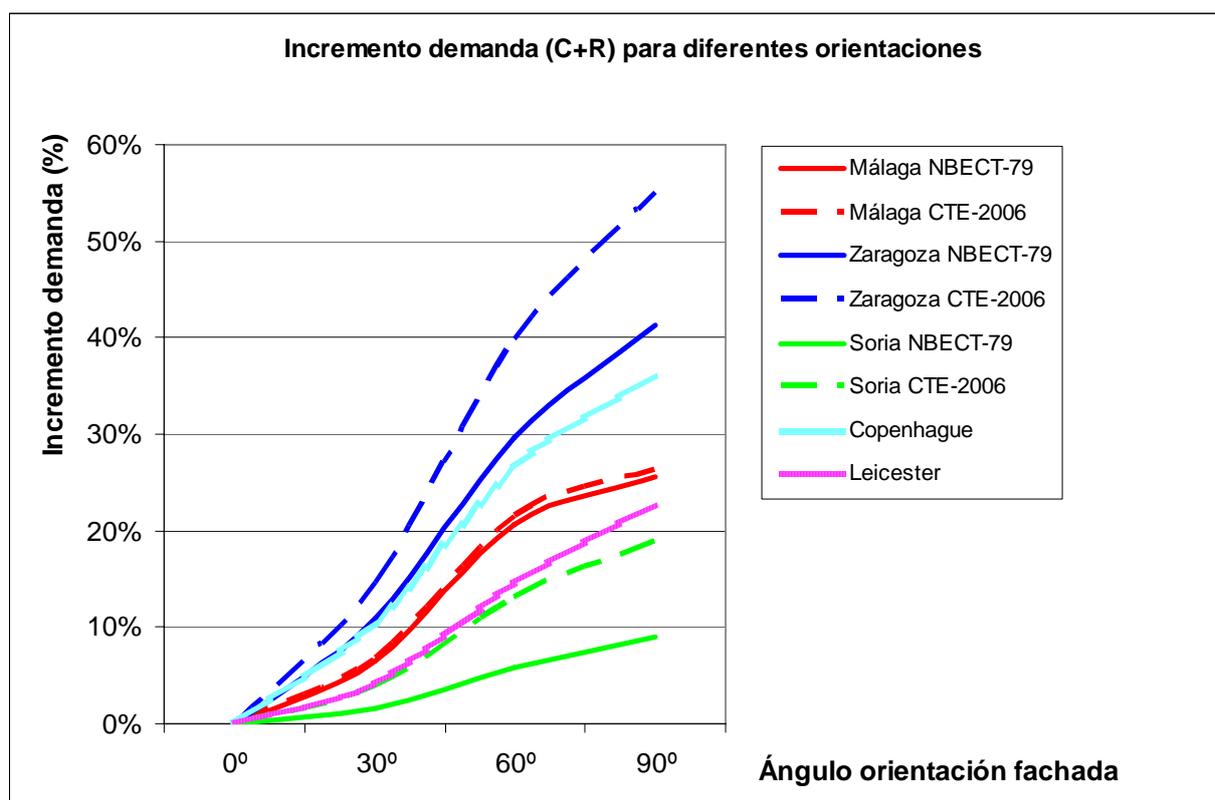


Figura 4.25. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima (10% de acristalamiento en la fachada principal), sometido a giros en dirección sur hacia el oeste de 30°, 60° y 90°. Los edificios tienen el mínimo aislamiento que marca las normas NBECT-79 y CTE (2006), mientras para los casos de Leicester y Copenhague se utiliza el aislamiento mínimo de sus países.

Aunque una reducción de la demanda por incremento del porcentaje de vidrio es beneficiosa, Givoni B. (1991) propone que no debe superarse como recomendación un porcentaje equivalente de acristalamiento del 10% respecto a la superficie de la estancia contigua, como se ha propuesto inicialmente en el edificio base. Un aumento por encima de este nivel puede provocar habitualmente instantes de disconfort en ciertos meses al producirse sobrecalentamientos sino se utilizan medios para producir sombreamiento sobre los acristalamientos (persianas, aleros, mallorquinas, toldos, etc).

En el caso de aumentar el nivel de aislamiento para la misma superficie acristalada se producirán mayores sobrecalentamientos, siendo conveniente la reducción del porcentaje de acristalamiento o disponer de elementos de sombreamiento que eliminen la captación solar.

En la figura 4.26 se incluye la evolución de temperatura de una vivienda bioclimática orientada al sur de Residencial Parque Goya (proyecto Thermie nºBU 178/95) del edificio P-11. Durante el día 12 al 16 de septiembre se anulaba la captación solar mediante el empleo de las persianas exteriores sin producir sobrecalentamientos a pesar de tener temperaturas exteriores elevadas. Los días intermedios con temperaturas exteriores más suaves permitieron temperaturas interiores suaves con persianas parcialmente levantadas. Sin embargo hubo tres días consecutivos (25 a 27) en los que no se bajaron del todo las persianas lo que provocó un sobrecalentamiento llegando hasta 27,3°C.

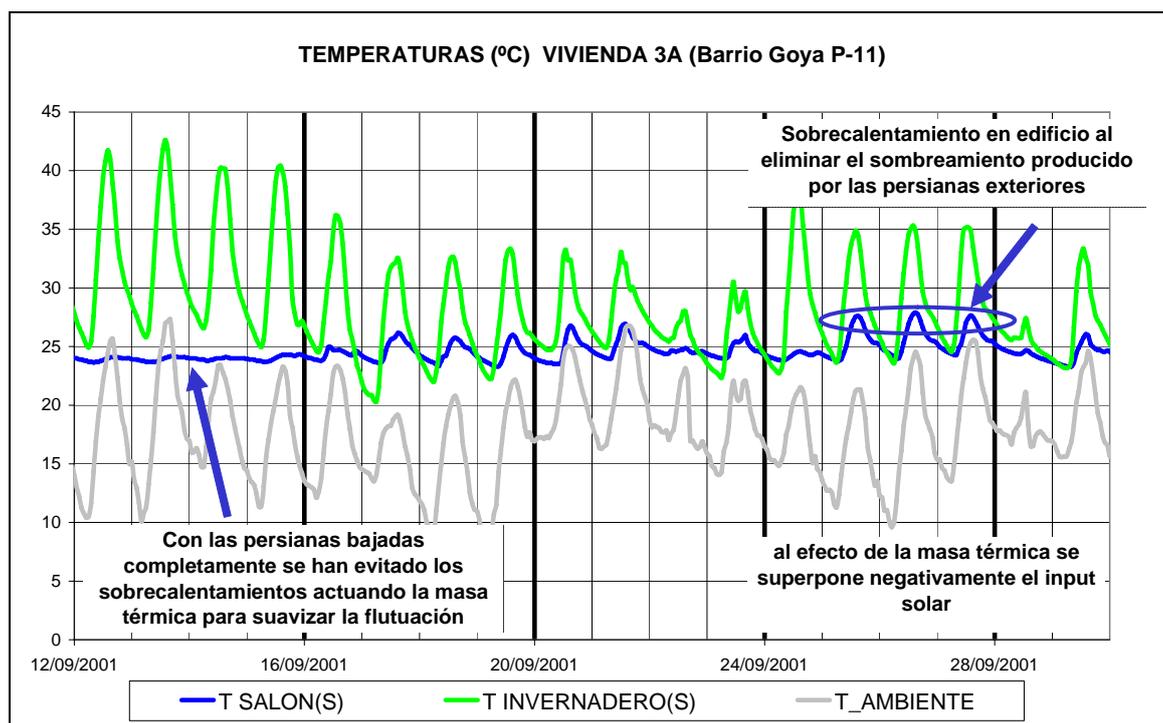


Figura 4.26. Evolución de temperaturas en salón, invernadero y ambiental de una vivienda bioclimática orientada al sur de Residencial Parque Goya en Zaragoza. Durante el periodo de tiempo analizado el invernadero anexo a la vivienda permanece con los acristalamientos exteriores cerrados, en el caso de haberse abierto, la temperatura interior del invernadero hubiera sido ligeramente inferior a la temperatura exterior durante las horas de más exposición solar. (Fuente: GEE UZ).

El anterior comportamiento muestra la importancia de la masa térmica combinada con efectos como la reducción de la radiación incidente (directa y difusa) sobre espacios acristalados o de la ventilación cruzada nocturna, elementos imprescindibles para la reducción de la demanda de refrigeración tal como analizan Cheng V. et al (2005) para climas cálidos.

En la figura 4.27 se muestra el sobrecalentamiento máximo estimado para cada mes con TSBI3 del edificio base aislado con los valores mínimos del Código Técnico de la Edificación y con varias opciones de acristalamiento respecto al área de las estancias localizadas al sur (10%, 20%, 30% y 40%) para un edificio ubicado en Zaragoza. Para la geometría del edificio analizado estos porcentajes representan un área acristalada de la fachada sur de un 22,5%, 45%, 67,5% y 90% respectivamente.

La temperatura máxima de sobrecalentamiento en Zaragoza se produce en octubre (figura 4.27), mes en el que existe la máxima captación solar en la fachada sur tal como mostraba la figura 4.24, dándose además temperaturas exteriores más cálidas que las que se dan en primavera.

El porcentaje óptimo de acristalamiento de una fachada dependerá entre otros factores del grado de aislamiento, de la orientación de la fachada, del clima del lugar y de la compacidad del edificio. En la mayor parte de los casos analizados para la geometría particular del edificio base el óptimo se encontraba alrededor de un 45% de acristalamiento en la fachada sur, valor similar al obtenido por el GEE para el caso de las viviendas bioclimáticas de la urbanización de Valdespartera (Zaragoza).

En cuanto al porcentaje de acristalamiento y a la orientación de los edificios se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- Los edificios con fachada principal orientada al sur son los que menor demanda energética presentan.
- Una buena orientación puede suplir la falta de aislamiento de un edificio.
- El incremento de demanda por mala orientación es superior en los edificios con alto grado de aislamiento.
- El porcentaje de acristalamiento debe limitarse para evitar sobrecalentamientos, produciéndose éste cuanto más nivel de aislamiento tenga el edificio.
- El porcentaje óptimo de acristalamiento hay que determinarlo aplicando el balance energético del edificio, ya que la demanda dependerá de la geometría del edificio, del grado de aislamiento, de la orientación del edificio y del clima del lugar. A priori no existe un valor óptimo recomendable de forma genérica.

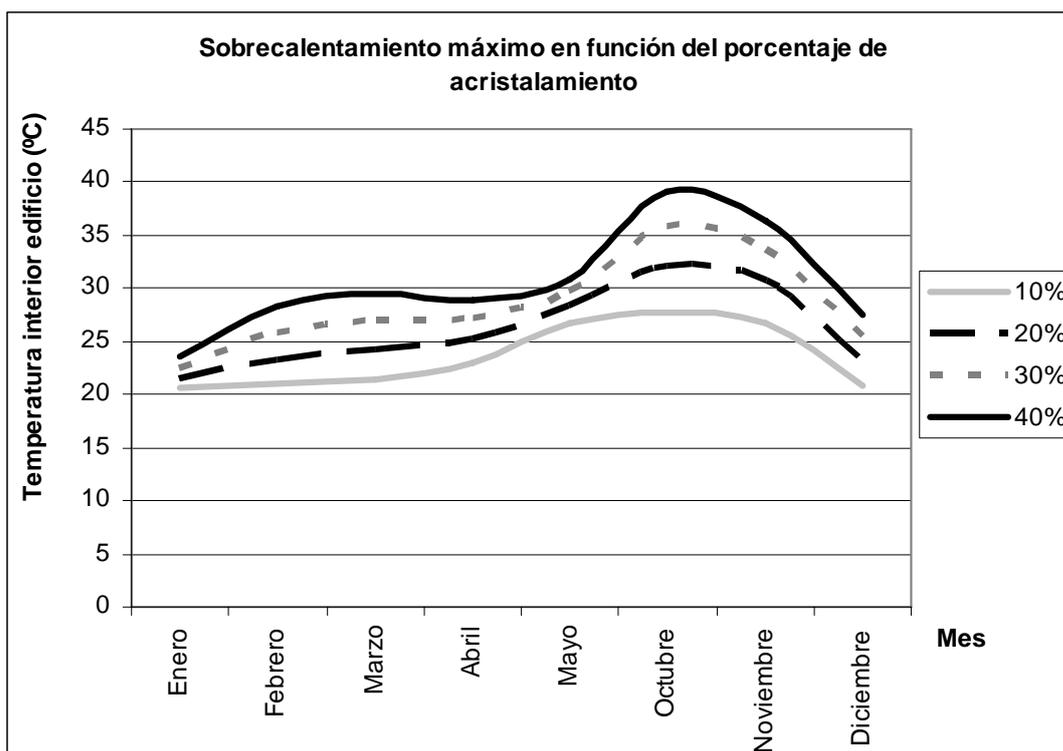


Figura 4.27. Temperatura de sobrecalentamiento del edificio base en función de diferentes porcentajes de acristalamiento obtenidos con la aplicación danesa de simulación dinámica TSBI3 sin utilización de ventilación para refrigerar la vivienda y sin reducir la captación solar (bajar persianas).

#### 4.3.2. Parámetros urbanísticos

La demanda de calefacción y refrigeración de un edificio depende tanto de los parámetros propios del edificio (aislamiento y acristalamiento) como de otros inherentes a su propia ubicación encuadrada en el entorno del área urbana (orientación y sombreado externo). Los primeros han sido abordados en los apartados anteriores, mientras que en este apartado se resalta la importancia del diseño del entramado de las calles que condiciona la orientación de los edificios y el alejamiento entre ellos.

A la hora de diseñar una nueva parte de la ciudad, si el urbanista cuenta con la libertad de poder elegir la orientación de las calles y el tamaño de las parcelas, su decisión incidirá directamente en la demanda de energía que los habitantes de los nuevos edificios tengan en el futuro.

Si el diseñador decide trazar tramas de parcela rectangular con la mayor dimensión de exposición al sur, los edificios que se ubiquen en la parcela podrán disponer en su mayoría de la fachada principal mirando al sur, orientación que permite obtener el mayor ahorro energético posible. Hay que recordar que este tipo de trama era la que se utilizaba en las ciudades griegas y romanas, hitos iniciales de la planificación desde el punto de vista energético.

Tan sólo esta elección de la trama puede conducir a obtener ahorros medios en la urbanización entorno a un 30% de la demanda total, como ha quedado patente en el apartado 4.3.1.3, pudiendo llegar en ciertas localizaciones debido al clima a valores cercanos al 50% de ahorro.

No hace falta construir una gran área urbana para beneficiar a los usuarios finales y a la sociedad de la reducción de la demanda energética. Promociones urbanísticas de pequeño tamaño que dispongan de un terreno suficientemente holgado pueden reducir la demanda simplemente teniendo en cuenta la regla de disponer el mayor número de viviendas orientadas al sur, pueden conseguir un ahorro energético importante.

En la figura 4.28 se muestra un ejemplo de una urbanización de 12 unifamiliares adosados con un diseño inapropiado y con la solución racional desde el punto de vista energético.

En el diseño superior de la urbanización de la figura 4.28, las fachadas principales de los adosados están bien orientadas (sur y norte), mientras que la solución inferior sería inadecuada al estar orientadas al este y al oeste.

En el segundo caso los unifamiliares consumirán más energía durante toda la vida para lograr mantener unas adecuadas condiciones de confort respecto a la primera solución. Además, las dos soluciones suponen un coste similar de urbanización.

Una vez que se han construido los edificios en una nueva área urbana entre ellos se producirán sombras, por lo que la demanda de calefacción aumentará respecto al que se tendría si no hubiera sombreado invernal. En cuanto a las necesidades de refrigeración, la diferencia puede ser poco significativa si la disposición más apropiada, señalada como correcta, incorpora aleros sombreadores para el verano.

En los apartados anteriores no se había tenido en cuenta la aparición de sombras externas, llevándose a cabo en este subapartado el análisis de la importancia del sombreado entre edificios.

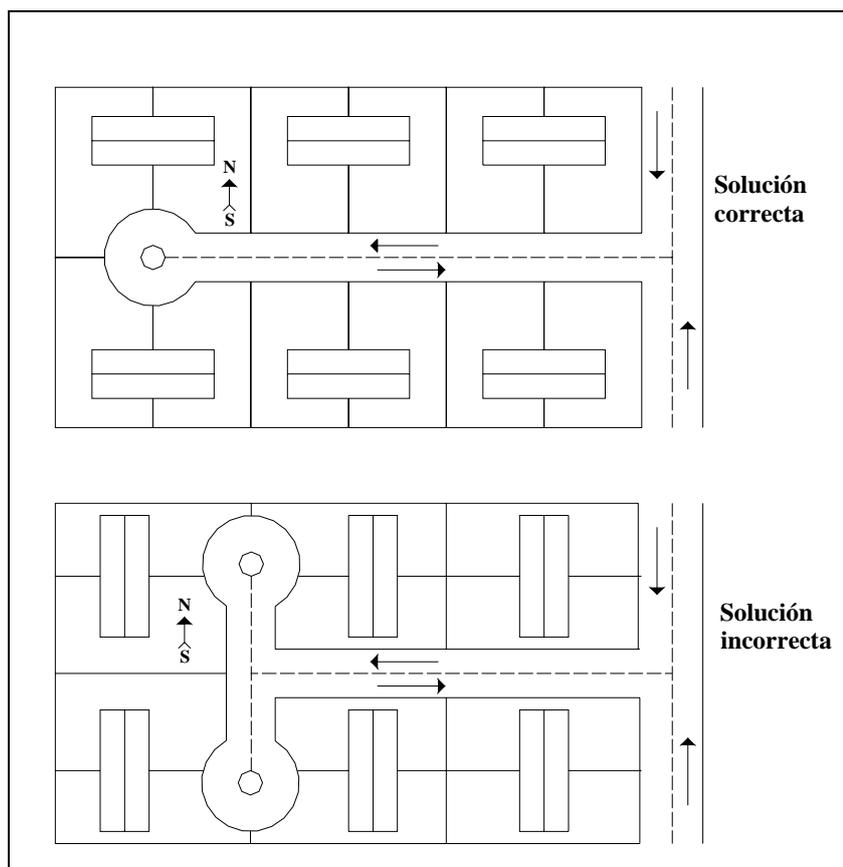


Figura 4.28. Dos soluciones de una urbanización con la misma superficie conteniendo 12 unifamiliares adosados y limitada al este con una calle de la localidad.

No en todos los climas será perjudicial el sombreado entre edificios, cabe citar que en el desarrollo de ciudades de origen musulmán con altas temperaturas, se juega con la estrechez de las calles para producir sombreados en las mismas, reduciendo de este modo la captación solar sobre los edificios y a la vez generando en las calles espacios más frescos que contribuyen a que la gente pueda pasear por estas zonas sin sufrir fuertes insolaciones. En la figura 4.29 se muestra una calle de Granada y otra de Córdoba, ambas réplica del trazado típico musulmán de calles con protección solar.

En el Barrio de Santa Cruz de Sevilla configurado por este tipo de calles Coronel J.F. et al (2001) registraron reducciones de hasta 8°C en las calles durante el día en periodos cálidos, otro ejemplo de este tipo de trazado se puede encontrar en Fez donde Johansson E. (2006) registró reducciones de temperatura ambiental entre 6 a 10°C.



Figura 4.29. Calles típicas de Granada y Córdoba de diseño musulmán en las que se evita el calor generando sombras en las calles, por las que se puede pasear protegidos del rigor del verano.

El sombreado entre edificios viene definido por el parámetro de separación entre edificios ( $D$ ) respecto a la altura de éstos ( $H$ ), estas distancias se muestran gráficamente en el esquema de la figura 4.30.

$$\text{Relación\_separación} = \frac{D}{H} \quad [4.24]$$

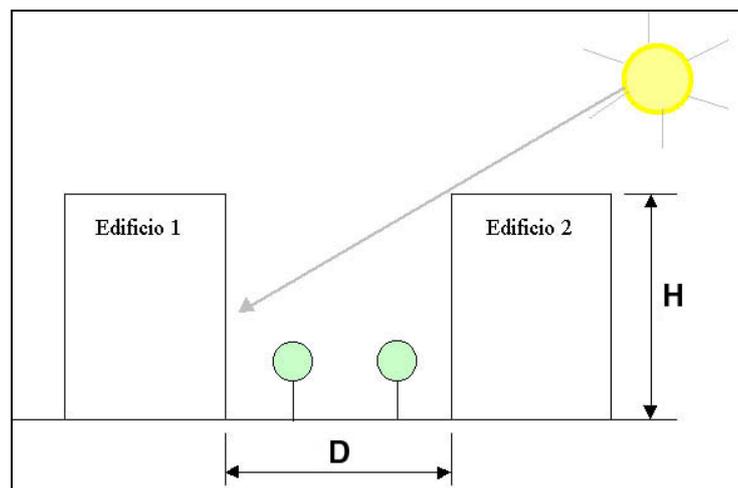


Figura 4.30. Parámetros que intervienen en el sombreado entre edificios.

Para verificar la importancia que juega en la demanda de energía el sombreado entre los edificios de una urbanización, se han realizado diversas simulaciones con el edificio de 40 viviendas lineal colocándole alrededor diversos edificios de la misma geometría que le provocan sombreado.

En la tabla 4.18 y en la figura 4.31, se muestra el incremento de demanda para diferentes localidades y/o grado de aislamiento del edificio orientado al sur para diferentes separaciones entre edificios (D/H). Para todos los casos cuanto más cerca se encuentran los edificios mayor es la demanda, habiendo casos con aumentos insignificantes de demanda como Málaga, en el que acercándose los edificios a D/H=0,5 la demanda se incrementa tan sólo un 1,7% (aislamiento NBECT-79) o un 1,5% (aislamiento CTE-2006).

El mayor incremento de demanda se produce para Copenhague con un 40%, mientras que para Zaragoza y Leicester los valores están próximos al 30%. La importancia de la separación de las calles en Soria presenta menor importancia (12,2%), fruto de existir un clima continental frío en invierno que genera una elevada demanda de calefacción, contribuyendo el aporte solar en menor cuantía a la reducción de la demanda frente a las pérdidas del edificio.

D/H	Málaga NBECT- 79	Málaga CTE- 2006	Zaragoza NBECT- 79	Zaragoza CTE- 2006	Soria NBECT- 79	Soria CTE- 2006	Copenhague	Leicester
<b>0,5</b>	<b>1,7%</b>	<b>1,5%</b>	30,0%	35,1%	7,0%	12,2%	<b>40,3%</b>	<b>26,4%</b>
<b>1,0</b>	1,2%	1,0%	17,8%	20,8%	3,4%	6,7%	31,9%	19,0%
<b>1,5</b>	0,5%	0,4%	8,6%	10,3%	1,2%	3,0%	24,4%	12,6%
<b>2,0</b>	0,2%	0,2%	3,0%	4,0%	0,6%	1,1%	18,4%	8,4%
<b>2,5</b>	0,1%	0,1%	1,1%	1,5%	0,2%	0,4%	13,9%	5,7%
<b>3,0</b>	0,0%	0,0%	0,6%	0,8%	0,1%	0,2%	10,5%	3,6%

Tabla 4.18. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima orientado al sur y sometido a variaciones del sombreado (D/H). Se ha tomado como referencia la demanda sin sombreado para cada una de las poblaciones y/o grado de aislamiento.

Para analizar la importancia qué puede suponer además que el edificio tenga otras orientaciones se han realizado diversas simulaciones variando la orientación 30°, 60° y 90° desde el sur hacia el oeste. En las tablas siguientes se muestra el incremento de demanda respecto al edificio orientado al sur sin sombreado.

De todos los casos analizados la demanda mínima se produce con el edificio orientado al sur, aumentando la demanda conforme se gira hacia el oeste o el este.

Para climas fríos (Copenhague, Leicester o Soria) cuando el edificio está orientado hacia el oeste la demanda aumenta cuanto más cerca se encuentran los edificios, para el resto de casos aparecen descensos de las necesidades en concreto para Málaga existe una reducción de 25,6% a 10,4% y para Zaragoza de 41,4% a 41,2%.

El resultado de Málaga refleja el caso típico del trazado de las calles para climas cálidos, en los que es interesante utilizar calles estrechas que faciliten que los edificios estén próximos, reduciéndose la demanda cuando los edificios están orientados este-oeste, o aumentándose en un pequeño porcentaje (valor medio de un 1,6%) cuando están orientados al sur con calles estrechas, ver figura 4.32.

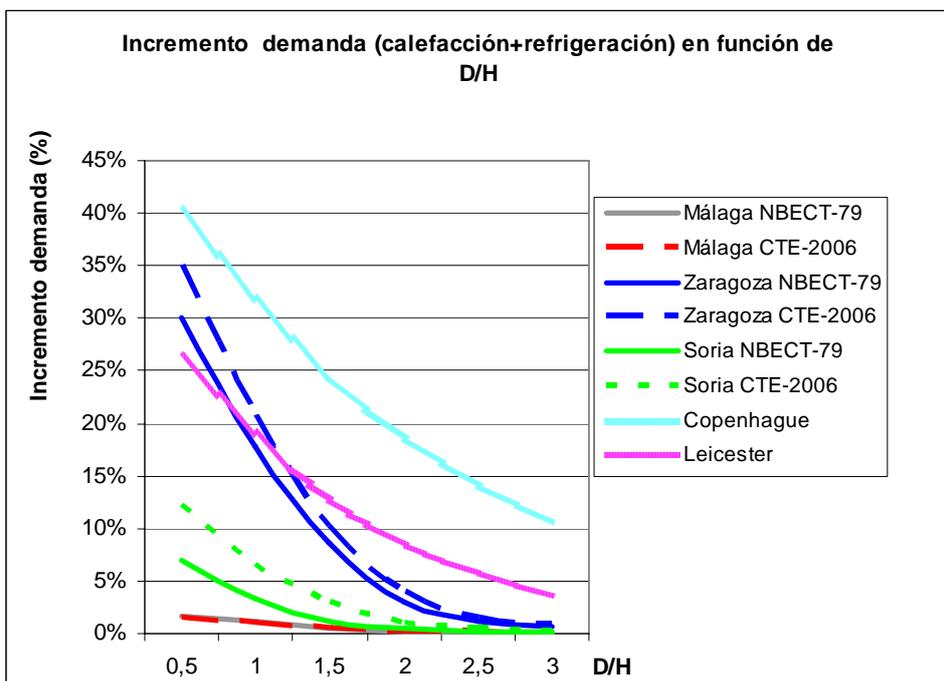


Figura 4.31. Incremento de demanda (calefacción+refrigeración) del edificio de 40 viviendas orientado al sur para diferentes separaciones de los edificios que provocan sombreado (D/H).

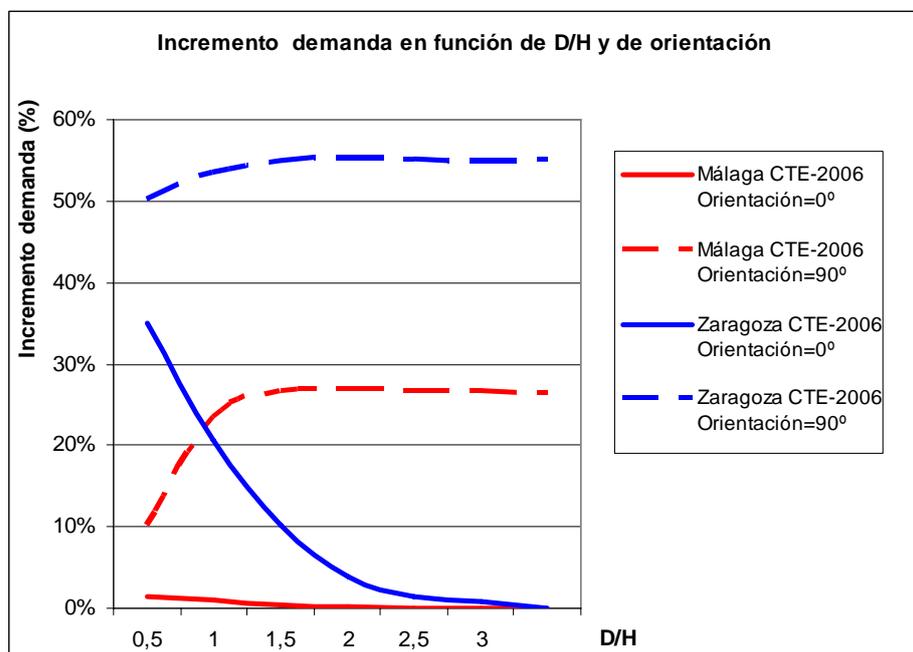


Figura 4.32. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio se ha situado en Málaga y Zaragoza con el aislamiento definido por el CTE-2006. La mala orientación de un edificio en Málaga casi se puede compensar al estrechar la separación entre edificios.

Cuando los edificios están girados 90° respecto al sur, su demanda no se ve muy incrementada por los sombreado producidos. En el trazado urbanístico se pueden utilizar calles de mayor anchura cuando tengan la dirección este a oeste, de tal modo que los edificios orientados al sur estén con la mayor separación posible, no siendo negativo utilizar calles de menor dimensión cuando crucen de sur a norte. Este entramado justamente corresponde a las reglas utilizadas por los romanos en sus ciudades.

Para el caso de Lisboa Goncalves H et al (2004) han obtenido conclusiones similares en cuanto al trazado de calles, recomendando que los edificios con orientación sur-norte se separen una relación D/H de 1,66 a 2,2 para aprovechar la captación solar en invierno, mientras que para edificios con orientación este-oeste las calles pueden ser más estrechas, habiendo fijados relaciones entre 0,66 y 0,75. Por ejemplo, para Zaragoza las recomendaciones, a la luz de los resultados de la figura anterior, podrían ser validas para ambos orientaciones.

En las tablas siguientes se analizan para diferentes climas y grados de aislamiento el incremento de demanda que presenta el edificio de 40 viviendas, habiéndose variado la separación de las calles (D/H) y sometido al edificio a rotaciones respecto a la orientación sur. Para todos los casos se ha partido como referencia de comparación del edificio orientado al sur y sin sombras, viendo de forma generalizada como la desorientación del edificio presenta mayores incrementos de demanda frente a la disminución de la separación de las calles, esta tendencia sólo se altera para el caso de lugares de baja radiación solar (Copenhague y Leicester) en los que es más importante disponer los edificios para que no se arrojen sombras entre ellos.

De los resultados para las poblaciones españolas se obtiene como conclusión que el incremento de aislamiento que plantea el CTE hace más necesario una buena orientación y separación de los edificios, al comprobarse de las tablas que se alcanzan mayores incrementos de demanda si se desorientación los edificios y/o se reduce el ancho de las calles.

Copenhague D/H	0°	30°	60°	90°
0,5	<b>40,3%</b>	41,8%	43,0%	<b>45,2%</b>
1,0	31,9%	35,3%	39,3%	44,1%
1,5	24,4%	29,0%	35,9%	42,4%
2,0	18,4%	24,2%	33,2%	41,1%
2,5	13,9%	20,3%	31,2%	39,4%
3,0	10,5%	17,7%	29,8%	38,5%
Sin sombreado	<b>0,0%</b>	10,4%	26,5%	<b>35,9%</b>

Tabla 4.15. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Copenhague.

<b>Leicester</b> <b>D/H</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
0,5	<b>26,4%</b>	26,9%	28,5%	<b>31,5%</b>
1,0	19,0%	20,8%	24,5%	28,7%
1,5	12,6%	15,7%	21,7%	26,9%
2,0	8,4%	12,0%	19,7%	25,8%
2,5	5,7%	9,3%	18,3%	24,9%
3,0	3,6%	7,5%	17,2%	24,3%
Sin sombreado	<b>0,0%</b>	4,1%	14,5%	<b>22,5%</b>

Tabla 4.16. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Leicester.

<b>Málaga NBECT-79</b> <b>D/H</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
0,5	<b>1,7%</b>	7,3%	17,7%	<b>10,4%</b>
1,0	1,2%	8,1%	21,3%	22,8%
1,5	0,5%	7,6%	21,7%	25,9%
2,0	0,2%	7,2%	21,4%	26,2%
2,5	0,1%	6,9%	21,2%	26,0%
3,0	0,0%	6,8%	20,9%	25,8%
Sin sombreado	<b>0,0%</b>	6,5%	20,6%	<b>25,6%</b>

Tabla 4.17. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Málaga con el aislamiento definido por la NBECT-79.

<b>Zaragoza NBECT-79</b> <b>D/H</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
0,5	<b>30,0%</b>	35,5%	43,5%	<b>41,2%</b>
1,0	17,8%	26,0%	39,0%	42,4%
1,5	8,6%	18,9%	35,8%	42,6%
2,0	3,0%	15,1%	33,7%	42,5%
2,5	1,1%	13,3%	32,3%	42,2%
3,0	0,6%	12,4%	31,6%	41,9%
Sin sombreado	<b>0,0%</b>	10,9%	29,7%	<b>41,4%</b>

Tabla 4.18. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Zaragoza con el aislamiento definido por la NBECT-79.

<b>Soria NBECT-79</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
<b>D/H</b>				
0,5	<b>7,0%</b>	8,4%	10,4%	<b>10,4%</b>
1,0	3,4%	5,4%	8,6%	10,1%
1,5	1,2%	3,4%	7,5%	9,8%
2,0	0,6%	2,5%	6,9%	9,6%
2,5	0,2%	2,1%	6,6%	9,4%
3,0	0,1%	1,9%	6,4%	9,3%
Sin sombreadamiento	<b>0,0%</b>	1,6%	5,8%	<b>9,0%</b>

Tabla 4.19. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreadamiento (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Soria con el aislamiento definido por la NBECT-79.

<b>Málaga CTE-2006</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
<b>D/H</b>				
0,5	<b>1,5%</b>	7,1%	17,9%	<b>10,3%</b>
1,0	1,0%	8,2%	21,9%	23,6%
1,5	0,4%	7,8%	22,5%	26,6%
2,0	0,2%	7,5%	22,2%	26,9%
2,5	0,1%	7,3%	22,0%	26,7%
3,0	0,0%	7,2%	21,9%	26,6%
Sin sombreadamiento	<b>0,0%</b>	6,9%	21,6%	<b>26,4%</b>

Tabla 4.20. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreadamiento (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Málaga con el aislamiento definido por el CTE-2006.

<b>Zaragoza CTE-2006</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
<b>D/H</b>				
0,5	<b>35,1%</b>	43,1%	55,1%	<b>50,1%</b>
1,0	20,8%	31,3%	49,7%	53,4%
1,5	10,3%	23,1%	46,1%	54,9%
2,0	4,0%	18,9%	43,9%	55,3%
2,5	1,5%	17,0%	42,6%	55,1%
3,0	0,8%	16,2%	41,9%	55,0%
Sin sombreadamiento	<b>0,0%</b>	14,6%	40,0%	<b>55,1%</b>

Tabla 4.21. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreadamiento (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Zaragoza con el aislamiento definido por el CTE-2006.

Soria CTE-2006 D/H	0°	30°	60°	90°
0,5	<b>12,2%</b>	14,4%	18,1%	<b>17,4%</b>
1,0	6,7%	10,0%	16,4%	17,8%
1,5	3,0%	6,8%	15,2%	18,3%
2,0	1,1%	5,5%	14,4%	18,6%
2,5	0,4%	4,9%	13,9%	18,7%
3,0	0,2%	4,5%	13,6%	18,8%
Sin sombreado	<b>0,0%</b>	4,0%	13,0%	<b>18,8%</b>

Tabla 4.22. Incremento de demanda de calefacción más refrigeración del edificio de 40 viviendas bajo las hipótesis del edificio de referencia de demanda mínima sometido a variaciones del sombreado (D/H) y de la orientación. El edificio está situado en Soria con el aislamiento definido por el CTE-2006.

### 4.3.3. Resumen de parámetros de diseño que afectan a la demanda energética

A continuación se incluyen las conclusiones y recomendaciones de diseño obtenidas sobre los parámetros urbanísticos que afectan a la demanda de los edificios y que pueden contribuir a la reducción de la demanda energética de un área urbana.

- De las diferentes morfologías de trazado de calles (radioconcéntrica, rectangular, etc) la mejor de todas desde el punto de vista del ahorro energético es la rectangular. El lado mayor debe estar orientado de este a oeste, de tal modo que se facilite que los edificios que se coloquen en las parcelas presenten la mayor área posible de fachadas orientadas al sur. Este entramado era típico de las ciudades del Imperio Romano.
- Para climas fríos, las calles que discurran del este al oeste deberán ser más anchas, pudiendo ser más estrechas las que van de sur a norte. Con esta configuración los edificios orientados al sur están lo más alejados posible entre ellos por lo que disponen de mayor captación solar en invierno. La separación entre los edificios con orientación de fachadas oeste y este no es prioritaria desde el punto de vista energético debido a la poca variación de demanda que supone el sombreado para estas orientaciones.
- Para climas cálidos es recomendable hacer calles estrechas para favorecer el sombreado en verano entre los edificios y sobre las calles, no siendo importante la captación solar de los edificios en invierno. Con calles estrechas se generan ambientes de mayor confort, y resulta sencilla la colocación de toldos, en ausencia de arbolado que cubra prácticamente toda la calle.
- La orientación de las calles debe favorecer la máxima disposición de edificios lineales orientados al sur. Tampoco hay que pecar de exceso de linealismo, pudiéndose utilizar formas rectangulares con patios interiores (los menos adecuados), edificios en forma de L o combinaciones de éstos para no generar una ciudad carente de invariantes.
- Dado que es interesante generar la máxima separación entre los edificios en sentido de la orientación sur, se deberán colocar las zonas de aparcamiento, recreativas o de servicios entre las filas de los bloques de viviendas, de tal modo que las zonas de sombras arrojadas recaigan en estas zonas y no en las fachadas de los edificios.

#### 4.3.4. Compacidad de áreas urbanas

Una vez estudiados los parámetros que condicionan la demanda de calefacción y refrigeración de los edificios de una urbanización, se va a proceder a verificar cuál es el máximo aprovechamiento (número viviendas, superficie construida, etc) que se puede obtener de un área urbana bajo el condicionante de minimizar las demandas de energía.

Ya en los años 20 Walter Gropius (maestro de la Bauhaus) abordó el problema de encontrar la configuración más apropiada de edificios lineales teniendo en cuenta la ausencia de sombreado. En este tiempo no se podía llevar a cabo el balance energético por lo que tan sólo se analizaba el sombreado con cartas solares, siendo imposible determinar científicamente la mejor distribución desde el punto de vista energético.

Gropius se planteo como objetivo verificar si es mejor construir edificios de poca altura o bloques de grandes alturas. Para ello se plantea ver cual es la ocupación en planta de un mismo número de viviendas para diferentes alturas de edificios. La conclusión que obtuvo es que era mejor construir edificios más altos por que ocupaban menos espacio de terreno. En la figura 2.19 se muestra alguno de los esquemas que realizó.

Según los análisis que se muestran en la figura 2.19 de Gropius, los condicionantes de soleamiento para un bloque de 12 plantas (Caso F) con ocupación de 211,1 m, eran equivalentes a construir los de 2 plantas (Caso A) en 253 m. La distribución en bloque para este caso con el mismo número de viviendas ocupa un 16,6% menos, por lo que es más interesante la construcción en bloque desde el punto de vista del sombreado.

De modo similar aplicando la metodología de la tesis se ha intentado verificar las hipótesis de Gropius teniendo en cuenta la demanda energética y no el soleamiento. Para realizar este análisis se ha comparado la demanda de cinco filas de unifamiliares de dos plantas orientados al sur con el edificio lineal de 40 viviendas.

El terreno inicial previsto es de 48 m de anchura por 108 m de fondo, conteniendo un número total de 96 unifamiliares adosados con una superficie útil cada uno de 90 m<sup>2</sup>. El área total construida residencial es de 8.640 m<sup>2</sup> en una superficie de terreno de 5.184 m<sup>2</sup>, la edificabilidad es de 1,66 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

Las filas de unifamiliares respetan la separación entre ellas de D/H=1,0 (D=6m y H=6m). Para el cálculo de la demanda de los bloques también se ha considerado la misma relación de separación, manteniéndose además las mismas condiciones de diseño de los edificios base (acristalamiento y grado de aislamiento) para los unifamiliares.

Una vez fijado el diseño de la urbanización de 96 unifamiliares, se ha determinado la demanda total para diferentes poblaciones sirviendo este dato como referencia para realizar la comparativa entre los bloques. El número de viviendas en bloques enteros tiene que arrojar una demanda inferior al de los unifamiliares, obteniéndose un ligero ahorro para todos los casos de la urbanización en bloque respecto a la conformada por los 96 unifamiliares.

En la tabla 4.23 se muestran los resultados obtenidos para diferentes poblaciones de la comparativa entre bloques y los unifamiliares. Los parámetros analizados son los siguientes:

- Demanda total de los 96 unifamiliares que configuran la urbanización de 48m\*108m.

- Número de bloques enteros con una demanda total inferior al de los unifamiliares.
- Demanda de los bloques que configurarían la nueva urbanización formada sólo por bloques.
- Número de viviendas equivalentes que configuran la urbanización bajo las premisas anteriores.
- Distancia que ocuparán los bloques en profundidad. La anchura es la misma que para los unifamiliares.
- Ahorro de energía que presenta la urbanización con bloques respecto a la de unifamiliares.
- Incremento del número de viviendas de 90m<sup>2</sup> equivalentes respecto al de unifamiliares.

	Copenhague	Leicester	Málaga NBECT-79	Zaragoza NBECT-79	Soria NBECT-79
<b>Demanda 96 Unifamiliares</b> (kWh/año)	402588	442794	333822	606096	961998
Nº bloques enteros mínimo	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Demanda bloques (kWh/año)	380708	384060	334731	480486	875480
Nº viviendas en bloque	160	160	120	120	160
Profundidad ocupada (m)	104	104	78	78	104
Ahorro demanda bloque/unifamiliares	5,4%	13,3%	-0,3%	20,7%	9,0%
Incremento nº viviendas	66,7%	66,7%	25,0%	25,0%	66,7%
Ahorro espacio urbanización	3,7%	3,7%	27,8%	27,8%	3,7%

Tabla 4.23. Comparación de una urbanización conformada por 96 unifamiliares respecto a una urbanización compuesta por bloques de 40 viviendas que presentan una ligera reducción de la demanda energética. El número de bloques enteros se tiene que ajustar para cumplir la premisa de obtener una demanda inferior a la de los 96 unifamiliares.

Para los casos analizados la urbanización equivalente conformada por bloques ocupa un 3,7% y un 27,8% (Málaga - Zaragoza) menos de espacio que la de unifamiliares, además de contar con un 66,7% más de viviendas salvo Málaga y Zaragoza (25 %) y una demanda total de energía entre un -0,3% y un 20,7%.

Los resultados obtenidos al aplicar el nuevo Código Técnico de la Edificación (2006) a las poblaciones de España muestran idéntica tendencia que la recogida en las comparaciones con la norma NBECT-79. Hay que destacar que en la NBE-CT-79 el nivel de aislamiento de un edificio con un factor de forma elevado se penalizaba teniendo que aislarse más el edificio, sin embargo este criterio razonable se ha perdido de vista en el CTE no penalizándose los edificios por su factor de forma, dando lugar a edificios de más demanda por unidad de superficie que los edificios compactos por no haberse seguido este criterio.

Por ejemplo Maccari A. et al (2001) observaron que para las más de 1.000 viviendas que analizaron en Italia, las de configuración en bloque, presentaban una demanda de climatización que era la mitad frente a las compuestas por los tipos unifamiliares.

Los anteriores resultados demuestran que con la 'ciudad compacta' conformada por bloques, frente a los unifamiliares, se obtiene una mayor rentabilidad energética del suelo, pudiéndose construir más viviendas en menor espacio con incluso una ligera menor demanda energética. En concreto, para las poblaciones analizadas, salvo para Málaga y Zaragoza, se puede construir un 66,7% más de viviendas en bloque en la misma superficie de terreno con similar demanda. En el caso de Málaga y Zaragoza se puede construir un 25% más de viviendas en un terreno un 27,8% inferior respecto al de los 96 unifamiliares.

Con estas relaciones en un terreno de 1 Ha se podrían construir 308 viviendas en bloque lineal (baja + 5 plantas viviendas) o 185 viviendas unifamiliares que consumirían aproximadamente la misma energía. La compacidad que ofrece la tipología en bloque la hace más interesante como modo de construcción al ocupar menos terreno y obtener menores demandas que el desarrollo en viviendas unifamiliares. Además, con la distribución en forma de bloques se pueden utilizar los espacios libres entre edificios para los elementos dotacionales, tales como zonas de aparcamiento o reservas de espacios verdes, consiguiendo de este modo la separación natural entre los edificios y la reducción de las sombras que se arrojan entre ellos.

Steemers K et al (1996) realizaron un estudio similar comparando diferentes formas de edificios, obteniendo como conclusión que la mejor configuración desde el punto de vista energético era la de bloque lineal (slabs), (apartado 1.2).

A la vista de los resultados anteriores se debería incentivar el crecimiento de las ciudades mediante el modelo de bloques lineales con los que se produciría un menor impacto ambiental al reducirse las emisiones de CO<sub>2</sub> y disminuir la demanda de combustibles.

Estas acciones de desarrollo urbanístico deberían ser abordadas por los organismos oficiales en sus modelos de desarrollo regionales como parte de sus políticas de suelo.

En el caso de Aragón la Diputación General de Aragón emprendió este tipo de actuaciones con Residencial Parque Goya (3.500 VPO) en 1996, así como algunas promociones de menor dimensión como Torre Albajar en Huesca (500 VPO).

A nivel municipal el Ayuntamiento de Zaragoza está promoviendo la construcción de Valdespartera (9.600 VPO) en Zaragoza. Las obras de urbanización se comenzaron en el año 2006 y se prevé el comienzo de la construcción de los edificios a principio del 2006.

Como otro ejemplo de actuación hay que destacar en Navarra la Ecociudad de Sarriguren (4.600 VPT), en la que comenzaron las obras de urbanización a finales del año 2002.

Conviene señalar, por otra parte, que los aspectos de diseño urbanístico no quedan afectados significativamente como muestran soluciones optimizadas en Valdespartera, ya referenciada, o el proyecto de urbanización sector Norte-La Seda en Prat de Llobregat. La versatilidad supera, con ventaja manifiesta, la estética de los bloques de unifamiliares que han proliferado en los últimos años.

Una vez estudiada la compacidad, ha quedado recogido a lo largo del capítulo la importancia de los diferentes parámetros que afectan a la demanda energética de los edificios desde el diseño de los mismos a los condicionantes urbanísticos a los que están sometidos, sirviendo las recomendaciones incluidas a lo largo del capítulo de reglas de sencilla de aplicación a casos prácticos.

Es recomendable comprobar la bondad del diseño con aplicaciones como URSOS, basada en la metodología de esta tesis, permitiendo una evaluación particular para aquilatar con mayor garantía el diseño.

Cabe recordar como por ejemplo para Málaga la configuración de la traza de las calles o el grado de aislamiento es diferente al de otras poblaciones de España por lo que la utilización de herramientas de cálculo informático permitirán optimizar el diseño de las nuevas ampliaciones o remodelaciones de las ciudades.

#### **4.4. Optimización de la demanda energética de urbanizaciones**

La demanda energética de los edificios que configuran un área urbana, como se ha visto a lo largo del apartado anterior, depende de las características de los propios edificios y de su distribución, por lo tanto la optimización se podría abordar a dos niveles, optimizando cada edificio o mejorando la configuración de la propia urbanización.

Si se parte de una configuración dada de edificios, la optimización se basará en disminuir la demanda de cada uno de los edificios conjugando los niveles de aislamiento y acristalamiento, siendo función del clima del lugar.

La mínima demanda de la urbanización se obtendría, así pues, optimizando la demanda de cada edificio a través de los multiplicadores de Lagrange de la función demanda de energía. La función se podría optimizar automáticamente al ser las funciones de restricción y la función objetivo (Cobo A., 1995) polinomiales con continuidad y derivabilidad.

La demanda obtenida de la urbanización al minimizar la demanda de cada edificio no tiene por que ser un mínimo absoluto para el área estudiada, dado que se podría disponer de una nueva reordenación de edificios que mejorase la orientación o utilizando otras tipologías constructivas.

Un ejemplo podría ser la distribución de edificios de la Ecociudad de Sarriguren frente a la desarrollada en Residencial Parque Goya. En Sarriguren se puede mejorar la demanda de los edificios aumentando el aislamiento, sin embargo al haberse realizado bloques no lineales (torres, bloques cuadrados con patios interiores,...) la optimización no conduciría a un mínimo absoluto. Este mínimo absoluto se alcanzaría si se modificasen las tipologías de Sarriguren por edificios rectangulares o lineales orientados al sur, tal como se diseñó Residencial Parque Goya.

Por lo tanto la optimización del área urbana se debería basar en primer lugar en un ordenamiento que primase los edificios con mayores fachadas orientadas al sur y con tipologías compactas. Queda claro que existen dos niveles diferentes de optimización, pudiendo automatizarse el proceso de mejora de cada edificio pero no siendo tan fácil poder mejorar de modo automático la redistribución de edificios, debiendo ser un proceso de mejora manual en la herramienta URSOS en un proceso de carácter holístico en el que el usuario desarrolla la secuencia de mejoras que, en función de restricciones específicas de cada caso, analiza como más operativa. Así, este usuario consigue, mediante la herramienta de cálculo, saber de manera cuantitativa, si está mejorando y cuanto su diseño urbanístico siempre que reduzca su demanda, sirviendo como referencia la demanda mínima de la urbanización (definido en apartado 4.2.3) para visualizar si se puede mejorar más todavía su diseño.

Se generan así dos escenarios con diferentes óptimos alcanzables: el caso de óptimo absoluto, es decir mínima demanda anual, que será alcanzable en aquellos casos sin restricciones salvo las

derivadas de la edificabilidad. Si estas restricciones existen (tipologías predefinidas, orientaciones forzadas por el contexto urbanístico...) tendremos una doble alternativa:

- Posibilidad de alcanzar una posición cercana al mínimo absoluto de la demanda anual (fig. 4.33) mediante optimizaciones sucesivas a partir de una configuración inicial  $P(x_1, y_1, z_1\dots)$  mediante trayectorias como la función azul en trazo continuo en las que sólo una de las variables,  $z$  en este caso, se modifica para buscar el mínimo correspondiente en  $z_0$ , seguida de un segundo mínimo obtenido variando ahora una segunda variable,  $x$ , hasta identificar el valor  $x_0$ , y así sucesivamente hasta el mínimo que se defina (eventualmente el propio mínimo absoluto si no hubiera restricciones).
- Posibilidad de alcanzar un óptimo secundario (o demanda mínima relativa) si las restricciones imponen la imposibilidad de evolución al mínimo absoluto en la función de demanda anual. Un caso así se alcanzaría, a partir de  $P(x_2, y_2, z_2\dots)$  por aproximaciones sucesivas señaladas por las trayectorias punteadas. Estas trayectorias serían las que permitirían las restricciones que harían inviable la trayectoria punteada verde hacia el mínimo absoluto.

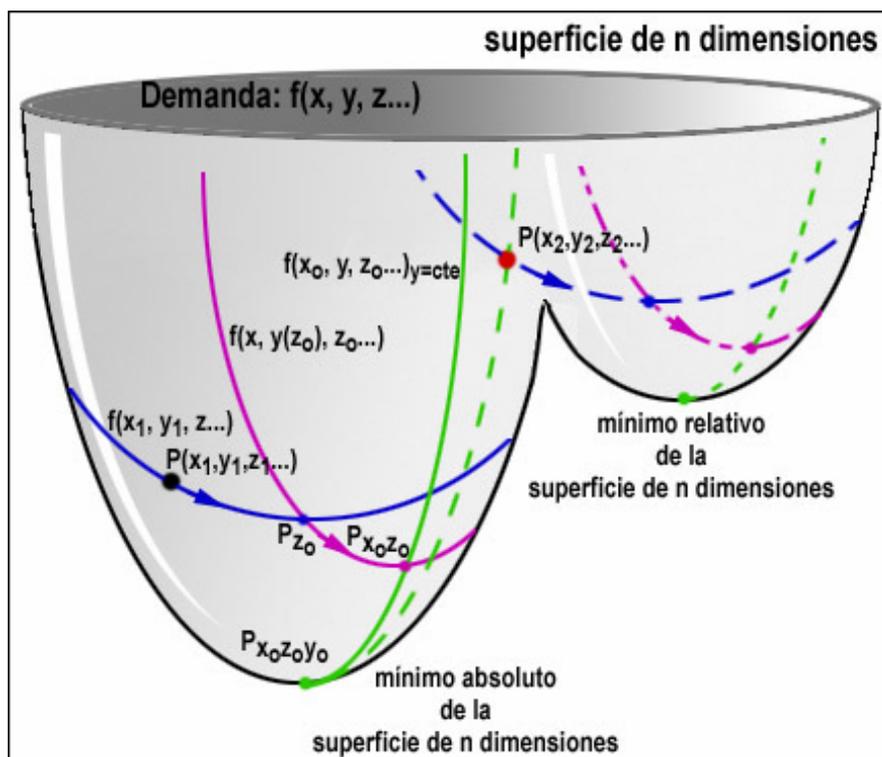


Figura 4.33. Si la función demanda tuviera una representación gráfica como la mostrada en la figura, se podría asimilar para una urbanización la aparición de un mínimo absoluto, obtenible sin restricciones de orientaciones o formas de edificios, frente a otros mínimo relativos, fruto de restricciones de orientaciones u otras, que permiten optimizar en las proximidades de éste mínimo relativo sin poder llegar a alcanzarse el mínimo absoluto al existir las restricciones.

## 4.5. Aplicación de la metodología de análisis urbanístico a Residencial Parque Goya

Una vez validado en el Capítulo 3 el método de cálculo de la demanda energética de edificios y realizada la extensión del análisis de sombreado entre edificios, se va a proceder a la aplicación de la metodología presentada al caso de Residencial Parque Goya para comprobar la bondad del diseño de la urbanización y de las medidas de ahorro energético incluidas en el Plan Parcial que desarrollaba este nuevo área urbana al norte de Zaragoza.

Antes de aplicar la metodología se muestran las características de la urbanización y diferentes resultados de la monitorización obtenidos en los edificios incluidos en el proyecto Thermie concedido por la Comisión Europea para esta nueva área urbana.

### 4.5.1. Propuesta urbanística en Residencial Parque Goya

La urbanización Residencial Parque Goya (3.500 VPO) de Zaragoza es un claro ejemplo de urbanismo energético, siendo la primera vez que se incluye condicionantes bioclimáticos en el propio Plan Parcial que desarrolla el área urbana.

El Plan incorpora tanto medidas a nivel urbanístico como de edificio. En la escala urbana se ha hecho un esfuerzo para orientar la mayor parte de edificios (90%) con su fachada principal al sur. Además, se ha considerado la anchura de las calles para limitar la altura máxima de los edificios para que se reduzcan al mínimo los sombreados entre los edificios, propiciándose la posibilidad del aprovechamiento solar.

Una vez dotada la urbanización de un buen diseño energético, el Plan incluye una serie de consideraciones bioclimáticas a los diseñadores de los edificios para orientarlos hacia edificios eficientes. El objetivo final del Plan era reducir la demanda energética de los edificios alrededor de un 60%.

No todas las consideraciones eran obligatorias, algunas se recogieron como recomendaciones. Lo habitual es que los arquitectos forzados por los promotores no hubieran incluido estas recomendaciones, sin embargo, incluir estas medidas suponía una valoración extra en la asignación de parcelas mediante concurso, teniendo un peso importante los condicionantes bioclimáticos incluidos en el edificio.

El jurado otorgaba 30 puntos a cada propuesta presentada al concurso en la que se incluía entre otros los apartados de solvencia y experiencia de la promotora, análisis económico de la propuesta, etc. A diferencia de otros concursos existían 5 puntos asignados a los aspectos bioclimáticos.

Estos cinco puntos estimulaban el incluir estas medidas no obligatorias. Tan sólo un par de edificios en la Fase I no presentó mejoras quedándose en los mínimos obligatorios. Cabe destacar que por ejemplo en el desarrollo de Fase II y III todos los edificios incluyeron captadores solares térmicos, no obligatorios en el Plan Parcial pero sí recomendables, además de soluciones de fachada que reproducían en gran medida las definidas con mejor puntuación en la primera fase.

En el anexo C se pueden consultar los parámetros urbanísticos de Residencial Parque Goya, así como un extracto del Plan Parcial que desarrollaba el área.

En los dos apartados siguientes se muestran las características principales y las consideraciones bioclimáticas que se incluían en el Plan Parcial de Residencial Parque Goya, recogiendo en el apartado 4.5.6 un análisis del método propuesto en la tesis de las Fases II y III que permite comparar lo buena que es la urbanización desde el punto de vista energético.

#### **4.5.2. Contexto bioclimático de Residencial Parque Goya**

La principal característica de este Plan Parcial, además de la distribución y limitación de altura de los edificios para permitir el aprovechamiento solar, es la inclusión en sus Ordenanzas Reguladoras de una serie de 'Limitaciones Bioclimáticas', éstas recogen obligaciones o en algún caso recomendaciones, sobre el diseño de los edificios y de los sistemas auxiliares térmicos.

El objetivo de estas limitaciones era conseguir un ahorro energético de un 60% en el conjunto de viviendas (3.500 VPO) gracias a la inclusión de conceptos ligados con la Arquitectura Bioclimática. Con estas medidas sencillas los arquitectos tenían una serie de reglas concisas que mejoraban: el aprovechamiento solar invernal, la protección en verano, la reducción de las pérdidas de los edificios, la eliminación de puentes térmicos, etc.

Los puntos que incluían las limitaciones Bioclimáticas hacen referencia a:

- Protecciones solares en el edificio, incluyendo aleros entre 1 y 1,5 m en los acristalamientos de la fachada sur, con estas dimensiones se garantizaba el sombreado en verano y una pequeña reducción de la captación solar en invierno. Para la orientación oeste la protección solar debía estar compuesta por elementos móviles que garantizaran un sombreado del 80%.
- Galerías acristaladas en las fachadas sur que ocupasen un 60% de la misma con el objeto de beneficiarse de la captación solar y permitir reducir las pérdidas por el efecto tampón.
- En las fachadas norte y oeste los huecos acristalados deberán ser los mínimos que permitan las normas de iluminación, siendo obligatorio el uso de doble ventana para reducir las elevadas infiltraciones producidas por el cierzo (viento característico de la zona).
- Carpintería exterior de madera salvo en las galerías acristaladas.
- Nivel de aislamiento, se exige que el coeficiente global de pérdidas del edificio (Kg) sea inferior en un 20% al exigido por la norma NBECT-79, de este modo los edificios tienen mayor aislamiento con lo que se reducen las pérdidas a través de los cerramientos. Se exige cumplir el aislamiento entre vivienda que marca el apartado 6.2 del Anexo 6 de la norma NBECT-79, que tiene sólo carácter de recomendación.
- La cubierta deberá ventilarse en verano mediante aperturas en el este y en el oeste.
- En el edificio se deberán aislar los puentes térmicos.
- Localización de zonas auxiliares y de servicios en la fachada norte. De este modo los espacios vivenciales disponen del aporte solar.
- Iluminación de alta eficiencia en espacios comunes para reducir la demanda de energía.

- Calderas de gas de alta eficiencia e inclusión de válvulas termostáticas en los radiadores.
- Obligación de preinstalación para colectores solares térmicos (sólo unifamiliares).

Estas exigencias tanto para bloques como unifamiliares fueron redactadas por el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza. El trabajo partió de la simulación de los hipotéticos edificios (formas, alturas, superficies acristaladas, etc) en programas de cálculo medio mensual, obteniendo la demanda de calefacción de los edificios para diferentes opciones de diseño.

La Diputación General de Aragón (DGA) tenía interés en contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> fijándose como objetivo un ahorro energético de un 60%, el Grupo tenía que encontrar la combinación de elementos de diseño que contribuyeran a lograr este ahorro.

Las medidas que finalmente aparecieron como obligatorias en el Plan Parcial eran las que en simulación conducían como mínimo a un 60% de ahorro. En el Anexo C se ha incluido un extracto del Plan en el que se muestra la concreción de las medidas bioclimáticas y el modo como se incluyeron éstas en el Plan.

#### 4.5.3. Consumos energéticos en Residencial Parque Goya

El método de cálculo propuesto en la tesis, validado en el Capítulo 3, se basa en el Método 5000 (Claux P. et al, 1982) y en el Método de los Grados Día Corregido de Refrigeración (Santamouris M., 1997), a los que se les han realizado reajustes en cuanto a la inercia térmica para el primero y en la captación solar a través de cerramientos opacos para el segundo. Una vez validado el método, en este apartado se va a comprobar la exactitud de las simulaciones con los resultados de consumo reales de los edificios, empleando los datos monitorizados de Residencial Parque Goya en el proyecto de investigación Thermie.

El cálculo teórico de consumo bajo unas hipótesis es comparable siempre que se cumplan éstas. Según indica la norma UNE-EN 832 (2000) hay que tener en cuenta que el consumo real de los edificios una vez ocupados por los vecinos puede variar entre un 50% y un 150% en función del modo de uso final que hagan de él. A continuación se mostrará que incluso llega a ser superior debido principalmente a que en un edificio pueden existir viviendas desocupadas.

Un ejemplo reciente en el que también se ha constatado una fuerte variación del consumo de algunas viviendas por mal uso es el de Filippín C. et al (2005).

Estas fuertes variaciones además pueden deberse a excesos de ventilación, anular la captación solar dejando bajadas las persianas, temperaturas de termostato altas (cada grado puede suponer un incremento de un 10%), etc.

Por lo tanto un error medio de cálculo inferior a un 15%, obtenido en la validación del método del Capítulo 3, es más que suficiente para realizar el análisis teórico de edificios, valor incluso ligeramente inferior al indicado por la citada normativa y coincidente a su vez con el planteado por Santamouris M. (1997).

En el proyecto Thermie – Residencial Parque Goya (nº BU 178/95) se simularon los diferentes edificios del proyecto mediante la aplicación informática TSBI3 teniendo en cuenta unas hipótesis de uso correctas de los inquilinos.

Los tres edificios seleccionados para ser incluidos en la monitorización el proyecto pertenecían a tipologías constructivas muy diferentes, siendo interesante su comparación de consumos. Los edificios estaban localizados en las parcelas P4, P11 y PU9.

De los tres edificios el mejor desde el punto de vista energético era el situado en la parcela P4, compuesto por un bloque de viviendas en forma de patio alargado con fachadas principales orientadas al sur-norte.

El otro bloque de viviendas seleccionado (P11) era más compacto presentando dos patios pequeños que no permitían la captación solar de las viviendas orientadas al norte, por lo que iba a arrojar un consumo mayor que el de patio alargado en el que las viviendas del norte poseían captación solar gracias a la gran dimensión del patio ( $D/H=1,6$ ).

Y por último, la parcela PU9 estaba conformada por viviendas unifamiliares que contaban con un factor de forma desfavorable, por lo que su consumo iba a ser el mayor de todos, aunque su buen diseño bioclimático y su favorable orientación ha permitido reducir la demanda de calefacción respecto al que se obtiene en esta tipología de viviendas en otras áreas de la ciudad.

Las simulaciones para la optimización realizadas (22 parcelas) permitieron la selección de las opciones que podrían considerarse más apropiadas para el edificio posterior. De ellos, el proyecto de la parcela P4, fue el que menos cambios se definieron en el estudio de optimización. Para este edificio situado en la parcela P4 (178 viviendas), se estimó un consumo previo de simulación con TSBI3 de  $21 \text{ kWh/m}^2$  año. Los resultados de la monitorización han confirmado que el consumo real normalizado, por diferencias climáticas o por uso anómalo de las viviendas es de  $20 \text{ kWh/m}^2$  año, existiendo un error entre el cálculo detallado y el real de un 5%, con lo que se demuestra el buen grado de precisión de estas aplicaciones cuando el uso de las viviendas es similar al que se definió en el programa de cálculo.

Sin embargo hay que señalar que la validez de esta precisión es sólo estadística pues como ya se ha señalado y se ha comprobado, el consumo particular de cada vivienda puede ser muy diferente como recogen las siguientes tablas extraídas, tratadas a partir de los resultados obtenidos del proyecto Thermie ya mencionado, en las que se incluye el consumo de calefacción por unidad de superficie de las viviendas monitorizadas.

En primer lugar se muestran unas imágenes de los tres edificios monitorizados en la urbanización bioclimática Residencial Parque Goya de Zaragoza por el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza, (coordinadores del proyecto). Hay que insistir que la urbanización se diseñó con parámetros bioclimáticos. Tanto la separación de edificios, orientaciones como las características de los edificios (aislamiento, elementos de captación, superficies acristaladas, etc) obligatorias en el Plan Parcial fueron redactadas en parte por el Grupo para la Diputación General de Aragón.

Una descripción más exhaustiva de las características de los edificios y de sus instalaciones se ha realizado en la publicación Turégano J.A. et al (2002a), pudiéndose complementar la información en el artículo 'Urbanismo y Arquitectura Bioclimática en Residencial Parque Goya' publicado en el Monográfico de Arquitectura Bioclimática de la revista de gran tirada 'El Instalador', referencia imprescindible en el sector de las instalaciones térmicas del sector residencial.



Figura 4.34. Fachadas sur de edificios bioclimáticos incluidos en el proyecto Thermie Residencial Parque Goya de Zaragoza. En total la actuación abarcaba 254 viviendas.

En las figuras y tablas siguientes se muestra un esquema de los edificios en planta y de los consumos de calefacción de cada vivienda y el porcentaje de consumo que se desvía cada vivienda respecto al consumo medio normalizado del edificio. En los planos se puede identificar las diferentes escaleras y la asignación de letras en cada edificio.

El consumo de las viviendas se ha obtenido de los calorímetros digitales de calefacción individuales, ampliando los datos obtenidos a todas las viviendas no sólo las monitorizadas, recogiendo las tablas en **negrita** los valores de consumo para las viviendas monitorizadas y con cuadrícula sombreada las viviendas sin habitar, salvo algún uso ocasional.

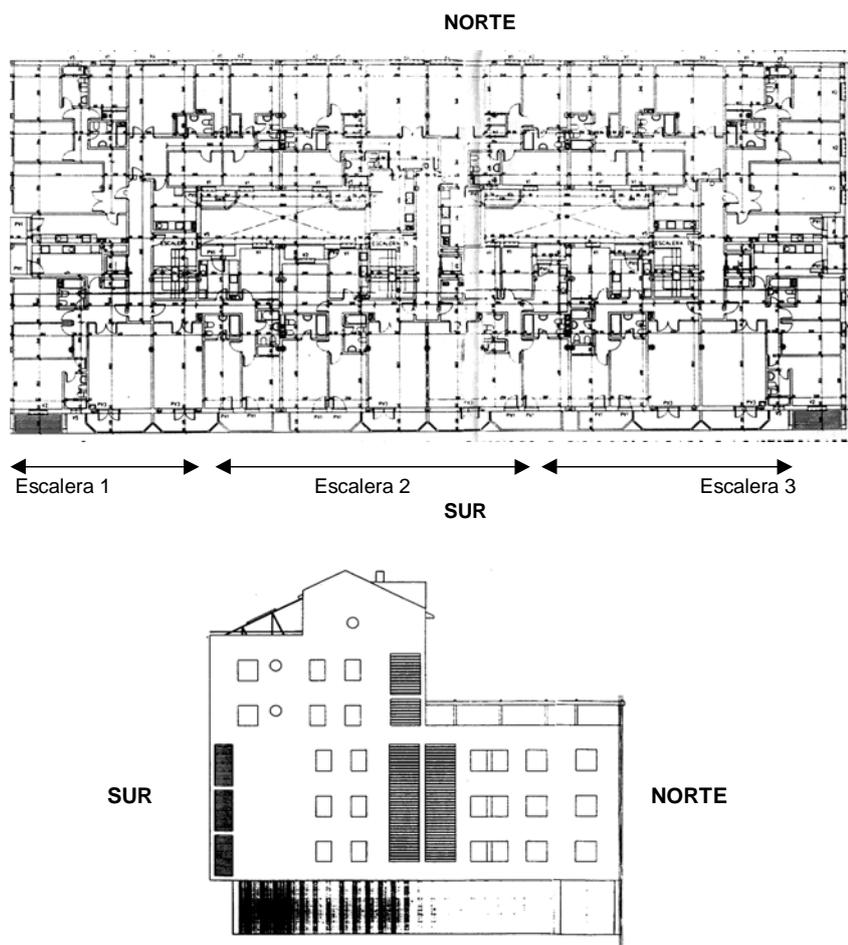


Figura 4.35. Planos en planta y alzado este del bloque P11 de 50 viviendas en Residencial Parque Goya. (Fuente: María Pilar Sancho y Javier Navarro).

Parcela P11 (kWh/m <sup>2</sup> año)	Escalera 1 <sup>a</sup>		Escalera 2 <sup>a</sup>		Escalera 3 <sup>a</sup>	
	D	C	D	C	D	C
3 <sup>a</sup>	11	77	6	56	64	69
2 <sup>a</sup>	36	54	72	37	3	28
1 <sup>a</sup>	6	48	1	4	69	71
	A	B	A	B	A	B
5 <sup>a</sup>	20	59	47	5	28	12
4 <sup>a</sup>	0	1	30	30	9	44
3 <sup>a</sup>	30	46	48	0	23	0
2 <sup>a</sup>	2	24	1	45	42	63
1 <sup>a</sup>	0	26	89	0	4	44

Tabla 4.24. Consumo anual (Noviembre 2000 a Abril 2001) de calefacción (kWh/m<sup>2</sup> año) en el bloque de la parcela P-11 (50 viviendas).

**Consumo unitario**

**P-11 (50 viviendas)**      35 kWh/m<sup>2</sup> año      (54,7 kWh/m<sup>2</sup> - Norte      35,1 kWh/m<sup>2</sup> - Sur)

(Viviendas monitorizadas escalera 3<sup>a</sup>  
1A, 1B, 1C, 1D, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C,  
3D, 5A, 5B)

	Escalera 1 <sup>a</sup>		Escalera 2 <sup>a</sup>		Escalera 3 <sup>a</sup>	
	D	C	D	C	D	C
3 <sup>o</sup>	32%	219%	17%	160%	182%	196%
2 <sup>o</sup>	103%	154%	205%	107%	10%	80%
1 <sup>o</sup>	18%	138%	2%	11%	197%	204%

	A		B		A		B	
	A	B	A	B	A	B	A	B
5 <sup>o</sup>	57%	168%	135%	15%	80%	35%		
4 <sup>o</sup>	0%	4%	87%	86%	26%	126%		
3 <sup>o</sup>	85%	132%	138%	1%	65%	0%		
2 <sup>o</sup>	4%	67%	2%	128%	120%	179%		
1 <sup>o</sup>	0%	73%	253%	0%	10%	126%		

**Fachada NORTE**

Análisis entreplantas zonas sur y norte

**Fachada SUR**

Tabla 4.25 Porcentaje de consumo de calefacción respecto a una vivienda con correcto uso de las viviendas del bloque P11 de 50 viviendas monitorizado en Residencial Parque Goya. Las celdas oscurecidas representan viviendas deshabitadas o con poco uso que provocan el sobreconsumo de las de su alrededor. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

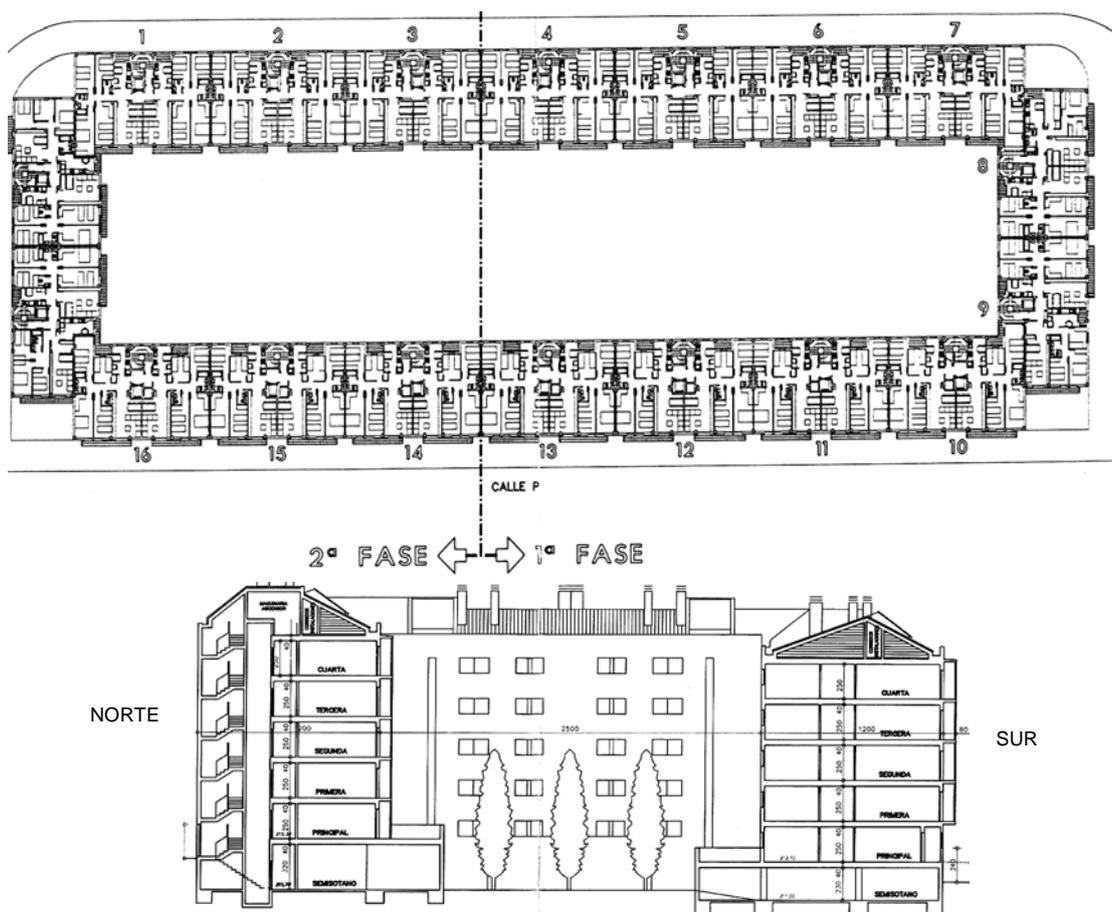


Figura 4.35. Plano en planta y alzado oeste del bloque P4 de 178 viviendas en Residencial Parque Goya. (Fuente: Teófilo Martín y Luis Sánchez).

Parcela P4 (kWh/m <sup>2</sup> año)	Escalera 12 <sup>a</sup>		Escalera 11 <sup>a</sup>		Escalera 10 <sup>a</sup>	
	D	I	D	I	D	I
4 <sup>a</sup>	11	1	15	33	2	9
3 <sup>a</sup>	15	3	0	23	9	23
2 <sup>a</sup>	21	1	6	11	11	2
1 <sup>a</sup>	7	11	1	28	4	42
P B <sup>a</sup>	0	35	1	17	8	4
	Escalera 9 <sup>a</sup>		Escalera 8 <sup>a</sup>		Escalera 7 <sup>a</sup>	
	D	I	D	I	I	D
4 <sup>a</sup>	29	27	3	1	5	12
3 <sup>a</sup>	14	8	2	1	41	13
2 <sup>a</sup>	4	7	18	22	14	8
1 <sup>a</sup>	39	22	21	12	10	53
P B <sup>a</sup>		36	26	10	21	31

Tabla 4.26. Consumo anual (Noviembre 2000 a Abril 2001) de calefacción (kWh/m<sup>2</sup> año) en las viviendas de la Fase I en el bloque de la parcela P-4 (98 viviendas).

Consumo unitario  
**P-4 (98 viviendas)** 20 kWh/m<sup>2</sup>

**(Viviendas monitorizadas)**  
Escalera 7: PBI, 2I, 4I  
Escalera 8: PBD, 2D, 4D  
Escalera 11: PBD, 3D, 4D

Fachada NORTE

PB	153% 107%	
	1 <sup>a</sup>	266% 52%
2 <sup>a</sup>	38% 68%	
3 <sup>a</sup>	64% 203%	
4 <sup>a</sup>	58% 25%	

	D		I		5%	3%	0%	62%	52%
	7/8	D	10/9	I					
	16%	9%	89%	103%	130%				
	136%	39%	34%	111%	181%				
	144%	69%	19%	194%					

	12		11		10/9	10/9
	D	I	D	I		
4 <sup>a</sup>	56%	6%	76%	165%	8%	44%
3 <sup>a</sup>	76%	13%	2%	115%	46%	115%
2 <sup>a</sup>	107%	3%	28%	57%	56%	8%
1 <sup>a</sup>	33%	55%	6%	140%	20%	211%
PB	1%	175%	6%	86%	41%	22%

Tabla 4.27. Porcentaje de consumo de calefacción respecto a una vivienda con correcto uso en las viviendas del bloque P4 de 178 viviendas monitorizado en Residencial Parque Goya. Las celdas oscurecidas representan viviendas deshabitadas o con poco uso que provocan el sobreconsumo de las de su alrededor. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

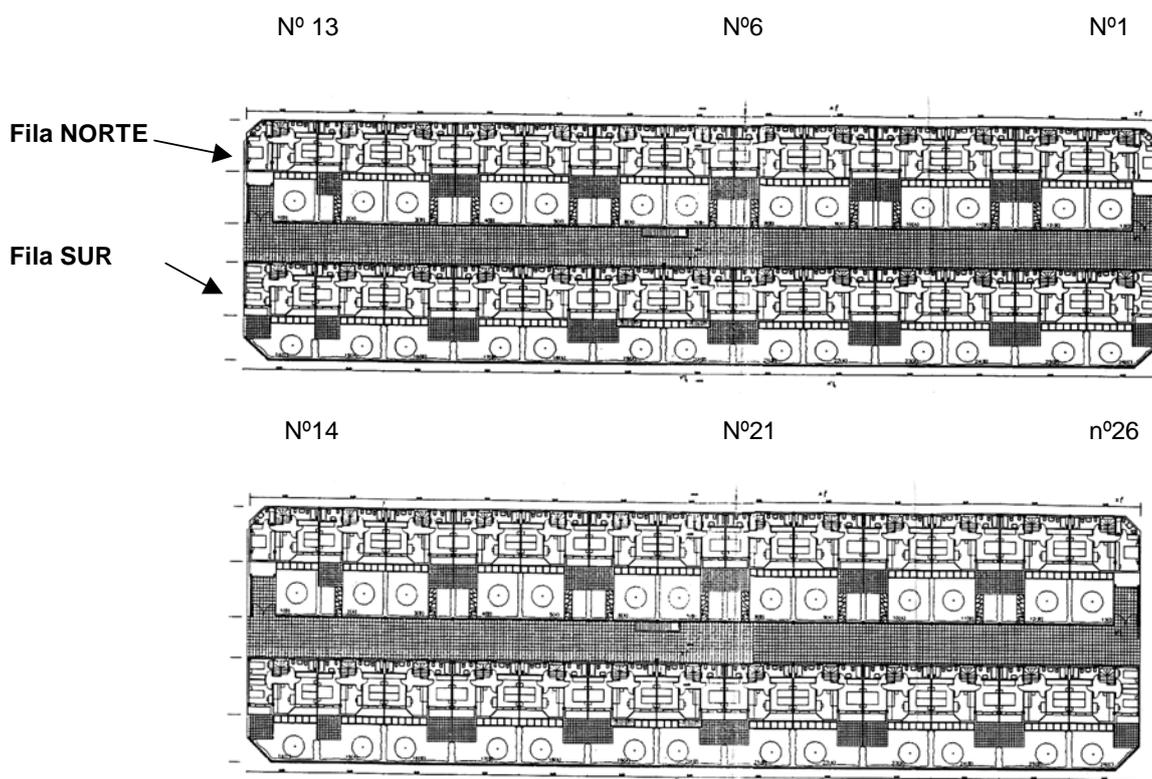


Figura 4.35. Planos en planta de la parcela PU-9 compuesta por 26 unifamiliares en Residencial Parque Goya. (Fuente: Ramón Velasco y José Miguel Sancho).

Parcela PU-9 Nº unifamiliar	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(kWh/m <sup>2</sup> año)	0	64	58	51	26	21	40	23	57	61	57	2	63
Nº unifamiliar	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
(kWh/m <sup>2</sup> año)	54	0	46	37	30	43	26	30	3	20	31	48	28

Tabla 4.28. Consumo anual (Noviembre 2000 a Abril 2001) de calefacción (kWh/m<sup>2</sup> año) en las viviendas unifamiliares de la parcela PU-9 (26 viviendas).

		Consumo unitario												
<b>PU-9 (26 unifamiliares)</b>		45 kWh/m <sup>2</sup>												
		<b>Viviendas monitorizadas</b>												
		<b>Nº: 1, 8, 13, 14, 21, 26</b>												
		<b>Fila NORTE</b>												
1 a 13		0%	142%	130%	113%	58%	46%	89%	52%	126%	137%	126%	5%	139%
		<b>Fila SUR</b>												
14 a 26		119%	0%	103%	83%	67%	96%	58%	67%	7%	46%	69%	107%	63%

Tabla 4.29 Porcentaje de consumo de calefacción respecto a un unifamiliar con correcto uso en los unifamiliares adosados de la parcela PU-9 monitorizados en Residencial Parque Goya. Las celdas oscuras representan unifamiliares deshabitadas o con poco uso que provocan el sobreconsumo de las de su alrededor. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

De las tablas 4.24 a 4.29 se extrae como conclusión que hay propietarios de viviendas que llegan a consumir un 200% de calefacción respecto a sus vecinos que hacen un buen uso de su vivienda, siendo el valor máximo encontrado de 266%.

Estos valores son superiores al valor indicado por la norma UNE-EN 832 (2000) que lo fija en variaciones de hasta un 150%. Una de las hipótesis se centra en la poca ocupación de los edificios durante el periodo de monitorización del proyecto Thermie que hace incrementar el consumo de las viviendas contiguas con otras no calefactadas, al que se suma el mal uso que algunos vecinos realizan de su vivienda desde el punto de vista energético.

En la tabla 4.30 se incluyen los consumos medios normalizados de los tres edificios del proyecto, analizando los valores se comprueba como las viviendas unifamiliares consumen un 140% más que las viviendas de la parcela P4 (bloque en forma de patio alargado), no siendo recomendable la utilización de viviendas unifamiliares en planteamientos urbanísticos desde el punto de vista energético.

El bloque más interesante es el conformado por viviendas pasantes, bien lineal o en forma de patio alargado como el planteado en la parcela P4, de la tabla se obtiene que el edificio de la parcela P11 compuesto por 4 viviendas por rellano consume un 75% más de calefacción que el lineal (P4). Sin embargo, el resultado urbanístico no tiene que ser la generalización de conformar el área con sólo tipologías lineales, existen otros condicionantes de diseño que implican utilizar otras tipologías no tan eficientes y favorecer una visión no tan lineal de la ciudad.

<b>Consumos calefacción medios (kWh/m<sup>2</sup> año)</b>	
P-4 (178 viviendas)	<b>20</b>
P-11 (50 viviendas)	<b>35</b>
PU-9 (26 unifamiliares)	<b>48</b>

Tabla 4.30. Resultados del consumo de calefacción unitario en los tres edificios monitorizados del proyecto Residencial Parque Goya. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

Los edificios de Residencial Parque Goya presentan reducidos consumos de energía, debiéndose a la buena orientación, reducido sombreado entre edificios y al diseño bioclimático que forzaba el Plan Parcial. Para comparar la bondad de los edificios se ha realizado una contrastación con los datos del consumo de calefacción de 542 viviendas en bloque de alta calidad de Zaragoza (Turégano J.A, et al, 2002a), que cuentan con instalaciones colectivas con contadores de consumo de calefacción individuales. Los datos de consumo han sido facilitados por la empresa Viterra Energy Services, colaboradora en el proyecto Thermie 178/95 de Barrio Goya.

El consumo de calefacción anual medio obtenido del tratamiento de los datos facilitados es de 41 kWh/m<sup>2</sup>, obteniéndose un 63% más de consumo que el obtenido con los dos edificios de tipología bloque de Barrio Goya (P-4 y P-11), siendo el consumo medio de éstos de 25 kWh/m<sup>2</sup>. Si se realiza la comparación sólo con el edificio de patio alargado correspondiente a la parcela P4, los edificios de Zaragoza consumen un 105% más de calefacción.

El ahorro obtenido de forma global en los edificios de Residencial Parque Goya está cercano al 60% que perseguía el Plan Parcial, y que fue evaluado con herramientas de simulación de edificios.

Esta elevada eficiencia muestra los resultados que se pueden esperar de conjugar el urbanismo y la aplicación de medidas de arquitectura bioclimática, siendo recomendable incluirlas en el Plan Parcial como obligatorias.

#### 4.5.4. Características del confort

La zona de confort térmica en la que el ser humano se encuentra en situación de confort es muy amplia, pudiendo abarcar por ejemplo valores situados entre los 18°C y los 28°C, siendo función la amplitud de la zona del grado de vestimenta que se porte, de la velocidad de aire que incide en la persona y de su actividad metabólica. La figura 4.36 muestra la zona de confort para un caso particular de estos parámetros.

No todas las personas pueden estar a gusto en unas condiciones particulares, habiéndose estudiado que siempre hay un 5% de la población que no estará en confort a pesar de las condiciones en las que se encuentre, según indica MOPT (1998).

Las condiciones ideales a mantener en el interior del edificio son de 20°C en invierno y de 25°C en verano, siendo los valores para los que se diseñan los sistemas auxiliares (RITE, 1998), contribuyendo a incrementar el consumo del edificio innecesariamente de superarse en invierno o de reducirse en verano. Estas condiciones de temperatura interior de confort son las fijadas en el método de cálculo propuesto en la tesis para la estimación del consumo energético de los edificios.

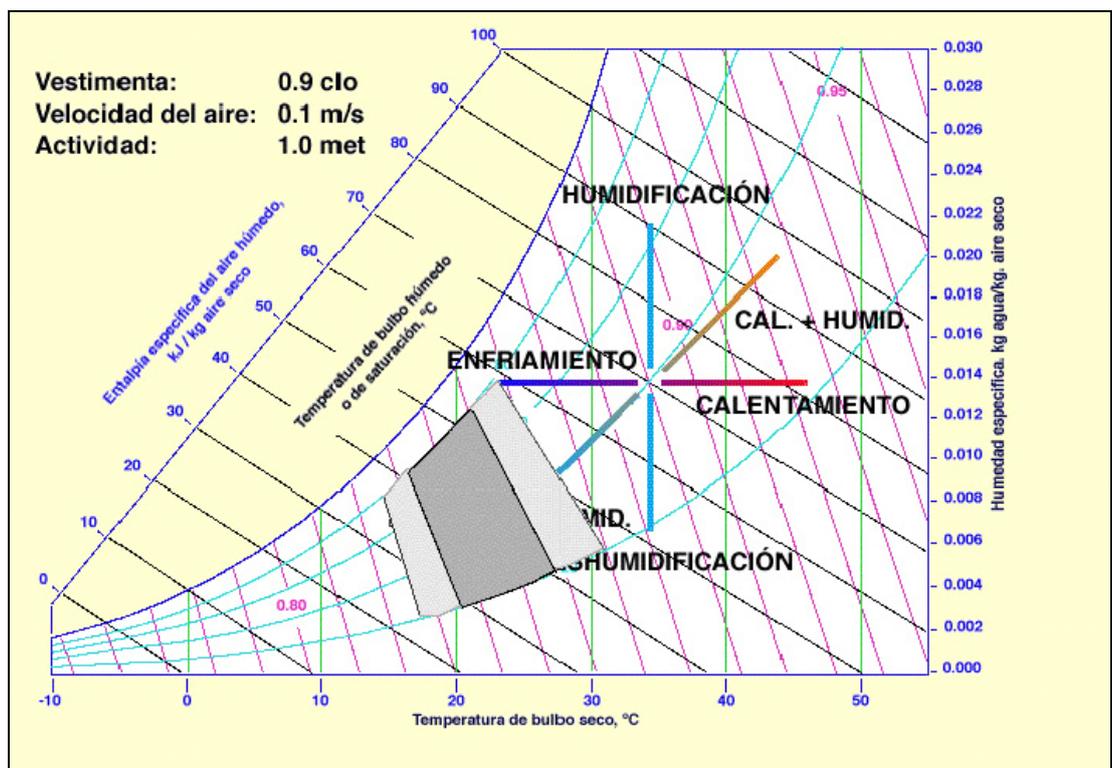


Figura 4.36. Diagrama psicrométrico en el que se representa la zona de confort térmica para el caso particular en el que se utiliza una vestimenta de 0,9 clo, una velocidad de aire de 1,1 m/s y una actividad física de 1,0 met. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

En ambientes exteriores la condición de confort depende hasta en un 50% de aspectos psicológicos (Nikolopoulou M. et al, 2003), siendo más cambiante la zona que se considera de confort dependiendo tan sólo en un 50% de los factores físicos.

El bajo consumo de calefacción de los edificios de Residencial Parque Goya se conjuga con una temperatura de confort cercana a los 20°C en las viviendas habitadas, superándose incluso esta temperatura gratuitamente en las horas centrales del día debido a la elevada captación solar que se produce en invierno.

Hay que destacar que de haber sido mayor la ocupación de los edificios las temperaturas obtenidas en invierno hubieran sido superiores. Por ejemplo, para el edificio P4 de las ocho viviendas monitorizadas cuatro estaban deshabitadas. En la figura 4.37 se muestra como en el registro de frecuencias de la temperatura hay una gran cantidad de horas que las viviendas habitadas están por encima de 20°C, mientras que la temperatura media de las no habitadas se sitúa cercana a los 18°C, valor significativo si se considera que las viviendas están sin calefacción.

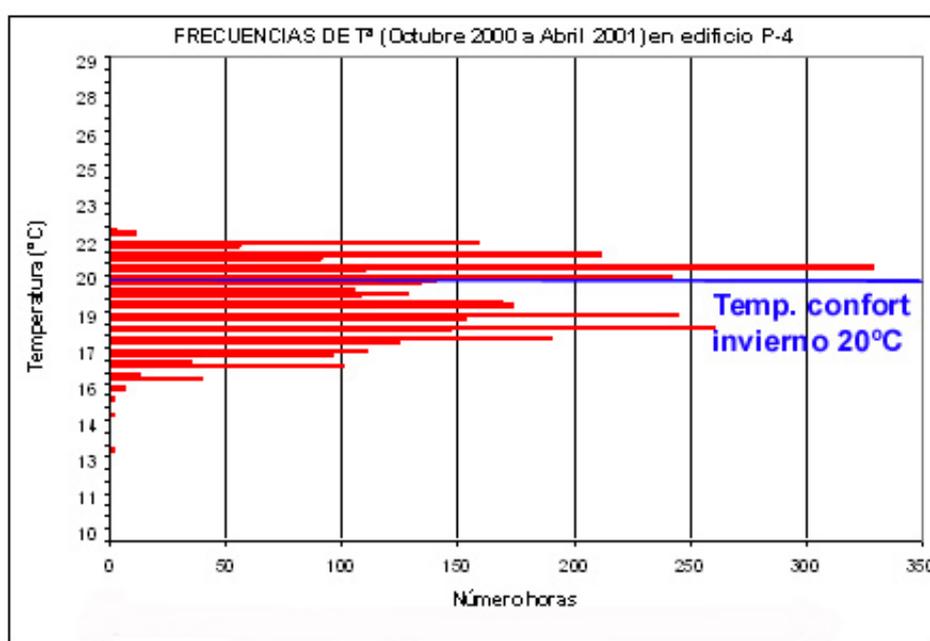


Figura 4.37. Frecuencia de temperaturas en invierno en viviendas monitorizadas del edificio P4 de Residencial Parque Goya. Para las viviendas habitadas la temperatura interior en invierno con reducido consumo de calefacción supera los 20°C. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

En el edificio P11 el número de viviendas deshabitadas frente a las que están ocupadas es inferior al que se daba en el edificio P4, obteniéndose temperatura interiores superiores a las que se habría obtenido con una baja ocupación. Hay que destacar que las temperaturas en este edificio en las viviendas de la fachada sur han sido superiores a las que se tienen en las que se encuentran en el norte. En la figura 4.38, se muestra este hecho quedando por encima de 20°C las temperaturas interiores, mientras en la fachada norte y viviendas desocupadas la temperatura media es de 18°C.

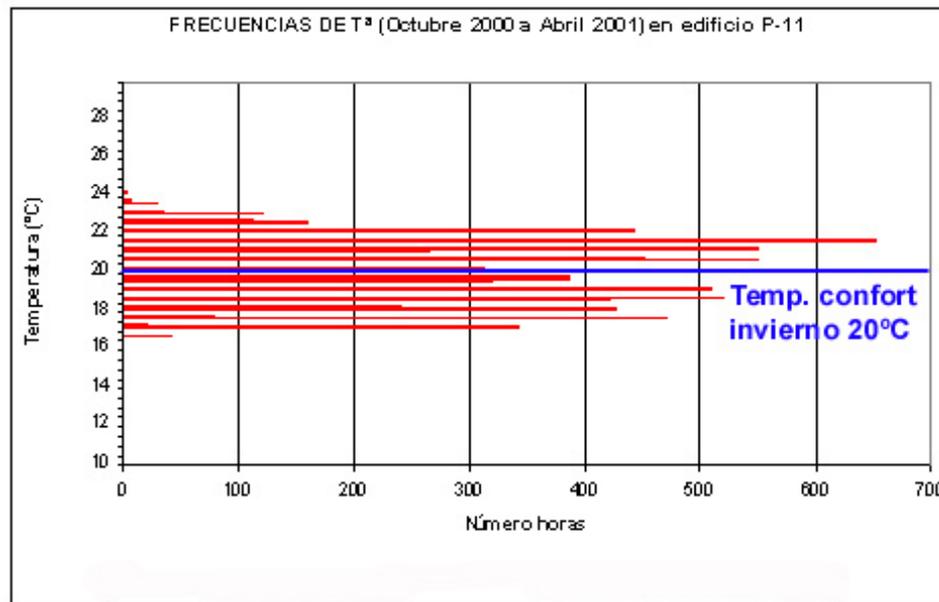


Figura 4.38. Frecuencia de temperaturas en invierno en viviendas monitorizadas del edificio P11 de Residencial Parque Goya. En las viviendas de la fachada sur se han registrado mayores temperaturas que en las situadas al norte. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

En las viviendas unifamiliares (PU9) la temperatura media es de 21°C, por encima de la temperatura de confort. Tan sólo hay una vivienda deshabitada de todas las monitorizadas que tiene temperaturas muy bajas ya que los propietarios tenían bajadas las persianas con lo que anulaban el aprovechamiento solar.

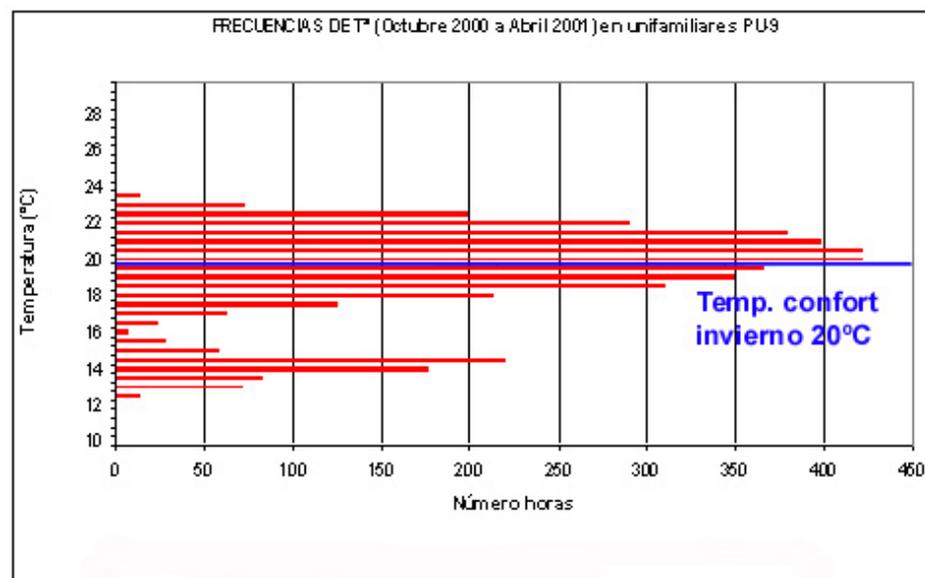


Figura 4.39. Frecuencia de temperaturas en invierno en viviendas monitorizadas del edificio PU9 de Residencial Parque Goya. La temperatura media de las viviendas es de 21°C, apareciendo una vivienda deshabitada con bajas valores de temperaturas y en la que las persianas están bajadas anulando los aportes solares. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

Los edificios de Residencial Parque Goya no cuentan con refrigeración pero como se muestra en las siguientes figuras de la evolución de temperaturas en verano la mayor parte del tiempo se está por debajo de 25°C, siendo muy breve el periodo de tiempo que se dan temperaturas superiores a los 27°C.

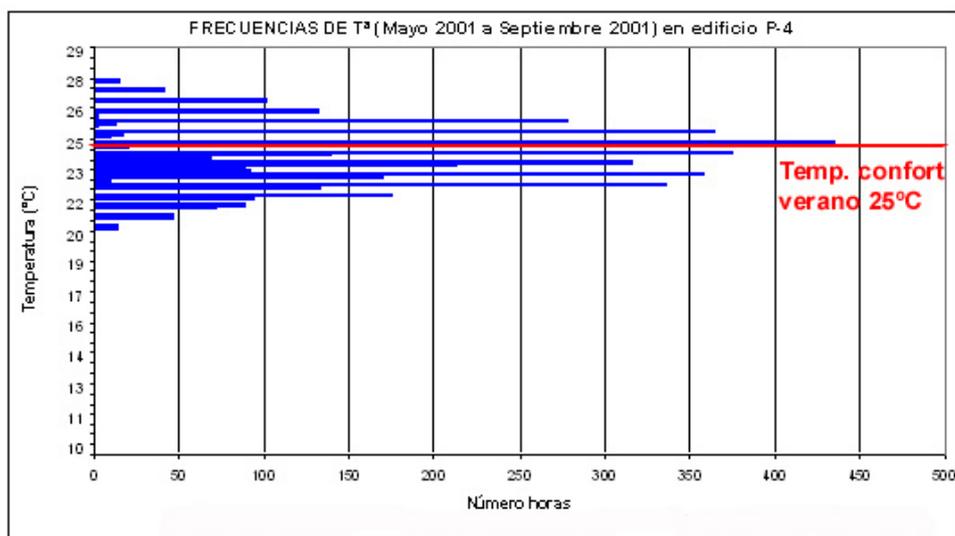


Figura 4.40. Frecuencia de temperaturas en verano en viviendas monitorizadas del edificio P4 de Residencial Parque Goya. Para las viviendas habitadas la temperatura interior media es de 25°C, alcanzándose un valor máximo de 28°C durante muy pocas horas en algunas viviendas. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

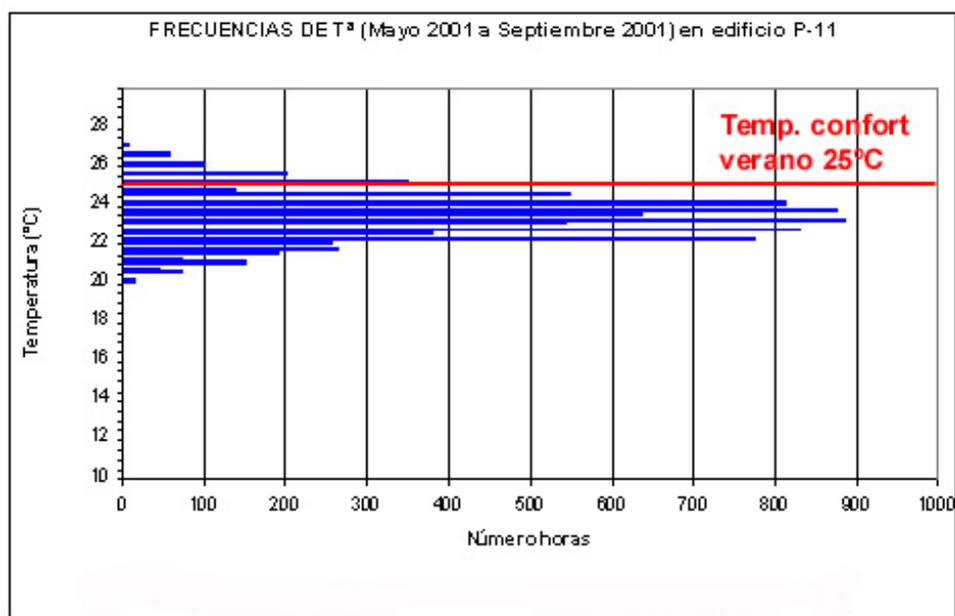


Figura 4.41. Frecuencia de temperaturas en verano en viviendas monitorizadas del edificio P11 de Residencial Parque Goya. Para las viviendas habitadas la temperatura interior media es inferior a 25°C, alcanzándose un valor máximo de 27°C durante muy pocas horas en algunas viviendas. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

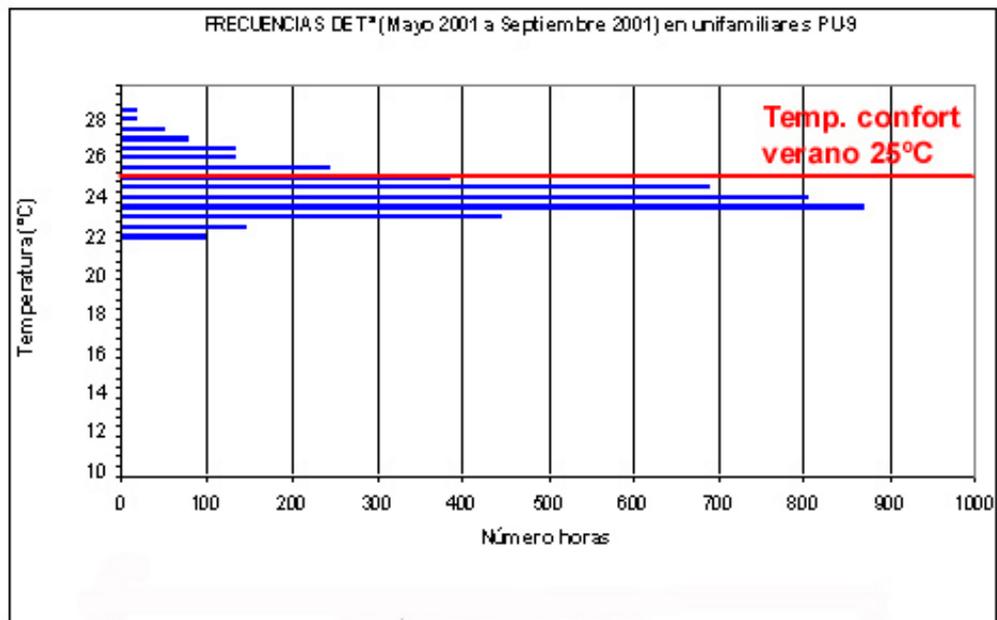


Figura 4.42. Frecuencia de temperaturas en verano en viviendas monitorizadas del edificio PU9 de Residencial Parque Goya. Para las viviendas habitadas la temperatura interior media es de 25°C, alcanzándose un valor máximo de 28,5°C durante muy pocas horas en algunas viviendas. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

De los datos mostrados de confort térmico se puede decir que las viviendas, tanto en verano como en invierno, se encuentran la mayor parte del tiempo en zonas de confort con reducidos consumos de calefacción, siendo suficiente la colocación de aleros y la doble orientación de las viviendas como indicaba el Plan Parcial para no necesitarse refrigeración auxiliar, dado que el número de horas que se superan los 27°C en las viviendas es reducido, bastando con un simple ventilador para superar esta temperatura.

#### 4.5.5. Anomalías

Las principales anomalías encontradas se deben al uso inadecuado de las viviendas, ya que la monitorización ha validado los análisis previos de consumo que se hicieron de la urbanización. Se han encontrado en algún caso desviaciones elevadas inesperadas de consumo o temperaturas al habitarse las viviendas tal como refleja la UNE-EN-832 (2000), que cifra las desviaciones de consumo de hasta un 150% del consumo previsto, valor superado en alguna de las viviendas analizadas de Residencial Parque Goya.

Las principales anomalías de uso que se han encontrado se refieren a:

- Exceso de ventilación de las viviendas.
- Termostatos interiores fijados por encima de 20°C.
- Anulación de la captación solar al no levantar las persianas durante el día o colocar cortinas en el invernadero.
- Uso inadecuado de las galerías acristaladas en verano.

- Viviendas no habitadas que hacen elevar el consumo de calefacción a las contiguas.

A continuación se van a mostrar diferentes casos de mal uso de algunas viviendas visualizando la evolución de temperaturas monitorizadas.

Un ejemplo de exceso de ventilación en invierno se ha observado en la vivienda 3ºD del edificio de 50 viviendas denominado P-11. En las figuras 4.43 y 4.44 se muestran unas fotografías de éste indicándose la posición de las viviendas en el edificio.

Los datos mostrados corresponden a la semana del 6 al 12 de noviembre de 2000 que fue fría y con días despejados con temperaturas entre 3 y 11°C. En la figura 4.45 se puede verificar un exceso de ventilación que llega a alcanzar 3 horas en la vivienda 3ºD. Cada subdivisión vertical corresponde a 6 horas. Con este comportamiento, para garantizar una temperatura media de 20°C se consume más calefacción de lo que nos indicaría una simulación en la que se hubiera fijado una renovación de aire normal, por ejemplo, 0.5 renovaciones/hora.

Es habitual que los usuarios también seleccionen una temperatura termostática por encima de la de diseño, 20°C. En la figura 4.46 se muestra esta situación que se produce en la vivienda 3ºC, en la cual se ha fijado una temperatura de consigna de 24°C los dos primeros días de la semana y luego se cambio a 22°C. Igualmente si en el modelo se hubiera fijado una temperatura de consigna de 20°C, el consumo obtenido hubiera sido inferior al que realmente está teniendo la vivienda.



Figura 4.43. Vista de la fachada sur del edificio de 50 viviendas en Residencial Parque Goya Proyecto Thermie (Zaragoza). Se indican las viviendas que han sido monitorizadas en esta fachada. (Fuente: GEE).



Figura 4.44. Vista de las fachadas norte y oeste del edificio de 50 viviendas en Residencial Parque Goya Proyecto Thermie (Zaragoza). Se indican las viviendas monitorizadas de la fachada norte. (Fuente: GEE).

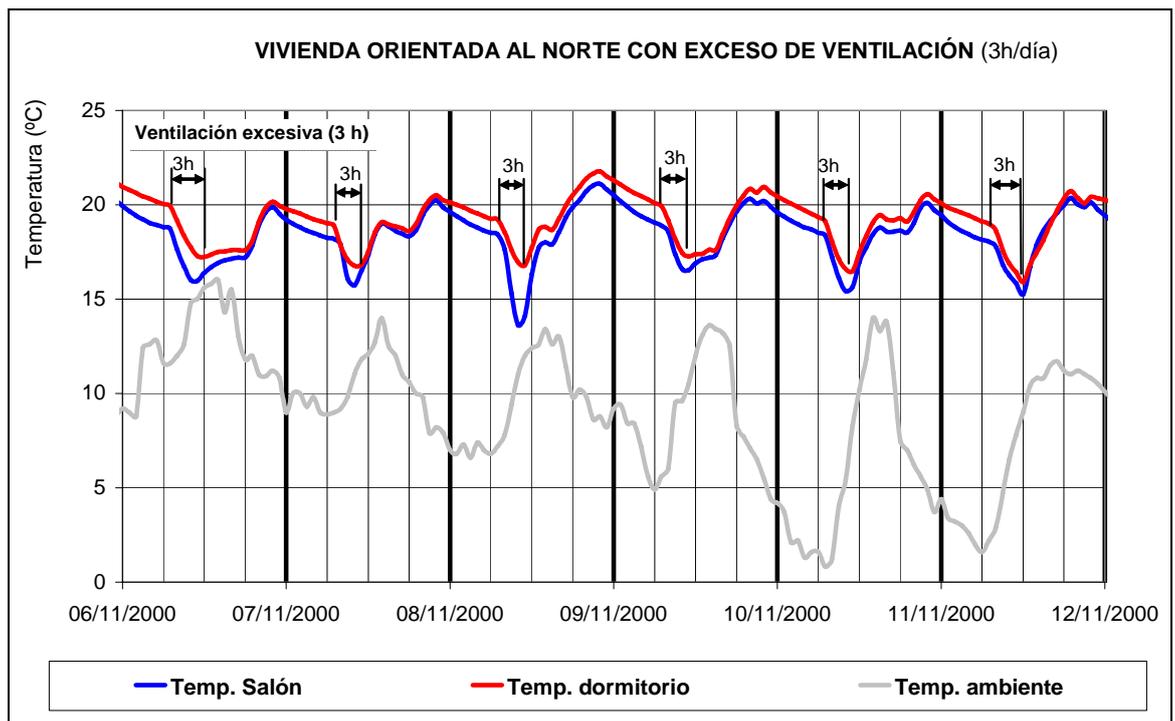


Figura 4.45. Exceso ventilación en vivienda 3ºD del edificio P-11 en Residencial Parque Goya. En el gráfico se muestra la temperatura exterior ( $T_{EXT}$ ) y las temperaturas interiores del salón ( $T_{SALON(N)}$ ) y de una habitación ( $T_{HABITACION (PATIO)}$ ) de esta vivienda, el usuario pone en marcha la calefacción todos los días entre las 19:00 y las 22:00 horas. (Fuente: GEE)

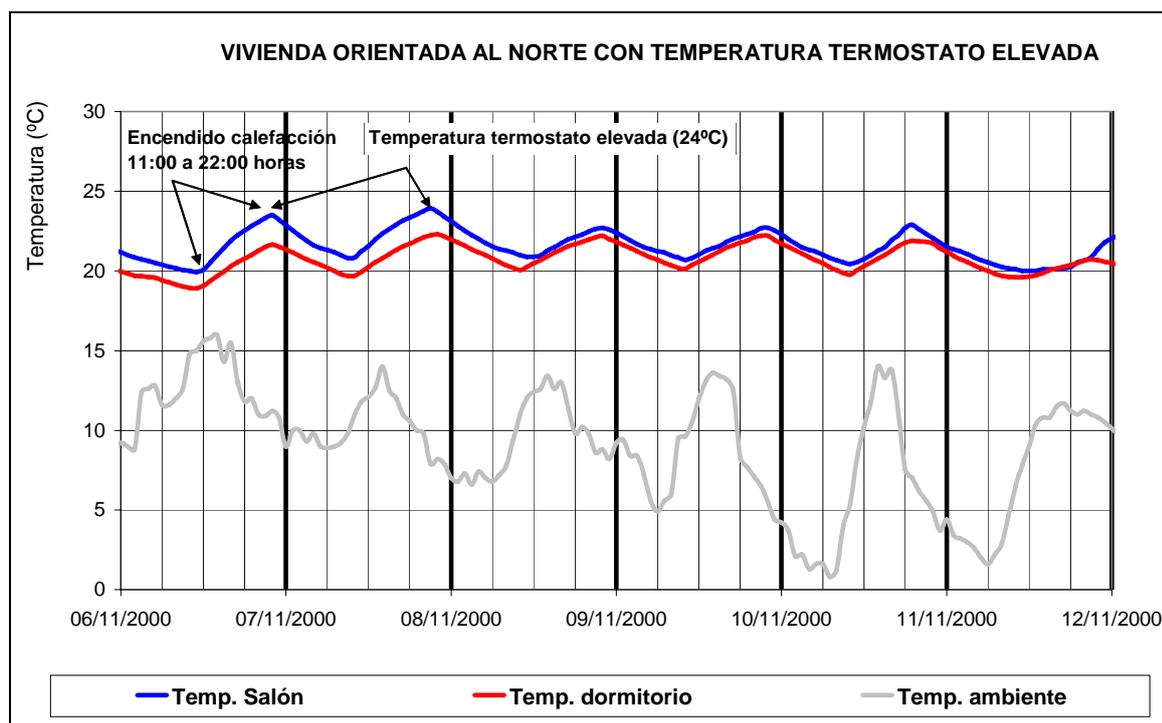


Figura 4.46. Selección temperatura termostática elevado en vivienda 3°C del edificio P-11 en Residencial Parque Goya. En el gráfico se muestra la temperatura exterior ( $T_{EXT}$ ) y las temperaturas interiores del salón ( $T_{SALON(N)}$ ) y de una habitación ( $T_{HABITACION (PATIO)}$ ) de esta vivienda. (Fuente: GEE)

En este mismo edificio existe una vivienda (5°F) en la que los usuarios han colocado una cortina en la galería acristalada que impide el paso de la radiación solar de forma directa hacia el interior de la vivienda, anulando por lo tanto el posible aprovechamiento. Se puede comprobar que la galería alcanza temperaturas superiores a las que se alcanzarían de hacer un buen uso de este elemento. Para verificar este efecto se ha comparado la respuesta de esta vivienda con la del 3°A la cual debería tener la misma temperatura tanto en los invernaderos como en los salones (contiguos al invernadero).

Las figuras 4.47 a 4.49 muestran las viviendas que se comparan y la evolución de temperaturas obtenidas, se puede observar como la temperatura en el salón de la vivienda 5°F no se eleva durante las horas cercanas al mediodía, al estar impedida la captación directa, tal como ocurre en la vivienda 3°A en la que se llegan a tener picos de temperatura de 25°C tan sólo con el aporte solar. Además la temperatura de la galería del 5°F llega a alcanzarse hasta 7°C más de temperatura que la del 3°A, no suponiendo ningún beneficio para la vivienda 5°F.



Figura 4.47. Viviendas comparadas, en la última planta hay un sombreado interior en el invernadero. (Fuente: GEE)

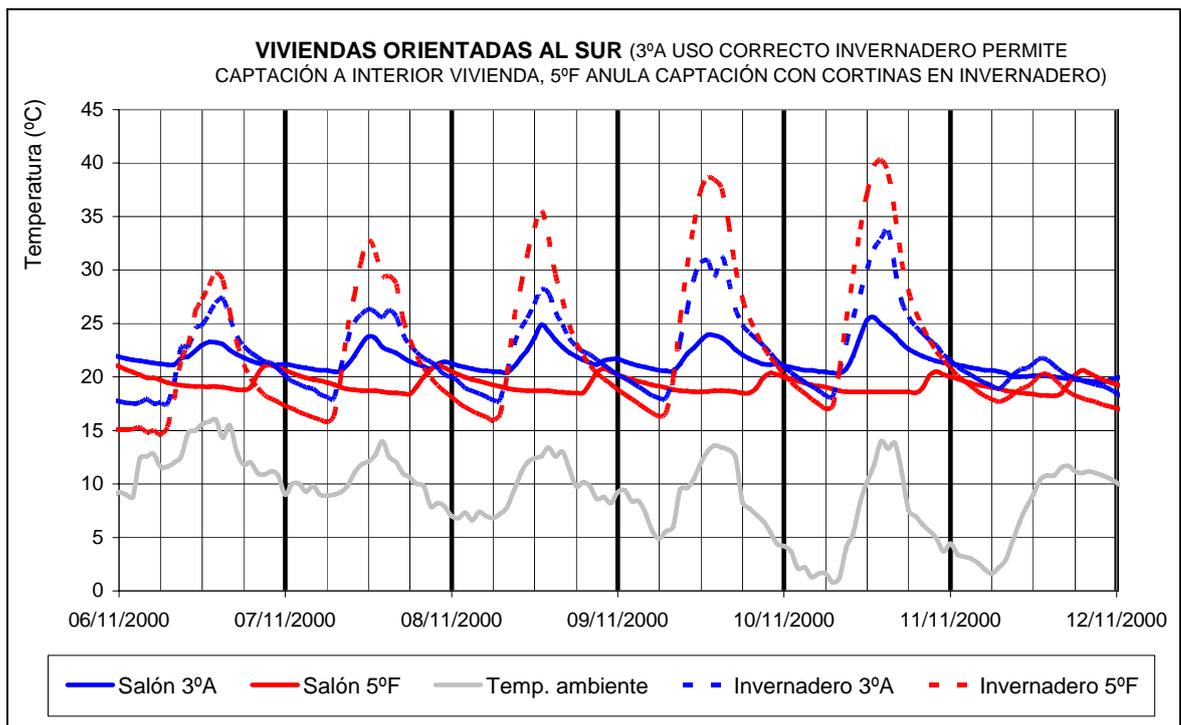


Figura 4.48. Comparación de temperaturas en una semana fría de noviembre para las viviendas 5ºF y 3ªA del bloque P-11 (50 viviendas). En la vivienda 5ºF existe una cortina en la galería acristalada (invernadero) que anula el paso de la captación directa al interior de la vivienda perjudicando su funcionamiento como puede observarse por las temperaturas interiores alcanzadas al mediodía en éste frente a las del 3ªA. (Fuente: GEE)

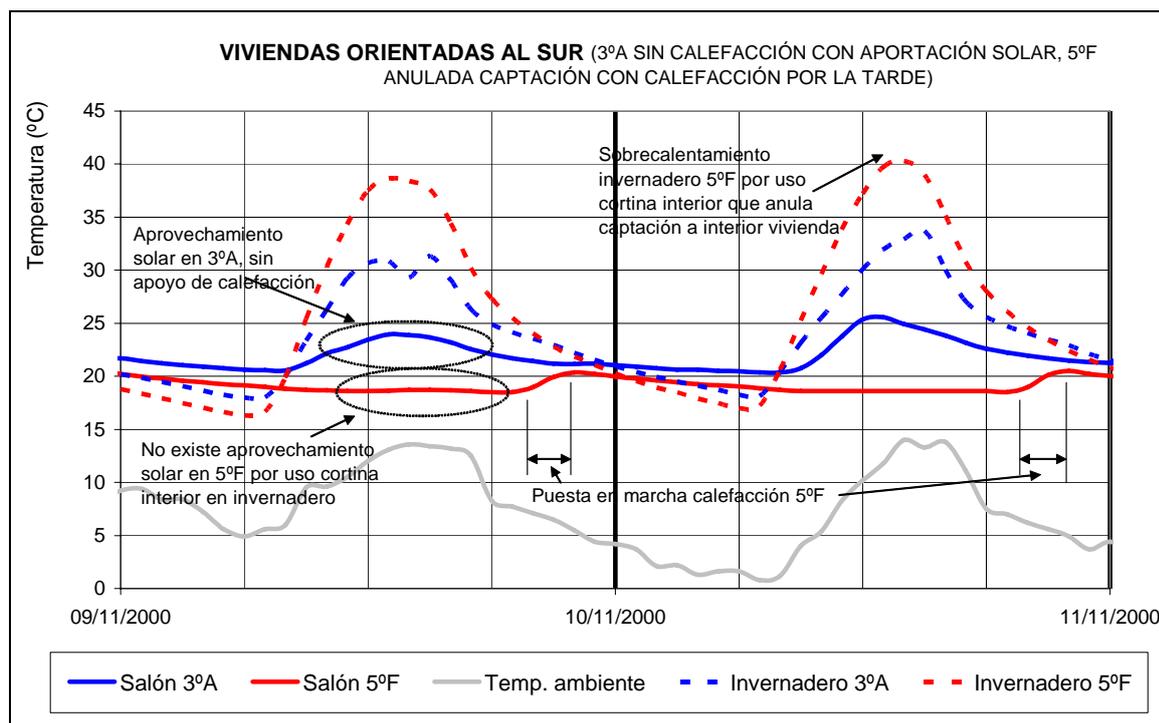


Figura 4.49. La vivienda 3ªA aprovecha la radiación solar que atraviesa el invernadero, obteniendo temperaturas interiores en su salón superiores a 24°C tan sólo con la captación solar. Sin embargo, la vivienda 5ªF que utiliza una cortina interior en el invernadero anula la captación solar del salón debiendo calentar la vivienda con calefacción (por la tarde) obteniendo una temperatura incluso inferior a la de 3ªA sin calefacción. Se muestra como el aprovechamiento solar directo hacia el salón es más importante que el que se puede transmitir a través de los cerramientos de separación entre salón y galería acristalada. (Fuente: GEE)

En el Plan Parcial se obligaba a utilizar galerías acristaladas o invernaderos en la fachada sur de las viviendas, este elemento permite aprovechar la radiación solar en invierno, mientras que en verano debe dejarse abierto para evitar su sobrecalentamiento. Mediante TSBI3 se había simulado el comportamiento de los invernaderos verificando que no se iba a generar temperaturas elevadas en su interior siempre que se ventilase suficientemente dejando todas sus aperturas abiertas.

Una vez habitados los edificios se ha observado como algunos usuarios han colocado cortinas en el interior de las galerías acristaladas para evitar el sobrecalentamiento, como resultado se ha generado el hecho contrario al provocarse el efecto invernadero no permitiendo la ventilación del espacio.

Tras comprobar que se colocaban cortinas en los edificios, se procedió a verificar que un buen uso no debería generar sobrecalentamiento, partiendo para ello de los datos monitorizados. En concreto se realizaron las comprobaciones en las viviendas unifamiliares recogiendo la evolución de temperaturas interiores y en los invernaderos, recogiendo estas evoluciones en las siguientes figuras.



Figura 4.50. Vista de invernaderos de la planta superior de las viviendas 13 y 8 del edificio PU9. En la vivienda 13 el usuario ha colocado cortinas en el interior de la galería acristalada, sin embargo en el caso 8 el vecino deja completamente abiertas las ventanas superiores del invernadero. (Fuente: GEE)

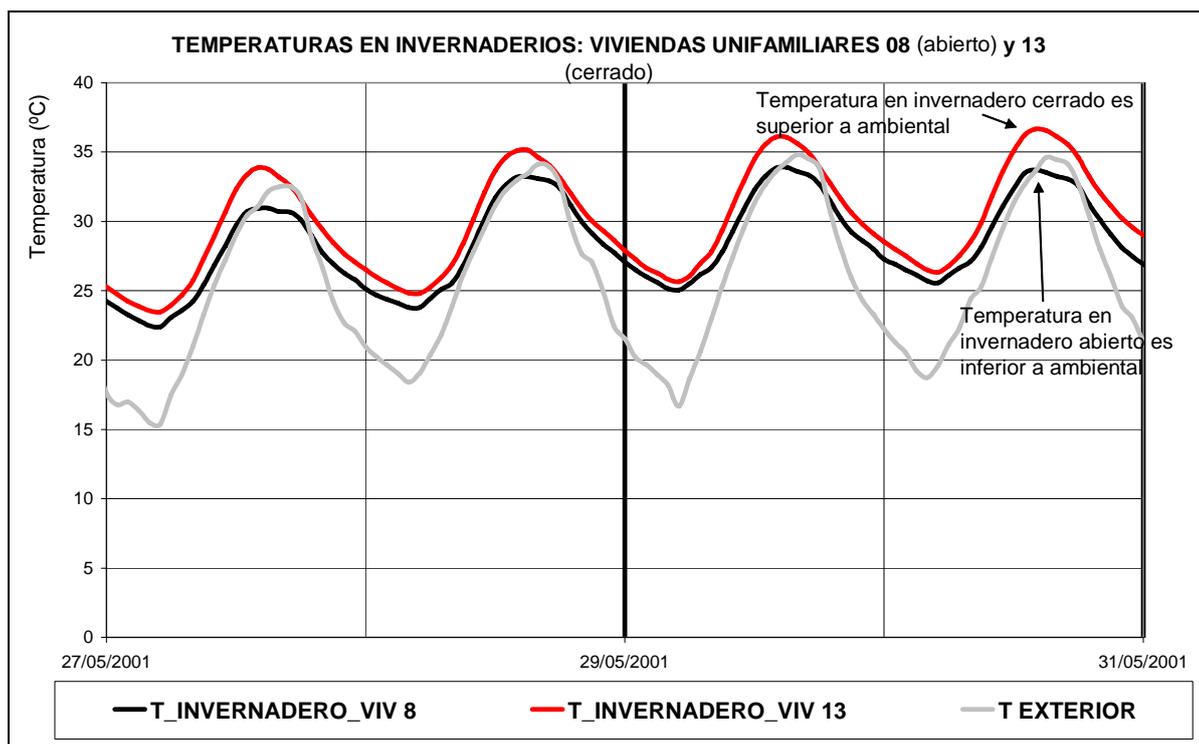


Figura 4.51. Evolución de temperaturas durante una semana calurosa a finales de mayo de 2000 de los invernaderos de las viviendas 8 y 13 de la parcela PU9 de Residencial Parque Goya. A partir del tercer día se observa como la temperatura en la galería con cortinas es superior a la que permanece abierta, incluso con cortinas llega a superarse la temperatura exterior mientras que dejando abierta las ventanas incluso en el invernadero se tiene una temperatura inferior al exterior. (Fuente: GEE)

En la figura 4.51 se observa como en el invernadero con cortinas (casa 13) la temperatura incluso llega a situarse por encima de la temperatura ambiente, sin embargo para la vivienda que cuenta

con las ventanas abiertas (casa 8) la temperatura en las horas centrales del día es inferior a las que se registran en el exterior.

Los resultados que se obtenían en la simulación del invernadero indicaban también que no iba a existir sobrecalentamiento como se concluye de la figura 4.51.

La vivienda número 13 de la parcela PU9 no ha estado habitada durante el primer año de puesta en marcha del edificio y los propietarios decidieron dejar todas las persianas bajadas. Al realizar esta medida han perjudicado al vecino contiguo que ha tenido un consumo superior al provocarse pérdidas energéticas desde su vivienda hacia la deshabitada.

Si los vecinos que no habitaban la vivienda hubieran levantado las persianas la vivienda se habría calefactado gratuitamente con los aportes solares contribuyendo a reducir el consumo del vecino que si que vive.

Este calentamiento es bastante importante pudiendo haberlo constatado al estar otra vivienda de la misma parcela sin habitar y con las persianas elevadas. Las figuras siguientes recogen las dos viviendas que se van a comparar y las temperaturas que se alcanzan sin calefacción en periodos fríos estando ambas viviendas sin habitar.



Figura 4.52. Vista de invernaderos de la planta superior de las viviendas 13 y 8 del edificio PU9 en invierno sin habitar ambas viviendas. En la vivienda 13 el usuario ha dejado las persianas bajadas de los dormitorios en contacto con la galería acristalada, sin embargo en el caso 8 el vecino ha dejado completamente levantadas las persianas. (Fuente: GEE).

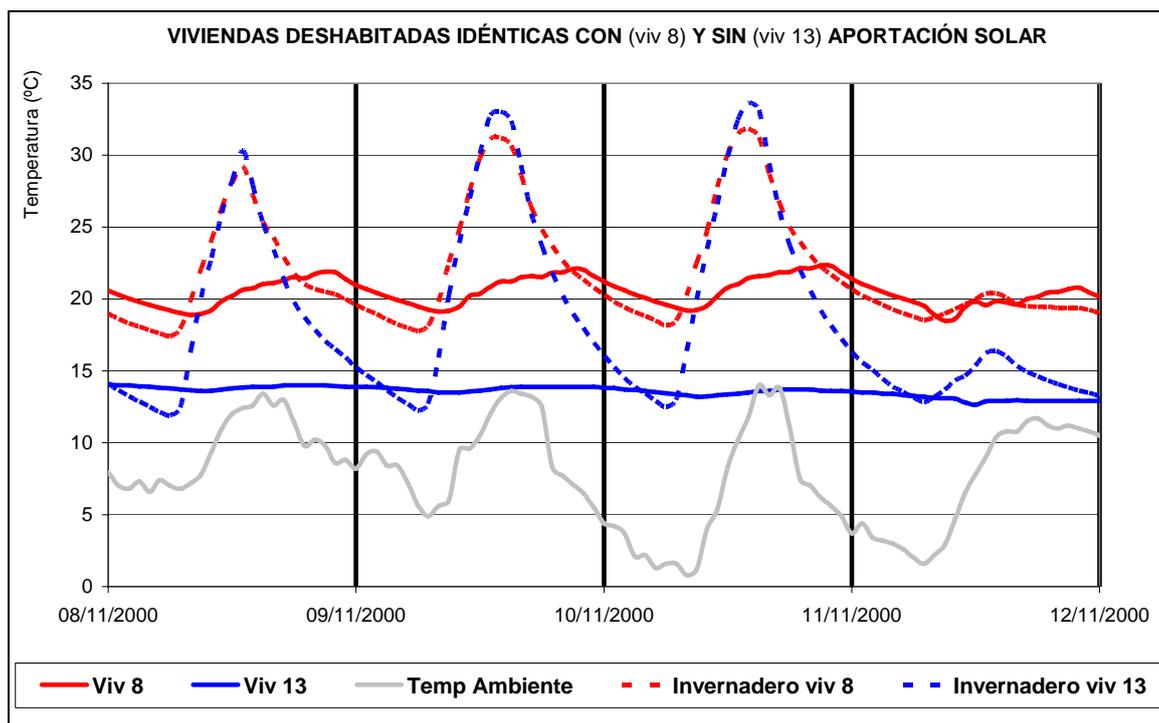


Figura 4.53. Evolución de temperaturas durante una semana fría de noviembre de 2000 en las viviendas 8 (persianas subidas) y 13 (persianas bajadas) de la parcela PU9 de Residencial Parque Goya. La vivienda 8 tiene una temperatura media durante la semana cercana a los 19°C gracias a la captación solar, sin embargo la vivienda con las persianas bajadas se encuentra a 12°C. (Fuente: GEE)

La vivienda que tiene las persianas levantadas, a pesar de ser una semana fría, se encuentra en torno a los 19°C de media con picos de temperatura máxima de 22°C, estos valores se alcanzan sólo con el aprovechamiento solar sin apoyo de calefacción, mientras que la vivienda que tiene las persianas bajadas (casa 13) su temperatura está próxima a la temperatura media ambiente exterior, situándose en un valor medio de 12°C.

La captación solar contribuye a elevar en 7°C la temperatura de la vivienda, si hubiera estado habitada la vivienda 8 no le habría hecho falta tan apenas el apoyo de calefacción para estar en temperaturas de confort. Sin embargo la vivienda 13 está haciendo que la contigua a ella pierda energía a través del cerramiento que las separa, incrementado el consumo de calefacción de la vivienda habitada.

Con los casos analizados se confirma como el usuario puede influir negativamente en el consumo de energía de su vivienda y de las que la rodean, siendo necesaria una sencilla formación, o una campaña de información, para que se conozcan las acciones adecuadas a realizar en la vivienda con el fin de obtener un elevado ahorro energético y a la vez conseguir un alto grado de confort.

#### 4.5.6. Resultados de la aplicación de la metodología de análisis urbanístico propuesta a Residencial Parque Goya

En la figura C.2 (Anexo C) se muestra un esquema de las parcelas que configuran Residencial Parque Goya (3.500 Viviendas de Protección Oficial). Como aplicación práctica de la metodología de análisis urbanístico se van a comparar las Fases II y III, indicadas en la citada

figura, teniendo un interés especial la comparación que se puede realizar entre ambas fases compuestas por tipologías opuestas, en concreto, la Fase II está configurada por bloques rectangulares o en forma de L mientras que en la Fase III se localizan unifamiliares adosados. No se ha considerado en este análisis la Fase I ya que se mezclaban las tipologías de viviendas (unifamiliar – bloque), no quedando tan patente los resultados que se van a obtener al comparar las Fases II y III.

En el Anexo C se recogen los parámetros urbanísticos generales que rigen esta actuación (edificabilidad, espacios dotacionales, etc), mostrando en la tabla C.4 y C.5 la edificabilidad y el número de viviendas que componen la Fase II y III, alcanzando la segunda fase un total de 2.157 viviendas en bloque y la tercera configurada por 175 unifamiliares adosados.

Para analizar si la urbanización está bien diseñada, desde el punto de vista urbanístico, se ha calculado la demanda energética de ambas fases según la metodología desarrollada en la tesis. A priori se puede decir que se obtendrá un mejor aprovechamiento energético del suelo de la Fase II al estar compuesto por viviendas en bloque frente al de la Fase III constituido por unifamiliares.

En el Plan Parcial de Residencial Parque Goya (ver Anexo C) se incluían una serie de normativas bioclimáticas que obligaban a los arquitectos entre otras actuaciones a:

- sobraaislar los edificios un 20% respecto a la norma NBECT-79
- utilizar un porcentaje de acristalamiento en la fachada sur de un 50% y para el resto de fachadas el mínimo marcado por las normativas municipales.

En la figura 4.54 y 4.55 se muestra la posición de los edificios en la urbanización, la forma que tiene cada una de las parcelas y los edificios que se sitúan en su interior.

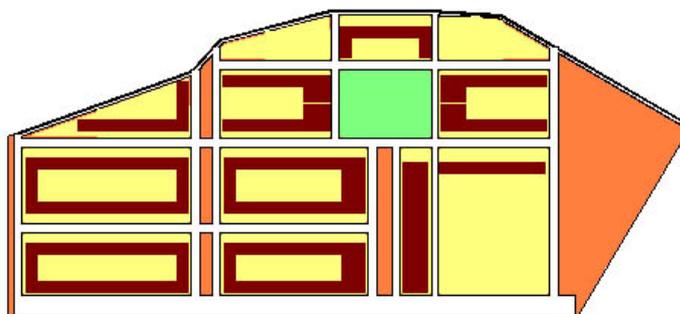


Figura 4.54. Posicionamiento de los edificios de la Fase II de Residencial Parque Goya introducidos en URSOS. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

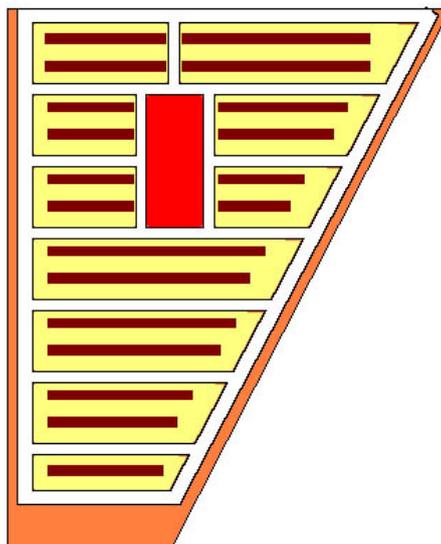


Figura 4.55. Posicionamiento de los unifamiliares de la Fase III de Residencial Parque Goya introducidos en URSOS. (Fuente: Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza).

Para conocer el grado de bondad de la urbanización de Residencial Parque Goya se ha utilizado la metodología de comparación expuesta en el apartado 4.2 sobre Edificios y Urbanización de referencia.

En primer lugar para aplicar la metodología se debe estimar la demanda máxima de referencia de la urbanización calculado bajo las siguientes hipótesis:

- Los edificios tienen la misma forma, tamaño y color de los edificios iniciales.
- El porcentaje de acristalamiento se reparte proporcionalmente en todas las fachadas exteriores hasta alcanzar una superficie vidriada de un 10% respecto a la superficie a climatizar del edificio.
- El coeficiente global de pérdidas ( $K_g$ ) del edificio será el máximo permitido por la Norma NBECT-79. Con la entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación se deberá imponer como aislamiento mínimo el exigido por este nuevo Código.

Para determinar la mínima demanda energética de la urbanización de referencia se realizan las consideraciones siguientes:

- Todos los edificios de la urbanización son de la tipología compacta de bloque de 40 viviendas lineal orientado al sur y no se consideran los sombreados sobre las fachadas. El número de viviendas o edificios que constituyen la urbanización de demanda mínima será aquél que conduzca a la misma superficie a climatizar respecto a la urbanización inicial.
- El coeficiente global de pérdidas ( $K_g$ ) del edificio será el máximo permitido por la Norma NBECT-79. En cuanto sea obligatorio el nuevo Código Técnico de la Edificación se debería imponer como aislamiento mínimo el exigido por este nuevo Código.

- En la fachada norte se utilizará una superficie acristalada equivalente al 5% de la superficie climatizada del edificio, mientras que para la fachada sur el valor indicado será de un 10%.

Una vez determinada la demanda máxima y la mínima de la urbanización, se debe proceder a calcular la demanda de los edificios de Residencial Parque Goya teniendo en cuenta los condicionantes de diseño del apartado anterior (acristalamiento y aislamiento). En la tabla 4.31 se muestran los valores de demanda global obtenidos para cada una de las fases obtenidas con URSOS (versión beta).

	Fase II	Fase III
Número viviendas	2.157	175
Demanda máximo urbanización ( $Q_{ma}$ , MWh/año)	8.024	1.123
Demanda mínima urbanización ( $Q_{min}$ , MWh/año)	6.644	539
Demanda urbanización ( $Q_{urb}$ , MWh/año)	6.530	782
Demanda urbanización unitario (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>33,6</b>	<b>49,7</b>
Ahorro Estimado (AE, %)	<b>108%</b>	<b>58%</b>

Tabla 4.31. Demanda de calefacción y refrigeración de las Fases II y III de Residencial Parque Goya bajo diferentes hipótesis.

Los resultados de la tabla 4.31 indican que está mejor diseñada desde el punto de vista energético la Fase II, presentando un valor de ahorro estimado de 108% frente a un 58% de la Fase III.

El porcentaje de ahorro estimado (AE) de la urbanización se obtiene de aplicar la siguiente ecuación, cada uno de los términos ha sido descrito en el apartado 4.2.

$$AE = 100 \times \frac{Q_{max} - Q_{urb}}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (\%) \quad [4.25]$$

El valor del porcentaje de ahorro de la Fase II es superior a un 100% como se comprueba en la tabla 4.31. Este valor se ha obtenido porque se ha realizado un mayor esfuerzo de aislamiento en los edificios, reduciéndose en un 20% el valor máximo del  $K_g$  de los edificios que define la NBECT-79. Además esta parte de la urbanización tiene una ordenación bastante optimizada con sombreados reducidos (entre D/H=1,25 y D/H=2,1) y un porcentaje de viviendas orientadas al este-oeste de un 23% frente a un 77% de viviendas orientado al sur.

Por lo tanto la conjunción del grado de aislamiento y la buena disposición de los edificios ha condicionado la obtención de un 108% de ahorro estimado, indicativo de alta calidad urbanística desde el punto de vista del ahorro energético.

En la Fase III el ahorro estimado es de un 58%, para mejorar este valor se debía haber recurrido a la construcción en bloque ya que la orientación de los unifamiliares es la mejor y el sombreado entre ellos reducido (D/H=1,9).

Si se hubieran utilizado bloques en el espacio de la Fase III, con la misma demanda energética se podrían haber construido 560 viviendas en la misma superficie útil.

Este último resultado vuelve a poner de manifiesto la poca rentabilidad energética de la construcción de unifamiliares, presentando una mayor ocupación de terreno y una menor compacidad que la construcción utilizando bloques de viviendas.

Los condicionantes que imponía el Plan Parcial de Residencial Parque Goya a la vista de los resultados obtenidos demuestran su gran bondad obteniéndose un ahorro de energía de 1.494 MWh/año para los bloques y 341 MWh/año en los unifamiliares. La disminución de la necesidad energética total (Fase II y III) es de 1.835 MWh/año equivalente a una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 477 Tn CO<sub>2</sub>/año.

Si se realiza una buena distribución urbanística y se aumenta las exigencias de aislamiento tal como plantea el nuevo Código Técnico de la Edificación, se podrá reducir la demanda de necesidades de calefacción y refrigeración por unidad de superficie climatizada a valores cercanos a los 20 kWh/m<sup>2</sup> año para Zaragoza. Con los valores del Plan Parcial de Residencial Parque Goya, según la tabla 4.31, se estaría en valores medios de 33,6 kWh/m<sup>2</sup> año para los bloques y de 49,7 kWh/m<sup>2</sup> año en los unifamiliares.

Con valores muy bajos de la demanda de calefacción y refrigeración, cobra fuerza la potenciación de políticas para el uso de colectores solares térmicos para la producción de ACS ya que la demanda de energía para producir agua caliente en una vivienda media es de 12,8 kWh/m<sup>2</sup> año, siendo por lo tanto más de la mitad de la demanda de energía de una vivienda con fuerte aislamiento y bien orientada.

Si por cada vivienda se instalará una superficie de 1,3 m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos se podría reducir la demanda de energía para preparación de ACS en un 70% (Turégano J.A. et al, 2002). Obligando en un Plan Parcial a instalar estos colectores se obtendría un ahorro energético importante.

En el Plan Parcial de Residencial Parque Goya no se incluyó la obligación de colectores solares térmicos por el incremento de coste que se forzaba a realizar a los promotores ya que las medidas bioclimáticas a que éste obligaba suponían un sobre coste por vivienda de 4.800 € (800.000 ptas). Se especificó que debía realizarse la preinstalación que estaba compuesta de la fijación a la cubierta y las tuberías desde la cubierta a la sala de calderas. Esta instalación base permite que algún día los propietarios puedan realizar la instalación de colectores en sus viviendas.

A diferencia del Plan Parcial de Residencial Parque Goya, en Valdespartera (Zaragoza) se obliga a los promotores a incorporar colectores solares térmicos de partida en todos los bloques de viviendas.

En la Ecociudad de Sarriguren de Navarra, otro de los ejemplos de grandes urbanizaciones bioclimáticas, el fomento del ahorro energético se ha realizado normativamente complementado mediante la figura del concurso.

La figura de planeamiento con la que se ha realizado Sarriguren es un Plan Sectorial de Incidencia Supramunicipal (Nasursa et al, 2004), en el que se fijaba una exigencia del nivel de aislamiento global del edificio correspondiente a una rebaja del Kg (NBECT-79) de los edificios de un 25%, valor ligeramente superior al exigido en Residencial Parque Goya (20%).

El Plan recogía unas medidas obligatorias y otras de carácter recomendatorio, estas últimas de carácter voluntario han sido primadas en la fase de concurso valorando los aspectos bioclimáticos de los edificios presentados.

La puntuación en el concurso para premiar los aspectos bioclimáticos es de 12 puntos sobre 89, dentro de los cuales el ahorro de energía y la inclusión de elementos bioclimáticos se puntúan como máximo con 7 puntos, mientras que por ejemplo la inclusión de captadores solares térmicos queda minimizada a tan sólo 2 puntos, haciendo que no sea interesante el uso de captadores al estar poco valorados respecto al computo total del concurso.

Para realizar actuaciones bioclimáticas a gran escala es fundamental que las administraciones impongan Planes Parciales o figuras equivalentes en los que se incluyan las obligaciones conducentes al ahorro energético. El primer plan que incluía estas obligaciones fue el de Residencial Parque Goya, mientras que en Valdespartera se realizaba una mayor concreción y definición de todos los parámetros que afectaban a la demanda energética de los edificios.

En el Plan Parcial de Valdespartera el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza mejoró ligeras deficiencias que tenía el primer plan, aplicando todos los conocimientos adquiridos de la monitorización de los edificios de Residencial Parque Goya proveniente del proyecto europeo Thermie nºBU 178/95, en el que participó como coordinador.

#### **4.5.7. Conclusiones**

En los apartados anteriores se ha mostrada la urbanización Residencial Parque Goya con los características que la definen, mediante los cuales se ha conseguido un alto nivel de ahorro, cifrado un 63% respecto a viviendas de alta calidad de Zaragoza.

Para conseguir estos elevados ahorros se partió de un trazado de las calles que permitía orientar el 90% de los edificios hacia el sur, también se jugaba la con la anchura de las calles y se limitaba la altura de los edificios para minimizar los sombreadamientos entre ellos, garantizando el soleamiento con una relación mínima para las fachadas sur de  $D/H = 1,6$ .

Una vez conseguida una buena orientación en el Plan Parcial se definían para los edificios una serie de criterios obligatorios y otros de carácter recominatorio con el objetivo de reducir la demanda de cada edificio, entre las medidas destacaba el aumento de exigencia de aislamiento un 20% superior al exigido por la norma NBECT-79, la incorporación de galerías acristaladas, los porcentajes diferenciados de acristalamiento por fachada o el aislamiento de los puentes térmicos.

Combinando la ordenación que posibilitaba la captación con las obligaciones del Plan Parcial, el siguiente paso era plantear el concurso de enajenación de las parcelas, en el que se premiaba entre otros aspectos la mejora de los edificios, desde el punto de vista energético, incorporando las medidas recomendables u otras que condujeran a la reducción de la demanda energética.

Dado el interés del proyecto la Comisión Europea financió mediante un programa Thermie el seguimiento de la urbanización, eligiéndose tres edificios que fueron monitorizados que han permitido contrastar la bondad de la urbanización.

Los resultados obtenidos permiten aseverar que este tipo de planteamiento se deberían realizar en todas las nuevas actuaciones urbanísticas, no importa el tamaño, beneficiándose los usuarios finales de las viviendas al conseguir elevados ahorros y el medio ambiente al contribuir a reducir las importantes emisiones de CO<sub>2</sub> que tienen lugar en el área residencial.

Tan sólo pensar en una buena distribución de las viviendas en el área de actuación permitiría obtener ahorros importantes sin ningún sobrecoste.

Otra gran conclusión sería la reflexión sobre la importancia de los usuarios de las viviendas en la consecución de los resultados esperados en la simulación, siendo necesario enseñarle a utilizar la vivienda desde el punto de vista energético, por ejemplo debería ser obligatorio incluir en la documentación que se entrega a cada vecino con su vivienda un manual breve y sencillo del uso de la vivienda para reducir la demanda de energía.

Además es necesario realizar campañas publicitarias que permitan fomentar el ahorro energético en las viviendas e incluir en la formación de los alumnos en las escuelas de primaria o secundaria los conocimientos que permitan educar al alumno para hacer un buen uso de sus futuras viviendas.

Es tan importante utilizar bien una vivienda como que ésta esté diseñada bajo los criterios de la arquitectura bioclimática o la eficiencia energética.

Como conclusión final, la metodología propuesta en la tesis y aplicada a Residencial Parque Goya ha permitido verificar el buen diseño urbanístico que se ha realizado y la adecuación de las medidas incluidas en el Plan Parcial que han permitido tener una urbanización de baja demanda energética.

La principal objeción, que ha quedado manifiesta de la aplicación de la metodología, es que no es interesante desarrollar áreas urbanas basadas en el modelo de viviendas unifamiliares que consumen un gran espacio con elevadas demandas energéticas, en defensa de Residencial Parque Goya hay que destacar que sólo hay un 10% de viviendas de esta tipología.





---

# Capítulo 5

## Síntesis, aportaciones y perspectivas

---

### 5.1. Síntesis

El incremento previsto de la población en las ciudades conllevará al desarrollo de nuevas áreas urbanas configuradas en los alrededores de las urbes<sup>1</sup>.

Habitualmente la planificación urbanística olvida lo que aprendieron nuestros antepasados (griegos y romanos) en cuanto al aprovechamiento solar, siguiéndose criterios que no tienen en cuenta la orientación adecuada de las calles o la separación entre edificios tal como realizaban éstos. Una disposición inadecuada de los edificios conllevará incrementos de las demandas energéticas y por lo tanto de la necesidad de fuentes externas de carácter fósil o nuclear.

Ante esta situación, es conveniente llevar a cabo un diseño optimizado de las urbanizaciones distribuyendo los edificios con el máximo número de fachadas orientadas al sur y minimizando el sombreado entre los edificios separándolos adecuadamente. Si se realiza una buena planificación, con las medidas anteriores se pueden conseguir ahorros de energía de un 30%<sup>2</sup>. Si además se le unen medidas de diseño a los propios edificios aplicando la arquitectura bioclimática, los ahorros alcanzados podrán ser de un 60%<sup>3</sup> como por ejemplo han demostrado los resultados obtenidos en el proyecto de investigación europeo Thermie nºBU 178/95 de la urbanización Residencial Parque Goya de Zaragoza, del cual ha sido coordinador el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.

Las medidas incorporadas a los edificios aplicando conceptos de arquitectura bioclimática no generan grandes sobrecostos de construcción, encontrándose en esta urbanización de 3.500 Viviendas de Protección Oficial entre un 8% y un 10%<sup>4</sup>.

Para la Fase I ya construida en el año 2000 el precio de una vivienda de 90 m<sup>2</sup> fue de 63.106 € (10,5 millones de ptas) mientras que se ha elevado ligeramente por la revisión del módulo de

---

<sup>1</sup> Las previsiones apuntan que 75% de la población mundial residirá en grandes urbes para mediados de siglo.

<sup>2</sup> Para edificios de acuerdo con la normativa NBECT-79, en edificios mejor aislados (nuevo CTE) el aporte supone un porcentaje mayor de la demanda de calefacción al reducirse el valor absoluto de ésta.

<sup>3</sup> Referido a una demanda en un edificio sin medidas ni aprovechamientos especiales y sobre la demanda ajustada a la normativa NBECT-79.

<sup>4</sup> De nuevo, referido este incremento a la referencia mínima de la norma NBECT-79. Recientes revisiones realizadas para VPO en Valdespartera señalan incrementos del orden del 2% sobre costes referidos al nuevo CTE.

venta en las Fase II y III, en construcción, incrementándose en el año 2003 a 87.150 € (14,5 millones de ptas)<sup>5</sup>.

Sobre estos precios cabe señalar que las inversiones específicas planteadas por las condiciones bioclimáticas no han supuesto incremento adicional pues la Diputación General de Aragón puso en manos de las cooperativas que accedieron al desarrollo de estas viviendas un suelo con el coste único derivado de la urbanización realizada (situación muy parecida ha sucedido en Valdespartera). La repercusión del suelo por vivienda fue de 9.000 € (1,5 millones de ptas) permitiendo que el Plan Parcial pudiera imponer, como se ha dicho, una serie de medidas bioclimáticas en los edificios que suponían un sobrecoste aproximado de 4.800 € (800.000 ptas) quedando margen todavía para construir el edificio con los precios máximos de venta de la Vivienda de Protección Oficial.

Teniendo en cuenta que la energía más sostenible es la no consumida, a día de hoy es indispensable en los nuevos desarrollos de las ciudades incorporar la metodología de análisis de urbanizaciones que plantea esta tesis para optimizar la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios que componen el área a desarrollar con el objetivo del ahorro energético.

Haciendo una retrospectiva en el tiempo, en el año 1973 se produce la primera gran crisis del petróleo que produjo que en diferentes países se plantearan políticas de ahorro. En el sector de la edificación condujeron al desarrollo de la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas (NBECT-79) que obligaba al aislamiento de los edificios como primera medida para conseguir ahorrar energía en España.

Con el transcurso del tiempo, con los precios bajos del petróleo y de sus derivados prácticamente desapareció la preocupación por el coste de la energía. Sin embargo, cada vez es más evidente e incontrovertible el peligro del cambio climático consecuencia, entre otras causas menos importantes, del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en gran medida por el sector del transporte y de la demanda energética en las edificaciones (construcción y posterior consumo en calefacción, refrigeración, ACS, iluminación, etc). En concreto para los edificios las emisiones medias en Europa según diferentes fuentes están cercanas a un 35% del valor total. Debido a esta preocupación general los diferentes países participantes en la cumbre de Kioto acordaron una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Curiosamente, en cierto modo<sup>6</sup>, con el objetivo de reducir las emisiones en Europa se intentó aplicar la directiva CEE 93/76 sobre reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> que prácticamente ningún país salvo Dinamarca traspuso a sus normativas nacionales. Visto este fracaso se ha intentado nuevamente realizar un esfuerzo de mayor concienciación apareciendo con fecha 16/4/2002 la nueva Directiva 91/2002 sobre el rendimiento energético de los edificios en la que se trata de fomentar el ahorro energético como medida conducente a la reducción de las emisiones.

Así, el ahorro energético retoma su fuerza no por la ventaja directa que supone en sí mismo, sino por la preocupación medio ambiental, que lo vuelve a impulsar.

---

<sup>5</sup> Coste que en las últimas revisiones ha llegado a superar ligeramente los 100.000 €

<sup>6</sup> Ya en 1993, cuando no se hablaba prácticamente del cambio climático, la razón única expresada en el prólogo de la directiva era la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y no la dependencia energética, que para los menos avisados era el elemento más preocupante.

La nueva directiva, de principios de este siglo, trata sobre la demanda de los edificios y no del conjunto urbanístico, situación que reitera el reciente CTE, siendo el objetivo de la tesis precisamente la extensión de la eficiencia energética al campo más extenso de la planificación urbanística que permite reforzar los planteamientos de ahorro y reducción de las emisiones.

Con este objeto, y teniendo en cuenta que los cálculos energéticos necesarios se deben aplicar a conjuntos potencialmente amplios de edificios (en Valdespartera supera los 200 edificios) con orientaciones, envolturas, dimensiones... diferentes, es una necesidad determinar la demanda de un edificio aplicando modelos de simulación simplificados o detallados que utilizan cálculos medios mensuales u horarios, debiendo disponer de los correspondientes datos meteorológicos.

El modelado de los edificios parte de un conocimiento exacto de las características geométricas y de los materiales empleados, siendo los métodos detallados los que más datos necesitan sobre la definición del edificio con un tiempo de cálculo significativo.

La metodología propuesta en la tesis está indicada para la fase de prediseño de la urbanización en la cuál no son necesarias las características de los edificios, no siendo necesario ni posible aplicar los métodos detallados al carecer de datos esenciales del edificio. En consecuencia no sólo es recomendable por cuestión de eficacia en tiempo de cálculo sino que es indispensable por cuestión del nivel de análisis trabajar con los métodos simplificados de calefacción y refrigeración expuestos a lo largo de la tesis que además ofrecen un nivel de precisión más que suficiente a la hora de seleccionar la opción más adecuada a las restricciones que un determinado plan presenta.

El método de cálculo del balance energético de edificios que se consigue<sup>7</sup> es sencillo y requiere pocos datos, pudiendo ser utilizado por personas poco expertas en simulaciones de edificios, principal característica con que debe contar un método si se quiere que se generalice su uso, de otro modo si es tedioso el técnico poco experto dejará de utilizarlo viéndolo como un enemigo y no como una herramienta que le facilite su trabajo dándole otra visión añadida que enriquece el análisis árido del tratamiento de los parámetros urbanísticos (edificabilidad, reservas dotaciones, número de viviendas/Ha, etc).

Para determinar las necesidades energéticas de la urbanización con métodos simplificados, se procede al cálculo de la demanda de cada edificio teniendo en cuenta la reducción de la ganancia solar media diaria, debiendo recurrir al cálculo horario de la radiación global incidente sobre cada fachada considerando el sombreado que producen los edificios que rodean al calculado en cada momento. Si se quisiera tener en cuenta los factores microclimáticos habría que recurrir al empleo de la Computación Fluidodinámica (CFD) combinada con la simulación dinámica de edificios (Zhai Z.J. et al, 2006), necesitándose variables climáticas habitualmente no disponibles y un tiempo de cálculo prohibitivo, así como técnicos de elevada cualificación para su manejo. Este tipo de aplicaciones se escapa del objetivo de sencillez y universalización propuesto en la tesis.

La demanda energética de una urbanización será la suma de las necesidades de todos los edificios que la conforman. Este valor permitirá comparar entre diferentes posibilidades de configuración posibilitando la toma de decisiones al urbanista sobre la mejor opción desde el punto de vista del ahorro energético.

Para comparar la bonanza de un diseño se utiliza una urbanización de referencia de demanda máximo y otra de necesidades mínimas, catalogando la diseñada en función de la proximidad a la

---

<sup>7</sup> Desarrollado, en paralelo, en la aplicación URSOS.

que está respecto a estos valores, incluso podría tener menor demanda que la de menor demanda si se realizan esfuerzos especiales de diseño en los edificios que la configuran.

La metodología planteada y validada a lo largo de la tesis ha sido implementada en la aplicación URSOS del Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza contando con la financiación del IDAE, que ha considerado de suma importancia la posibilidad de ofrecer a los ayuntamientos o urbanistas una herramienta que les permita mejorar nuevas áreas de desarrollo contribuyendo al ahorro energético y a las reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub>, principales preocupaciones a día de hoy ante el panorama energético y medio ambiental en el que vivimos y que tiene que conducir a abordar políticas del fomento de las energías renovables.

Como culminación una vez obtenida la metodología se ha aplicado a la Fase II y III de Residencial Parque Goya de Zaragoza en construcción, obteniendo como conclusión que la distribución en bloques es más beneficiosa en el desarrollo urbanístico que la de viviendas unifamiliares.

Como parte de la síntesis parece oportuno revisar el contenido de cada capítulo precedente al objeto de comprobar la secuencia de hipótesis y conclusiones con las correspondientes comprobaciones desarrolladas en estos capítulos previos.

- Capítulo 1. Objetivos y alcance de la tesis.

Se enuncia el alcance y objetivo que persigue la tesis comenzando por la exposición de motivos que hizo abordar la profundización en este campo. Una de las principales causas era la existencia de muy pocas aplicaciones informáticas de este tipo que realicen el balance energético, el estudio de sombreado y permitan realizar comparaciones entre urbanizaciones o analizar el potencial ahorro.

Los mayores esfuerzos hasta la fecha se han realizado en simular un único edificio contribuyendo esta tesis a avanzar un paso más estudiando conjuntos de edificaciones.

En el capítulo se hace una revisión de la problemática energética y como surgen las normativas o directivas que persiguen el fomento del ahorro.

Se analizan los primeros pasos del urbanismo energético en España está representado por Residencial Parque Goya y Valdespartera en Zaragoza y Sarriguren en Navarra.

Existe una revisión obligatoria sobre el estado del arte, enunciándose las diferentes aplicaciones que se están desarrollando en este momento para el análisis de urbanizaciones con diferentes grados de aproximación.

Al final del capítulo se enuncian las hipótesis que son las siguientes:

- Es posible definir un método simplificado de demanda de calefacción y refrigeración que sea lo suficientemente preciso para analizar urbanizaciones incorporando en el análisis de la demanda los componentes determinantes de los aprovechamientos pasivos en el contexto de los edificios que configuran el espacio urbanístico. Como resultado: Un análisis de métodos existentes ha llevado a seleccionar el Método 5000 (calefacción) y el Método de los Grados-Día Corregidos (refrigeración) siendo modificados ambos con alguna aproximación para obtener mejoras en la precisión combinada de demandas.

- El número de parámetros que define la demanda de una urbanización es reducida, obteniendo como resultado que los únicos parámetros importantes en la organización del proyecto urbanístico son la separación entre edificios, la altura, la orientación de las calles y por ende la acción combinada de los edificios entre sí.
  - Se pueden utilizar modelos de radiación solar horaria en poblaciones que carecen de datos horarios que es el caso habitual. Como resultado: se han seleccionado modelos que conducen a datos horarios con suficiente precisión.
  - Para mejorar la demanda de un edificio dependiente del clima del lugar existirán diferentes grados óptimos de aislamiento, porcentajes de acristalamiento o formas de los edificios que puedan incorporarse a un cálculo sencillo y preciso. Como resultado: Se han incorporado las condiciones de diferentes normativas, comparado su efecto en la demanda final y comprobada la dispersión de resultados que cae en el espacio de dispersión de otras causas (usuario, imprecisión de datos, ...)
  - El método planteado se puede estructurar en algoritmos programables que faciliten los procesos de optimización y evaluación de la calidad energética de la urbanización. Como resultado: Se han propuesto los mencionados algoritmos que han sido incorporados a un programa informático, URSOS, en paralelo al desarrollo teórico.
  - La aplicación de simulación resultante debe permitir optimizar de forma fácil y cómoda las soluciones urbanísticas a los usuarios, pudiendo analizar éstos la importancia de los parámetros de los edificios e indicarles las líneas para conseguir la mejora por aproximaciones sucesivas. Como resultado: Se ha comprobado la hipótesis en su aplicación práctica dentro del trabajo de ésta tesis y en otros proyectos urbanísticos estudiados siguiendo la metodología.
- Capítulo 2. Antecedentes históricos del urbanismo y planificación urbanística.

Se analiza la evolución de la ciudad desde el punto de vista del aprovechamiento solar, comenzando por los ejemplos de civilizaciones que consideraban el Sol como elemento fundamental en la configuración de las urbes hasta concluir con la pérdida de este sentido que comienza con la época medieval y llega a nuestros días.

Se encuentran diferentes antecedentes que son ejemplo de ciudades que consideraron, de manera práctica, el derecho al Sol y del aprovechamiento maximizado de la captación solar desde la civilización de Mesopotamia, primera civilización que tiene presente el sol, continuando con los griegos y terminando con la ciudad romana, existiendo posteriormente algunas actuaciones aisladas en México y Estados Unidos.

El repaso a la arquitectura realizada termina con la revisión del planteamiento de la ciudad concebida en el siglo XX, para el que se muestran algunas actuaciones respetuosas con el aprovechamiento solar que se han llevado a cabo por arquitectos, urbanistas e ingenieros.

Para desarrollar una nueva área urbana se deben fijar una serie de parámetros urbanísticos que delimitan el aprovechamiento del suelo, permitiendo éstos huir del hacinamiento que se produce en las ciudades en el siglo XIX que provocaron incluso problemas de epidemias.

El capítulo concluye con la exposición de los diferentes parámetros que se incluyen en el desarrollo urbanístico (edificabilidad, usos del suelo, espacios públicos, etc) y como se reflejan en los Planes Parciales, principal herramienta del urbanismo aplicado a nuevas urbanizaciones. Como colofón se indican las diferentes posibilidades que se presentan mediante el Plan y/o concursos para introducir los condicionantes energéticos en el urbanismo, siendo el objetivo la reducción de la demanda energética de los edificios que configuran el área urbana.

- **Capítulo 3. Balance energético de edificios y método de modelación propuesto.**

En este capítulo se realiza una síntesis de los diferentes métodos simplificados o detallados sobre el balance energético de edificios descritos en el Anexo D. Partiendo de los diferentes métodos para la determinación de la demanda de calefacción y refrigeración se han seleccionado los más adecuados y se han propuesto modificaciones que permiten obtener una mayor precisión del cálculo combinado de demandas.

Tan importante como los modelos de cálculo son los datos del clima que deben ser usados en el balance energético de los edificios. Para los métodos simplificados se suele disponer de sus datos característicos, sin embargo para utilizar modelos detallados se requieren grandes series de datos horarios del clima del lugar para poder realizar la caracterización horaria, por desgracia éstos no se suelen tener en la mayor parte de los lugares, por ejemplo en Zaragoza se registran tan sólo datos de radiación global horaria desde 1998, no siendo válido con esta escasez de años el fichero climático tipo horario (TRY) que se puede construir a partir de los datos experimentales horarios.

En la metodología desarrollada sólo se necesita un fichero climático horario para la determinación precisa del efecto de sombra de elementos propios del edificio, básico a la hora de determinar reducciones en la demanda de refrigeración, o para optimizar ganancias solares en la distribución de bloques que se dan sombra. Para salvar esta dificultad se muestra en el capítulo cómo generar modelos sintéticos horarios que sean suficientemente representativos del clima de la población analizada. El método propuesto permite un cálculo de aportes y sombras globalizado que se combina eficazmente con el cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración propia de cada edificio.

En cuanto al cálculo de esta demanda y para analizar la validez del método de cálculo simplificado de edificios propuesto en la tesis, se han seleccionado cinco tipologías edificatorias que se han sometido a seis climas diferentes, comparándose para todos los casos la demanda de calefacción y refrigeración obtenida con el método simplificado propuesto respecto a los resultados calculados con el programa de simulación dinámica danés TSBI3, una de las mejores aplicaciones de cálculo como plantea Lomas K.J. et al (1995) que comparó 25 aplicaciones de prestigio internacional resultando ser TSBI3 la que mejor precisión obtuvo de todas las analizadas.

Las cinco tipologías estudiadas son:

- Vivienda aislada.

- 11 viviendas unifamiliares adosadas orientadas al sur.
- Bloque de 6 viviendas con viviendas con fachadas a 3 orientaciones.
- Bloque lineal de 40 viviendas y 5 plantas de altura con orientación sur-norte de todas las viviendas.
- Bloque compacto de 80 viviendas y 5 plantas de altura con orientaciones de viviendas al sur y al norte.

Los seis climas estudiados son:

- Málaga.
- Zaragoza.
- Soria.
- Bologna (Italia).
- Leicester (Inglaterra)
- Copenhague (Dinamarca)

Partiendo de una definición del grado de aislamiento común que cumpla la normativa para todos los edificios se ha procedido a su simulación mediante el método propuesto, basado en el Método 5000 de Claux P. et al (1982) para calefacción y en el Método Corregido de los Grados Día definido por Santamouris M. (1997) para refrigeración.

Para validar la importancia de la inercia térmica de un edificio se han utilizado los datos experimentales obtenidos en la monitorización de los edificios de Residencial Parque Goya y de las células laboratorio del Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.

Con los valores obtenidos se ha comprobado que el Método 5000 valora en exceso el efecto de la inercia, permitiendo que una diferente zonificación<sup>8</sup> de un edificio realizada por dos personas diferentes de lugar a variaciones de la demanda energética de hasta un 35%.

A raíz de este resultado y de los análisis de los resultados de monitorización se ha decidido proponer una modificación del cálculo de la inercia térmica, validándose el método propuesto con los resultados obtenidos por la aplicación TSBI3.

En cuanto a los modelos de refrigeración propuestos por Santamouris se ha propuesto realizar una modificación de la captación solar a través de los muros, ya que solicita datos meteorológicos que no están disponibles en la mayor parte de poblaciones, proponiéndose como alternativa utilizar el cálculo para esta captación a través de la expresión que se recoge en ASHRAE (1997) para métodos simplificados de cálculo de la refrigeración.

Con estas modificaciones se ha procedido a validar los resultados con las demandas obtenidas por la aplicación TSBI3 para todas las poblaciones, encontrándose desviaciones como máximo de la demanda de calefacción para climas no cálidos por

---

<sup>8</sup> Este efecto es también característico de métodos dinámicos, siendo importante en algunos de los analizados.

debajo de un 12%. Para climas cálidos (Málaga) el error máximo que presenta el método es de un 36% pero con diferencias netas de demanda poco significativas. Así, aunque para poblaciones con poca necesidad de calefacción los métodos simplificados sean más imprecisos, el efecto sobre la demanda no es significativo.

Para refrigeración en climas cálidos el método presenta diferencias respecto al cálculo con TSBI3 de un 17,6%, mientras que para Soria con muy bajas necesidades de refrigeración se alcanzan valores de un 56% pero con diferencias netas de la demanda poco significativas, presentando los modelos de refrigeración imprecisiones para climas fríos.

Si se analiza la demanda combinada de calefacción más refrigeración con ambos métodos la diferencia media de demanda para todos los casos analizados es de tan sólo un 2,1%, presentándose una diferencia máxima para una de las poblaciones de un 10% como máximo. Estos resultados son concluyentes en cuanto a la validez del método simplificado propuesto seleccionado como válido en la metodología de esta tesis.

- Capítulo 4. Diseño de urbanizaciones desde el punto de vista energético. Aplicación al caso práctico de Parque Goya.

Una vez validado el método de cálculo propuesto de un edificio se plantea la metodología de evaluación de todos los edificios que conforman la urbanización teniendo presente el sombreado que se arrojan los edificios entre sí y las sombras propias que éstos tienen.

En cada modelo de edificio se han incluido unas pautas básicas para el ahorro de energía como son la bajada de persianas por la noche en invierno, utilización de obstrucción solar en verano (persianas o venecianas) o la ventilación nocturna en verano como modo de reducción de la demanda energética. Estas premisas se han incluido para hacer más real la demanda de los edificios siendo más parecido a un uso habitual.

Para realizar la comparativa de la bonanza de un diseño urbanístico se ha procedido a definir una urbanización de referencia, fijando el nivel máximo y mínimo de demanda que podrían tener los edificios que componen el área urbana objeto del análisis.

El valor máximo sería el que se obtendría para los edificios definidos por el usuario utilizando los niveles mínimos de aislamiento, con la menor área de acristalamiento posible que se permite en las normativas en vigor y una distribución espacial sin orientaciones preestablecidas como predominantes<sup>9</sup>.

El mínimo, si se pretende establecer una escala tipo etiquetado de certificación sería el de la demanda mínima obtenida con orientaciones optimizadas sin restricciones, acristalamientos adecuados al clima para favorecer las ganancias y con las propiedades idóneas para reducir las necesidades de refrigeración. Así, con la horquilla establecida de demanda se podrían evaluar los esfuerzos realizados en el diseño, indicando además si existe capacidad residual de mejora.

---

<sup>9</sup> Una alternativa posible, que realmente no consideraría un valor mínimo sino uno medio, sería considerar consumos medios estadísticos y extrapolarlos al número de viviendas considerado, de este modo se ha planteado la escala de Certificación Energética de Edificios (RD 47/2007) habiéndose definido para cada capital de provincia el valor de las demandas de calefacción, refrigeración y ACS que representan los edificios de referencia para viviendas unifamiliares o para bloques.

Sin embargo, los condicionantes para un desarrollo urbanístico son de índole tan diversa, incluidos los aspectos de costes de construcción y de valoración del suelo, que parece poco alcanzable esa situación de mínima demanda que se configura como un valor asintótico. Resulta, así, más simple considerar el porcentaje de reducción de la demanda como identificación de éste esfuerzo relativizando, en cierto modo, el significado de ese valor de mínimo ideal.

Si descendemos a la demanda de un edificio: viene condicionada externamente por los parámetros urbanístico de separación entre edificios y por la orientación de los edificios, habiéndose realizado para el edificio tipo (40 viviendas) diferentes comparaciones de estas variables arrojando como resultado concluyente que la orientación sur es la que menor demanda energética presenta tanto para climas cálidos como fríos, mientras que la mayor separación entre edificios es beneficiosa en climas fríos reduciéndose las demandas energéticas y perjudicial para ciertas orientaciones en climas cálidos.

En cuanto a los parámetros que dependen del propio edificio se han analizado para el edificio diferentes cambios de aislamiento y de porcentajes de acristalamiento en las fachadas.

Al edificio se le ha dotado inicialmente con el aislamiento que marca la normativa de cada país, realizándose las simulaciones del bloque lineal compacto de 40 viviendas para las poblaciones de Málaga, Zaragoza, Soria, Leicester y Copenhague. Partiendo de estos valores mínimos se ha analizado el efecto que va a producir en la demanda de energía la entrada del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE). El nuevo código plantea para las poblaciones españolas valores cercanos a un 60% de sobreaislamiento de los cerramientos del edificio.

Los resultados del sobreaislamiento demuestran que es menos útil cuanto más cálido es un clima, no habiéndose realizado esta progresividad en el CTE perjudicando a zonas cálidas por exceso de sobreaislamiento no tan útil como en climas fríos.

Como complemento al cálculo del aislamiento se ha realizado un análisis sobre el efecto de la reducción del coeficiente de conductividad en los cerramientos de un edificio, demostrándose que se tiene un valor asintótico para ciertos espesores de material no siendo aconsejable superar estos valores en función del clima donde se ubique el edificio.

En los análisis de acristalamientos se ha verificado que el incremento de acristalamiento es beneficioso dependiendo de la orientación que tenga el edificio, encontrándose que valores excesivos pueden provocar sobrecalentamientos en los edificios.

Entre las conclusiones obtenidas cabe destacar que no se pueden generalizar las conclusiones de acristalamiento, aislamiento, orientación o separación entre edificios para diferentes poblaciones por las variantes climáticas que se pueden tener incluso con zonas localizadas a pocos kilómetros. Por ello se considera útil el empleo de una herramienta informática como URSOS para que los urbanistas puedan decidir los parámetros adecuados en cada caso de una manera objetiva.

En el programa URSOS se podría incluir la optimización de la demanda energética de los edificios que configuran la urbanización en estudio, para cada edificio se podría aplicar los multiplicadores de Lagrange y obtener la mínima demanda para cada edificio, considerando la orientación y la tipología que tiene. La demanda obtenida de todos los edificios no tiene por qué ser la menor demanda de energía de una urbanización, ya que

cabría la mejora de ésta modificando la orientación de los edificios o aplicando otras tipologías. Esta optimización tiene un carácter subjetivo ligado a limitaciones exteriores o condicionantes del propio diseño por lo que se debe plantear como un ejercicio previo de distribución “manual” por el diseñador, sirviéndole de guía la demanda de referencia mínimo de la urbanización (compuesto por bloques lineales de 40 viviendas orientados al sur).

Como aplicación de todo este planteamiento, en la parte final del capítulo se realiza el análisis energético aplicando la metodología de la tesis al caso práctico de las Fases II y III de la urbanización de Residencial Parque Goya, obteniendo como resultado el grado de bonanza del diseño realizado en ambas zonas urbanísticas que planteaba el Plan Parcial que desarrollaba esta actuación bioclimática de gran escala.

El análisis comienza con la descripción de la actuación urbana y las características que la definían, destacando los aspectos energéticos de ahorro que introducía el Plan.

Los análisis de la aplicación de la metodología mostrados en el Capítulo IV se han complementado con los resultados de monitorización e investigación de los edificios obtenidos en el proyecto de investigación europeo Thermie de Residencial Parque Goya, en el cual ha sido el coordinador el GEE de la Universidad de Zaragoza.

La Fase II está conformada por 2.157 viviendas en bloques de las que un 77% tienen orientación sur y un 23% presentan orientación oeste o este, mientras que la Fase III está constituida por 175 viviendas unifamiliares.

Para calcular el ahorro estimado se ha aplicado los parámetros de diseño de los edificios del Plan Parcial que incluía entre otras medidas un sobreaislamiento de un 20% respecto a la normativa.

El resultado conduce a que el ahorro estimado, aplicando la metodología de la tesis, en la Fase II (bloques) es de un 108% frente a un 58% para la Fase III. El valor obtenido para los bloques indica que la urbanización está bien configurada habiendo superado el 100% gracias a que como medida se incluía un sobreaislamiento en los edificios mientras que la urbanización de referencia se calcula con el aislamiento mínimo obligatorio de la normativa sobre aislamiento.

El valor de ahorro inferior de la zona de unifamiliares indica que aunque estén perfectamente orientados todos al sur y exista una mejora de aislamiento, el factor de forma desfavorable propicia una elevada demanda respecto al edificio de mínima demanda (bloque lineal de 40 viviendas). Como conclusión se plantea que no es adecuado desarrollar urbanizaciones de baja demanda energética conformadas por unifamiliares.

El ahorro energético que se ha obtenido para los bloques es de 1.494 MWh/año y de 341 MWh/año en los unifamiliares. La disminución de la necesidad energética total (Fase II y III) es de 1.835 MWh/año equivalente a una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 477 Tn CO<sub>2</sub>/año. Valores que demuestran la importancia de estas actuaciones

El Anexo C titulado ‘Ordenanzas Regulatoras en el Plan Parcial de Residencial Parque Goya’ complementa el Capítulo IV al incluir el ejemplo de las ordenanzas bioclimáticas aplicadas en Residencial Parque Goya a los edificios y en la urbanización.

## 5.2. Aportaciones

Una tesis tiene que ser una revisión retrospectiva del pasado y una proposición de futuro de nuevos caminos investigados o abordados desde diferente punto de vista que lo que analizaron otros autores, debiendo contribuir en mayor o menor medida con una aportación propia al conocimiento científico y/o una contribución de la mejora de la sociedad.

En este caso una aportación significativa de la tesis es “recuperar” la importancia del Sol en el urbanismo y cómo se puede beneficiar del ahorro energético tanto las personas que disfrutan de su vivienda como la sociedad, al reducir las emisiones al ambiente de CO<sub>2</sub>.

Además la tesis ha permitido desarrollar un programa de simulación en fase de difusión, que será utilizado por los urbanistas.

Las aportaciones de cada capítulo son las que se enuncian a continuación:

- Capítulo 2. Antecedentes históricos del urbanismo y planificación urbanística.

Se realiza un análisis sintetizado de la evolución de las ciudades desde el punto de vista energético comenzando por las ciudades de Mesopotamia terminando con la arquitectura del siglo XX.

Habitualmente los planes parciales son la herramienta en urbanismo que permite el desarrollo de nuevos espacios en las ciudades, si se revisa un Plan Parcial cualquiera lo normal es que defina valores paramétricos puramente urbanísticos como la edificabilidad, los usos, el número de aparcamientos, la definición de reservas dotacionales, etc.

Una de las principales aportaciones de esta tesis es aportar a los urbanistas un documento y una herramienta que justifica definir medidas de obligado cumplimiento a los diseñadores de los edificios para que apliquen criterios de arquitectura bioclimática, habiendo realizado previamente el urbanista la tarea de distribución optimizada de la orientación de los edificios y la separación entre ellos fijando además la altura máxima de los edificios, de modo que el diseño bioclimático pueda ser operativo.

Así, una vez que el urbanista ha definido las parcelas teniendo en cuenta los elementos evaluados en la tesis como el aprovechamiento solar, el arquitecto que diseñe el edificio en una determinada parcela siguiendo las reglas obligatorias que el Plan prevé obtendrá como resultado un edificio de baja demanda energética.

En España el primer caso de un gran área urbana (3.500 VPO) que se ha desarrollado incluyendo normativas que afectan al diseño de los edificios considerando parámetros de arquitectura bioclimática ha sido Residencial Parque Goya de Zaragoza, redactando este apartado del Plan el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza, parte del cuál se ha incluido en el Anexo C. titulado ‘Ordenanzas Reguladoras en el Plan Parcial de Residencial Parque Goya’.

La siguiente gran urbanización en la que ha colaborado el Grupo aplicando este concepto es Valdespartera (9.660 VPO) de Zaragoza, en la que se ha mejorado la definición de los aspectos bioclimáticos obligatorios con respecto al primer caso gracias a la experiencia que ha supuesto el proyecto de investigación Thermie n°BU 178/95 ‘Residencial Parque Goya’ y la financiación tanto de la Diputación General de Aragón

como del Ayuntamiento de Zaragoza permitiendo alargar el periodo de monitorización en Residencial Parque Goya dos años.

- Capítulo 3. Balance energético de edificios y método de modelación propuesto.

Este capítulo junto con el Anexo D realiza una recapitulación de métodos de cálculo del balance energético de edificios, diferenciándose en modelos simplificados de cálculo mensuales y en modelos detallados de cálculo horarios. Ambos presentan precisiones adecuadas debido a que los modelos simplificados se validan con los resultados de análisis de edificios patrón con métodos detallados, la diferencia entre éstos radica en la posibilidad que ofrecen los detallados de programar horariamente los sistemas que incorpora el edificio.

La desventaja de los programas horarios frente a los simplificados radica en el elevado número de datos que caracteriza un edificio.

La aportación en este capítulo es el compendio que se ha realizado de los diversos métodos de cálculo del balance energético de edificios que serán utilizados para validar el método de cálculo simplificado de edificios a utilizar en la metodología de cálculo propuesta para el análisis energético de urbanizaciones planteado en la tesis.

Los métodos elegidos de simulación son el Método 5000 (Claux P. et al, 1982) y el Método Corregido de los Grados Día definido por Santamouris M. (1997). A ambos se han aplicado correcciones que en el caso del Método 5000 suponen una aportación importante.

De los diferentes cálculos realizados a lo largo del capítulo y partiendo de los datos experimentales obtenidos de la monitorización de tres edificios en la urbanización de Residencial Parque Goya y de las células laboratorio del Grupo de Energía y Edificación, se ha demostrado que la inercia térmica que proponen los métodos simplificados presentan elevadas imprecisiones que pueden conducir a errores de la estimación de la ganancia solar de hasta un 35%, suponiendo variaciones de la demanda entorno a este porcentaje para climas medios y superiores para climas cálidos.

Se ha obtenido como resultado que la inercia adecuada se puede obtener a partir del factor de forma del edificio, verificándose este resultado por las simulaciones realizadas con la aplicación de simulación dinámica TSBI3 y los resultados experimentales comentados anteriormente.

Para el caso del método de refrigeración se ha empleado otra aproximación de la bibliografía para la captación solar a través de los muros.

Una vez obtenido ambos modelos se ha verificado la demanda de cinco tipologías diferentes de edificios sometidas a seis climas obteniéndose como resultado que la demanda total de calefacción más refrigeración en valor medio para todos los casos difería en un 2,1% respecto a los obtenidos con TSBI3, encontrándose variaciones de demanda inferiores a un 10% para todas las poblaciones analizadas, confirmando la validez de los métodos implementados.

- Capítulo 4. Diseño de urbanizaciones desde el punto de vista energético. Aplicación al caso práctico de Parque Goya.

La metodología de cálculo para el análisis de la urbanización emplea los métodos de cálculo validados incluyendo como complemento el sombreado horario que existe entre edificios y las sombras propias, indicando finalmente la demanda de todos los edificios que constituyen el área en estudio.

Para verificar lo buena que es una urbanización se compara con respecto a la demanda máxima que se podría tener para la configuración de edificios elegida y a la demanda mínima que puede tener un edificio compacto en esa localidad, sirviendo el acercamiento a uno u otro valor el que indica la bonanza del diseño.

El diseñador de la urbanización puede comparar entre dos distribuciones de la urbanización cuál es la mejor simplemente eligiendo la de menor demanda, permitiéndole una vez implementada la metodología en URSOS realizar múltiples variaciones que le permitan optimizar el diseño del área urbana-

La aportación general del capítulo está en la comparación de la importancia de los diferentes parámetros urbanísticos o del propio edificio que afectan a la demanda de éste. Los resultados obtenidos son particulares para cada localización no pudiéndose hacer de manera general indiscriminada una extrapolación de resultados a cualquier población.

La implementación de la metodología en URSOS aplicada a una urbanización permitirá aquilatar con mayor precisión la incidencia de los parámetros en la demanda del área estudiada.

En primer lugar se ha abordado el análisis para un edificio compacto lineal de reducida demanda realizándose variaciones del grado de aislamiento y del acristalamiento.

Dado el reciente cambio normativo en el sector de la edificación merced al nuevo Código Técnico de Edificación se han incluido diferentes análisis sobre las obligaciones de sobreaislamiento al que se ven obligados los edificios.

En cuanto al aislamiento se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- El aumento de aislamiento de un edificio bajo las hipótesis propuestas en la tesis hace aumentar la demanda de refrigeración de forma generalizada.
- Respecto a la demanda total de energía, cuanto más cálido es un clima menos efectivas son las medidas del incremento de aislamiento. Siendo menos efectivo el incremento de aislamiento propuesto en el CTE para el caso de climas cálidos frente a fríos.
- El ahorro energético producido por el incremento del espesor de un aislamiento tiene un comportamiento asintótico, no siendo recomendable superar ciertos espesores ya que el periodo de recuperación de la inversión (pay-back) puede hacer no rentable económicamente recurrir a espesores elevados. El número de años de recuperación de la inversión se determinará dividiendo el sobrecoste por incremento de aislamiento por el ahorro económico anual del combustible no

consumido, por lo tanto dependerá de las circunstancias de un mercado cambiante.

En cuanto al porcentaje de acristalamiento y a la orientación de los edificios se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- Los edificios con fachada principal orientada al sur son los que menor demanda energética presentan.
- Una buena orientación puede suplir la falta de aislamiento de un edificio.
- El incremento de demanda por mala orientación es superior en los edificios con alto grado de aislamiento.
- El porcentaje de acristalamiento debe limitarse para evitar sobrecalentamientos, produciéndose éste cuanto más nivel de aislamiento tenga el edificio.
- El porcentaje óptimo de acristalamiento hay que determinarlo aplicando el balance energético del edificio, ya que la demanda dependerá de la geometría del edificio, del grado de aislamiento, de la orientación del edificio y del clima del lugar. A priori no existe un valor óptimo recomendable de forma genérica y un buen diseño exigirá el uso de programas de simulación como TSBI3.

A continuación se incluyen las conclusiones y recomendaciones de diseño obtenidas sobre los parámetros urbanísticos que afectan a la demanda de los edificios y que pueden contribuir a la reducción de la demanda energética de un área urbana.

- De las diferentes morfologías de trazado de calles (radioconcéntrica, rectangular, etc) la mejor de todas desde el punto de vista del ahorro energético es la malla rectangular. El lado mayor debe estar orientado de este a oeste, de tal modo que se facilite que los edificios que se coloquen en las parcelas presenten la mayor área posible de fachadas orientadas al sur. Este entramado era típico de las ciudades del Imperio Romano.
- Para climas fríos, las calles que discurran del este al oeste deberán ser más anchas, pudiendo ser más estrechas las que van de sur a norte. Con esta configuración los edificios orientados al sur están lo más alejados posible entre ellos por lo que disponen de mayor captación solar en invierno. La separación entre los edificios con orientación de fachadas oeste y este no es prioritaria desde el punto de vista energético debido a la poca variación de demanda que supone el sombreado para estas orientaciones.
- Para climas cálidos es recomendable hacer calles estrechas para favorecer el sombreado en verano entre los edificios y sobre las calles, no siendo importante la captación solar de los edificios en invierno. Con calles estrechas se generan ambientes de mayor confort.
- La orientación de las calles debe favorecer la máxima disposición de edificios lineales orientados al sur. Para no incurrir en un exceso de linealidad, se pueden utilizar formas rectangulares con patios interiores (de problemático equilibrio en el diseño), edificios en forma de 'L' o combinaciones de éstos para no generar una ciudad carente de invariantes.

- Dado que es interesante generar la máxima separación entre los edificios en sentido de la orientación sur, se podrán utilizar las zonas de aparcamiento, recreativas o de servicios para este fin ubicándolas entre las filas de los bloques de viviendas, de tal modo que las zonas de sombras arrojadas recaigan en estas zonas y no en las fachadas de los edificios. Esta actuación reequilibra la distribución de espacios abiertos haciéndolos más próximos a los usuarios y reduciendo la tendencia a agrupar todos ellos en un único gran espacio común. Un planeamiento cuidadoso puede favorecer una distribución de espacios verdes y auxiliares sin excluir alguno de concentración y sin caer en el riesgo de excesivo esponjamiento con pérdida de la siempre positiva compacidad para una complejidad y movilidad razonables.

Uno de los parámetros fundamentales que afectan la demanda energética de la urbanización es lo compacta que sea su constitución, por ejemplo si está compuesta por unifamiliares la demanda que presentará por hectárea ocupada será elevada, incurriendo en los defectos comentados.

Con este objetivo de evitar efectos contradictorios, se ha comprobado un cálculo concluyente para Zaragoza en el que en una hectárea cabrían 308 viviendas en bloque que tendrían una demanda idéntica a 185 viviendas unifamiliares adosados de la misma superficie cada una y sin solución de continuidad. Este dato es concluyente para indicar como no recomendable recurrir al urbanismo disperso (unifamiliares) si se quiere tener reducidas demandas energéticas y un mayor aprovechamiento del suelo.

En este capítulo se ha obtenido la demanda teórica aplicando la metodología a la Fase II y III de Residencial Parque Goya conformada por 2.157 viviendas en bloques de las que un 77% tienen orientación sur y un 23% presentan orientación oeste o este, mientras que la Fase III está constituida por 175 viviendas unifamiliares. En el análisis no se ha considerado la Fase I al tener mezclada ambas configuraciones de viviendas.

Los ahorros energéticos estimados son 1.494 MWh/año para las viviendas en bloque y de 341 MWh/año para los unifamiliares. La disminución de la demanda total es de 1.835 MWh/año equivalente a una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 477 Tn CO<sub>2</sub>/año.

A este valor teórico hay que sumar como resultado destacado los de la monitorización de dos años en Residencial Parque Goya de los edificios de la Fase I con una demanda media de calefacción de 25kWh/m<sup>2</sup> año, que representa un ahorro de energía de un 61% respecto a la demanda de 550 viviendas en bloque de Zaragoza de alto standing.

La tesis como aportación final demuestra que una buena distribución urbanística y un aumento las exigencias de aislamiento tal como plantea el nuevo Código Técnico de la Edificación, podrá reducir la demanda de necesidades de calefacción y refrigeración por unidad de superficie climatizada a valores cercanos a los 20 kWh/m<sup>2</sup> año para Zaragoza. Con los valores del Plan Parcial de Residencial Parque Goya, se estaría en valores de 33,6 kWh/m<sup>2</sup> año para los bloques y de 49,7 kWh/m<sup>2</sup> año en los unifamiliares.

Debe considerarse que con estos valores tan bajos de la demanda de calefacción y refrigeración, cobra fuerza la potenciación de políticas para el uso de colectores solares térmicos para la producción de ACS ya que la demanda de energía para producir agua caliente en una vivienda media para Zaragoza es de 12,8 kWh/m<sup>2</sup> año, siendo por lo

tanto más de la mitad de la demanda de energía de una vivienda con fuerte aislamiento y bien orientada.

### 5.3. Perspectivas

La tesis pretende ser una apuesta de futuro que permita a los políticos, urbanistas, promotores, constructores, arquitectos, ingenieros y usuarios reflexionar cada una en la escala que le corresponde sobre las posibilidades del ahorro energético y de lo imperativo que es a día de hoy reducir nuestra dependencia energética utilizando el urbanismo, la arquitectura bioclimática o cualquier energía de carácter renovable.

La aplicación de los conceptos del urbanismo energético no generan costes, siendo en la fase inicial de la concepción de una urbanización en la que se tiene que tener en cuenta los criterios expuestos en la metodología y que conducirá directamente a ahorros medios superiores a un 30% sólo por orientar los edificios mirando al sur.

Ante esta posibilidad nadie que comparta esta tesis puede quedar indiferente por la importante que presenta la demanda energética de los edificios respecto a la demanda total de energía de carácter fósil.

Una vez planteada la metodología en la aplicación URSOS de la Universidad de Zaragoza será distribuida por IDAE como una herramienta práctica y de fácil manejo a los urbanistas, ayuntamientos o gabinetes de diseño de urbanizaciones.

Como colofón la tesis plantea una nueva línea de investigación en el análisis de microclimas en la urbanización para reducir la demanda de refrigeración, debiendo estudiarse la influencia de la vegetación y los efectos de la evaporación, del viento y de las sombras proyectadas como favorecedores del confort en urbanizaciones y reductores de la temperatura ambiental, incorporando análisis CFD para estudios más afinados sobre las posibilidades y los efectos de ventilación.

Ambas líneas se están atacando en un convenio entre la Universidad de Zaragoza y la sociedad que desarrolla la urbanización de Valdespartera con el objetivo de analizar las temperaturas que se producen en diferentes puntos del área a desarrollar al sur de Zaragoza. Todo ello se ampliará en futuros proyectos en fase de redacción que cuentan con la colaboración de equipos especializados en análisis con CFD.

Otra de las líneas es incluir en el propio URSOS una herramienta que permita analizar los costes de urbanización que puede suponer desarrollarla, además de incluir la posibilidad de diseño con sistemas de calefacción de distrito, colectores solares térmicos y fotovoltaicos o incluso abordar la posibilidad de utilizar la trigeneración.

Independientemente de que se prepare como herramienta combinada o no, es necesario considerar la demanda minimizada de energía de modo que incorpore

- renovables en el espacio planificado,
- sistemas auxiliares centralizados y
- una actuación estimulante hacia los usuarios al objeto de incorporarlos al objetivo de una racionalización plena

- unas opciones de movilidad acordes con los objetivos buscados de minimizar emisiones

Continuar con la investigación que busque la combinación adecuada de estos elementos dentro de una complejidad suficiente es una garantía de que se puedan transformar las futuras urbanizaciones en espacios sostenibles plenamente defendibles.



---

# Capítulo 6

## Conclusiones

---

### 6.1. Conclusiones

Las hipótesis planteadas en la tesis son:

- Es posible definir un método simplificado del balance energético de edificios suficientemente preciso que permite analizar el consumo de calefacción y refrigeración de un elevado número de edificios situados en una trama urbana.
- El número de parámetros urbanísticos que condicionan el aprovechamiento solar es reducido, pudiéndose definir éstos en un nuevo planeamiento para facilitar un elevado ahorro energético en los edificios.
- Se puede utilizar algún método de cálculo de radiación solar suficientemente aproximado para localizaciones que cuentan con pocos datos experimentales.
- El diseño de edificios debe adaptarse a los condicionantes climáticos, el método propuesto de balance energético debe permitir obtener el grado de aislamiento y las superficies acristaladas de las fachadas correctas para cada clima.
- Todo lo anterior permite una estructura en algoritmos programables que facilitan un proceso de optimización y evaluación de la “calidad” energética de un determinado planeamiento urbanístico en relación con otro definido como patrón con configuración, estructura y características de los edificios previamente fijados.
- Sólo es posible generalizar una optimización energética a nivel urbanístico si ésta es simple de ejecución y responde al modus operandi de los equipos urbanísticos, habitualmente conformados por técnicos no especializados en el balance energético.
- La dispersión a partir de variaciones limitadas, implica valores de la demanda localizados en torno a un ‘pozo’ de demanda correspondiente a un mínimo, lo que facilitará la aplicación de una metodología de optimización por aproximaciones sucesivas.

Las conclusiones derivadas de los análisis realizados en la tesis se describen a continuación:

1. El análisis de la demanda del conjunto de edificios de un determinado proyecto urbanístico debe desagregarse en niveles de decisión claramente diferenciados. La tesis establece cuatro niveles desde el Plan general hasta la actuación del usuario.

2. Los aspectos considerados en la tesis son los correspondientes al nivel dos, que en la normativa española podríamos identificar como actuaciones de Plan Parcial. En este nivel, la tesis establece de modo concluyente:
  - Las medidas de reducción de la demanda energética de una edificación son, en sí mismas, tan importantes como la suma de las aplicables individualmente a cada edificio.
  - Cómo optimizar el diseño de la organización espacial de los edificios constituyentes del proyecto y de las características básicas de la envolvente de cada edificio para minimizar la demanda energética correspondiente.
3. De acuerdo con la categorización anterior es posible, en el desarrollo de nuevas áreas urbanas, aplicar criterios generales de diseño energético, que incluidos en el Plan Urbanístico que las desarrollen, pueden conducir como resultado final un elevado ahorro energético (calefacción, refrigeración e iluminación), así como una importante reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Los criterios se basarán, por ejemplo, en localizar los edificios de tal forma que exista el mayor número fachadas orientadas al sur, dejar una separación entre edificios para que no exista sombreamiento, la diferenciación de porcentaje del acristalamiento en fachadas o incrementar el nivel de aislamiento.
4. Es posible determinar, con suficiente precisión y mínimo esfuerzo, la configuración de un determinado proyecto urbanístico, de modo que se minimice la demanda energética anual respetando los condicionantes que exija el mencionado proyecto en cuanto a criterios de edificabilidad, microclima, normativa, etc. Para ello se puede utilizar la metodología desarrollada en la tesis y que informáticamente tiene como resultado la aplicación URSOS.
5. En la tesis se ha propuesto como aplicación un método simplificado de cálculo de la demanda energética de los edificios de la urbanización, que es suficientemente aproximado como para permitir una evaluación de diferentes configuraciones urbanísticas y su comparación, permitiendo la optimización. El rango intrínseco de error del método propuesto es igual o inferior que el resultante de los errores propios de los datos necesarios de partida (clima, características de cerramientos, etc).
6. Los algoritmos de cálculo del método planteado proporcionan resultados suficientemente precisos del balance energético de edificios teniendo en cuenta las pérdidas energéticas, las ganancias solares y los sombreamientos propios y externos. Éstos son fácilmente implementables en una aplicación informática de análisis de la demanda energética de los edificios que configuran un área urbana en la fase de prediseño urbanístico, la aplicación deberá ser ágil, simple, cómoda de uso y con errores medios de cálculo no significativos.
7. De la contrastación de resultados llevada a cabo en la validación del cálculo de la demanda de calefacción, se ha propuesto una modificación al Método 5000 para la estimación de la inercia térmica, de tal modo que la demanda sea independiente de la estimación de la inercia que el usuario pueda realizar al zonificar un edificio. Esta mejora se basa en relacionar la inercia térmica con el factor de forma del edificio, función de la compacidad del edificio.
8. Para la determinación de la demanda de refrigeración se ha utilizado el Método Simplificado de Refrigeración de Santamouris M. (1997), habiéndose realizado una ligera modificación en cuanto a la captación solar de los cerramientos opacos, debido a

que la ecuación propuesta por Santamouris contiene algunos términos de difícil cuantificación, habiéndose optado por la ecuación propuesta en la UNE-EN-832 (2000).

9. Los principales factores que afectan a la demanda energética de un edificio, en el contexto de una actuación urbanística en conjunto, son:
  - El grado de aislamiento de los cerramientos. Un aumento del aislamiento reduce las pérdidas por conducción a través de los cerramientos.
    - El aumento de aislamiento de un edificio bajo las hipótesis propuestas en la tesis hace aumentar la demanda de refrigeración de forma generalizada.
    - Respecto a la demanda total de energía, cuanto más cálido es un clima menos efectivas son las medidas del incremento de aislamiento.
    - El ahorro energético producido por el incremento del espesor de un aislamiento tiene un comportamiento asintótico, no siendo recomendable superar ciertos espesores ya que el periodo de recuperación de la inversión (pay-back) puede hacer no rentable económicamente recurrir a espesores elevados. El número de años de recuperación de la inversión se determinará dividiendo el sobre coste por incremento de aislamiento más la reducción del beneficio de venta del edificio al disminuir el área útil por el ahorro económico anual del combustible no consumido, por lo tanto dependerá de las circunstancias de un mercado cambiante.
  - Los porcentajes de acristalamiento de las fachadas. A mayor superficie acristalada mayor es la ganancia solar, la cuál será beneficiosa en invierno y perjudicial en verano.
    - Los edificios con fachada principal orientada al sur son los que menor demanda energética presentan.
    - Una buena orientación puede suplir la falta de aislamiento de un edificio.
    - El incremento de demanda por mala orientación es superior en los edificios con alto grado de aislamiento.
    - El porcentaje de acristalamiento debe limitarse para evitar sobrecalentamientos, produciéndose éste cuanto más nivel de aislamiento tenga el edificio.
    - El porcentaje óptimo de acristalamiento hay que determinarlo aplicando el balance energético del edificio, ya que la demanda dependerá de la geometría del edificio, del grado de aislamiento, de la orientación del edificio y del clima del lugar. A priori no existe un valor óptimo recomendable de forma genérica.
  - La orientación del edificio. La captación solar es diferente en función de las orientaciones de las fachadas acristaladas del edificio. En general las peores orientaciones son las expuestas al oeste y al este, siendo mejor la distribución de viviendas orientadas al sur y al norte.
  - Los sombreamientos exteriores sobre el edificio. En climas fríos la existencia de sombreamientos reduce la captación solar en invierno, siendo tan sólo beneficiosa en verano.
    - Para climas fríos, las calles que discurren del este al oeste deberán ser más anchas, pudiendo ser más estrechas las que van de sur a norte. Con esta configuración los edificios orientados al sur están lo más alejados posible entre ellos por lo que disponen de mayor captación solar en invierno. La separación

entre los edificios con orientación de fachadas oeste y este no es prioritaria desde el punto de vista energético debido a la poca variación de demanda que supone el sombreado para estas orientaciones.

- Para climas cálidos es recomendable hacer calles estrechas para favorecer el sombreado en verano entre los edificios y sobre las calles, no siendo importante la captación solar de los edificios en invierno. Con calles estrechas se generan ambientes de mayor confort, y resulta sencillo la colocación de toldos, en ausencia de arbolado que cubra prácticamente toda la calle.
- La orientación de las calles debe favorecer la máxima disposición de edificios lineales orientados al sur. Tampoco hay que pecar de exceso de linealismo, pudiéndose utilizar formas rectangulares con patios interiores (los menos adecuados), edificios en forma de L o combinaciones de éstos para no generar una ciudad carente de invariantes.
- Dado que es interesante generar la máxima separación entre los edificios en sentido de la orientación sur, se deberán colocar las zonas de aparcamiento, recreativas o de servicios entre las filas de los bloques de viviendas, de tal modo que las zonas de sombras arrojadas recaigan en estas zonas y no en las fachadas de los edificios.

10. Todas las consideraciones anteriores conducen a la conclusión operativa de la tesis: En cualquier actuación urbanística es posible un análisis sencillo, rápido y suficientemente preciso que conduzca a un mínimo relativo, limitado por las restricciones impuestas a la actuación, de la demanda energética y a la definición de aquellas normas del plan parcial correspondiente que permitan la obtención del mencionado mínimo.

En la actualidad se han desarrollado normativas en los diferentes países de Europa para mejorar la epidermis de los edificios (aislamiento, acristalamientos, sombreados, ...) con el objetivo de reducir la demanda de los edificios, todas emanadas de la Directiva europea 91/2002 sobre Eficiencia Energética de los Edificios, sin embargo no existe una normativa o directiva que incida en la escala urbana y que premie una orientación favorable de los edificios para que el arquitecto que diseña el edificio disponga de una parcela que posibilite la captación solar.

Se están dando pasos a través de proyectos europeos para diseñar urbanizaciones en las que se tengan en cuenta los criterios racionales de una ordenación urbanística que posibilite el aprovechamiento energético de los futuros edificios, en España ya existen precedentes de este tipo de actuación como Residencial Parque Goya, Valdespartera o Sarriguren, que partieron de la iniciativa y voluntad municipal o de gobiernos autonómicos.

Gracias a la normativa a escala del edificio (Nivel 3) y la aplicación de criterios bioclimáticos se puede llegar a obtener ahorros de la demanda similares a los que se obtendrían si se hubiera desarrollado un Plan Parcial que permitiera generalizar los criterios de ordenación analizados en la tesis con un coste menor en computación y mayor facilidad de modelado, añadiéndose como ventaja que la actuación global de la urbanización atendería a un gran número de edificios. La figura 6.1 plantea la situación actual y donde se incide en los niveles 2 y 3, quedando patente necesidad de que surja normativa a nivel europeo y nacional que regule las consideraciones urbanísticas en cuanto a aprovechamiento energético en los planes de desarrollo (Plan Parcial, Plan Sectorial, ...), no siendo suficiente la normativa a escala del edificio (CTE-HE1).

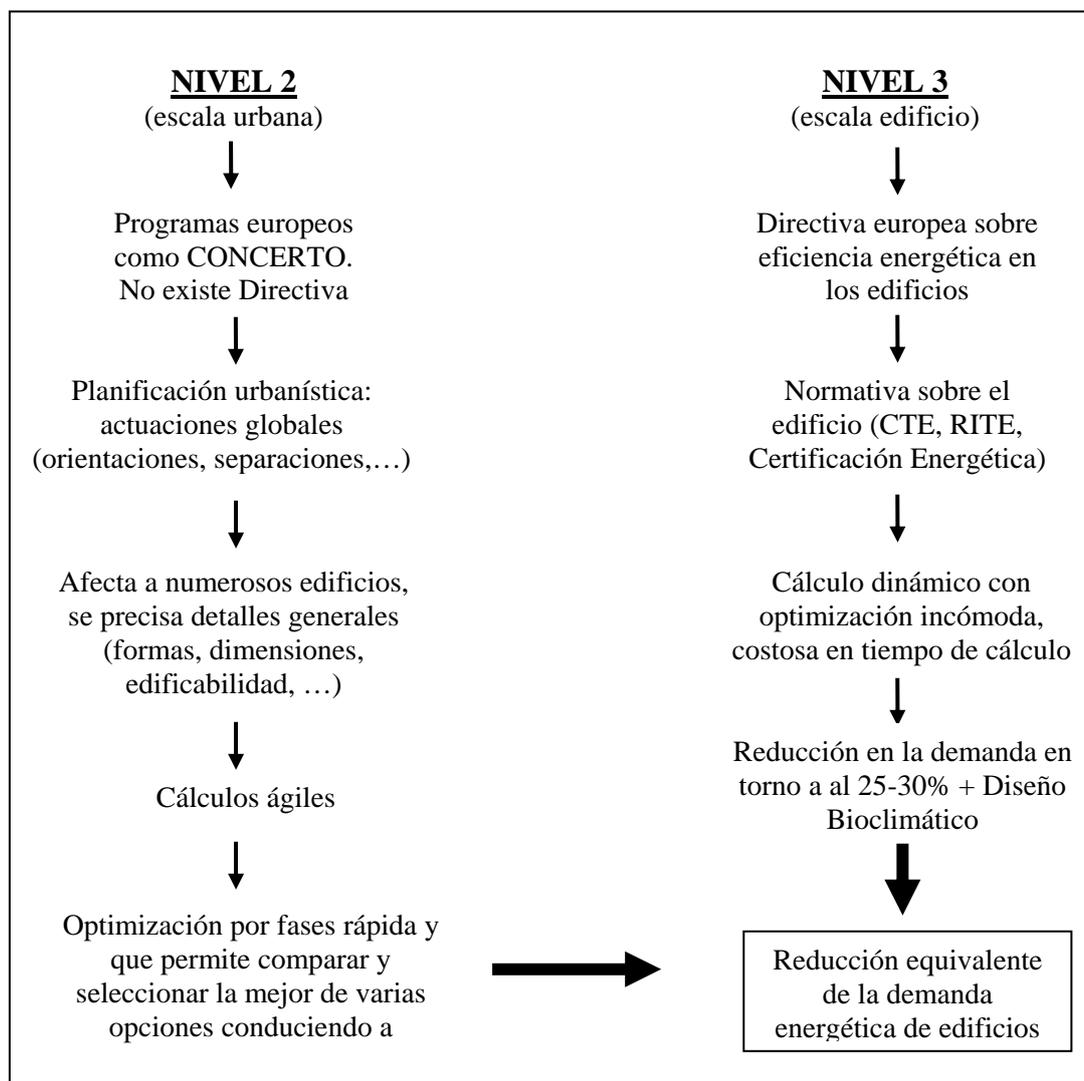


Figura 6.1. Situación actual y donde se incide en los niveles 2 y 3 del diseño, la conclusión es que si se aplicase normativa el Nivel 2 a escala urbanística se podría llegar a un nivel de reducción de la demanda similar a la aplicación de la normativa a escala del edificio, teniendo la optimización de la escala urbana un menor coste en computación y precisando de menor grado de detalle.



---

# Anexo A

## Características de materiales

---

En este anexo se incluyen las características de los materiales usados en las diferentes capas que constituyen los cerramientos de los modelos desarrollados en los cinco edificios patrón.

Estos datos son necesarios para aplicaciones de cálculo complejo, como TSBI3, donde se debe conocer todas las propiedades físicas que entran en juego en el balance energético de cerramientos, la ecuación de Fourier (Clarke J.A. 1985) es la que se resuelve en cada capa:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{c_p \rho}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} \quad [\text{A.1}]$$

$\lambda$  : conductividad térmica del material

$c_p$ : calor específico del material

$\rho$  : densidad del material

(T: temperatura; t: tiempo; x: dimensión espacial)

Como muestra la ecuación son necesarios tres parámetros para cada material. Los datos de las características han sido recopilados de la siguiente bibliografía:

- MOPT, *Norma Básica de la Edificación NBECT-79 (Condiciones Térmicas en la Edificación) (1992)*. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Obras Públicas y Transportes
- Givoni B. (1978). *L'home, l'architecture et le climat*. Editions du Moniteur
- Burbery P. (1983). *Ahorro de energía*. Hermann Blume Ediciones
- Goulding J. R., Owen Lewis J., Steemers Theo C. (1993). *Energy in architecture, the european passive solar handbook*. Commission of the European Communities
- Monroy M. (1995). *Comportamiento térmico de cerramientos soleados. Un modelo de simulación por diferencias finitas*, Departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de La Palma de Gran Canaria
- TSBI3. version c22 (1997), *TSBI3 Computer Program for Thermal Simulation of Buildings. User's Guide*. Danish Building Research Institute

En la tabla A.1 se incluyen los diferentes parámetros físicos de los materiales que conforman los cerramientos de los modelos implementados como edificios patrón.

<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor específico (J/kg K)</b>	<b>Conductividad térmica (W/m K)</b>
Aire	1.22	1005	0.174
Baldosa	2100	1000	1.28
Bovedilla hormigón	400	1050	1.39
Capa compresión	2400	805	1.63
Enlucido yeso	800	920	0.3
Fibra vidrio I	14	836	0.044
Fibra vidrio II	25	836	0.037
Fibra vidrio III	38	836	0.034
Fibra vidrio IV	55	836	0.033
Fibra vidrio V	78	836	0.031
Grava rodada	1700	920	0.8
Hormigón armado	2400	805	1.63
Hormigón ligero	800	1050	0.28
Ladrillo hueco	1200	790	0.49
Ladrillo hormigón	1000	800	0.35
Ladrillo macizo	1800	878	0.87
Ladrillo perforado	1600	790	0.76
Lamina bituminosa	1100	1000	0.19
Mortero cemento	2000	1050	1.4
Poliestireno	33	1210	0.033
Poliuretano 35	35	1570	0.023
Porexpan II	12	1400	0.044
Porexpan III	15	1210	0.037
Porexpan IV	20	1210	0.034
Teja plana	1800	780	0.75

Tabla A.1. Características físicas de materiales de construcción.

---

# Anexo B

## Radiación horaria sobre fachadas

---

Para poder llevar a cabo el balance energético de edificios es necesario determinar la radiación horaria incidente sobre los diferentes acristalamientos del mismo. El dato de partida habitual para obtenerla es la radiación solar sobre superficie horizontal, que mediante los modelos adecuados permiten calcular la radiación incidente sobre cualquier superficie.

El método de cálculo propuesto en la tesis se basa en un análisis medio mensual, por lo que en principio bastaría con conocer los datos medios mensuales climáticos, sin embargo, para poder introducir la posibilidad de sombreado sobre los acristalamientos o las fachadas se debe llevar a cabo una discretización horaria de la radiación global incidente.

En este anexo se incluye una validación del método propuesto para el cálculo de la radiación incidente en esta tesis, comparando los resultados que se obtienen con diferentes fuentes bibliográficas en las que se expone la radiación sobre diferentes superficies en localidades diversas.

### B.1. Radiación global horaria media mensual sobre horizontal

La radiación horaria que alcanza una superficie (fachada, ventana, etc) con cualquier orientación e inclinación se determina a partir de la radiación difusa ( $H_{dHh}$ ) y global ( $H_{GHh}$ ) horarias sobre horizontal.

Existen diferentes modelos para determinar los valores anteriores, depende de los valores que se disponga habrá que utilizar alguno de los modelos expuestos en Hernández M.A. (2005).

Lo más habitual es disponer del dato de la radiación global diaria media mensual sobre horizontal ( $H_{GH}$ ) o del número de horas de insolación media mensual, si se dispone de este último habrá que aplicar en primer lugar un modelo para obtener  $H_{GH}$ .

Un método valido puede ser el desarrollado por Dogniaux R. et al (1983), mostrado en la siguiente ecuación:

$$\frac{H_{GH}}{H_{GOH}} = 0.37022 + (0.00506 \times \sigma - 0.00313) \times L + 0.32029 \times \sigma \quad [B.1]$$

- $H_{GH}$ : Radiación global diaria media mensual sobre horizontal para cielo cubierto, (Wh/m<sup>2</sup> día)

- $H_{GOH}$ : Radiación global extraterrestre media diaria sobre superficie horizontal, ( $\text{Wh}/\text{m}^2$  día), su cálculo debe evaluarse para el día representativo de cada mes (Mitjà A. et al 1982).
- $L$ : Latitud del lugar analizado, ( $^\circ$ ).
- $\sigma$ : Factor de insolación (Iqbal M, 1980).

Una vez conocida la radiación global media diaria mensual aplicando el modelo de Collares – Pereira M. (1979), se puede obtener la radiación global horaria media mensual para superficie horizontal ( $H_{GHh}$ ) con la ecuación [B.2].

$$\frac{H_{GHh}}{H_{GH}} = \frac{\pi}{24} \times (a + b \times \cos w) \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}} \quad [\text{B.2}]$$

- $H_{GHh}$ : Radiación global horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal
- $H_{GH}$ : Radiación global para cielo cubierto sobre superficie horizontal.
- $ws$ : ángulo horario ( $^\circ$ ) estimado para la hora de salida del sol.
- $w$ : ángulo horario ( $^\circ$ ) estimado para la hora en cuestión, viene referido al punto medio de la hora considerada.

$$w = 15 \times (\text{hora} - 12) + \frac{\text{minutos}}{4} \quad , (^\circ) \quad [\text{B.3}]$$

- $a, b$ : coeficientes obtenidos mediante las expresiones:

$$a = 0.409 + 0.5016 \times \sin(ws - 60) \quad [\text{B.4}]$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \times \sin(ws - 60) \quad [\text{B.5}]$$

El modelo obtenido analíticamente por Collares – Pereira M. (1979) está suficientemente contrastado, como demostración se ha comparado con los datos experimentales de Barcelona analizados por Mitjà A. et al (1982) y con datos horarios de Zaragoza (Instituto Nacional de Meteorología).

En la tabla B.1 se incluyen los datos experimentales medios mensuales horarios de radiación global sobre horizontal correspondientes al periodo 1972 a 1978 en Barcelona. El registro de datos cubría los periodos de calefacción.

Partiendo de la radiación global media diaria experimental, aplicando el modelo de Collares – Pereira se ha obtenido los valores teóricos mostrados en la tabla B.2.

Para verificar el grado de aproximación se ha determinado el error horario respecto al valor de radiación global diaria. Se muestra que el error máximo es de un  $-1.3\%$ , con una desviación típica diaria máxima de  $10.1 \text{ Wh}/\text{m}^2$ , valores bajos que indican el alto grado de aproximación del método.

En la tabla B.4 se ha incluido el error medio mensual y la desviación típica para los meses de calefacción en Barcelona.

<b>Hora</b>												
<b>Mes</b>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Enero	0	22	115	234	334	379	373	331	239	125	23	0
Febrero	4	80	210	319	401	439	444	386	290	175	71	4
Marzo	29	134	277	382	485	538	554	485	398	273	148	39
Abril	104	240	373	499	587	629	624	564	475	366	224	93
Octubre	16	103	218	322	412	466	465	421	332	214	89	10
Noviembre	1	33	141	241	322	364	360	312	233	125	26	0
Diciembre	0	12	83	176	259	289	310	251	179	85	9	0

Tabla B.1. Radiación global horaria ( $\text{Wh/m}^2$ ) sobre horizontal experimental para Barcelona (Mitjà A. et al 1982).

<b>Hora</b>												
<b>Mes</b>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Enero	0	35	125	233	321	370	370	321	233	125	35	0
Febrero	11	76	188	299	388	437	437	388	299	188	76	11
Marzo	44	149	270	386	477	527	527	477	386	270	149	44
Abril	111	232	360	478	569	618	618	569	478	360	232	111
Octubre	24	102	213	322	408	455	455	408	322	213	102	24
Noviembre	0	41	133	230	310	355	355	310	230	133	41	0
Diciembre	0	22	89	176	248	289	289	248	176	89	22	0

Tabla B.2. Radiación global horaria ( $\text{Wh/m}^2$ ) sobre horizontal teórica para Barcelona.

<b>Hora</b>												
<b>Mes</b>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Enero	0,0%	0,6%	0,5%	-0,1%	-0,6%	-0,4%	-0,1%	-0,5%	-0,3%	0,0%	0,5%	0,0%
Febrero	0,3%	-0,1%	-0,8%	-0,7%	-0,5%	-0,1%	-0,2%	0,1%	0,3%	0,5%	0,2%	0,3%
Marzo	0,4%	0,4%	-0,2%	0,1%	-0,2%	-0,3%	-0,7%	-0,2%	-0,3%	-0,1%	0,0%	0,2%
Abril	0,1%	-0,2%	-0,3%	-0,4%	-0,4%	-0,2%	-0,1%	0,1%	0,1%	-0,1%	0,2%	0,4%
Octubre	0,3%	0,0%	-0,2%	0,0%	-0,1%	-0,3%	-0,3%	-0,4%	-0,3%	0,0%	0,4%	0,5%
Noviembre	0,0%	0,4%	-0,4%	-0,5%	-0,6%	-0,4%	-0,3%	-0,1%	-0,1%	0,4%	0,7%	0,0%
Diciembre	0,0%	0,7%	0,4%	0,0%	-0,6%	0,0%	-1,3%	-0,2%	-0,1%	0,3%	0,8%	0,0%

Tabla B.3 Error horario respecto al valor de radiación global diaria para Barcelona.

	Error medio (%)	Desviación típica (Wh/m <sup>2</sup> )
Enero	0,32%	6,5
Febrero	0,79%	8,9
Marzo	1,00%	9,5
Abril	0,41%	10,1
Octubre	0,65%	7,00
Noviembre	0,92%	6,5
Diciembre	0,05%	6,9

Tabla B.4 Error medio y desviación típica entre valores teóricos y experimentales para Barcelona.

A partir de los datos experimentales registrados por el INM en Zaragoza se ha realizado un análisis similar al de Barcelona, obteniendo un error horario máximo respecto al valor de radiación global diaria de  $-1.6\%$  y una desviación típica diaria máxima de  $19.1 \text{ Wh/m}^2$ . Los datos experimentales pertenecen al periodo comprendido entre septiembre de 2000 a febrero de 2001.

En la figura B.1 se muestra gráficamente (para tres días medios mensuales) la validez del método, se comprueba que los datos teóricos están muy cercanos a los experimentales.

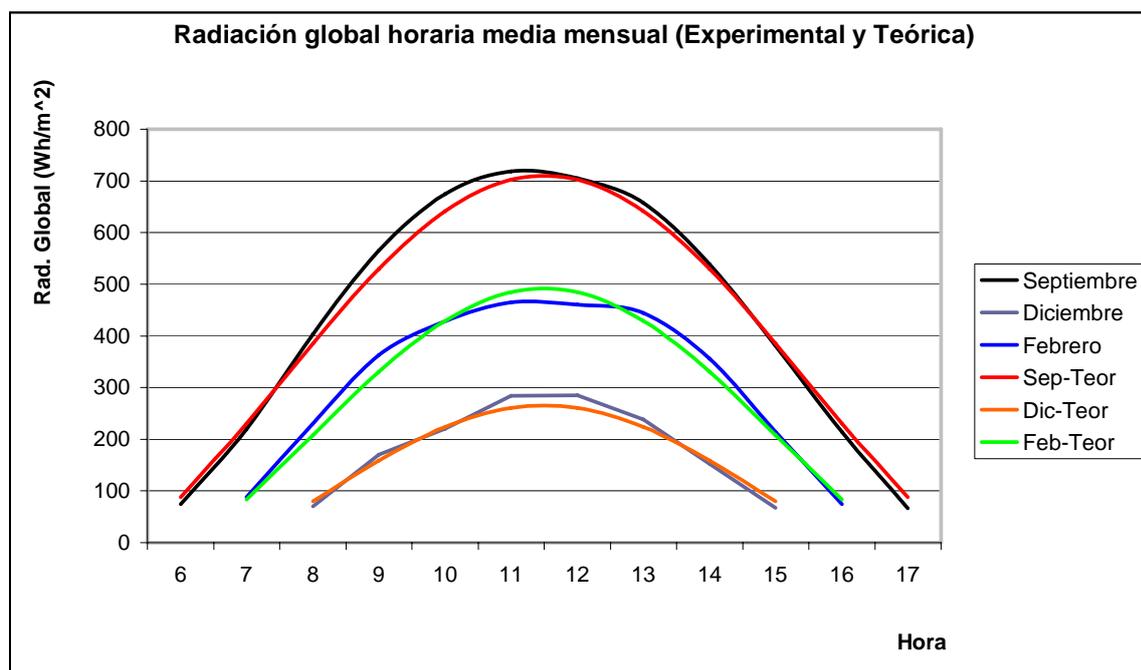


Figura B.1. Comparación de la radiación global media horaria mensual sobre horizontal para Zaragoza experimental y teórica. Se han incluido los meses de septiembre, diciembre y febrero.

## B.2. Radiación difusa horaria media mensual sobre horizontal

Para determinar la radiación difusa horaria media mensual sobre horizontal se debe conocer la radiación difusa diaria media mensual sobre horizontal ( $H_{dH}$ ), para obtener ésta existen diversos modelos que presentan diferentes grados de aproximación y de complejidad.

La radiación difusa sobre superficie horizontal se puede calcular con diferentes modelos en función de los datos climáticos conocidos de la localización ( $K_T$ ,  $\sigma$  (factor insolación)). Los modelos seleccionados como validos son los de Gopinathan K.K. et al (1995), aplicables a amplios rangos de latitud (36°N a 61°N), siendo más precisa la segunda ecuación, pero como inconveniente requiere del factor de insolación.

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.91138 - 0.96225 \times K_T \quad [B.6]$$

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.87813 - 0.3328 \times K_T - 0.53039 \times \sigma \quad [B.7]$$

En algunos casos en la población analizada se facilita sólo las horas de insolación media mensual y no se suministra el dato de la radiación global sobre horizontal ( $H_{GH}$ ). Para obtener éste, se puede recurrir a la expresión [B.1] de Dogniaux R. et al (1983) basada en el factor de insolación y en la latitud ( $L$  (°)) del lugar.

El valor medio mensual horario de radiación difusa sobre superficie horizontal ( $H_{dHh}$ ) se puede calcular a partir del valor de la radiación difusa media mensual diaria ( $H_{dH}$ ) según Collares – Pereira M. (1979):

$$\frac{H_{dHh}}{H_{dH}} = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}} \quad [B.8]$$

En las tablas D.5 y D.6 se incluyen los valores de radiación difusa horaria media mensual experimentales y teóricos para la población de Barcelona (Mitjà A. et al, 1982). El modelo parte del dato de radiación global diaria media mensual sobre horizontal experimental, al que se le ha aplicado la ecuación [B.6] para obtener la radiación difusa media diaria sobre horizontal.

Una vez determinada esta última se aplica el modelo de Collares – Pereira M. (1979), ecuación [B.8]. Este procedimiento es el que se ha seguido para obtener los datos de teóricos de la tabla B.6.

Los modelos de radiación difusa horaria son más imprecisos que los de radiación global, ya que se parte de una imprecisión en la obtención de la radiación difusa media diaria. Gopinathan K.K. et al (1995) al aplicar la ecuación [B.6] encontraron que para 40 poblaciones analizadas el error medio diario de la radiación difusa ( $H_{dH}$ ) era de 199.3 Wh/m<sup>2</sup> día.

Este es el motivo por el que se ha encontrado un error medio máximo diario para Barcelona de 14.2%, que corresponde a un error medio diario de la radiación difusa de 118.9 Wh/m<sup>2</sup> día, siendo éste inferior al obtenido por Gopinathan.

Hora Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Enero	0	13	51	83	104	113	113	92	85	50	12	0
Febrero	3	43	83	112	139	162	168	145	116	76	32	2
Marzo	17	67	119	159	188	212	212	193	171	128	79	25
Abril	57	110	156	191	210	227	226	218	193	152	102	54
Octubre	8	55	99	132	159	171	168	158	127	95	49	8
Noviembre	0	21	64	96	112	121	127	118	99	66	21	0
Diciembre	0	9	45	77	102	115	113	99	78	46	8	0

Tabla B.5. Radiación difusa horaria ( $\text{Wh/m}^2$ ) sobre horizontal experimental para Barcelona (Mitjà A. et al 1982).

Hora Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Enero	0	17	55	93	120	133	133	120	93	55	17	0
Febrero	7	40	89	128	156	171	171	156	128	89	40	7
Marzo	25	77	126	166	195	210	210	195	166	126	77	25
Abril	59	112	160	199	227	241	241	227	199	160	112	59
Octubre	14	55	104	144	172	187	187	172	144	104	55	14
Noviembre	0	23	68	107	134	149	149	134	107	68	23	0
Diciembre	0	14	49	87	114	128	128	114	87	49	14	0

Tabla B.6. Radiación difusa horaria ( $\text{Wh/m}^2$ ) sobre horizontal teórica para Barcelona con el modelo de Gopinathan (aplicando [B.6] y [B.8]).

	Error medio (%)	Desviación típica ( $\text{Wh/m}^2$ )
Enero	14,2%	10,4
Febrero	8,5%	8,0
Marzo	1,7%	4,4
Abril	5,4%	7,7
Octubre	9,4%	9,5
Noviembre	11,9%	10,7
Diciembre	11,2%	7,1

Tabla B.7 Error medio y desviación típica entre valores teóricos y experimentales de radiación difusa horaria para Barcelona.

La desviación típica media de la radiación horaria difusa para Barcelona es de  $10.7 \text{ Wh/m}^2$  día, por lo tanto el método resulta apropiado al encontrarse dentro de los márgenes de imprecisión del error medio y con una desviación típica pequeña. En la tabla B.7 se presentan los resultados estadísticos para los 7 meses analizados.

### B.3. Radiación directa horaria media mensual sobre horizontal

La radiación directa horaria ( $H_{DHh}$ ) sobre horizontal se obtiene como diferencia entre la global y la difusa.

$$H_{DHh} = H_{GHh} - H_{dHh} \quad [B.9]$$

Para determinar la radiación global horaria sobre una superficie inclinada hay que calcular independientemente las componentes de radiación difusa y directa incidentes sobre ésta. Si la superficie está sombreada no existirá componente directa ya que es anulada por la obstrucción, siendo la radiación global igual a la difusa.

La ecuación [B.10] permite obtener la radiación difusa horaria ( $H_{dh}$ ) sobre una superficie inclinada.

$$H_{dh} = \frac{1 + \cos s}{2} \times H_{dHh} + a \times \frac{1 - \cos s}{2} \times H_{GHh} \quad [B.10]$$

- $a$ : coeficiente reflexividad del suelo (albedo).
- $s$ : ángulo de inclinación de la superficie colectora respecto a la horizontal, ( $^{\circ}$ ).

Para determinar la radiación directa horaria sobre la superficie hay que determinar el ángulo de incidencia, conformado entre la dirección normal a la superficie y el rayo solar (definido por el acimut y la altura solar). En la figura B.2 se muestra el ángulo de incidencia ( $i$ ).

Para determinar matemáticamente el ángulo de incidencia se puede utilizar la siguiente expresión (Markus T.M. et al 1980):

$$\cos(i) = \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \sin(s) + \sin(h) \times \cos(s) \quad [B.11]$$

- $i$ : Ángulo de incidencia.
- $h$ : Altura solar.
- $\gamma$ : Ángulo definido entre el acimut y la proyección de la dirección normal sobre la horizontal de la superficie inclinada.
- $s$ : Inclinación de la superficie plana respecto a la horizontal.

El cálculo de la altura solar y el acimut se pueden realizar con las ecuaciones clásicas utilizadas por los diferentes autores, por ejemplo las definidas por Iqbal M. (1980).

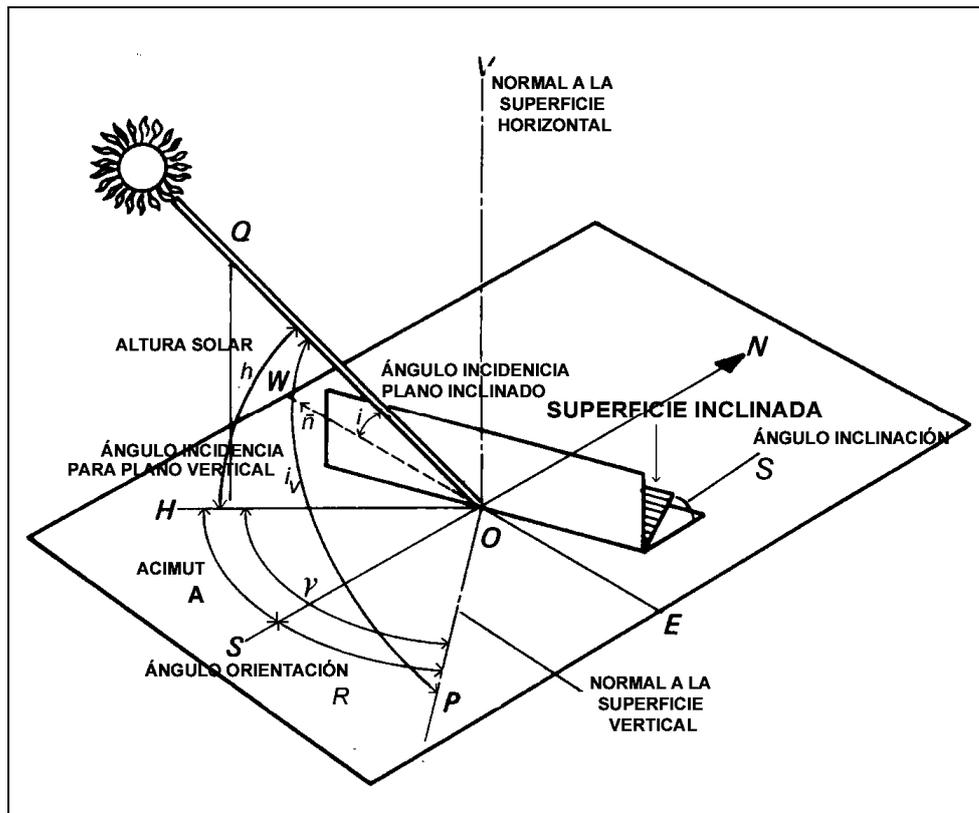


Figura B.2. Ángulo de incidencia ( $i$ ) definido entre el rayo solar y la dirección normal a una superficie con inclinación  $S$  y orientación  $R$ .

La radiación directa horaria ( $H_{Dh}$ ) que incide sobre la superficie en ausencia de sombreado será:

$$H_{Dh} = H_{Dh} \times \frac{\cos(i)}{\sin(h)} \quad [\text{B.12}]$$

Una vez obtenida la radiación directa y difusa horaria sobre la superficie analizada, la radiación global horaria ( $H_{Gh}$ ) es:

- Sin sombreado

$$H_{Gh} = H_{Dh} + H_{dh} \quad [\text{B.14}]$$

- Con sombreado

$$H_{Gh} = H_{dh} \quad [\text{B.15}]$$

## B.4. Validación del cálculo de la radiación horaria sobre superficies

En este apartado se muestran diferentes comparaciones de resultados de radiación global incidente sobre superficies verticales obtenidas con el método propuesto frente a otros modelos desarrollados en la bibliografía por otros autores.

Los datos patrón con los que se han comparado los resultados del modelo teórico propuesto han sido extraídos de diferentes publicaciones, las poblaciones analizadas y las referencias son:

- Madrid (latitud 40.2°N), Yañez G. (1988).
- Zaragoza (latitud 41.63°N), Turégano J.A. et al (1994).
- Trier (latitud 49.7°N), Goulding J. R. et al (1993).
- Hamburg (latitud 53.4°N), Goulding J. R. et al (1993).

En las figuras B.3 a B.6 se muestran las evoluciones anuales de radiación global incidente sobre superficies verticales con diferentes orientaciones (sur, este o norte), las gráficas incluyen las curvas de datos de bibliografía y las teóricas, éstas han sido obtenidas con los modelos expuestos en el apartado anterior.

Los resultados teóricos tienen bastante concordancia con los de bibliografía como muestran las siguientes figuras.

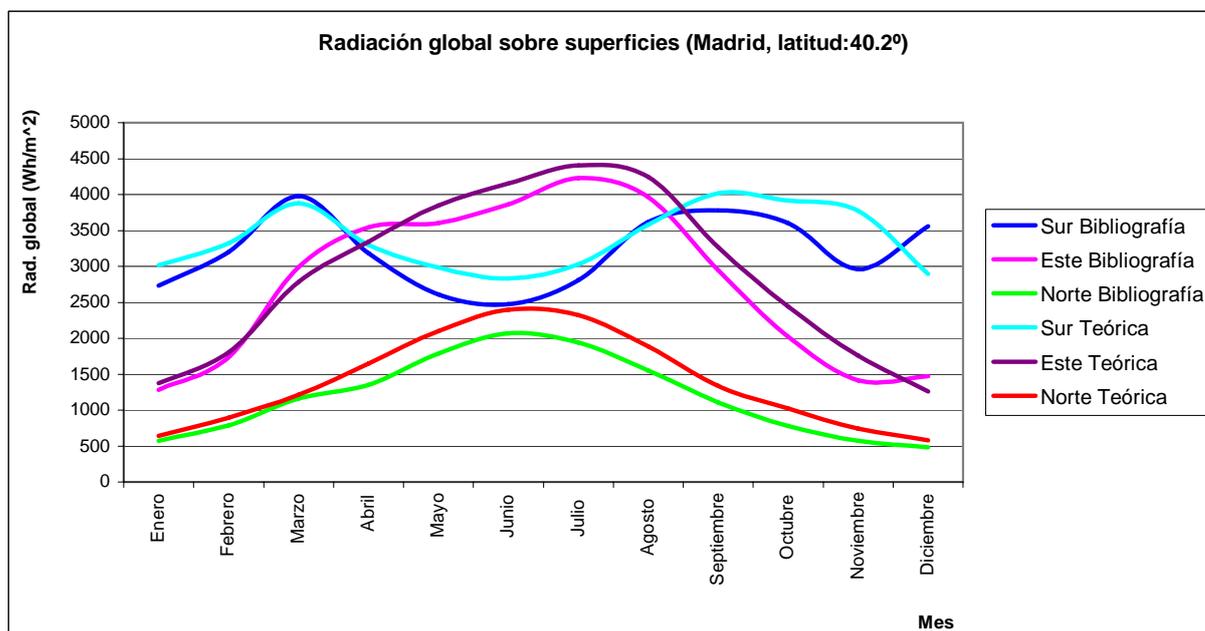


Figura B.3. Radiación global media mensual de bibliografía (Yañez G., 1988) y teórica de Madrid sobre superficies verticales con orientaciones: sur, este y norte.

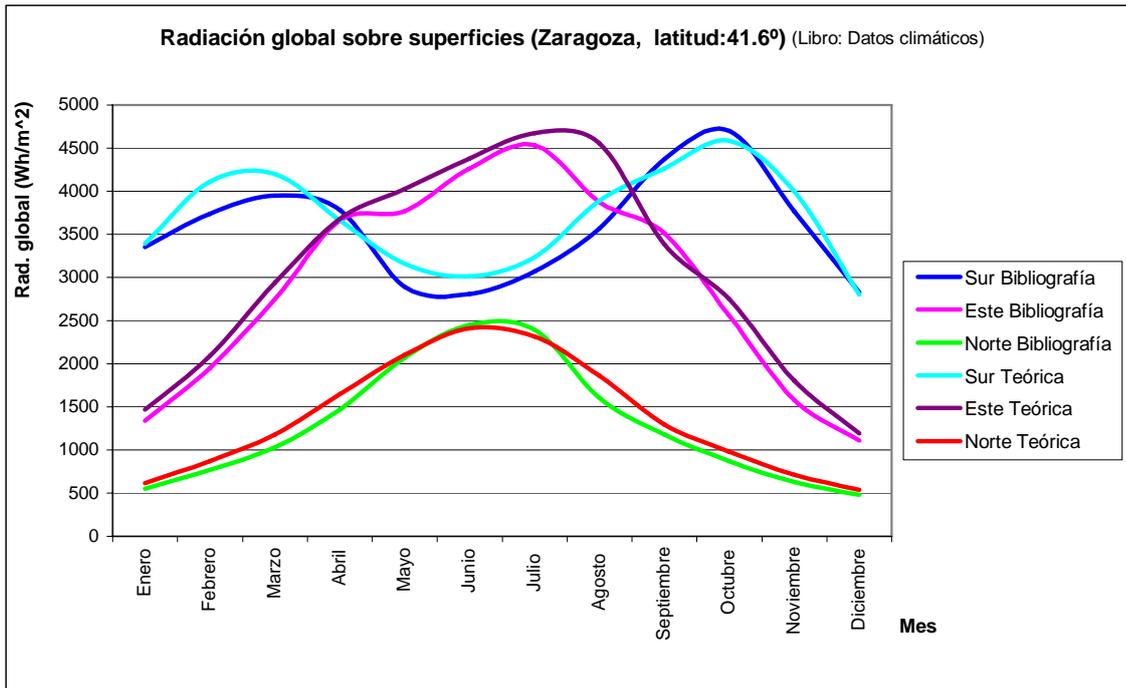


Figura B.4. Radiación global media mensual de bibliografía (Turégano J.A. et al, 1994) y teórica de Zaragoza sobre superficies verticales con orientaciones: sur, este y norte.

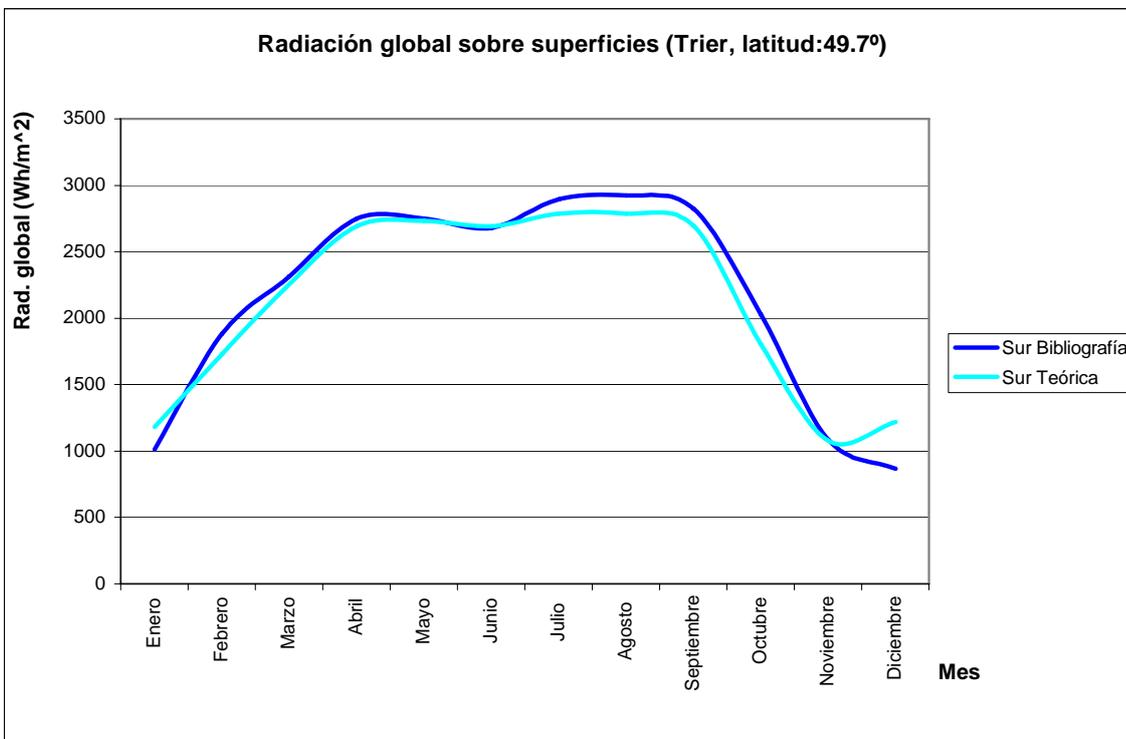


Figura B.5. Radiación global media mensual de bibliografía (Goulding J. R. et al, 1993) y teórica de Trier sobre superficie vertical con orientación sur.

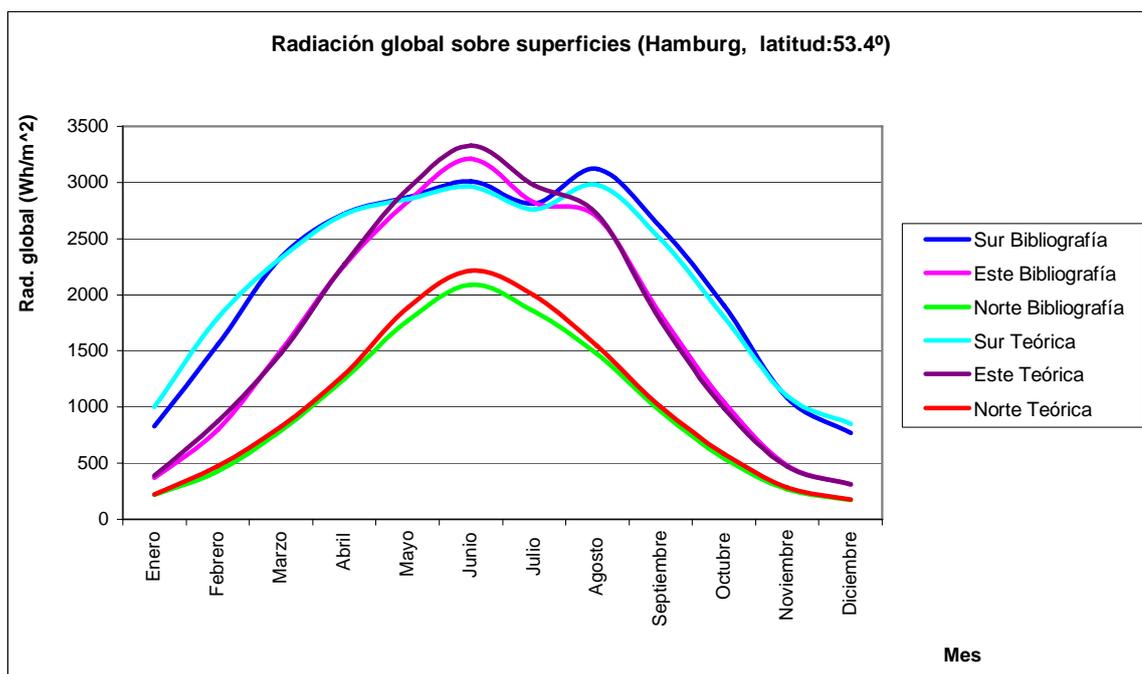


Figura B.4. Radiación global media mensual de bibliografía (Goulding J. R. et al, 1993) y teórica de Hamburg sobre superficies verticales con orientaciones: sur, este y norte.

Modelo Liu-Jordan	Madrid		Zaragoza		Trier		Hamburg	
	PME	DT	PME	DT	PME	DT	PME	DT
Sur	-7,6%	11,4%	-5,2%	6,9%	4,3%	34,7%	-4,1%	5,8%
Este	-4,4%	10,8%	-5,8%	7,7%			-0,6%	6,5%
Norte	-14,4%	17,7%	-4,0%	4,7%			-3,7%	8,0%
<b>Modelo Page</b>								
Sur	-5,0%	10,9%	-2,9%	5,7%	9,4%	35,8%	1,7%	4,4%
Este	-3,2%	10,8%	-4,0%	7,7%			2,4%	5,1%
Norte	-20,9%	19,2%	-10,5%	7,9%			-10,5%	11,0%
<b>Modelo Collares-Rabl</b>								
Sur	-9,4%	12,1%	-6,6%	8,4%	-5,4%	35,1%	-15,1%	11,8%
Este	-3,4%	10,0%	-3,8%	6,6%			-2,8%	3,7%
Norte	-24,4%	27,5%	-17,4%	18,9%			-1,9%	14,4%
<b>Modelo Gopinathan - Soler</b>								
Sur	-6,2%	11,2%	-3,8%	5,7%	-1,6%	7,1%	-2,5%	5,0%
Este	-5,6%	8,9%	-6,6%	8,1%			-1,5%	4,3%
Norte	-19,1%	17,4%	-9,4%	8,9%			-5,5%	7,1%

Tabla B.8. Datos porcentuales de error medio (PME) y de desviación típica (DT) de la radiación global media mensual sobre superficie vertical respecto a los datos de bibliografía para diferentes orientaciones y poblaciones con diferentes modelos de cálculo teórico.

En la tabla B.8 se han incluido los datos porcentuales de error medio (PME) y la desviación típica (DT) de la radiación global media mensual sobre superficie vertical para diferentes orientaciones y poblaciones con diferentes modelos de cálculo, respecto a los datos que figuran en las diferentes referencias bibliográficas.

Se han utilizado cuatro modelos diferentes de cálculo teórico de la radiación difusa diaria media sobre horizontal que conducen a diferentes resultados de radiación incidente.

El modelo propuesto en la tesis como válido es el de Gopinathan K.K. et al (1995), este presenta junto con el modelo de Liu-Jordan los valores más bajos de error medio y desviación típica, habiendo sido contrastado el método de Gopinathan para mayor número de poblaciones (40 localidades comprendidas entre las latitudes 36°N y 61°N).

---

# Anexo C

## Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial de Residencial Parque Goya

---

En este anexo se ha incluido una descripción de la urbanización Residencial Parque Goya de Zaragoza, que fue concebida desde sus inicios con características bioclimáticas, marcándose un hito importante al ser la primera vez que en España en un Plan Parcial se incluían condicionantes bioclimáticos.

Este Plan Parcial no sólo incluye los aspectos más formales del urbanismo (edificabilidad, alturas máximas permitidas, alineaciones,...) su importancia radica en que se ponían las reglas del juego a los arquitectos para diseñar edificios de bajo consumo, habiéndolos dotado de buena orientación (sur – norte) en la mayor parte de los casos y considerándose además unas separaciones entre edificios para redujera las sombras en invierno entre ellos. A escala del edificio se obligaba también a un mayor nivel de aislamiento o a la diferenciación de acristalamiento por fachadas, factores que contribuyen a la reducción de la demanda. En el punto C.1 se describe el área urbana incluyendo lo parámetro urbanísticos.

En el apartado C.2 se incluye un extracto del Plan Parcial de las Áreas 2, 3, 5 y 6 del Actur ‘Puente de Santiago’ de Zaragoza, esta zona urbana se conoce como Residencial Parque Goya.

La urbanización está situada al norte de Zaragoza en la encrucijada entre la autopista Barcelona – Zaragoza y la autovía Huesca – Zaragoza.

A continuación se adjunta un extracto de las Ordenanzas Reguladoras del Plan Parcial en las que se puede verificar las limitaciones bioclimáticas a aplicar en bloques y en unifamiliares. La documentación presentada se divide en tres bloques:

- Página 1 a 6 incluye el ámbito de aplicación, la calificación del suelo, planificación para el desarrollo urbano y los condicionantes técnicos de las infraestructuras.
- Página 7 a 14 muestra los condicionantes paramétricos de la Parcela 1 fijando la edificabilidad, limitación de alturas, rentranqueos y alineaciones. En el punto 3 (página 9) comienza la descripción de las ‘Limitaciones Bioclimáticas’ planteadas para los bloques de vivienda. Desde la página 15 a la 128, en el Plan Parcial se incluyen los parámetros edificatorios de todas las parcelas de bloque de Residencial Parque Goya, siendo estas hojas similares para todas las parcelas.

- Página 129 a 135 recogen los parámetros urbanísticos impuestos para las viviendas unifamiliares y las 'Limitaciones Bioclimáticas' para este tipo de viviendas.

## C.1. Descripción de la actuación urbanística de Residencial Parque Goya

En este apartado se muestra un extracto de los parámetros urbanísticos aplicados en Residencial Parque Goya (Zaragoza), urbanización de 3.500 viviendas de protección oficial configurada teniendo en cuenta el aprovechamiento solar. El nombre inicial de ésta, era Ciudad Jardín Puerta de los Pirineos.

En la urbanización se realizó un entramado de calles que permitía que el 90% de los edificios tuvieran las fachadas principales orientadas al sur.

Al este, el sector limita con la calle San Juan de la Peña manteniendo los edificios colindantes la alineación respecto a esta vía.

En los edificios que limitan con esta calle, la fachada principal está mal orientada (este) desde el punto de visto energético, habiéndose mantenido esta configuración por el condicionante que representaba unir la urbanización a la calle limítrofe. El porcentaje de edificios orientados de forma incorrecta tan sólo representaba el 10% respecto al total de Residencial Parque Goya.

En la figura C.1 se muestra un plano de la distribución de usos de la urbanización, señalando la ubicación de zonas de servicios (centros de salud, comerciales, equipamiento escolar, etc).

Residencial Parque Goya se ha ejecutado en tres fases, estando prácticamente construidos todos los edificios de la Fase I y en la actualidad se está terminando las Fase II y III.

El Plan Parcial de Residencial Parque Goya estaba condicionado al cumplimiento de la Ley del Suelo del año 1992 y del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza en vigor en la fecha de la redacción del Plan Parcial. A continuación se enuncian los principales parámetros de la urbanización que cumplía sobradamente con los límites de mínimos marcados en la citada legislación.

Superficie neta del sector                      537.291 m<sup>2</sup>      (superficie terreno)

Calificación    Zona H-2 Grado 1

Según el P.G.O.U. de Zaragoza para esta calificación se tiene que tener en cuenta:

- Edificabilidad máxima sobre suelo neto del sector: 1m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
(como máximo se puede construir 537.291 m<sup>2</sup>)
- Edificabilidad máxima para uso de viviendas: 0.825m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
(una parte (1-0. 825m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) de la construcción se destina a uso no residencial (bares, oficinas, comercios, centros deportivos, etc))
- Densidad máxima de 75 viviendas/Ha  
(permite establecer las alturas máximas en edificios en relación con su planta)

- Tipo de Ordenación: se limita la altura de bloques a 8 plantas o 10 en casos excepcionales
- Condiciones de uso: el dominante será de viviendas, y los usos compatibles y prohibidos se ajustarán a lo establecido par la Zona A-2 y Zona A-3 (unifamiliares) según el P.G.O.U.
- La Edificabilidad para bloques es mayor que para unifamiliares (3.86, 4.62, etc frente a 0.9).

En principio cabría pensar que la edificabilidad definida para cada parcela es mayor que la definida para el sector, y que se podría exceder el total construible.

El valor que hay que controlar es el total construido residencial para todas las parcelas (374.829 m<sup>2</sup>), que debe ser inferior al máximo permisible (537.291 m<sup>2</sup>\*0.825 = 443.265 m<sup>2</sup>), cumpliéndose en este caso la Ley del Suelo al no haberse agotado la edificabilidad residencial.

- En cuanto al espacio reservado para uso comercial, equipamiento social y deportivo se alcanza los 121.375 m<sup>2</sup> construidos.

En total se destina para uso comercial en las parcelas 12.801 m<sup>2</sup> (Este) y 11.221 m<sup>2</sup> (Oeste).

El total construible alcanza 520.226 m<sup>2</sup> inferior al límite marcado en la Ley del Suelo (1m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> edificabilidad de la urbanización).

- La dotación para espacios libres (jardines y áreas de juego y recreo) como mínimo debe ser de 18 m<sup>2</sup>/vivienda, en este caso se han contemplado 21 m<sup>2</sup>/vivienda.
- La reserva para centros docentes es de 16 m<sup>2</sup>/vivienda superior al mínimo de 10 m<sup>2</sup>/vivienda.
- Las reservas mínimas para equipamiento deportivo son de 8 m<sup>2</sup>/viv, las de equipamiento comercial son de 4 m<sup>2</sup>/viv y las de equipamiento social son de 6 m<sup>2</sup>/viv, todas estas cantidades han sido superadas con la asignación de espacios en el Plan Parcial.
- Para aparcamiento se exige una plaza por cada 100 m<sup>2</sup> de edificación residencial y comercial. Además en el Plan se han añadido 1.342 plazas de aparcamiento en la red viaria.

El proceso de Planeamiento de los terrenos comenzó por la expropiación de terrenos de carácter rústico a bajo precio (0,48 €/m<sup>2</sup> - 80 ptas/m<sup>2</sup>), y la posterior recalificación como urbanizable programado.

El propietario inicial del terreno era la DGA (ISVA), que tenía que redactar y ejecutar el proyecto de urbanización a su costa, correspondiendo a los propietarios posteriores la urbanización interior de cada parcela.

El precio de los terrenos para cada parcela fue variable, oscilando en una repercusión por vivienda entre 7.212 €/vivienda (1.200.000 ptas/vivienda) y 10.217 €/vivienda (1.700.000 ptas/vivienda). Era un precio muy barato, y se fijó en estas cuantías para promover la construcción de viviendas VPO (viviendas de protección oficial), y poder incluir medidas bioclimáticas en el Pliego de Condiciones que encarecieran la construcción de cada vivienda alrededor de 4.808 €/vivienda

(800.000 ptas/vivienda), sobrecoste perfectamente asumible en el proceso constructivo al ser el precio del suelo muy bajo y tener un precio de venta limitado.

El precio de venta a los cooperativistas en la primera fase de una vivienda de 90 m<sup>2</sup> ha sido de 63106,2 €/vivienda (10,5 millones ptas/vivienda).



Figura C.1. Plano de Residencial Parque Goya donde se muestran los usos (Turégano J.A. et al 1995).

En las figuras C.2 y C.2 se han incluido las fases de construcción de la urbanización y una vista virtual de ésta en la que se pueden observar los volúmenes edificatorios empleados en el sector.

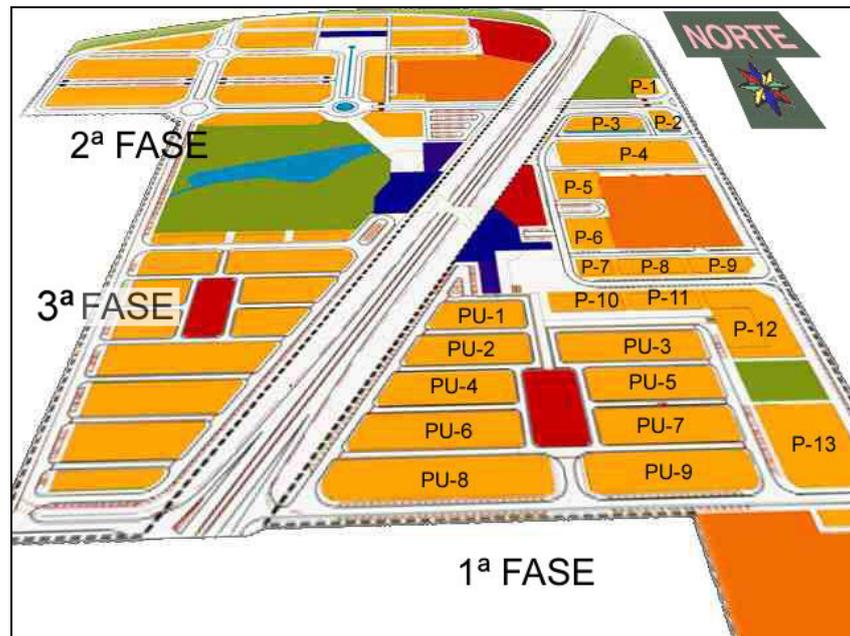


Figura C.2. Fases de ejecución del Plan Parcial de Residencial Parque Goya. En la zona de la Fase I se muestra la distribución de parcelas en las que se ubicarán los edificios residenciales.



Figura C.3. Imagen virtual del aspecto de Residencial Parque Goya. En la zona sur se puede observar los unifamiliares quedando reservada para bloques desde la mitad del área hasta el límite norte. La imagen permite comprobar las diferentes alturas de los edificios y las tipologías constructivas utilizadas.

Uso	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ocupación (%)
Zona residencial	160.153	29,8
Zona comercial	15.820	3,0
Equipamiento social	5.432	1,0
Equipamiento deportivo	32.294	6,0
Equipamiento escolar	56.467	10,5
Espacios libres verdes de uso y dominio público	87.760	16,3
Zonas de servicios para infraestructuras	3.312	0,6
Viales y aparcamientos	176.053	32,8
<b>TOTAL</b>	<b>537.291</b>	<b>100,0</b>

Tabla C.1. Distribución de usos y superficies destinadas para éstos en Residencial Parque Goya de Zaragoza.

Los parámetros de edificabilidad de las parcelas en Residencial Parque Goya se adjuntan en las tablas C.2 a C.5. En éstas se incluye la superficie de las parcelas, la edificabilidad residencial y comercial y el número de viviendas de cada parcela.

Zona Este	Superficie	Edificabilidad	Edificabilidad residencial	Edificabilidad comercial	Edificabilidad total	N.º viviendas
Parcela P-1	1.315	3,86	4.519	557	5.076	43
Parcela P-2	1.098	4,62	4.519	554	5.073	43
Parcela P-3	2.605	2,66	6.929	—	6.929	65
Parcela P-4	7.030	2,68	18.840	—	18.840	178
Parcela P-5	2.261	1,73	3.912	—	3.912	37
Parcela P-6	1.945	1,88	3.657	—	3.657	34
Parcela P-7	925	3,74	2.853	607	3.460	27
Parcela P-8	1.575	4,10	5.326	1.132	6.458	50
Parcela P-9	1.354	4,73	5.376	1.028	6.404	51
Parcela P-10	1.700	4,13	5.801	1.110	7.021	55
Parcela P-11	1.575	4,10	5.326	1.132	6.458	50
Parcela P-12	4.622	3,77	14.714	2.711	17.425	139
Parcela P-13	4.156	3,05	10.344	2.331	12.675	98
Parcela P-14	1.531	5,45	6.815	1.531	8.344	64

Tabla C.2. Parámetros edificatorios de los bloques de viviendas en las parcelas (P-1 a P-14) de Residencial Parque Goya de la zona Este de la urbanización. (Fuente: Turégano J.A. et al, 1995)

Zona Este	Superficie	Edificabilidad	Edificabilidad residencial	Edificabilidad comercial	Edificabilidad total	N.º viviendas
Parcela U-1	2.313	0,9	2.082	—	2.082	17
Parcela U-2	2.946	0,9	2.651	—	2.651	21
Parcela U-3	3.579	0,9	3.221	—	3.221	26
Parcela U-4	3.067	0,9	2.760	—	2.760	23
Parcela U-5	3.098	0,9	2.788	—	2.788	24
Parcela U-6	3.700	0,9	3.330	—	3.330	27
Parcela U-7	3.098	0,9	2.788	—	2.788	24
Parcela U-8	4.761	0,9	4.285	—	4.285	36
Parcela U-9	3.556	0,9	3.200	—	3.200	26

Tabla C.3. Parámetros edificatorios de las viviendas unifamiliares en las parcelas (PU-1 a PU-9) de Residencial Parque Goya de la zona Este de la urbanización. (Fuente: Turégano J.A. et al, 1995)

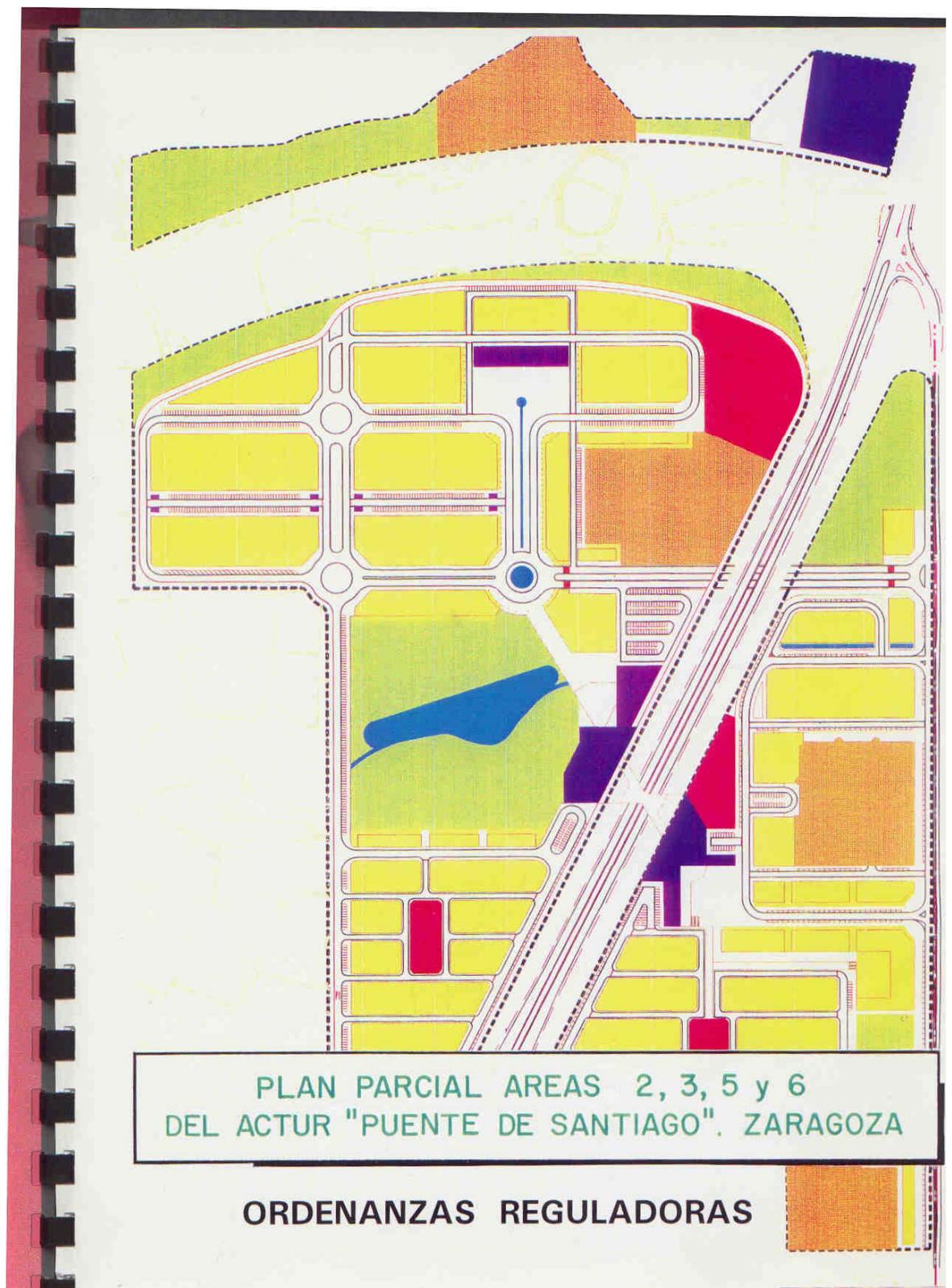
Zona Oeste	Superficie	Edificabilidad	Edificabilidad residencial	Edificabilidad comercial	Edificabilidad total	N.º viviendas
Parcela P-15	1.117	2,58	2.882	—	2.882	27
Parcela P-16	782	2,82	2.205	—	2.205	21
Parcela P-17	904	2,44	2.206	—	2.206	21
Parcela P-18	3.865	3,29	11.196	1.520	12.716	106
Parcela P-19	7.689	2,83	21.760	—	21.760	205
Parcela P-20	5.566	2,98	18.741	826	19.567	177
Parcela P-21	8.975	3,05	27.373	—	27.373	258
Parcela P-22	7.771	3,31	24.710	1.012	25.722	243
Parcela P-23	3.261	4,73	13.037	2.387	15.424	123
Parcela P-24	703	4,34	2.616	435	3.051	25
Parcela P-25	3.558	3,27	9.047	2.588	11.635	85
Parcela P-26	1.833	3,44	6.306	—	6.306	59
Parcela P-27	4.320	2,75	11.880	—	11.880	112
Parcela P-28	5.715	3,75	20.200	1.231	21.431	191
Parcela P-29	5.729	3,75	20.224	1.222	21.446	191
Parcela P-30	3.507	2,95	10.346	—	10.346	98
Parcela P-31	2.868	4,32	12.390	—	12.390	117
Parcela P-32	3.514	2,95	10.366	—	10.366	98

Tabla C.4. Parámetros edificatorios de los bloques de viviendas en las parcelas (P-14 a P-32) de Residencial Parque Goya de la zona Oeste de la urbanización. (Fuente: Turégano J.A. et al, 1995)

Zona Oeste	Superficie	Edificabilidad	Edificabilidad residencial	Edificabilidad comercial	Edificabilidad total	N.º viviendas
Parcela U-10	2.128	0,9	2.915	—	1.915	16
Parcela U-11	3.419	0,9	3.077	—	3.077	26
Parcela U-12	1.527	0,9	1.374	—	1.374	12
Parcela U-13	2.260	0,9	2.034	—	2.034	17
Parcela U-14	1.527	0,9	1.374	—	1.374	12
Parcela U-15	1.622	0,9	1.460	—	1.460	11
Parcela U-16	4.002	0,9	3.602	—	3.602	29
Parcela U-17	3.366	0,9	3.029	—	3.029	25
Parcela U-18	2.730	0,9	2.457	—	2.457	19
Parcela U-19	1.095	0,9	986	—	986	8

Tabla C.5. Parámetros edificatorios de las viviendas unifamiliares en las parcelas (PU-10 a PU-19) de Residencial Parque Goya de la zona Este de la urbanización. (Fuente: Turégano J.A. et al, 1995)

## C.2. Ordenanzas reguladoras de Residencial Parque Goya



**PLAN PARCIAL AREAS 2, 3, 5 Y 6 DEL  
ACTUR "PUENTE DE SANTIAGO"  
ZARAGOZA**

**ORDENANZAS REGULADORAS**

**AGOSTO 1994**

## **ORDENANZAS REGULADORAS**

### **1.- GENERALIDADES.-**

#### **1.1.- Contenido.-**

Las presentes Ordenanzas Reguladoras establecen la reglamentación del Régimen Urbanístico y de la Edificación en el Sector de las Areas 2, 3, 5 y 6 del Actur "*PUENTE DE SANTIAGO*" Zaragoza según lo dispuesto en el Art. 61 del Reglamento de Planeamiento.

#### **1.2.- Ambito de Aplicación.-**

Su ámbito de aplicación es la totalidad del suelo incluido en el Sector de las Areas 2, 3, 5 y 6 del Actur "*PUENTE DE SANTIAGO*" en Zaragoza, recogido en la modificación del P.G.O.U. de Zaragoza.

#### **1.3.- Vigencia.-**

Las presentes Ordenanzas entrarán en vigor con la aprobación definitiva.

#### **1.4.- Conocimiento obligado de las Ordenanzas.-**

Todo promotor de edificación o técnico responsable de la misma, por el solo hecho de firmar una solicitud de obra, declara conocer las condiciones que se exigen en las presentes Ordenanzas, aceptando la responsabilidad que se derive de su errónea aplicación.

#### **1.5.- Aplicación e Interpretación.-**

Corresponde al Ayuntamiento de Zaragoza, en el ámbito de su competencia, la aplicación de las presentes Ordenanzas.

## **2.- REGIMEN URBANISTICO DEL SUELO.-**

### **2.1.- Calificación del Suelo.-**

Los terrenos objeto de ordenación son calificados por el Plan Parcial en:

- Zona residencial.
- Zona libre pública o zona verde.
- Zona de equipamiento escolar.
- Zona de equipamiento social.
- Zona comercial.
- Zona deportiva.
- Zona de servicios.
- Viales.

Las zonas están delimitadas en el plano de proyecto P-2 (Calificación y Regulación de usos del suelo).

### **2.2.- Desarrollo del Planeamiento. Estudios de Detalle.-**

Si fuese preciso completar o adaptar determinaciones del Plan Parcial, se redactarán los Estudios de Detalle que fuesen necesarios.

Su contenido tendrá por finalidad prever o reajustar el señalamiento de alineaciones y/o rasantes o la ordenación de volúmenes de acuerdo con las especificaciones del Plan Parcial, sin que ello suponga en ningún caso aumento de edificabilidad.

Los estudios de detalle se ajustarán en los dispuesto sobre ellos en la Ley del Suelo y en el capítulo sexto del Reglamento de Planeamiento.

**2.3.- Ejecución del Planeamiento.-**

**2.3.1.- Gestión.-**

Se establece el Sistema de Compensación para la gestión del Sector.

**2.3.2.- Proyectos de Urbanización.-**

Son proyectos de obras cuya finalidad es llevar a la práctica la realización material de las determinaciones del Plan Parcial.

Estas determinaciones se refieren a vialidad, abastecimiento de agua, alcantarillado, energía eléctrica, alumbrado público, jardinería y otras instalaciones públicas.

Los proyectos de urbanización constituyen el instrumento de desarrollo del Plan Parcial, no pudiendo por sí mismos contener determinaciones sobre Ordenación, Régimen del Suelo o de la Edificación.

Los proyectos de urbanización comprenderán los siguientes documentos:

- 1.- Memoria descriptiva de las características de las obras.
- 2.- Planos de información y de situación en relación con el conjunto urbano.
- 3.- Planos de proyecto y de detalle.
- 4.- Pliego de condiciones técnicas particulares.
- 5.- Mediciones.
- 6.- Cuadros de precios descompuestos.
- 7.- Presupuesto.

Las obras de urbanización a incluir en el proyecto de urbanización que deberán ser desarrolladas en los documentos relacionados en el párrafo anterior, serán las siguientes:

- a) Pavimentación de calzadas, aparcamientos, aceras, red peatonal y espacios libres.

- b) Redes de distribución de agua potable, de riego y de hidrantes contra incendios.
- c) Red de alcantarillado para evacuación de aguas pluviales y residuales.
- d) Red de distribución de energía eléctrica.
- e) Jardinería en el sistema de espacios libres.

Se incluirá en el proyecto de urbanización la canalización de líneas telefónicas, gas y red domótica.

Los proyectos de urbanización deberán resolver el enlace de los servicios urbanísticos con los generales de la ciudad y acreditar que tienen capacidad suficiente para atenderlos.

### **3.- CONDICIONES TECNICAS DE LAS INFRAESTRUCTURAS.-**

#### **3.1.- Red Viaria.-**

Los diferentes elementos que componen el perfil tipo del vial tendrán como base las dimensiones y características definidas en el Plan Parcial y que se especifican en los correspondientes planos.

La estructura del firme y el espesor y los materiales que constituyen sus capas, se ajustarán a las necesidades del tráfico rodado y a las características del terreno. Su cálculo y dimensionamiento se realizará de acuerdo con la normativa vigente del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

Todos estos elementos técnicos podrán ser modificados de forma justificada en el proyecto de urbanización, sin que ello suponga una alteración en la Ordenación prevista en el Plan Parcial.

### **3.2.- Suministro de Agua.-**

La procedencia de las aguas será de la Red Municipal y para las zonas de riego de la acequia existente. La toma se realizará en el punto indicado, justificándose su cambio en el proyecto de urbanización si fuera necesario.

Las redes de conducción y distribución cumplirán las condiciones que para las mismas se fijan en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de Abastecimiento del MOPU (O.M. de 28 de Julio de 1974).

### **3.3.- Saneamiento.-**

Las redes de Saneamiento serán de tipo unitario y conectarán con el colector municipal existente.

Los caudales de cálculo de aguas fecales se obtendrán a partir de los de abastecimiento incrementados en 20 l/s. por las cámaras de descarga y las de aguas pluviales por los métodos clásicos a partir de la pluviometría de la zona.

Las redes se proyectarán con tuberías circulares que cumplan las Prescripciones Técnicas del Pliego General de tuberías para saneamiento del MOPT.

### **3.4.- Electricidad y Alumbrado.-**

El suministro de energía eléctrica se efectuará con arreglo a las dotaciones previstas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y de la compañía suministradora.

### **3.5.- Conducción Telefónica.-**

Se seguirán los criterios de la C.T.N.E. para la determinación del número de líneas necesarias y del tipo de tendido a utilizar.

### **3.6.- Conducción de Gas.-**

Se seguirán los criterios fijados por GAS ARAGON, S.A.

### **4.- NORMAS DE EDIFICACION.-**

A continuación se establecen las normas urbanísticas necesarias que garantizan las condiciones de edificación en cada uso pormenorizado previsto.

Por haber sido necesario relacionar la edificación resultante en cada parcela con los diferentes parámetros bioclimáticos que garanticen una arquitectura de este tipo, se desglosan parcela por parcela las condiciones particulares de la edificabilidad y tipología de las mismas.

**P - 1**

SUPERFICIE TOTAL .....	1.315,00 m <sup>2</sup> .
EDIFICABILIDAD .....	3,86 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> .

**1.- LIMITACIONES DE VOLUMEN.-**

El tipo de ordenación será en bloque único aislado.

**1.1.- Limitación de Parcela.-**

La parcela será indivisible y será la fijada en los planos con una superficie total de 1.315,00 m<sup>2</sup>.

**1.2.- Limitación de Posición.-**

Las líneas de fachada serán coincidentes con las alineaciones oficiales Sur y Este de la parcela quedando el resto con disposición libre en la misma, en la forma que se indica en los planos con carácter orientativo.

La línea de fachada coincidente con la alineación Sur tendrá una longitud mínima de 24 m.

**1.2.1.- Retranqueos a Linderos.-**

Las líneas interiores de fachada tendrán un retranqueo a los linderos de la zona verde pública de 5 m. como mínimo.

**1.2.2.- Espacios Libres Privados.-**

Los espacios libres obtenidos por retranqueo en el interior de la parcela deberán destinarse a jardín, siendo compatible el acceso a garaje.

### **1.3.- Limitaciones Dimensionales y de Aprovechamiento.-**

#### **1.3.1.- Ocupación máxima.-**

La ocupación máxima permitida en Semisótano, P. Baja y Alzadas será del 50 %.

En sótanos puede llegar hasta el 75 %.

#### **1.3.2.- Altura.-**

Máximo nº de plantas: P.B. + 8.

Altura máxima de la edificación: 29,00 m. a la cara inferior del forjado de cubierta desde la rasante del terreno.

La altura libre interior de las viviendas, será la señalada con carácter general en las Ordenanzas Municipales y la Normativa de Viviendas de Protección Oficial.

Los locales comerciales de P. Baja tendrán una altura máxima de 3,60 m.

Los semisótanos de aparcamientos tendrán una altura libre mínima de 2,20 m. tal y como señalan las Ordenanzas del P.G.O.U. de Zaragoza.

#### **1.3.3.- Edificabilidad.-**

La edificabilidad sobre parcela neta se establece en 3,86 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

#### **1.3.4.- Cubiertas.-**

La cubierta será inclinada, con un máximo del 35 %, tal y como prevé con carácter general el Artº 3.1.13 de las Normas Urbanísticas del P.G.O.U. de Zaragoza.

No se permite el aprovechamiento bajo cubierta para vivienda. Únicamente se autoriza la instalación de maquinaria de ascensores, o cualquier elemento funcional de las instalaciones del edificio, tal y como se recoge en el Artº. 3.1.13 del P.G.O.U. de Zaragoza.

Se permite, así mismo sobre la cubierta, la instalación de elementos activos de captación solar, pero nunca deben rebasar la altura máxima de cubierta.

No se autoriza la cubierta plana.

## **2.- LIMITACIONES DE USO.-**

### **Planta Baja**

Comercio, oficina, equipamientos y servicios.

### **Plantas Alzadas**

Uso dominante .....	Vivienda colectiva
Uso compatible .....	Residencia comunitaria, Hotelero y cualquier uso permitido en las Normas del P.G.O.U. de la Zona A-1, grado 1 en las situaciones A y B.

### **Semisótano y sótanos**

Aparcamientos: 1 plaza de aparcamiento por cada 100 m<sup>2</sup> construidos.

## **3.- LIMITACIONES BIOCLIMATICAS.-**

### **3.1.- Protecciones Solares en el Edificio.-**

- 1) La fachada sur  $\pm 15^\circ$  del edificio estará dotada de alero. La longitud del alero sobre la fachada estará entre 1 y 1,5 m.
  
- 2) En el resto de las plantas la protección vendrá definida:
  - a) *Para las galerías acristaladas:* por el techo de la propia galería, que será a su vez el vuelo de la superior, o el propio alero, en el caso de la última planta. La profundidad estará entre 1 y 1,5 m.
  
  - b) *Para las ventanas:* por un voladizo. Este voladizo, deberá tener una profundidad entre 1 y 1,5 m. y una anchura que supere a la de la ventana, al menos, en 30 cm. a cada lado, pudiendo ser continuación de la propia galería. El voladizo podrá ser sustituido por una solución alternativa, independientemente de la persiana de cierre convencional, que garantice sobreamiento completo de la ventana en el periodo comprendido entre el 1 de Julio y el 31 de Agosto.
  
- 3) Las fachadas Oeste  $\pm 15^\circ$  deberán garantizar sombreado sobre los acristalamientos mediante un elemento móvil, independientemente de la persiana de cierre convencional, que proporcione el sombreado del 80 % del acristalamiento en el periodo comprendido entre el 1 de Julio y el 31 de Agosto, para altura solares de  $30^\circ$  o mayores. En la base de estas fachadas se proporcionará un espacio suficiente de modo que permita la plantación de especies vegetales de tipo trepador y hoja caduca que pueda proporcionar cubierta vegetal a la fachada.

### **3.2.- Espacios Acristalados.-**

Las fachadas orientadas al Sur  $\pm 15^\circ$  deberán tener un 60 % de las mismas construido por las galerías acristaladas, con vidrio de 6 mm. (mínimo) de espesor, con cerramientos practicables que garanticen la ventilación necesaria en los meses de verano. La estanqueidad de las galerías se reforzará incorporando juntas de estanqueidad o equivalentes.

Las ventanas con esta orientación tendrán doble vidrio de 6 mm. (mínimo) de espesor en cada hoja.

El cerramiento que separa la galería de la zona habitable deberá estar constituido por bloque relleno y compactado, con mezcla de cemento y arena al 25 %, para suministrar adecuada masa térmica. El espesor mínimo será de 30 cm. y en él se incluirán una abertura practicable para favorecer la circulación del aire por termosifón entre el interior de la vivienda y la galería, estas aberturas podrán realizarse en parte en la puerta de acceso a la galería. El tamaño de aberturas supondrá entre el 6 y el 5 del tamaño de la pared en la que se encuentran. La cara exterior de la pared presentará un acabado en tono oscuro que facilite la absorción de la radiación solar.

Los espacios acristalados en caras Norte y Oeste serán los mínimos que permitan las normas de iluminación. En ellos será obligatoria la doble ventana.

### **3.3.- La carpintería exterior deberá ser de madera, excepto en las galerías acristaladas.-**

En el caso de doble ventana, el cuerpo interior no precisará ser de madera.

En todas las carpinterías debe optimizarse la estanqueidad mediante juntas o equivalentes.

Se deberán sellar todas las juntas de unión entre la carpintería exterior y la mampostería.

Se deberán anular las infiltraciones en cajas de persiana.

Las persianas deberán ser del tipo con aislamiento interior en las lamas.

### **3.4.- Nivel de Aislamientos.-**

El aislamiento térmico en los puntos que limitan la vivienda, incluidos los de la caja de escalera, así como la cubierta y la solera debe ser tal que el conjunto de la vivienda tenga un Kg. de que sea al menos un 20 % inferior al permitido por la norma NBE-CT-79.

El espacio bajo cubierta deberá ventilarse, en verano, mediante aberturas orientadas Este-Oeste. Los espacios abuhardillados en las viviendas deberán tener siempre ventilación con aberturas enfrentadas en dirección Este-Oeste.

Las separaciones, sean horizontales o verticales, entre viviendas para un mismo edificio, cumplirán la recomendación correspondiente al Anexo 6, apartado 6.2. de la NBE-CT-79.

### **3.5.- Deberá contemplarse el aislamiento de todos los puentes térmicos.-**

Aislamientos de puentes térmicos en los frentes de forjado, vigas, pilares, cajas de persiana, etc.

### **3.6.- Localización de zonas auxiliares y de servicios.-**

En viviendas con fachada Norte, será en esta fachada donde se ubicará la cocina y los servicios u otros espacios auxiliares que contemple la vivienda.

### **3.7.- Toda la iluminación en espacios comunes será con elementos de alta eficiencia.-**

### **3.8.- Utilización de Calderas de Gas de Alta Eficiencia.-**

En el caso de instalar calderas individuales, éstas serán de encendido por ionización, sin llama piloto.

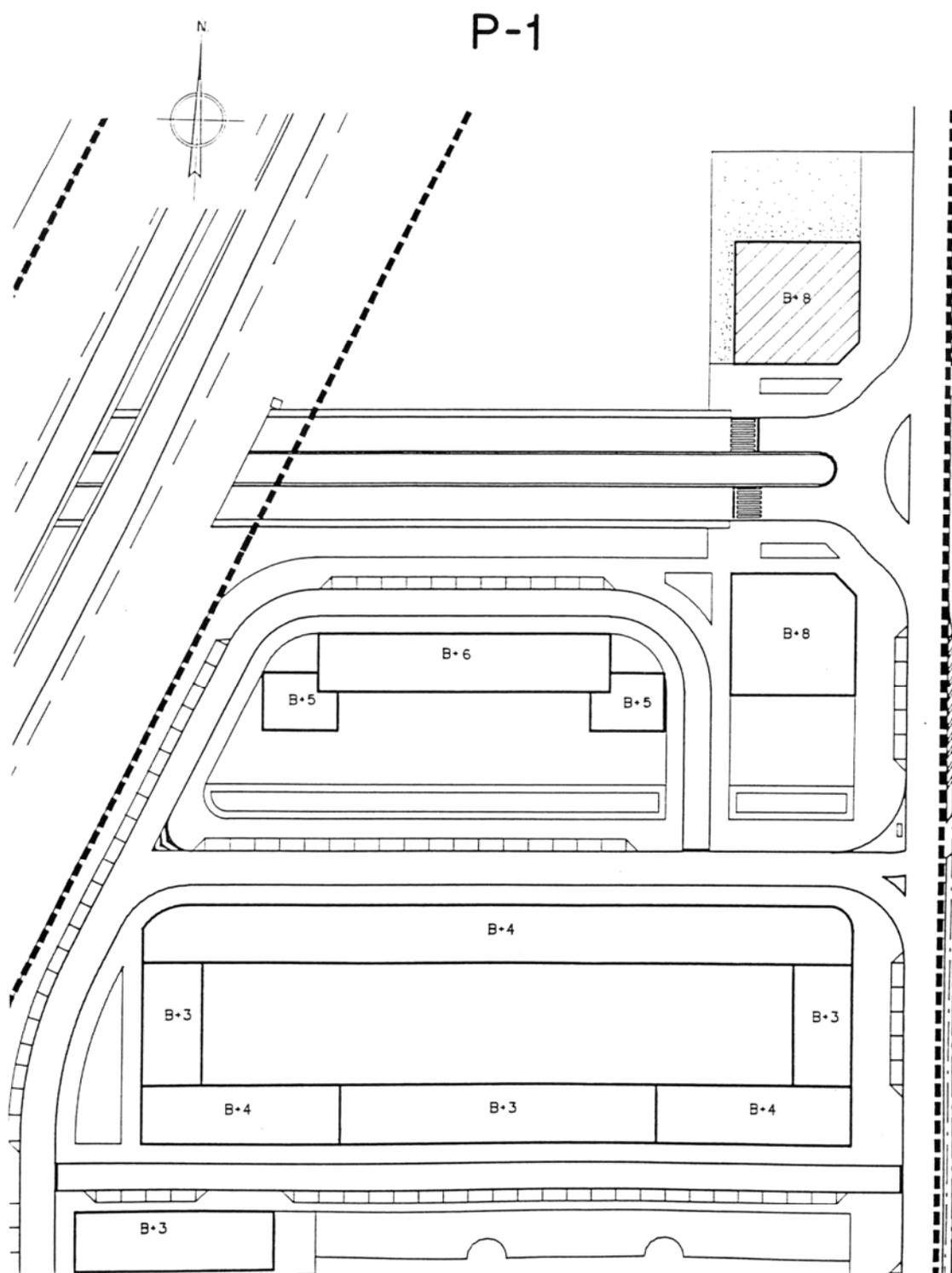
Los circuitos de calefacción estarán diferenciados por fachadas e incluirán válvulas termostáticas en todos los radiadores.

La caldera incluirá los depósitos necesarios, en función de la potencia, de regulación y escalamiento de potencia.

**3.9.- Para los sistemas mixtos de Calefacción/Refrigeración deberán utilizarse bombas de calor avanzadas.-**

**3.10.- Las cocinas instaladas serán del tipo de alta eficiencia.-**

**3.11.- El calentamiento para A.C.S. será de alta eficiencia, con aislamiento de las tuberías de conducción.-**



PROPUESTA DE ORDENACION ORIENTATIVA

**1.- LIMITACIONES DE VOLUMEN.-****1.1.- Tipo de Ordenación.-**

Vivienda unifamiliar adosada, con orientación Sur.

**1.2.- Limitación de Parcela.-**

Parcela mínima .....	128,00 m <sup>2</sup> .
Fachada mínima .....	8,00 m.
Fondo mínimo .....	16,00 m.

Se admite una tolerancia del 15 % de la superficie, en más o en menos, en la segregación de parcelas y en los solares de esquina.

**1.3.- Limitación de Posición.-**

Al objeto de garantizar la mejor orientación bioclimática la fachada con orientación Sur será paralela a la alineación oficial de la parcela, con una permisividad de movimiento de  $\pm 15^\circ$ .

**1.3.1.- Retranqueos a Linderos.-**

Por tratarse de viviendas adosadas, no se permiten retranqueos a linderos laterales.

La fachada con orientación Sur, tendrá un retranqueo mínimo de 7 m., ya sea a alineación oficial o a linderos.

**1.3.2.- Espacios Libres Privados.-**

Los espacios libres obtenidos por retranqueo en el interior de la parcela deberán destinarse a jardín o en su caso acceso a garaje.

Específicamente se permitirán los invernaderos o cualquier elemento bioclimático destinado a la captación solar pasiva.

Estos elementos tendrán como máximo una superficie de 10 m<sup>2</sup>, y una configuración espacial de estructura desmontable y acristalada tanto en techo como en paredes. Únicamente se autorizarán en planta baja. La profundidad máxima si están adosados a la fachada de la vivienda será de 1,20 m.

Se permitirá, además, la instalación de pérgolas, toldos, enredaderas o cualquier otro elemento que se justifique por su sentido bioclimático.

#### **1.4.- Ocupación Máxima.-**

La ocupación máxima permitida será del 40 %. Esta limitación será también aplicable a los semisótanos.

#### **1.5.- Altura.-**

Máximo nº de plantas: B. + 1.

Altura máxima de la edificación: 6,50 m. a la cara inferior del forjado de cubierta en la fachada Norte, desde la rasante del terreno.

La altura libre interior de las viviendas, será la señalada con carácter general en las Ordenanzas Municipales y la Normativa de Viviendas de Protección Oficial.

#### **Semisótanos**

La altura libre mínima será de 2,20 m. tal y como señalan las Ordenanzas de Zaragoza.

**1.6.- Cubiertas.-**

Inclinación máxima de cubierta el 35 %, tal y como prevé con carácter general el Artº 3.1.13 de las Normas Urbanísticas del P.G.O.U. de Zaragoza.

Se recomienda la cubierta a un agua, al objeto de obtener la máxima superficie de exposición de fachada al Sur, para la captación de energía.

La cota máxima de cualquier elemento activo de captación solar nunca deberá rebasar la altura de la línea máxima de cubierta.

**1.7.- Edificabilidad.-**

La edificabilidad máxima sobre parcela se establece será 0,90 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, no computando el semisótano siempre que la cara inferior del forjado del techo no sobresalga más de 1,00 sobre la rasante.

Así mismo, no consumirán edificabilidad los elementos adosados a la fachada (elementos bioclimáticos) siempre que cumplan las especificaciones del apartado 1.3.2.- Espacios Libres Privados.

**1.8.- Vuelos.-**

**1.8.1.- Fachadas Norte.-**

Solamente se permiten vuelos en la fachada Norte.

Longitud máxima de vuelo ..... 0,80 m.

El vuelo de balcones o voladizos dejará como mínimo una separación a la medianería igual al vuelo.

### **1.8.2.- Fachadas Sur.-**

En la fachada Sur, únicamente los necesarios para los elementos de captación de energía y los suficientes para obtener el sombreado que las recomendaciones de Arquitectura bioclimática establecen para protecciones solares.

- 1) La fachada sur  $\pm 15^\circ$  del edificio estará dotada de alero. La longitud del alero sobre la fachada estará entre 1 y 1,5 m.
- 2) En el resto de las plantas de protección vendrá definida:
  - a) *Para las galerías acristaladas:* por el techo de la propia galería, que será a su vez el vuelo de la superior, o el propio alero, en el caso de la última planta. La profundidad estará entre 1 y 1,5 m.
  - b) *Para las ventanas:* por un voladizo. Este voladizo, deberá tener una profundidad entre 1 y 1,5 m. y una anchura que supere a la de la ventana, al menos, en 30 cm. a cada lado, pudiendo ser continuación de la propia galería. El voladizo podrá ser sustituido por una solución alternativa, independientemente de la persiana de cierre convencional, que garantice sombreado completo de la ventana en el periodo comprendido entre el 1 de Julio y el 31 de Agosto.
- 3) Las fachadas Oeste  $\pm 15^\circ$  deberán garantizar sombreado sobre los acristalamientos mediante un elemento móvil, independientemente de la persiana de cierre convencional, que proporcione el sombreado del 80 % del acristalamiento en el periodo comprendido entre el 1 de Julio y el 31 de Agosto, para alturas solares de  $30^\circ$  o mayores.

**2.- LIMITACIONES DE USO.-**

Uso dominante .....	Vivienda Unifamiliar
Uso compatible .....	Despachos profesionales, anexos a vivienda, pequeños talleres, siempre que cumplan lo establecido en el Artº 2.1.4. de las Normas del P.G.O.U.
Excepción .....	Los espacios que dan frente a la plaza o a las vías principales, pueden tener usos comerciales y hosteleros en situación A y con las limitaciones de las Zonas A-1.
Aparcamientos .....	Se autoriza el uso del garaje, sometiéndose su aplicación a las Ordenanzas de Zaragoza.

**3.- LIMITACIONES ESTETICAS.-**

Las condiciones compositivas irán encaminadas a conseguir la armonía del conjunto y el cumplimiento de las condiciones bioclimáticas que se desarrollen en el Artº 4.

- No se admite la teja negra.
- No se admite la cubierta plana.
- La carpintería será de madera.

Unicamente y relacionado con lo anterior, se prohíben expresamente la cubierta plana y como material de cobertura la teja negra.

**4.- LIMITACIONES BIOCLIMATICAS.-**

**4.1.- Las viviendas unifamiliares incluirán preinstalación para placas solares para pre-calentamiento de A.C.S., mediante la inclusión de elementos de anclaje y accesos para tuberías de paso de la cubierta.-**

**4.2.- La carpintería exterior deberá ser de madera, excepto en las galerías acristaladas.-**

En el caso de doble ventana, el cuerpo interior no precisará ser de madera.

En todas las carpinterías debe optimizarse la estanqueidad mediante juntas o equivalentes.

Se deberán sellar todas las juntas de unión entre la carpintería exterior y los muros.

Se deberán anular las infiltraciones en cajas de persiana.

Las persianas deberán ser del tipo con aislamiento interior en las lamas.

**4.3.- Nivel de Aislamientos.-**

El aislamiento térmico en los puntos que limitan la vivienda, incluidos los de la caja de escalera, así como la cubierta y la solera debe ser tal que el conjunto de la vivienda tenga un Kg. de que sea al menos un 20 % inferior al permitido por la norma NBE-CT-79.

En las viviendas unifamiliares la cubierta exterior y el techo de la planta superior deberán tener similar nivel de aislamiento (alto), a menos que el espacio bajo cubierta pueda ventilarse, en verano, mediante aberturas orientadas E-O. Los espacios abuhardillados deberán tener siempre ventilación con coberturas enfrentadas en dirección Este-Oeste.

En los lindes de viviendas adosadas, cumplirán la recomendación correspondiente al Anexo 6, apartado 6.2. de la NBE-CT-79.

**4.4.- Localización de zonas auxiliares y de servicios.-**

En viviendas con fachada Norte, será en esta fachada donde se ubicará la cocina y los servicios u otros espacios auxiliares que contemple la vivienda.

**4.5.- Deberá contemplarse el aislamiento de todos los puentes térmicos.-**

Aislamientos de puentes térmicos en los frentes de forjado, vigas, pilares, cajas de persiana, etc.

**5.- LEGISLACION APLICABLE.-**

En lo no dispuesto en las presentes Ordenanzas, se estará a lo dispuesto en las Ordenanzas Generales del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza, y en su caso, a lo dispuesto en la vigente Ley de Suelo y sus Reglamentos.

Zaragoza, AGOSTO de 1994  
Por la Empresa Consultora  
PROINTEC, S.A.

Fdo. JUAN FERRAZ GARANTO

---

# Anexo D

## Balance energético de edificios. Revisión de métodos de cálculo simplificados y detallados

---

En este anexo se ha incluido una revisión de métodos de cálculo habituales para el balance energético de edificios, incluyéndose varios métodos simplificados (cálculo medio mensual) y el método detallado implementado en la herramienta TSBI3, utilizada para la validación de la aplicación de cálculo propuesta en la tesis para la evaluación de urbanizaciones.

En los apartados siguientes se describen los siguientes métodos:

- Método simplificado de los grados día (calefacción y refrigeración).
- Método 5000 (calefacción).
- UNE – EN 832 (calefacción).
- Método de cargas de refrigeración (Santamouris M. 1997).
- Método detallado TSBI3 (Danish Building Research Institute, 1997).

### D.1. Método simplificado (Grados Día)

El método de los grados día (ASHRAE 1997) pertenece a los métodos simplificados de análisis energético, éste proporciona una estimación aproximada de la demanda anual cuando la temperatura interior y las ganancias internas son relativamente constantes y el sistema de climatización opera estacionalmente. Estos requisitos condicionan el uso de éste, debiendo recurrir a otros métodos cuando no se cumplen las premisas anteriores.

La severidad de un clima se puede caracterizar por los grados día del lugar (Yañez G. 1982). Por ejemplo, en la norma española NBECT-79 también se caracterizan las zonas climáticas en función de los grados día. Sin embargo en el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) se ha mejorado la caracterización incluyendo también la radiación solar para diferenciar los climas. En el nuevo CTE se ha dividido España en 12 zonas climáticas presentando diferentes severidades en invierno y verano.

Para determinar las necesidades de calefacción se debe calcular el coeficiente global de pérdidas ( $K_{tot}$ ) del edificio. Éstas se producen a través de todos los cerramientos que separan el edificio del

exterior y por la renovación del aire. Este coeficiente indica la pérdida instantánea que tiene el edificio por grado Kelvin.

$$K_{tot} = 0.34 \times n \times V + \sum_{\text{cerramientos}} A \times U \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.1}]$$

$n$ : coeficiente de renovación de aire del edificio valor usual 0.5 a 1.5 (UNE-EN 832, 2000), (1/h).

$V$ : volumen a climatizar del edificio, ( $\text{m}^3$ ).

$A$ : área de un cerramiento en contacto con el exterior, ( $\text{m}^2$ ).

$U$ : conductancia de un cerramiento incluyendo las resistencias superficiales, ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

El sumatorio se extiende a todos los cerramientos del edificio en contacto con el exterior.

Para determinar el coeficiente de conductancia de un cerramiento hay que definir una serie de conceptos referentes a las características térmicas de los materiales y de los cerramientos (NBECT-79):

- Coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ,  $\text{W}/\text{m K}$ ): es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado. En la Tabla 2.8 de la Norma NBECT-79 se pueden encontrar valores de la conductividad térmica de diferentes materiales empleados en la construcción así como su densidad.
- Conductancia térmica ( $C$ ,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ): es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor  $L$  cuando se la somete a una diferencia de un grado entre ambas caras.

$$C = \frac{\lambda}{L} \quad (\text{W}/\text{m}^2 \text{K}) \quad [\text{D.2}]$$

- Coeficiente superficial de transmisión de calor ( $h_e$  o  $h_i$ , los subíndices indican la cara exterior o interior del cerramiento,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ): es la transmisión térmica por unidad de área hacia o desde una superficie en contacto con aire debido a la convección y a la radiación, dividido por la diferencia de temperatura entre la superficie del material y la temperatura seca del aire.
- Resistencia térmica superficial ( $1/h_e$  o  $1/h_i$ , los subíndices indican la cara exterior o interior del cerramiento,  $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ ): es la recíproca de los coeficientes superficiales de transmisión de calor y su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies. En la tabla D.1 se muestran los valores indicados por la Norma NBECT-79 y el nuevo CTE.
- Conductancia o coeficiente de transmisión térmica de calor ( $U$ ,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ): considerando un cerramiento con caras isotermas que separa dos ambientes, también isotermos, el coeficiente total de transmisión térmica es el flujo de calor por unidad de superficie (de

una de las paredes o de otra superficie interna convencionalmente elegida) y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{h_i}} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad [\text{D.3}]$$

Los términos  $L_i/\lambda_i$  son las resistencias parciales de las distintas láminas que pueden componer la pared.

- Resistencia térmica total ( $R_t$ ,  $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ): es la inversa del coeficiente conductancia térmica de calor  $K$ .

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Separación con exterior <sup>1</sup>					
	NBECT-79			Nuevo CTE		
	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal	0.11	0.06	<b>0.17</b>	0.13	0.04	<b>0.17</b>
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0.09	0.05	<b>0.14</b>	0.10	0.04	<b>0.14</b>
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0.17	0.05	<b>0.22</b>	0.17	0.04	<b>0.21</b>

Tabla D.1. Resistencia superficial ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ) para diferentes orientaciones según las normativas españolas NBECT-79 y el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) que entrará en vigor próximamente. Se muestra como la resistencia total es prácticamente idéntica en las dos normativas.

### Cálculo de la Demanda Energética por el Método de los Grados Día

Una vez determinado el valor de la resistencia térmica total, el método más simple de cálculo de la demanda es el denominado de los grados-día.

Los métodos de los grados día se fundamentan en la selección de una temperatura llamada base ( $t_b$ ), que se fija en función de la captación solar, la ocupación y las ganancias internas del edificio ( $Q_g$ ) debidas a las demandas eléctricas (iluminación, electrodomésticos, etc).

La captación solar se determina a partir de la radiación solar incidente sobre los elementos de captación utilizados en el edificio. La ventana es el elemento más simple de aprovechamiento solar, para este caso la energía que atraviesa los vidrios es la incidente reducida por el coeficiente de transmitancia. En el caso de utilizar elementos de captación complejos (invernaderos, muros trombe o másticos, etc) se deberá recurrir a determinar la energía aprovechada por éstos con sus modelos de comportamiento (Bhandari M.S. 1995, Bansal N.K. 1996, Claux P. 1982).

<sup>1</sup> En esta y otras tablas se indica en negrita los valores importantes que contiene la tabla, como pueden ser valores los máximos, los valores totales, etc.

Las ganancias internas pueden estimarse (ocupación, iluminación, electrodomésticos, etc) para uso residencial según la UNE-EN 832 (2000) y el Método 5000 (Claux P. et al, 1982) entre 0.12 y 0.15 kWh/día m<sup>2</sup> de vivienda.

Para determinar la demanda de calefacción del edificio se debe definir la temperatura base ( $t_b$ ) que es aquella que, asignada a la temperatura exterior y manteniendo una temperatura interior de diseño ( $t_i$ ) evaluando las pérdidas mediante el coeficiente global de pérdidas del edificio ( $K_{tot.}$ ), iguala las ganancias existentes.

$$Q_g = K_{tot} \times (t_i - t_b) \quad (W) \quad [D.4]$$

Las ganancias deben ser un valor promedio del período analizado. En particular, la radiación solar debe evaluarse como un valor medio, no como su valor puntual en un instante determinado.

El valor de la temperatura base se obtiene a partir de la ecuación [D.4].

$$t_b = t_i - \frac{Q_g}{K_{tot}} \quad (K) \quad [D.5]$$

Las necesidades de calefacción ( $Q_c$ ) teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de calefacción, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_c = \frac{K_{tot}}{\eta} \times (t_b - t_0)^+ \quad (W) \quad [D.6]$$

$\eta$ : rendimiento unitario del sistema de calefacción.

$t_0$ : temperatura exterior, (K).

$(t_b - t_0)^+$ : El signo positivo indica que esta diferencia debe considerarse sólo cuando sea positiva siendo su valor nulo en caso contrario.

Para determinar la demanda anual de calefacción del edificio bastaría con realizar la integración a lo largo del período de necesidades energéticas.

Habitualmente se realiza una simplificación pasando a evaluar la integración como un sumatorio de la ecuación [D.6] para cada día del período. Para ello, se define el parámetro grados día ( $GD(t_b)$ ) evaluado para la temperatura base.

$$GD(t_b) = \sum_{días} (t_b - t_0)^+ \quad (K \text{ día}) \quad [D.7]$$

El sumatorio de los grados día se evalúa con la temperatura media del día ( $t_0$ ), extendiéndose a todo el año o al período de calefacción.

Para tener en cuenta la variación de temperaturas a lo largo de un día se puede utilizar la correlación referenciada por ASHRAE 1997 de Erbs et al (1983) en la cual se analiza la variación media diaria de la onda de temperatura. En las siguientes expresiones se muestra cómo determinar los grados día corregidos.

$$GD(t_b) = \sigma_m \times N^{1.5} \times \left[ 0.20441 + \frac{h}{2} + \frac{\ln(\cosh(1.698 \times h))}{3.396} \right] \quad (\text{Kdía/mes}) \quad [\text{D.8}]$$

$\sigma_m$  : desviación estándar de la temperatura media mensual exterior ( $t_o$ ).

$$\sigma_m = 1.45 - 0.029 \times t_o + 0.0664 \times \sigma_a \quad [\text{D.9}]$$

$\sigma_a$  : desviación estándar de la temperatura media mensual exterior respecto de la temperatura media anual.

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{12} \sum (t_o - t_{oa})^2} \quad [\text{D.10}]$$

$t_{oa}$ : temperatura media anual del aire exterior, (K).

$t_o$ : temperatura media mensual del aire exterior, (K).

$N$  : número de días en el mes analizado

$h$  : este parámetro se determina con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{t_b - t_o}{\sigma_m \times \sqrt{N}} \quad [\text{D.11}]$$

Considerando para el período de calefacción, constantes los valores de la temperatura base, las pérdidas globales del edificio y el rendimiento del sistema de calefacción, la demanda de calefacción se determina con la ecuación siguiente.

$$Q_a = 24 \times \frac{K_{tot}}{\eta} \times GD(t_b) \quad (\text{Wh}) \quad [\text{D.12}]$$

Para determinar las necesidades de refrigeración se puede utilizar también el método de los grados día, definiéndose en este caso los grados día de refrigeración ( $GD_r(t_b)$ ).

$$GD_r(t_b) = \sum_{\text{días}} (t_o - t_b)^+ \quad (\text{K día}) \quad [\text{D.13}]$$

$(t_o - t_b)^+$ : cuando la temperatura base es mayor que la temperatura exterior, este término del sumatorio se asigna como nulo, así no existirán valores negativos que corresponden con días en los que no existirá demanda de refrigeración.

El sumatorio de los grados día se evalúa con la temperatura media del día ( $t_o$ ) extendiéndose a todo el año o al período de refrigeración.

Se puede utilizar la correlación anteriormente descrita de los grados día referenciada ASHRAE 1997 de Erbs et al (1983), en la que hay que modificar el cálculo de  $h$  para tener en cuenta que se analiza el caso de refrigeración:

$$h = \frac{t_o - t_b}{\sigma_m \times \sqrt{N}} \quad [\text{D.14}]$$

La temperatura base para refrigeración se define de idéntico modo a la de calefacción. Pero en este caso para evaluar la carga de refrigeración hay que tener en cuenta que los valores de pérdidas globales no suelen ser idénticos para el período de refrigeración.

Por ejemplo, se pueden modificar éstas por el aumento de la tasa de renovación (aumento de la ventilación), de esta manera se puede reducir la necesidad de refrigeración cuando la temperatura exterior es inferior a la de diseño eliminando la renovación de aire las ganancias que producirían el sobrecalentamiento y por lo tanto la necesidad de refrigeración.

Es necesaria la refrigeración para mantener la temperatura de diseño cuando se sobrepasa una temperatura exterior máxima ( $t_{max}$ ).

$$t_{max} = t_i - \frac{q_g}{K_{max}} \quad (\text{K}) \quad [\text{D.15}]$$

$K_{max}$ : este coeficiente global de pérdidas sustituye al valor  $K_{tot}$ , modificándose éste aumentando las pérdidas por aumento de la tasa de renovación considerando las ventanas abiertas.

El consumo anual de refrigeración puede determinarse con la siguiente expresión:

$$Q_r = 24 \times \frac{K_{tot}}{\eta} \times [GD_r(t_{max}) + (t_{max} - t_b) \times N_{max}] \quad (\text{Wh}) \quad [\text{D.16}]$$

$N_{max}$ : es el número de días durante la estación de refrigeración en los que se alcanzan temperaturas superiores a  $t_{max}$ .

Yañez G. (1982), propone un método de cálculo simplificado basado en los grados día y en la norma española NBECT-79. Este método parte del valor del  $K_g$  de un edificio según la norma.

Este coeficiente es un valor medio ponderado del grado de aislamiento del edificio condicionado por los grados día de la localización y la forma del edificio (relación superficie – volumen).

El consumo de calefacción anual de un edificio según este método simplificado se determina con las siguientes expresiones:

$$K_{tot} = 0.34 \times n \times V + S \times K_g \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.17}]$$

$$Q_a = 24 \times \frac{K_{tot}}{\eta} \times GD(t_b) \quad (\text{Wh}) \quad [\text{D.18}]$$

$S$ : superficie envolvente calefactada del edificio, ( $\text{m}^2$ ).

$K_g$ : coeficiente ponderado de pérdidas por los cerramiento del edificio determinado según la norma NBECT-79, ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ).

Como base para los grados día ( $t_b$ ) se considera:

- $t_b$ : para edificios con uso constante y baja captación solar se debe utilizar como base 18 °C.
- $t_b$ : para edificios con uso constante y captación solar apreciable se debe utilizar como base 15 °C.

Este método a diferencia del propuesto por ASHRAE es más simple ya que no hay que determinar las ganancias al incluirse este término en la reducción de la temperatura base.

## **D.2. Métodos simplificados corregidos de calefacción (Método 5000 y UNE-EN 832)**

En este apartado se recogen dos métodos de cálculo simplificados similares. Éstos determinan las necesidades de calefacción de edificios residenciales basándose en modelos estáticos a los cuales se les hace una corrección para tener en cuenta el comportamiento dinámico del edificio. Por esta corrección es por lo que se les han denominado ‘Métodos simplificados corregidos’.

Las necesidades de calefacción en un edificio para mantener unas condiciones de confort satisfactorias dependen del balance de energía al que está sometido.

En los edificios existen, supuesto un comportamiento correcto de los cerramientos, dos modos de pérdidas de energía:

- a través de los cerramientos que lo separan del exterior
- correspondiente a la necesaria renovación de aire. A estas pérdidas habrá que añadir las debidas a las infiltraciones indeseadas.

En cuanto a las ganancias energéticas a considerar en un edificio hay que tener en cuenta las debidas al aprovechamiento solar (uso de elementos captadores de energía solar) y a las ganancias internas (metabolismo de los ocupantes, iluminación y disipación térmica de equipos domésticos). Las ganancias energéticas anteriores se reconvierten en función de la inercia térmica del edificio, dando lugar a la ganancia útil. En los dos métodos se aplica este criterio.

La necesidad final de calefacción será la diferencia entre las pérdidas y las ganancias útiles.

Si las pérdidas son mayores se necesitará aporte de calefacción y si son menores no se necesita aporte, contribuyendo entonces las ganancias útiles a elevar la temperatura interior por encima de la de confort.

Los dos métodos que se describen son:

- Método 5000 (Claux P., 1982).
- Norma UNE-EN 832 (2000).

Del último método se realizará una breve descripción poniendo de manifiesto tan sólo las pequeñas diferencias ya que es muy similar al Método 5000.

Como ejemplo de utilización del Método 5000 hay que hacer constar que la norma de Cataluña NRE-AT-87 (1987) hace mención a que se podrán determinar los beneficios térmicos en invierno a efectos de la radiación solar de acuerdo con alguno de los siguientes métodos:

- Método SLR (Solar Load Ratio) y/o LCR (Load Colector Ratio) desarrollado en los Alamos por Douglas Balcomb (Balcomb J.D. 1992).
- Método 5000, homologado por el Ministère de l' Urbanisme et du Logement, de Francia.
- Métodos de simulación térmica o cualquier sistema de cálculo debidamente justificado.

En esta norma se ratifica la validez del Método 5000 y lo coloca al mismo nivel que el Método Balcomb (SLR).

Estos métodos están basados en correlaciones obtenidas a partir de la utilización de programas de base horaria sobre recintos y climas característicos. La diferencia esencial de este método con los de base horaria estriba en la desaparición de la idea de simulación dinámicas que se encuentra totalmente enmascarada por las correlaciones.

Los resultados que se obtienen son de tipo global, como puede ser la demanda energética estacional, no pudiéndose calcular, por ejemplo, la evolución de la temperatura en el interior de los recintos.

La aplicación de estos métodos resulta de interés en la fase de prediseño, en la cual el proyectista necesita únicamente criterios cualitativos para evaluar energéticamente distintas opciones. Para esta fase resulta altamente eficaz en la medida en que los tiempos de utilización son extremadamente cortos y permiten establecer una relación conversacional directa con el proyectista.

La precisión de los métodos respecto al consumo real del edificio está directamente relacionada con la fidelidad de los datos introducidos del edificio. Los errores que se pueden cometer son los mismos que se presentan en todos los métodos de simulación de edificios, estos errores son los siguientes:

- Datos inapropiados introducidos del edificio analizado, éstos pueden ser por ejemplo errores en las mediciones de los cerramientos o la correcta definición de la composición de los cerramientos.
- Una infiltración del edificio incorrecta, ya que es difícil conocerla a priori por lo que el valor que se asigne a la renovación de aire del edificio es un valor incierto.
- Variaciones finales de la composición de los cerramientos o características diferentes de los materiales usados finalmente en el edificio real, estas alteraciones producen diferentes necesidades respecto al edificio inicial.

### D.2.1. Método 5000

#### Pérdidas estimadas

Las pérdidas que se consideran en el balance energético del edificio corresponden a las pérdidas a través de su envolvente y a las pérdidas por renovación de aire incluidas las infiltraciones, en la figura D.1 se muestran estas pérdidas con la nomenclatura utilizada a lo largo de este subapartado.

El primer paso para realizar el análisis del edificio es zonificarlo, dividiéndolo en diferentes zonas calefactadas. La división se debe realizar de tal modo que cada zona contenga partes del edificio con similar exposición solar y/o temperatura termostática.

El edificio no se divide por lo tanto según las estancias que tiene. Por ejemplo, un edificio lineal de viviendas con 4 plantas orientado al sur-norte, bastaría con tomar dos zonas que separarán el edificio en zona sur y norte, incluyendo cada zona 4 plantas de edificio, no hace falta tomar cada planta por separado salvo que se quiera conocer la diferencia de consumo que podría existir en cada planta.

El consumo final del edificio será la suma de los consumos energéticos de cada una de las zonas que lo componen.

A continuación se procede al desglose de las pérdidas que pueden existir en un edificio.

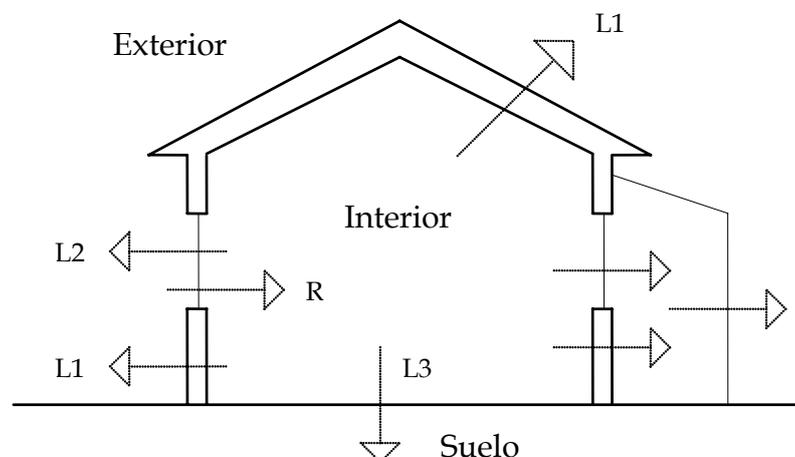


Figura D.1. Esquema de pérdidas energéticas en un edificio.

A través de las paredes y techos se producen pérdidas por conducción desde el espacio calefactado. La pérdida por conducción a través de estos cerramientos (L1) es la siguiente:

$$L1 = \sum (A \times U) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.19}]$$

A: Área de cada cerramiento ( $\text{m}^2$ ).

U: Coeficiente de conductancia de cada cerramiento (incluyendo los coeficientes de resistencia térmica interna y externa) ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ).

Para el cálculo de  $U$  en el caso de cerramientos especiales como son los muros Trombe, muros de inercia o muros de inercia con colector de aire, se define la conductancia  $U$  como:

$$U = \frac{1}{r_g + r_a + r_{\text{muro}} + r_s} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad [\text{D.20}]$$

$r_g$ : Resistencia térmica del vidrio exterior utilizado (0.0 para simple vidrio, con vidrio doble se considera 0.11) ( $\text{m}^2 \text{ K/ W}$ ).

$r_a$ : Resistencia térmica de la cámara de aire entre vidrio y muro (0,16 si el muro no tiene una capa selectiva, 0,40 si tiene capa selectiva) ( $\text{m}^2 \text{ K/ W}$ ). Una capa selectiva es un recubrimiento externo aplicado al muro para aumentar la absorción solar de éste.

$r_{\text{muro}}$ : Resistencia térmica interna del muro ( $\text{m}^2 \text{ K/ W}$ ).

$r_s$ : Suma de las resistencias superficiales (convección interna y externa), el valor usual es 0,17 ya que son cerramientos verticales ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ).

Si se utiliza aislamiento nocturno adicional en alguno de los cerramientos (persianas, ...), se debe distinguir entre la diferente pérdida obtenida durante el día y la noche al tener diferentes conductancias los cerramientos.

La pérdida total para el período de un día se obtiene de la ponderación según el tiempo de utilización del aislamiento nocturno. Éste se utiliza exclusivamente durante la noche<sup>2</sup>. El tiempo de utilización para cada mes es el de duración de la noche del día 15 de dicho mes.

El cálculo de la duración de la noche se determina a partir de la hora de salida y puesta del Sol. Este cálculo de la duración de la noche se calcula mediante Hernández M.A. (2006), siendo función de la latitud en la que se encuentra el edificio.

Las pérdidas para el período diurno son  $L1_{\text{día}}$ :

$$L1_{\text{día}} = \sum (A \times U_{\text{día}}) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.21}]$$

$A$ : Área de cada cerramiento ( $\text{m}^2$ ).

$U_{\text{día}}$ : Coeficiente de conductancia de cada cerramiento en el período diurno (incluyendo los coeficientes de resistencia térmica interna y externa) ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ).

Las pérdidas para el período nocturno son  $L1_{\text{noche}}$ :

$$L1_{\text{noche}} = \sum (A \times U_{\text{noche}}) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.22}]$$

$A$ : Área de cada cerramiento ( $\text{m}^2$ ).

$U_{\text{noche}}$ : Coeficiente de conductancia de cada cerramiento en el período nocturno (incluyendo los coeficientes de resistencia térmica interna y externa) ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ).

<sup>2</sup> Se ha señalado antes el efecto del comportamiento del usuario como causa de indeterminación e imprecisión en la evaluación de la demanda real. Este caso del aislamiento nocturno es un claro ejemplo.

Las pérdidas ponderadas para un día particular representativo de cada mes son  $L1_{\text{equivalente}}$ :

$$L1_{\text{equivalente}} = \frac{L1_{\text{dia}} \times (24 - h_{\text{noche}}) + L1_{\text{noche}} \times h_{\text{noche}}}{24} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.23}]$$

$h_{\text{noche}}$ : Número de horas del período nocturno de un día representativo de un mes, en concreto se debe utilizar el día 15 de cada mes.

Para cada mes se tendrá un diferente valor equivalente ya que el número de horas calculado del período nocturno es diferente para cada mes.

La pérdida por conducción a través de las ventanas ( $L2$ ) se determina de forma análoga a las pérdidas por paredes y techos.

$$L2 = \sum (A \times U) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.24}]$$

A: Área de cada ventana ( $\text{m}^2$ ).

U: Coeficiente de conductancia de la ventana, los valores de conductancia deben incluir los coeficientes de resistencia térmica interna y externa ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ).

En las ventanas normalmente se utilizan persianas, que se cierran por la noche, o incluso pueden existir otros elementos que aumenten el grado de aislamiento. Para el cálculo de  $U_{\text{noche}}$  por la utilización de aislamiento nocturno se debe tener en cuenta la cámara de aire que se produce entre la separación del elemento aislante y la ventana.

$$U_{\text{noche}} = \frac{1}{r_g + r_a + r_{\text{aislante}}} \quad (\text{W}/\text{m}^2 \text{K}) \quad [\text{D.25}]$$

$r_g$ : Resistencia térmica de la ventana incluyendo las resistencias superficiales ( $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ ).

$r_a$ : Resistencia térmica de la cámara de aire entre la ventana y el aislante (0.16 valor usual) ( $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ ).

$r_{\text{aislante}}$ : Resistencia térmica interna del aislante nocturno ( $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ ).

El valor equivalente de pérdidas a través de ventanas se calcula de forma análoga al planteado para las paredes y techos.

El coeficiente de pérdidas por conducción ( $L3$ ) a través de soleras (forjado de separación con el terreno), y puentes térmicos (pilares en contacto con exterior y frentes de forjados), no se define en función de la superficie de estos, si no que se utiliza el perímetro en el caso de soleras y la longitud en el caso de puentes térmicos.

$$L3 = \sum (l \times k_{\text{puente termico}}) + \sum (p \times k_{\text{solera}}) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.26}]$$

l: Longitud de cada puente térmico (m).

$k_{\text{puente termico}}$ : Coeficiente de conductancia lineal de cada puente térmico (pilar o frente de forjado) ( $\text{W}/\text{mK}$ ).

$k_{\text{solera}}$ : Coeficiente de conductancia lineal de cada solera ( $\text{W}/\text{mK}$ ).

Los puentes térmicos en algunos casos se conocen por su coeficiente de pérdidas superficial, con lo cual se calculan como pérdidas por área ( $A \cdot U$ ).

No suele existir aislamiento de utilización nocturna en los elementos constructivos analizados en este subapartado. Por este motivo no se define el equivalente para diferenciar el comportamiento nocturno.

Existen ciertos cerramientos en los edificios que separan el espacio calefactado de zonas no calefactadas. Estos espacios tampón por ejemplo son los huecos de escaleras, en bloques de viviendas o por ejemplo un garaje contiguo a una vivienda unifamiliar.

El espacio calefactado no pierde energía directamente con el exterior, lo pierde indirectamente a través del espacio tampón.

Para calcular la reducción respecto a la no utilización de espacio tampón se deben determinar la pérdidas desde el espacio tampón al exterior y las pérdidas desde el espacio calefactado hacia el espacio tampón.

El espacio tampón cede energía al exterior a través de los cerramientos que lo envuelven ( $L_{bm}$ ). Para evaluar esta energía hay que calcular el equivalente de pérdidas, ya que se puede tener aislante nocturno en algún cerramiento teniendo entonces para el día  $L_{bdía}$  y para la noche  $L_{bnoche}$ .

La renovación de aire en el espacio tampón también se contabiliza como pérdida de éste, siendo el resultado de pérdidas:

$$L_{bdía} = L1_{día} + L2_{día} + L3 + 0.34 \times q \quad (W/K) \quad [D.27]$$

$$L_{bnoche} = L1_{noche} + L2_{noche} + L3 + 0.34 \times q \quad (W/K) \quad [D.28]$$

$L1_{día}$ ,  $L1_{noche}$ : Pérdidas a través de paredes y techos que envuelven exteriormente el espacio tampón (W/K).

$L2_{día}$ ,  $L2_{noche}$ : Pérdidas a través de ventanas situadas en la envuelta exterior del espacio tampón (W/K).

$L3$ : Pérdidas a través soleras y puentes térmicos que envuelven exteriormente el espacio tampón (W/K).

$q$ : Caudal de renovación de aire que se introduce en el espacio tampón desde el exterior ( $m^3/h$ ).

En este caso el equivalente se calcula con el promedio entre el valor diurno y el valor nocturno de pérdidas.

$$L_{bm} = \frac{L_{bdía} + L_{bnoche}}{2} \quad (W/K) \quad [D.29]$$

Desde el espacio calefactado se cede energía al espacio tampón por las paredes (o techos) y por las ventanas que los separan, normalmente sólo se cede energía por estos dos tipos de cerramientos. También se puede diferenciar entre pérdidas diurnas y nocturnas, para el día se tiene  $L_{hdía}$  y para la noche  $L_{hnoche}$ .

$$L_{\text{hdía}} = L1_{\text{día}} + L2_{\text{día}} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.30}]$$

$$L_{\text{hnoche}} = L1_{\text{noche}} + L2_{\text{noche}} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.31}]$$

$L1_{\text{día}}$ ,  $L1_{\text{noche}}$ : Pérdidas a través de paredes y techos que separan el espacio calefactado del espacio tampón (W/K).

$L2_{\text{día}}$ ,  $L2_{\text{noche}}$ : Pérdidas a través de ventanas que separan el espacio calefactado del espacio tampón (W/K).

El equivalente de pérdidas desde el espacio calefactado hacia el espacio tampón ( $L_{\text{hm}}$ ) se calcula realizando la media entre el valor diurno y nocturno de pérdidas.

$$L_{\text{hm}} = \frac{L_{\text{hdía}} + L_{\text{hnoche}}}{2} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.32}]$$

A partir de los valores calculados se obtiene el coeficiente de reducción de pérdidas a través del espacio tampón.

$$C_{\text{lb}} = \frac{L_{\text{bm}}}{L_{\text{bm}} + L_{\text{hm}}} \quad [\text{D.33}]$$

Las pérdidas que se producen desde el espacio calefactado a través del espacio tampón se contabilizan finalmente como  $L_{\text{h}}$ .

Puede resultar extraño que se haya definido  $L_{\text{hm}}$  como las pérdidas desde el espacio tampón. Este valor representa la pérdida por diferencia de grado, por lo cual las pérdidas se obtienen de multiplicarlas por la diferencia de temperaturas entre interior y exterior, pero en este caso se tendría que evaluar con las diferencias de temperaturas entre interior y el espacio tampón (que no se conoce).

Para salvar esta dificultad se calcula  $C_{\text{lb}}$ , obteniéndose las pérdidas reales al multiplicar la diferencia de temperaturas entre interior y exterior por el valor  $L_{\text{h}}$ .

$$L_{\text{h}} = C_{\text{lb}} \times L_{\text{hm}} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.34}]$$

En el edificio a través de los huecos (puertas y ventanas) se producen infiltraciones de aire, introduciéndose aire desde el exterior al interior. Al ser menor la temperatura de este aire exterior se producen pérdidas ya que tiene que elevarse su temperatura hasta las condiciones del interior.

Además cuando se ventilan las estancias también se produce la introducción de aire exterior más frío.

Las pérdidas por renovación de aire sin contar con la reducción por aprovechamiento solar ( $R$ ), se estiman en función del caudal de aire exterior que se introduce en el edificio.

$$R = 0.34 \times q_t \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.35}]$$

$q_t$ : Caudal total de renovación de aire que entra en el edificio ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Cuando el aire no entra directamente desde el exterior se reducen las pérdidas por renovación, estos casos corresponden a un espacio tampón o muros térmicos con precalentamiento de aire.

En estos casos existe un aprovechamiento energético que aumenta la temperatura de este aire, reduciéndose entonces las pérdidas respecto al aire que entraría desde el exterior.

$$R_b = \sum 0.34 \times q_b \times (1 - C_{lb}) \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.36}]$$

$R_b$ : Reducción de pérdidas por renovación de aire a través de espacios tampón (W/K).

$q_b$ : Caudal de aire que entra desde cada espacio tampón hacia el espacio calefactado (este caudal será menor que el que entra desde el exterior al espacio tampón) ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$C_{lb}$ : Coeficiente de reducción de pérdidas en cada espacio tampón (definido en el apartado de pérdidas estimadas en espacios tampón).

$$R_{sw} = \sum 0.34 \times q_{sw} \times \eta_{sw} \quad (\text{W/K}) \quad [\text{D.37}]$$

$R_{sw}$ : Reducción de pérdidas por renovación de aire en muros térmicos con precalentamiento de aire (W/K).

$q_{sw}$ : Caudal de aire que penetra a través del muro térmico desde el exterior ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$\eta_{sw}$ : Eficiencia del muro térmico solar con precalentamiento de aire, este valor se obtiene de la figura D.2 (para vidrio exterior simple) o de la figura D.3 (para vidrio exterior doble). En estas gráficas se encuentra el valor de la eficiencia a partir del valor de conductancia del muro térmico (U) y de la relación entre el caudal y el área del muro.

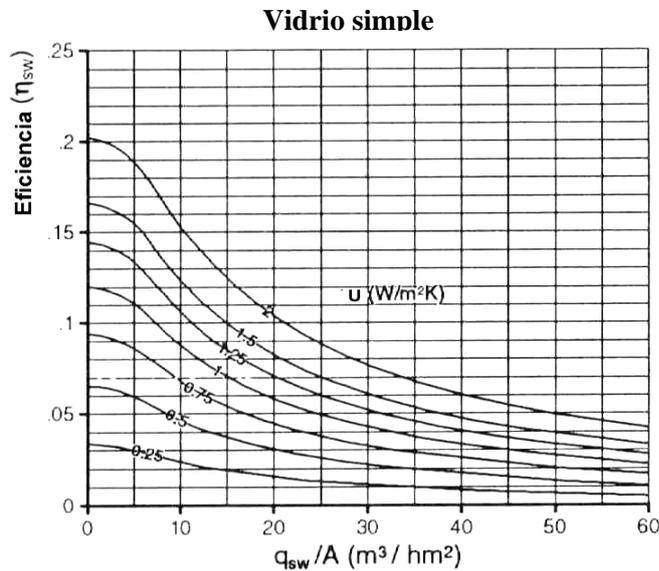


Figura D.2. Eficiencia de muro térmico con precalentamiento de aire utilizando vidrio exterior simple. (Fuente: Claux P., 1982).



La energía perdida en un mes determinado se calcula a partir de los grados día del mes considerado.

$$Q_{\text{perdido}} = \frac{24 \times P_{\text{total}} \times K_{\text{dia}}}{1000} \quad (\text{kWh/mes}) \quad [\text{D.41}]$$

$Q_{\text{perdido}}$ : Energía perdida en el mes considerado (kWh/mes) en la zona analizada, para todos los meses  $P_{\text{total}}$  tiene el mismo valor siendo los Grados día el valor que difiere para cada mes.

### Ganancias estimadas

Las ganancias energéticas a considerar en un edificio son las debidas al aprovechamiento solar (uso de elementos captadores de energía solar) y a las ganancias internas (metabolismo de los ocupantes, iluminación y disipación térmica de equipos domésticos).

Al igual que para las pérdidas, las ganancias estimadas se asignarán a cada una de las zonas en las que se ha zonificado el edificio.

Un punto a considerar en el cálculo de las ganancias a través de captadores solares (ventanas, muros Trombe, muros de inercia, etc.) es el sombreado al que están sometidos. Normalmente existen protecciones solares (balcones, aleros e incluso toldos) que producen sombras sobre estos elementos reduciendo las ganancias.

El porcentaje de sombreado es variable en función de la latitud del lugar, del día del año y de la hora del día. En los métodos mensuales se introduce un factor de reducción ( $S_f$ ) de la ganancia solar para evaluar esas pérdidas por sombreado.

Este factor es difícil de conocer a priori, por lo que se puede recurrir a calcular el sombreado en función de la geometría de las protecciones solares, determinando la posición del sol y el sombreado arrojado.

Un método posible (Turégano J.A. et al, 2001) podría basarse en la integración a lo largo del día, de la energía incidente cuyas contribuciones son debidas a la radiación directa, difusa y albedo.

Las ganancias internas ( $G_{\text{int}}$ ) en los edificios se deben a la ocupación, iluminación y al uso general de electrodomésticos; los cuales generan calor que luego se disipa al ambiente.

Todas estas fuentes de energía provocan unas ganancias internas gracias a las cuales se reducen las necesidades de calefacción del edificio.

Es difícil estimar los valores asociados a cada una de estas ganancias. Estudios realizados en diferentes viviendas de Europa han dado un promedio de ganancias por día y vivienda de 15 kWh (Goulding J.R., 1993). Este valor se ha obtenido para viviendas de edificios situados en barrios dormitorio.

$$G_{\text{int}} = 15 \quad (\text{kWh/día vivienda}) \quad [\text{D.42}]$$

La energía que es captada por una superficie acristalada depende de la inclinación y orientación del vidrio. Además la energía incidente se reduce debido a diferentes factores como la reducción de área captadora por la presencia de marcos en las ventanas, transmitancia del vidrio, posible sombreado y del tipo de suelo utilizado en la estancia a la que pertenece la ventana.

La ganancia solar estimada ( $G_{dg}$ ) para una ventana es función de la posición del sol y del clima. Para poder evaluarla se considera sólo un día de cada mes como valor representativo (el día 15), evaluándose la energía para el mes con ese valor multiplicado por el número de días que tenga el mes.

$$G_{dg} = E \times \tau \times A \times m \times C_c \times S_f \times C_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.43}]$$

$E$ : Energía total que incide en el vidrio por unidad de superficie en un día representativo ( $\text{kWh/m}^2$  día). Este valor se encuentra en tablas de datos climáticos o se determina con modelos adecuados que obtienen a partir de la insolación la radiación solar incidente sobre una superficie.

$\tau$ : Transmitancia media del vidrio (factor de ganancia solar), depende del tipo de vidrio (simple o doble, e incluso del color). Algunos valores representativos aparecen en la tabla 3.3 (NBECT-79).

$A$ : Área total de cada ventana incluidos marcos ( $\text{m}^2$ ).

$m$ : Coeficiente de reducción del área de captación por la presencia de marcos.

$C_c$ : Reducción debida a la presencia de cortinas; sin cortinas  $C_c=1$  y un valor típico con cortinas es  $C_c=0.94$ .

$S_f$ : Fracción de reducción de ganancia solar por sombreado. En la aplicación se calcula con un equivalente según se ha comentado anteriormente.

$C_f$ : Fracción de radiación solar incidente sobre el suelo que puede ser almacenada, según el grado de aislamiento y absorción del suelo. Este valor se obtiene de la figura D.4.

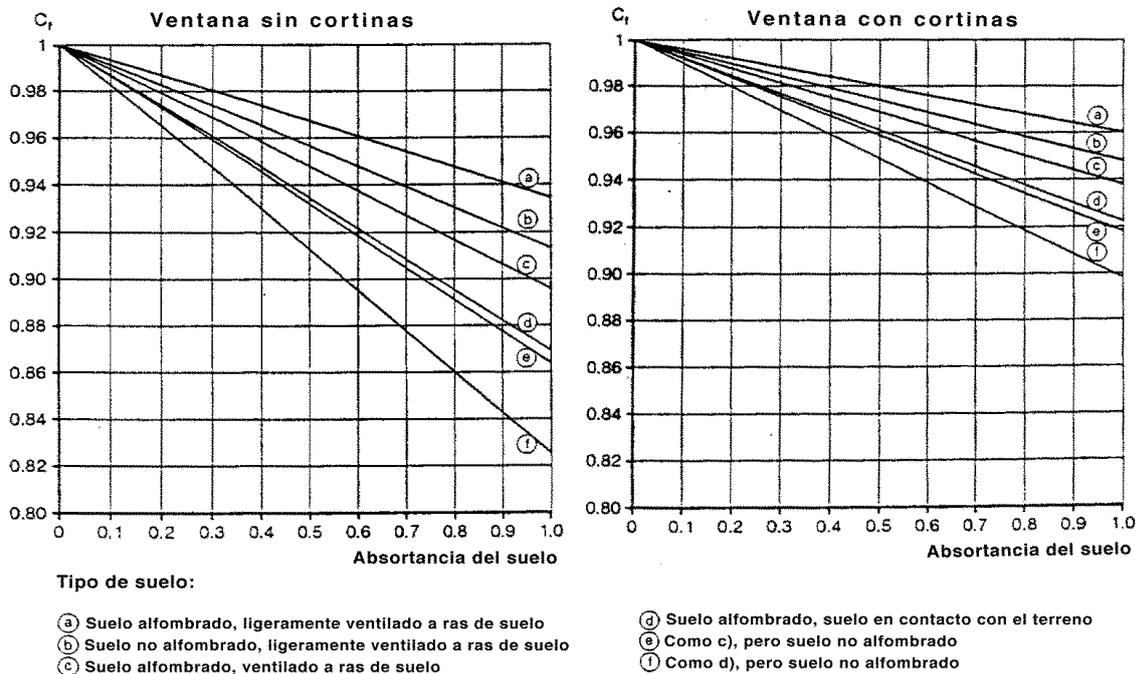


Figura D.4. Fracción de radiación solar incidente sobre el suelo. (Fuente: Claux P., 1982).

Para determinar la ganancia solar en un invernadero existen cuatro posibles vías de obtener ganancias solares que son las siguientes:

- $G_{sdg}$ ) Ganancia directa a través de las ventanas de separación entre el espacio calefactado y el invernadero.
- $G_{smw}$ ) Uso de un muro másico en la separación con el invernadero.
- $G_{sb}$ ) Efecto de espacio tampón al calentarse el invernadero, disminuyendo las pérdidas desde el espacio calefactado.
- $G_{sa}$ ) Precalentamiento del aire de ventilación que se introduce en el espacio calefactado.

En la figura D.5 se muestran las cuatro posibles formas de captación en un invernadero.

La ganancia total a través de un invernadero hacia el espacio calefactado se obtiene sumando las cuatro posibles causas de ganancia, siendo la ganancia total  $G_{inv}$ .

$$G_{inv} = G_{sdg} + G_{smw} + G_{sb} + G_{sa} \quad (\text{kWh/día}) \quad [D.44]$$

A continuación se describe cada una de las cuatro vías posibles de captación solar correspondiente a un invernadero.

La ganancia a través de las ventanas ( $G_{sdg}$ ) que separan el espacio calefactado se reducen respecto a las que habría si las ventanas estuviesen en el exterior.

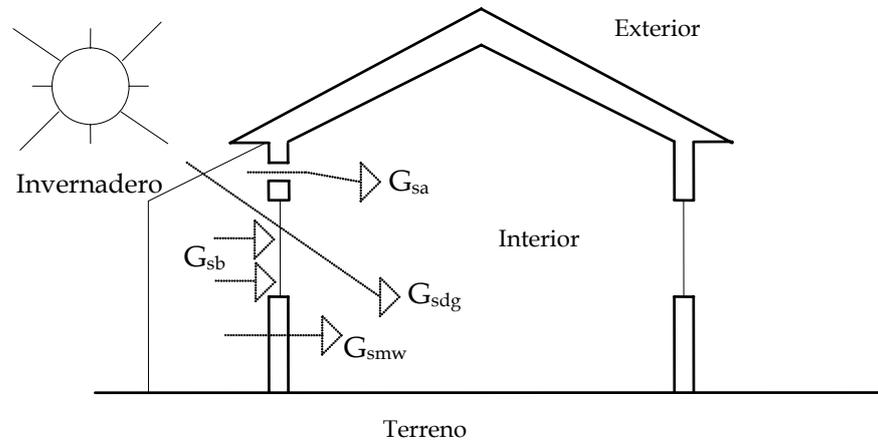


Figura D.5. Esquema de ganancias posibles en el interior de una vivienda apoyada por un invernadero.

La radiación que alcanza a las ventanas interiores es menor debida a la presencia de marcos en el acristalamiento externo del invernadero y a la disminución por la transmitancia que se produce en estos acristalamientos exteriores.

$$G_{sdg} = E \times \tau_s \times \tau \times A \times m \times S_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.45}]$$

$E$ : Energía total que alcanzaría el acristalamiento interno sin reducciones por unidad de superficie en un día representativo ( $\text{kWh/m}^2 \text{ día}$ ).

$\tau_s$ : Reducción por transmisión y presencia de marcos en acristalamiento externo del invernadero.

$$\tau_s = \tau_g \times m_s \quad [\text{D.46}]$$

$\tau_g$ : Transmitancia del vidrio utilizado en el acristalamiento externo.

$m_s$ : Relación de áreas para el acristalamiento externo del invernadero descontando los marcos y sin descontarlos.

$\tau$ : Transmitancia media del vidrio utilizado en ventanas internas.

$A$ : Área total de ventana interna incluido marco ( $\text{m}^2$ ).

$m$ : Coeficiente de reducción del área de captación por la presencia de marcos en la ventana interna.

$S_f$ : Fracción de reducción de ganancia solar por sombreamiento sobre ventana interna.

Las ganancias producidas por el uso de muro térmico sin aislante se determinan según la siguiente expresión:

$$G_{smw} = 0.11 \times U \times \alpha \times E_i \times \tau_s \times A \times S_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.47}]$$

U: Transmitancia térmica del muro térmico, sin incluir la convección interna y externa ( $\text{W/m}^2 \text{K}$ ).

$\alpha$ : Absortancia del muro con un recubrimiento negro mate se puede tener un valor  $\alpha = 0.9$ .

$E_i$ : Energía total incidente sobre el muro térmico sin reducciones por unidad de superficie en un día representativo ( $\text{kWh/m}^2 \text{día}$ ).

$\tau_s$ : Reducción por transmisión y presencia de marcos en acristalamiento externo del invernadero. Es el mismo valor que el definido en  $G_{sdg}$ .

A: Área total del muro térmico ( $\text{m}^2$ ).

$S_f$ : Fracción de reducción de ganancia solar por sombreamiento sobre el muro térmico.

La energía total que entra al invernadero ( $E_s$ ) es la que penetra a través del acristalamiento externo del invernadero.

$$E_s = E \times \tau_g \times A \times m \times S_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.48}]$$

E: Energía total incidente sobre el acristalamiento externo sin reducciones por unidad de superficie en un día representativo ( $\text{kWh/m}^2 \text{día}$ ).

$\tau_g$ : Transmitancia media del vidrio externo.

A: Área total de acristalamiento externo del invernadero, incluidos los marcos ( $\text{m}^2$ ).

m: Reducción por la presencia de marcos.

$S_f$ : Fracción de reducción de ganancia solar por sombreamiento sobre el acristalamiento externo del invernadero.

La energía almacenada en el invernadero ( $F_s$ ) se determina en función de la energía incidente sobre el invernadero, de las ganancias en ventanas internas y muro térmico, y de la forma del invernadero.

$$F_s = (a_1 \times E_s) - (a_2 \times G_{sdg}) - G_{smw} \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.49}]$$

$a_1$  y  $a_2$ : Coeficientes que dependen de la forma del invernadero, del grado de aislamiento y color del suelo del invernadero, del tipo de vidrio usado en exterior del invernadero. En la tabla D.2 aparecen los valores de estos dos coeficientes.

Los términos restantes ya han sido definidos con anterioridad.

La ganancia solar por el efecto de amortiguamiento que produce el invernadero se determina con la siguiente expresión:

$$G_{sb} = (1 - C_{lb}) \times F_s \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.50}]$$

$C_{lb}$ : Coeficiente calculado según las pérdidas a través de un espacio tampón, aplicado en este caso al invernadero.

Superficies colectoras		Suelo aislado		Suelo sin aislar			
				Suelo claro		Suelo oscuro	
		Simple vidrio	Doble vidrio	Simple vidrio	Doble vidrio	Simple vidrio	Doble vidrio
Techo, frontal y laterales	a1	0.65	0.69	0.63	0.67	0.59	0.63
	a2	0.85	0.87	0.85	0.87	0.85	0.87
Frontal y laterales	a1	0.70	0.74	0.68	0.71	0.65	0.68
	a2	0.89	0.91	0.89	0.91	0.89	0.91
Techo y frontal	a1	0.87	0.90	0.84	0.87	0.80	0.82
	a2	0.87	0.90	0.87	0.90	0.87	0.90

Tabla D.2. Coeficientes de forma y características de invernaderos. (Fuente: Claux P., 1982)

La ganancia debida a la ventilación desde el invernadero hacia el espacio calefactado es la siguiente:

$$G_{sa} = \frac{R_b \times F_s}{L_{hm}} \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.51}]$$

$R_b$  y  $L_{hm}$ : Coeficientes calculados según las pérdidas a través de un espacio tampón, aplicado en este caso al invernadero.

Un muro térmico con precalentamiento de aire es un tipo de cerramiento bioclimático, en cual se tiene un muro captador en contacto con el espacio calefactado y se antepone a este muro un acristalamiento a poca distancia, con lo cual se tiene una pequeña cámara de aire entre el acristalamiento y el muro.

En el acristalamiento externo y en el muro se practican unos orificios. Para favorecer la termocirculación se realizan en el acristalamiento en la parte inferior y en el muro en la parte superior. A través de estos orificios se produce una circulación de aire desde el exterior hacia el espacio calefactado.

Este aire de circulación se calienta al atravesar la cámara de aire ya que se produce el efecto invernadero entre el vidrio y el muro. Para producirse un mayor calentamiento es necesario que el muro presente un color oscuro, preferentemente negro, que favorezca la absorción de radiación solar por parte del muro.

En la figura D.6 se muestra el esquema de un muro térmico con precalentamiento de aire.

En este tipo de elemento bioclimático se producen ganancias hacia el espacio calefactado gracias a la introducción de aire caliente y a la conducción a través del muro. Siendo la ganancia total ( $G_{sw}$ ) la suma de estas dos contribuciones.

Las ganancias por la introducción de este aire caliente se evalúan con la siguiente expresión:

$$G_{asw} = \frac{F \times R_{sw} \times r_{int} \times C}{A} \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.52}]$$

F: Energía absorbida por el muro. Se calcula de forma parecida a los muros térmicos en invernaderos (kWh/día).

$$F = \alpha \times E_i \times \tau_s \times A \times S_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.53}]$$

$R_{sw}$ : Reducción de pérdidas por ventilación. Este parámetro se ha definido con anterioridad.

A: Área total del muro térmico ( $\text{m}^2$ ).

$r_{int}$ : Resistencia térmica interna del muro más la resistencia superficial interior ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ).

$$r_{int} = 0.11 + r_{muro} \quad (\text{m}^2 \text{K/W}) \quad [\text{D.54}]$$

$r_{muro}$ : Resistencia térmica interna del muro térmico ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ).

C: Factor que tiene en cuenta la posición del aislante en el muro. Cuando se tiene aislamiento interno del muro  $C = 0,90$  y con aislante externo  $C = 0,86$ .

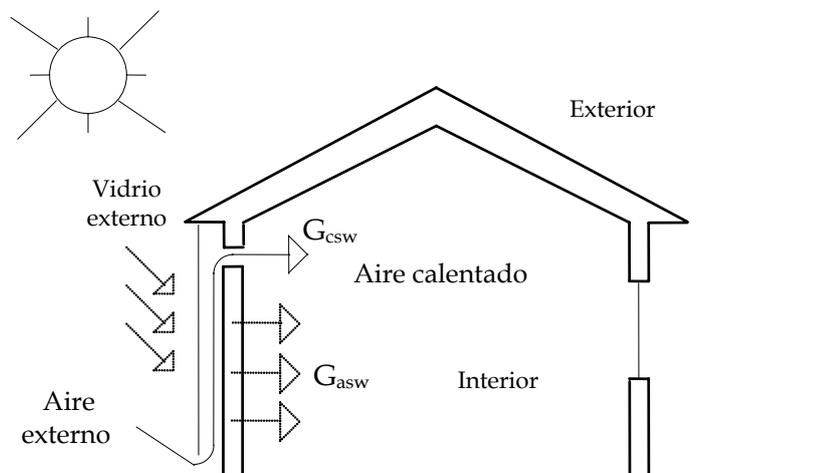


Figura D.6. Esquema de un muro térmico con precalentamiento de aire.

Las ganancias por conducción a través del muro se evalúan con la siguiente expresión:

$$G_{csw} = F \times U \times r_{ext} \times C \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.55}]$$

U: Conductancia térmica del conjunto muro, cámara de aire, acristalamiento y además incluye las resistencias superficiales interna y externa del cerramiento ( $\text{W/m}^2 \text{K}$ ).

$r_{ext}$ : Resistencia térmica desde el muro hasta el exterior. Esta resistencia es la debida a la cámara de aire, acristalamiento y resistencia térmica superficial externa ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ).

$$r_{\text{ext}} = 0.22 + r_g \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad [\text{D.56}]$$

rg: Resistencia térmica del acristalamiento. Para simple vidrio  $r_g=0$  y para doble vidrio  $r_g=0,11 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ .

Otro elemento utilizado como captación es el muro Trombe, que está compuesto de un muro térmico (muro macizo sin aislamiento) y de un acristalamiento externo separado del muro por una pequeña cámara de aire. En el muro existen orificios en la parte inferior y superior de éste. En la figura D.7 se representa un esquema de este elemento bioclimático.

Durante el día el aire de la habitación circula por termosifón a través de los orificios del muro, calentándose el aire al pasar por la cámara de aire en la cuál se produce el efecto invernadero al contar con un vidrio externo y con un muro de un color que favorece la absorción de la radiación solar.

En el período nocturno se tienen que cerrar los orificios para que no se produzca la inversión del efecto termosifón. Además para favorecer la reducción de pérdidas a través de este cerramiento se puede utilizar aislamiento nocturno.

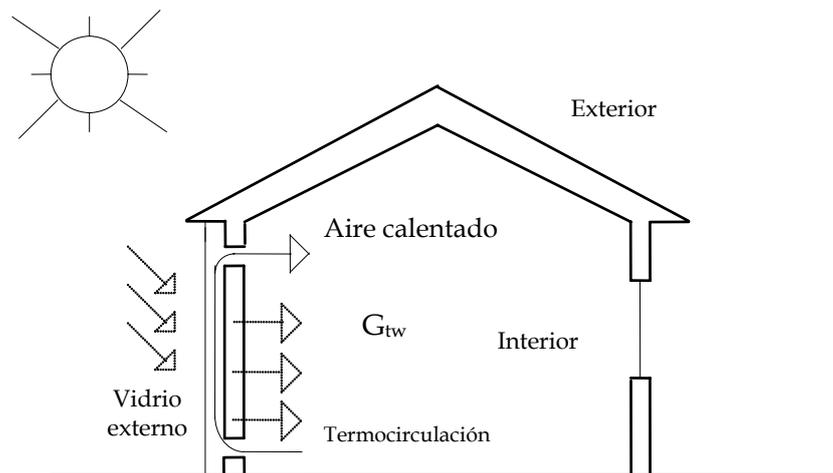


Figura D.7. Esquema de muro Trombe.

Las ganancias con un muro Trombe se evalúan con la siguiente expresión:

$$G_{\text{tw}} = F \times C \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.57}]$$

F: Energía absorbida por el muro. Se calcula de forma parecida a los muros térmicos en invernaderos (kWh/día).

$$F = \alpha \times E \times \tau_s \times A \times S_f \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.58}]$$

A: Área total del muro térmico ( $\text{m}^2$ ).

C: Eficiencia del muro Trombe. Este valor depende el tipo de vidrio utilizado en el exterior, de la emisividad que presenta el muro y de la utilización de aislante nocturno se obtiene de la tabla D.3.

Tipo vidrio	Emisividad absorbente	Existe aislante	C
Simple vidrio	0.9	No	0.46
Simple vidrio	0.9	Si	0.58
Doble vidrio	0.9	No	0.66
Doble vidrio	0.9	Si	0.76
Simple vidrio	0.1	No	0.65
Simple vidrio	0.1	Si	0.76
Doble vidrio	0.1	No	0.77
Doble vidrio	0.1	Si	0.85

Tabla D.3. Eficiencia del muro Trombe. (Fuente: Claux P., 1982).

Una modificación del muro Trombe es un muro másico, que es un muro Trombe al cuál no se le han realizado los orificios. Las ganancias, en este caso, sólo se producirán por conducción a través del muro. En la figura D.8 se muestra este tipo de cerramiento.

Las ganancias con un muro másico sin utilización de aislamiento nocturno se evalúan con la siguiente expresión:

$$G_{mw} = F \times U \times r_{ext} \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.59}]$$

F: Energía absorbida por el muro. Se calcula de forma análoga a los muros Trombe (kWh/día).

U: Conductancia térmica del conjunto muro, cámara de aire, acristalamiento. Además se incluye las resistencias superficiales interna y externa del cerramiento ( $\text{W/m}^2 \text{K}$ ).

$r_{ext}$ : Resistencia térmica desde el muro hasta el exterior. Esta resistencia es la debida a la cámara de aire, acristalamiento y resistencia térmica superficial externa ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ).

$$r_{ext} = 0.06 + r_g + r_a \quad (\text{m}^2 \text{K/W}) \quad [\text{D.60}]$$

$r_g$ : Resistencia térmica del acristalamiento. Para simple vidrio  $r_g=0$  y para doble vidrio  $r_g=0,11 \text{ m}^2 \text{K/W}$ .

$r_a$ : Resistencia térmica de la cámara de aire. Si el muro no tiene absorbente selectivo  $r_a=0,16 \text{ m}^2 \text{K/W}$  y si tiene capa de absorbente selectivo  $r_a=0,40 \text{ m}^2 \text{K/W}$ .

Cuando se utiliza aislamiento nocturno las ganancias se evalúan con la siguiente expresión:

$$G_{mw} = F \times (0.7 \times U_d \times r_{ed} + 0.3 \times U_n \times r_{en}) \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.61}]$$

$U_d$ ,  $U_n$ : Conductancia térmica del conjunto muro, siendo  $U_d$  el valor de conductancia de día sin utilizar aislante, y  $U_n$  el valor de conductancia de noche utilizando aislante ( $\text{W/m}^2 \text{K}$ ).

$$\frac{1}{U_n} = \frac{1}{U_d} + r_{ni} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad [\text{D.62}]$$

$r_{ni}$ : Resistencia térmica del aislante ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ).

$r_{ed}$ ,  $r_{en}$ : Resistencia térmica desde el muro hasta el exterior. La resistencia  $r_{ed}$  es para el día sin aislante y la  $r_{en}$  para la noche con aislante ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ).

$$r_{en} = r_{ed} + r_{ni} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad [\text{D.63}]$$

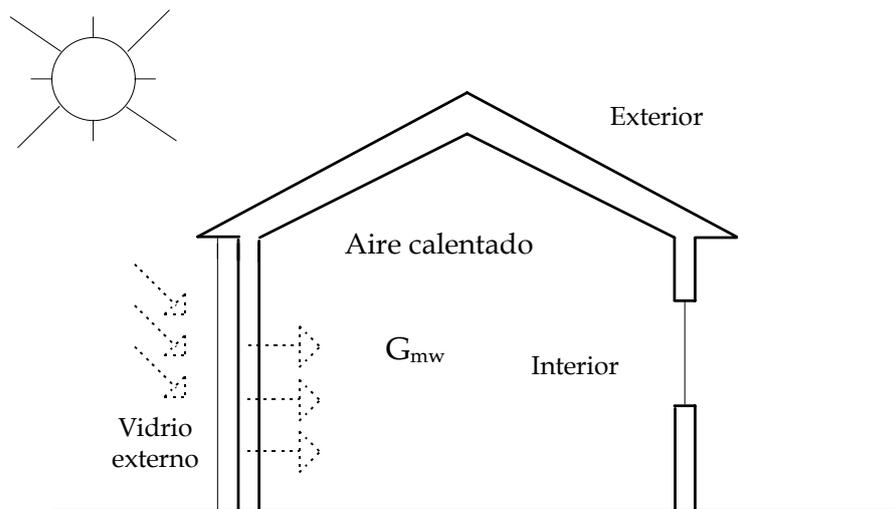


Figura D.8. Esquema de un muro másico.

Para cada zona se tiene que calcular para cada mes analizado se calcula la ganancia total promedio por día; esta ganancia total es la suma de todas las ganancias estimadas para todos los elementos captadores solares añadiendo también las ganancias internas estimadas que existen en la zona.

$$G = G_{int} + G_{dg} + G_{inv} + G_{sw} + G_{rw} + G_{mw} \quad (\text{kWh/día}) \quad [\text{D.64}]$$

$G$ : Ganancia total contabilizando todos los elementos captadores de energía. Alguno de los sumandos puede ser nulo si no se utiliza el elemento correspondiente de captación solar y las ganancias internas de la zona ( $\text{kWh/día}$ ).

Para el día 15 de cada mes se evalúa  $G$ , siendo este valor el promedio representativo de ganancia solar de dicho mes.

Toda la energía captada, ganancia total  $G$ , no es aprovechada por la zona, debiéndose reducir esta ganancia máxima obteniéndose el valor de ganancia útil que verdaderamente es aprovechado y el cual reduce el consumo de calefacción.

La ganancia útil depende de la inercia térmica de la zona del edificio y de la relación entre la ganancia máxima ( $G$ ) y las pérdidas para cada zona.

Para determinar la inercia térmica de la zona se calcula para cada cerramiento, incluidos los cerramientos de partición entre zonas, la masa térmicamente útil por unidad de superficie de cada cerramiento.

Esta masa no es el peso total del cerramiento. La masa imputable tiene en cuenta la posición del aislamiento en el cerramiento y la posición del cerramiento, imputándose como masa la correspondiente a la parte del muro que aporta inercia térmica a la zona.

Las diferentes posibilidades para contabilizar la masa térmicamente útil por unidad de superficie se enumeran a continuación:

- Muros y forjados en contacto con el exterior. Si no hay aislante la masa útil es la mitad del peso del muro o forjado. En todos los casos el valor máximo que se puede asignar es de  $150 \text{ Kg/m}^2$ . Si el peso determinado es mayor entonces se toma el valor máximo.
- Muros o forjados en contacto con el terreno: se asigna directamente un valor de  $150 \text{ Kg/m}^2$  si no tiene aislante. Cuando tiene aislante, la masa útil es el peso de material que se encuentra entre el aislante y el espacio calefactado.
- Muros o forjados de separación entre diferentes zonas calefactadas. En los cerramientos sin aislante se asigna para cada zona la mitad de su peso. Cuando existe aislante se le asigna a cada zona el peso del cerramiento entre el aislante y la zona en cuestión. Se considera en todos los casos como límite  $150 \text{ Kg/m}^2$ .
- Muros internos dentro de la propia zona. Se asigna el peso del cerramiento teniendo como límite  $300 \text{ Kg/m}^2$ .

Multiplicando la masa térmicamente útil por unidad de superficie de cada cerramiento por el área de cada cerramiento se obtiene la masa térmicamente útil de dicho cerramiento. La masa térmicamente útil de cada zona se obtiene de la suma de toda la masa térmicamente útil de todos los cerramientos que la delimitan, separando dichos cerramientos la zona bien del exterior, de otras zonas o del terreno.

El dato representativo de la inercia de la zona es la masa térmicamente útil (I) por unidad de superficie. Este valor se obtiene de dividir la inercia térmicamente útil de la zona por el área del suelo que ocupa la zona.

Con el valor obtenido de la inercia de la zona (I) se clasifica el edificio y se obtiene la constante de tiempo del edificio ( $\tau$ ), cuya unidad es horas. Existen cinco tipos de edificios según la inercia obtenida que son los siguientes:

- Muy baja inercia: cuando I es menor  $60 \text{ Kg/m}^2$ .  $\tau$  está alrededor de 10 h.
- Baja inercia: cuando I se encuentra entre  $60$  a  $150 \text{ Kg/m}^2$ .  $\tau$  está alrededor de 25 h.
- Media inercia: cuando I se encuentra entre  $150$  a  $400 \text{ Kg/m}^2$ .  $\tau$  está alrededor de 50 h.
- Alta inercia: cuando I es  $400 \text{ Kg/m}^2$  o superior.  $\tau$  está alrededor de 100 h.

- Bloque de edificios: se tiene una gran inercia como mínimo es de 400 Kg/m<sup>2</sup>. La diferencia con el anterior tipo es la forma del edificio así como su uso (usualmente barrios dormitorio).  $\tau$  está alrededor de 200 h.

Para determinar de forma aproximada la constante de tiempo de cada zona del edificio se utiliza la figura D.9, partiendo de I y conocido el tipo de edificio se obtiene  $\tau$ . El valor obtenido está dentro de un rango amplio debido a la imprecisión del gráfico mostrado.

Una simplificación válida es construir una función para obtener  $\tau$  a partir de I sin utilizar el tipo de edificio ya que hay una relación directa entre inercia y tipo. La función obtenida por interpolación de la nube de puntos válidos de la figura es la siguiente:

$$\tau = 10 + 0.23222222 \times I - 0.00117778 \times I^2 + 0.00000356 \times I^3 \quad [D.65]$$

( $\tau$  (h), I(Kg/m<sup>2</sup>))

La ganancia solar estimada de la zona para un mes ( $G_{mes}$ ) es la siguiente:

$$G_{mes} = G \times n_{días} \quad (\text{kWh/mes}) \quad [D.66]$$

$n_{días}$ : Número de días en el mes correspondiente.

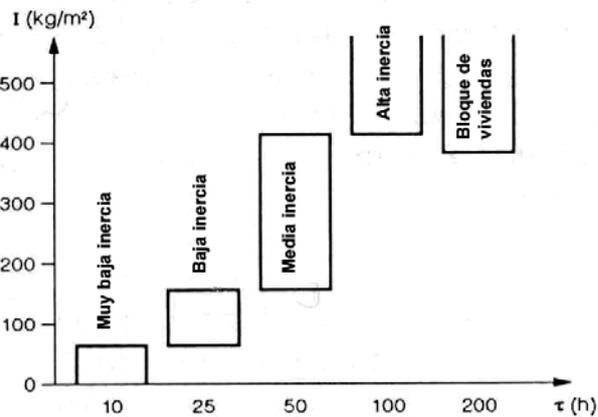


Figura D.9. La constante de tiempo del edificio en función del tipo e inercia de éste. (Fuente: Claux P., 1982).

Esta ganancia estimada por mes no es necesariamente, la aprovechada. Se define, así, como: la ganancia útil de la zona para un mes la siguiente:

$$G_{\text{útil}} = G_{mes} \times \eta \quad (\text{kWh/mes}) \quad [D.67]$$

$G_{\text{útil}}$ : Ganancia solar útil de la zona. Esta energía es la que se descuenta a las pérdidas de la zona obteniendo la necesidad de calefacción de cada zona que compone el edificio. Si la ganancia solar útil supera las pérdidas de calefacción significará que no se necesita calefacción y parte de la ganancia es utilizada en elevar la temperatura interior por encima de la temperatura termostática.

$\eta$  : Factor de utilización de la ganancia solar. Este factor es función de la inercia térmica de la zona. Se calcula teniendo en cuenta la pérdida mensual para el mes evaluado ( $Q_{\text{perdido}}$ ).

$$GLR = \frac{G_{\text{mes}}}{Q_{\text{perdido}}} \quad [D.68]$$

siendo entonces

$$\eta = 1 - \left(0.581 - \frac{0.0957}{GLR}\right) e^{(0.0195 \times GLR - 0.0279) \times \tau} \quad [D.69]$$

El uso del factor  $\eta$  está limitado por las siguientes condiciones:

- Si la ganancia solar útil ( $G_{\text{útil}}$ ) es mayor que las pérdidas ( $Q_{\text{perdido}}$ ), en este caso las necesidades auxiliares de calefacción son nulas y el valor del factor de utilización se recalcula tomando en este caso el valor siguiente:

$$\eta = \frac{Q_{\text{perdido}}}{G_{\text{útil}}} \quad [D.70]$$

- Si el factor de utilización obtenido es mayor que 1,0 entonces se limita a  $\eta = 1,0$ .
- Cuando GLR es mayor de 1,4, entonces la correlación de  $\eta$  deja de ser precisa. Este hecho no es preocupante ya que este caso se da para períodos en los que las pérdidas son pequeñas y se tienen ganancias elevadas, en estos períodos no se necesita calefacción e incluso debe ventilarse para evitar sobre temperaturas.

### Necesidad de calefacción

La necesidad de calefacción ( $Q_{\text{calefacción}}$ ) de cada una de las zonas para cada mes es la diferencia entre las pérdidas ( $Q_{\text{perdido}}$ ) y la ganancia útil ( $G_{\text{útil}}$ ) para dicho mes

$$Q_{\text{calefacción}} = Q_{\text{perdido}} - G_{\text{útil}} \quad (\text{kWh/mes}) \quad [D.71]$$

Cuando se utiliza un sistema con diferentes temperaturas termostáticas para el día y para la noche la demanda de calefacción disminuye. El ahorro obtenido se calcula multiplicando por un factor reductor el máximo ahorro teórico.

El ahorro máximo se determina con la siguiente expresión:

$$A_{\text{máximo}} = \frac{Q_{\text{perdido}}}{t_t - t_0} \times (t_t - t_t^1) \times \frac{d}{24} \quad (\text{kWh/mes}) \quad [D.72]$$

$t_0$ : Temperatura media en el exterior (°C).

$t_t$ : Temperatura termostática interior de día (°C).

$t_t^1$ : Temperatura termostática interior de noche (°C).

d: Número de horas en las que se mantiene la temperatura termostática de noche.

Para determinar la reducción del ahorro máximo se tiene que calcular la relación del ahorro máximo frente a las pérdidas estimadas sin utilización de temperatura termostática nocturna, este valor es el siguiente:

$$GLR_{\text{ahorro}} = \frac{A_{\text{máximo}}}{Q_{\text{perdido}}} \quad [D.73]$$

El coeficiente de reducción es el siguiente:

$$\theta = \frac{58.47 - 303.93 \times GLR_{\text{ahorro}}}{58.47 - 303.93 \times GLR_{\text{ahorro}} + \tau} \quad [D.74]$$

$\tau$  : Es la constante de tiempo de la zona.

Cuando  $\theta$  es mayor de 0,19 se supone nulo el ahorro asignando  $\theta=0$ , este caso corresponde cuando la temperatura de noche es muy inferior a la del día, no aceptándose en este caso un ahorro energético. El ahorro máximo según el Método 5000 está limitado por lo tanto a un 19%.

La reducción de consumo por la utilización de temperatura termostática diferente en el período diurno y nocturno se obtiene al multiplicar el coeficiente reductor  $\theta$  por el ahorro máximo.

La necesidad de calefacción por la utilización de termostato diferencial es el siguiente:

$$Q_{\text{calefacción}} = Q_{\text{perdido}} - G_{\text{útil}} - \theta \times A_{\text{máximo}} \quad (\text{kWh/mes}) \quad [D.75]$$

La demanda total de calefacción del edificio será la suma de la demanda de todas las zonas que componen el edificio.

Para comparar demandas de calefacción entre edificios de la misma tipología se utiliza el consumo de calefacción por unidad de superficie calefactada del edificio (IEA, 1997). Este parámetro es el que tiene validez para comparar edificios ya que la demanda total de un edificio depende del área calefactada que tenga éste.

Otros parámetros útiles para el estudio de un edificio son la temperatura que se alcanzaría en éste sin utilizar calefacción y la temperatura interior media con la utilización de calefacción.

La temperatura interna sin uso de calefacción se obtiene con la siguiente expresión:

$$t_{\text{wh}} = t_0 + (t_t - t_0) \times GLR \quad (^\circ\text{C}) \quad [D.76]$$

$t_{\text{wh}}$ : Temperatura interior sin uso de calefacción ( $^\circ\text{C}$ ).

$t_0$ : Temperatura media en el exterior ( $^\circ\text{C}$ ).

$t_t$ : Temperatura termostática interior ( $^\circ\text{C}$ ).

La temperatura interior media se determina con la siguiente expresión:

$$t_i = t_{wh} + (t_t - t_0) \times (1 - \eta \times GLR) \quad (^\circ\text{C}) \quad [\text{D.77}]$$

$t_i$ : Temperatura interior media obtenida con el uso de calefacción y el aporte de ganancias solares ( $^\circ\text{C}$ ).

### D.2.2. Norma UNE-EN 832

El método de cálculo UNE-EN 832 es similar al Método 5000 por lo que sólo se muestran las diferencias existentes entre los dos.

El balance energético de los edificios residenciales que se realiza con este método es en régimen estacionario, pero se tienen en cuenta las variaciones de las temperaturas interior y exterior y el efecto dinámico de las ganancias internas y solares mediante un factor útil.

El análisis se realiza zonificando el edificio, dividiendo el edificio en más de una zona si existen diferentes temperaturas termostáticas en el edificio o por la aparición de diferencias en cuanto a la captación solar o a las ganancias internas.

Para determinar las pérdidas y las ganancias solares se utilizan como datos climáticos la temperatura media mensual o estacional y la radiación solar total mensual o estacional por unidad de superficie para cada orientación.

#### Pérdidas estimadas

A diferencia del Método 5000, en el caso de existir varias zonas entre zonas contiguas se permite renovar aire de una zona a otra por lo que habrá que tener en cuenta el intercambio energético producido por existir diferentes temperaturas zonales.

Por motivos de confort e higiene, en un edificio ocupado es necesario establecer una tasa mínima de renovación de aire. La tasa viene determinada a nivel nacional (IT. IC. 1992 y RITE 1998) teniendo en cuenta el tipo y modo de ocupación del edificio.

La renovación mínima de aire recomendada en el caso de no existir ninguna información a nivel nacional es de 0,5 1/h, siendo el valor usual de la renovación de aire utilizado en modelación de edificios. Por ejemplo, en el edificio de referencia de la Certificación Energética de Viviendas del País Vasco (PEEV – CADEM 1992) se ha tomado un valor próximo de 0,6 1/h.

A diferencia de las indicaciones anteriores, en el CTE se fija una renovación de aire muy elevada comparada con las anteriores, por ejemplo, para el caso de una vivienda de 3 dormitorios de unos 90 m<sup>2</sup> de superficie según el CTE habría que utilizar una renovación de aire de 1,7 1/h, valor que se antoja bastante diferente al utilizado en simulaciones energéticas de edificios.

La norma UNE-EN 832 permite utilizar calefacción intermitente o de ralentí, anulando incluso el aporte térmico del sistema auxiliar. Este modo de funcionamiento no está permitido en el Método 5000 donde se incluye el ralentí pero no el apagado total.

Para tener en cuenta esta reducción de la demanda se analiza la capacidad térmica del edificio para conocer la temperatura a la cuál se encontrará el edificio según se le someta a los diferentes ciclos de encendido y apagado.

### Ganancias estimadas

La ganancia total de energía proviene de la captación solar y de los aportes interiores (metabolismo de ocupantes, consumo normal de aparatos eléctricos, sistema de distribución, ...).

En el cálculo se deben utilizar valores medios mensuales o estacionales. En ausencia de indicadores nacionales se recomienda utilizar un valor de  $0,12 \text{ W/m}^2$  de superficie de local calefactado.

Este valor recomendado es muy próximo al aconsejado en el Método 5000 para edificios residenciales que lo estiman en  $0,15 \text{ W/m}^2$ .

Para determinar la energía transmitida proveniente de la radiación solar incidente a través de un vidrio al interior del edificio hay que utilizar el factor solar (UNE-EN 410). En esta norma se determina este valor para una radiación solar perpendicular al acristalamiento.

Para cálculos mensuales se precisa un valor medio bajo todos los ángulos de incidencia, no sólo para incidencia normal como determina la UNE –EN 410. La norma UNE – EN 832 salva este inconveniente incluyendo un factor reductor de 0,9 para la reducción de la transmitancia con incidencia perpendicular.

En la UNE –EN 832 se indica que este factor reductor depende del tipo de vidrio, la latitud, el clima y la orientación. No se indica ningún otro factor recomendable en función de la variación de los anteriores parámetros.

La norma analizada en este subapartado indica que las ganancias solares netas anuales de las paredes opacas sin aislamiento transparente representan una pequeña parte de las aportaciones solares totales y son en parte compensadas por las pérdidas por radiación entre el edificio y el cielo y por tanto se pueden despreciar.

La ganancia para este tipo de cerramiento puede ser considerada cuando ésta es importante. Éste es el caso de superficies oscuras fuertemente soleadas o cuando las pérdidas por radiación parecen importantes, por ejemplo para grandes superficies orientadas al cielo. El aporte radiativo neto se estima según la siguiente ecuación.

$$G_r = U \times A \times r_{ext} \times (\alpha \times F - f_f \times h_r \times \Delta T_{c-t} \times 24) \quad (\text{Wh/día}) \quad [\text{D.78}]$$

$U$ : Conductancia térmica del cerramiento incluyendo las resistencias superficiales interna y externa, ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ).

$A$ : Área, ( $\text{m}^2$ ).

$r_{ext}$ : Resistencia térmica superficial, ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ).

$\alpha$ : Absortancia de la superficie externa del cerramiento.

$F$ : Energía incidente diaria sobre el cerramiento según la orientación e inclinación, ( $\text{Wh/m}^2$  día).

$f_f$ : Factor de forma entre la pared y el cielo (1 para una cubierta horizontal sin sombra, 0,5 para una pared vertical sin sombra).

$h_r$ : Coeficiente superficial de radiación exterior. En una primera aproximación se puede tomar como valor 5 Wh/m<sup>2</sup> día.

$$h_r = 4 \times \varepsilon \times \sigma \times (\Delta T_{s-c} + 273)^4 \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad [\text{D.79}]$$

- $\varepsilon$ : Emisividad para la radiación térmica de la superficie exterior
- $\sigma$ : Constante de Stefan – Boltzmann ( $= 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )
- $\Delta T_{s-c}$ : Media aritmética entre la temperatura superficial del cerramiento y el cielo, (°C).

$\Delta T_{c-t}$ : Diferencia media entre la temperatura del aire exterior y la temperatura aparente del cielo, (°C). Como primera aproximación se puede considerar de 9°C para países del Europa del Norte, 11°C para países de la zona mediterránea y 10°C para países intermedios a los anteriores.

### D.3. Método simplificado corregido de refrigeración

La demanda de calefacción de un edificio no sólo es la que define un buen diseño desde el punto de vista energético. Dadas las latitudes en las que se encuentra Europa para ciertas zonas mediterráneas la carga de refrigeración es importante (Goulding J. R., 1993) por lo que el mejor diseño será aquél con el que se tengan menor necesidad conjunta de calefacción y refrigeración.

En este apartado se va a exponer un método para el cálculo de la carga de refrigeración de edificios. Se ha seleccionado éste por la validación que realizó su autor (Santamouris M., 1997) al compararlo satisfactoriamente con la aplicación TRNSYS (1988) de simulación detallada, reconocida a nivel mundial.

Este método es una modificación del método de los grados días en el que se corrige la ganancia útil del edificio para tener en cuenta el efecto de la inercia térmica.

La carga instantánea de refrigeración ( $Q_r$ ) de un edificio viene determinada por la siguiente ecuación:

$$Q_r = K_{tot} \times (t_o - t_i) + Q_s + Q_i \quad (\text{W}) \quad [\text{D.80}]$$

$K_{tot}$ : coeficiente global de pérdidas del edificio, (W/K). Este término tiene en cuenta las pérdidas por conducción a través de los cerramientos y por la renovación de aire. El modo de obtener este coeficiente se expuso en el subapartado ‘Métodos de los grados día’.

$t_o$ : temperatura ambiente del aire exterior, (K).

$t_i$ : temperatura ambiente del aire interior o temperatura termostática, (K).

$Q_s$ : ganancia solar a través de los cerramientos transparentes (acristalamiento) y opacos (muro, cubierta, etc), (W).

$Q_i$ : ganancias internas, (W).

Operando con la anterior expresión se obtiene la temperatura base ( $t_b$ ) que se define como:

$$t_b = t_i - \frac{Q_s + Q_i}{K_{tot}} \quad (\text{K}) \quad [\text{D.81}]$$

Pudiendo expresar la carga instantánea en función de la temperatura base.

$$Q_r = K_{tot} \times (t_o - t_b) \quad (\text{W}) \quad [\text{D.82}]$$

Si se integra la ecuación anterior de la carga instantánea de refrigeración para el período de un mes se obtiene la carga mensual de refrigeración ( $Q_{rm}$ ):

$$Q_{rm} = K_{tot} \times GD_{rm}(t_{bm}) \times 24 \quad (\text{Wh/mes}) \quad [\text{D.83}]$$

$GD_{rm}$ : grados día de refrigeración basados en la temperatura base media mensual, (Kh/mes).

$t_{bm}$ : temperatura media mensual de la temperatura base, (K).

$$t_{bm} = t_i - \frac{Q_{sm} + Q_{im}}{K_{tot}} \quad (\text{K}) \quad [\text{D.84}]$$

$Q_{sm}, Q_{im}$ : media mensual instantánea de las ganancias solares e internas, (W).

Para determinar los grados día de refrigeración se puede recurrir al método propuesto por Erbs D.G. et al (1983) y que aparece desarrollado en ASHRAE (1997),

Para determinar el valor de la temperatura base media mensual hay que calcular las ganancias medias solares así como las internas.

Las ganancias solares medias para superficies transparentes ( $Q_{smt}$ ) se determinan con la siguiente ecuación.

$$Q_{smt} = \alpha \times f \times \sum_1^{ST} A \times \tau \times H_G \times CS \quad (\text{W}) \quad [\text{D.85}]$$

$\alpha$ : absortancia media del recinto a refrigerar.

$f$ : factor corrector obtenido de la tabla D.4.

$ST$ : el sumatorio se extiende para el número total de superficies transparentes del edificio.

$A$ : área de las superficies, ( $\text{m}^2$ ).

$\tau$ : transmitancia de la superficie transparente a la radiación de onda corta.

$H_G$ : irradiación media mensual incidente sobre la superficie, ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

$CS$ : coeficiente de sombreado medio mensual sobre la superficie.

Modelo de ocupación	Edificio inercia media o baja	Edificio inercia alta
24 horas	1	1
7:00 a 23:00	0.9	0.75
8:00 a 18:00	0.85	0.55
9:00 a 15:00	0.8	0.4

Tabla D.4. Factor corrector para obtener la ganancia solar útil para refrigeración. (Fuente: Santamouris M., 1997)

Para determinar la absorptancia media, Yañez G. (1988) propone la ecuación siguiente:

$$\alpha = 1 - \frac{\tau_D \times \rho \times \frac{S_v}{S_h}}{1 - \rho \times (1 - \frac{S_v}{S_h})} \quad [D.86]$$

$\tau_D$  : transmitancia del vidrio a la radiación directa.

$\rho$  : reflectancia de las superficies que delimitan el volumen de la estancia.

$S_h$  y  $S_v$  : superficie de los cerramientos que delimitan el volumen de la estancia. El segundo término es la superficie del acristalamiento por el que se produce la captación, ( $m^2$ ).

El valor de la absorptancia suele estar próximo a la unidad para los datos habituales utilizados en las edificaciones residenciales. Por ello, este coeficiente no es utilizado para reducir la captación solar en el Método 5000 ni en la norma UNE – EN 832.

En los gráficos siguientes se muestra la tendencia de la absorptancia para un dormitorio y un salón de una vivienda (representados en la figura D.10). Estas estancias tienen unas dimensiones similares a las que actualmente se están construyendo en viviendas de protección oficial en España. En este análisis se realiza una variación casi total de la reflexión utilizando vidrio doble.

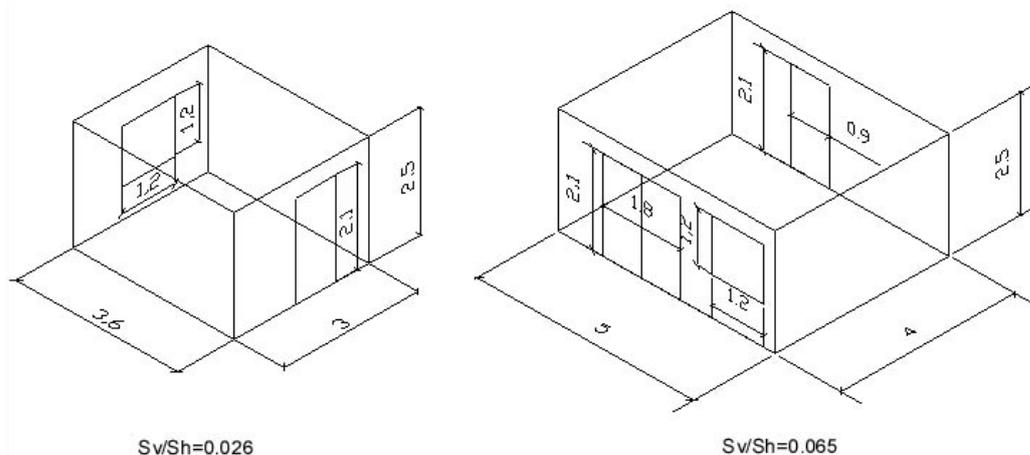


Figura D.10. Dimensiones de una habitación y un salón típicos en la actualidad constructiva española.

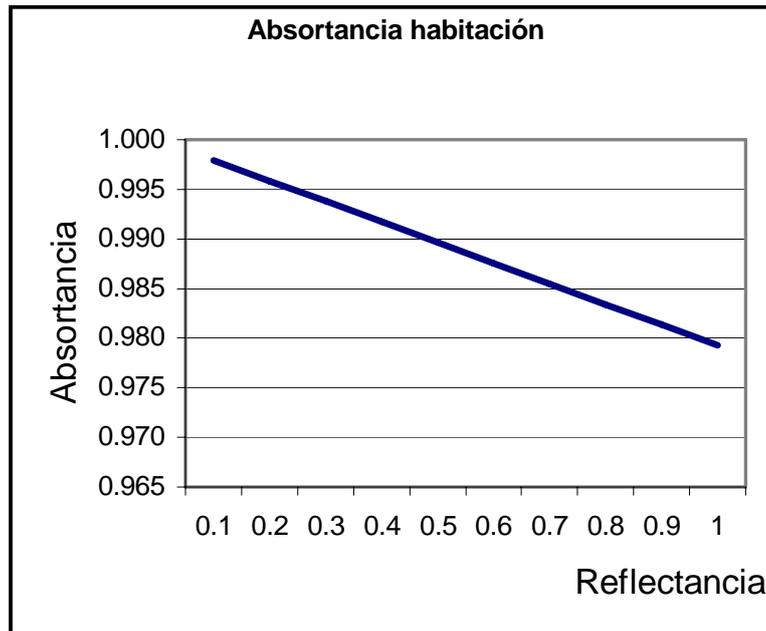


Figura D.11. Absortancia media en función de la reflectancia de una habitación de 11m<sup>2</sup> utilizando vidrio doble de transmitancia directa 0,72.

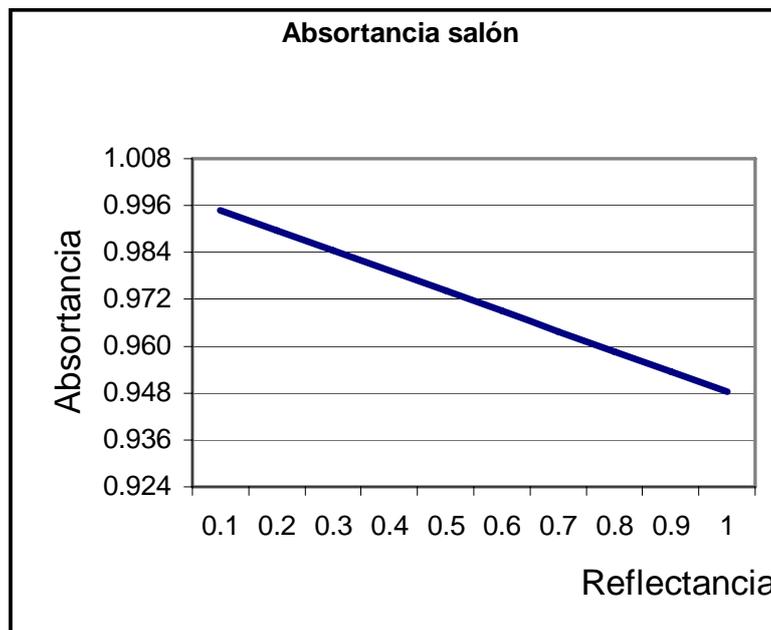


Figura D.12. Absortancia media en función de la reflectancia de un salón de 20 m<sup>2</sup> utilizando vidrio doble de transmitancia directa 0.72.

Cucumo M. et al (1995), analizaron la absortancia media para diferentes dimensiones de habitaciones (4×4×4 m, 4×5×3 m, 5×4×3 m, 3×4×2 m, 6×4×3 m) y variaciones de porcentaje de acristalamiento. Para las dos estancias anteriormente analizadas los resultados mostrados por Cucumo M. corroboran la validez de las conclusiones planteadas bajo el modelo de Yañez G. (1982).

En el caso de superficies exteriores opacas, el método también considera su ganancia solar, esta ganancia instantánea ( $Q_{smo}$ ) se determina con la siguiente ecuación.

$$Q_{smo} = \sum_1^{ST} U \times A \times [(t_{s-a} - t_o) + df \times (t_{s-a-r} - t_o)] \quad (\text{W}) \quad [\text{D.87}]$$

$ST$ : el sumatorio se extiende para el número total de superficies opacas del edificio.

$A$ : área de la superficie opaca del cerramiento  $i$ , ( $\text{m}^2$ ).

$t_{s-a}$ : temperatura media sol – aire, (K).

$$t_{s-a} = \frac{\alpha_i \times H_i}{h_o} + t_o + \frac{h_{or}}{h_o} \times (t_c - t_o) \quad (\text{K}) \quad [\text{D.88}]$$

$\alpha_i$ : absorptancia de la superficie exterior del cerramiento  $i$ .

$H_i$ : irradiación total sobre la superficie  $i$ , ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

$h_o$ : resistencia superficial exterior del cerramiento teniendo en cuenta el factor radiativo ( $h_{or} = 5,8 + 4,1v$ ) y el convectivo ( $h_{oc} = 4,11$ ), ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ). Siendo  $v$  la velocidad del viento exterior ( $\text{m}/\text{s}$ ).

$t_c$ : temperatura del cielo, (K). Se puede estimar por debajo de  $6^\circ\text{C}$  respecto a la temperatura exterior.

$df$ : factor de decremento.

$t_{s-a-r}$ : temperatura sol – aire teniendo en cuenta el retraso en el tiempo, (K).

La carga de refrigeración debida a los aportes internos (ocupación, iluminación y electrodomésticos) se debe corregir multiplicando por el factor ( $f$ ) de ocupación e inercia expuesto con anterioridad en este subapartado.

Un valor orientativo de la ganancia interna en uso residencial, según la UNE-EN 832 (2000) y el Método 5000 (Claux P. (1982)), se puede situar entre 0,12 y 0,15 kWh/día  $\text{m}^2$  de vivienda,

La carga total anual de refrigeración se determina sumando todas las cargas mensuales del período cálido.

El autor de este método (Santamouris M. 1997) lo ha verificado comparándolo con los resultados obtenidos con la aplicación TRNSYS (Klein S. et al, 1988) para una gran variedad de edificios.

Las diferencias absolutas mensuales entre los resultados de los dos modelos estaban comprendidas entre un 0% y un 25%. Mientras que la carga anual de refrigeración variaba entre un 0% y un 15% con un valor medio cercano al 6.3%. Ratificándose nuevamente que los métodos simplificados son igual de válidos que los detallados como propone la UNE – EN 832.

### D.3.1. Método detallado (TSBI3)

En los métodos detallados o dinámicos la resolución del balance energético no es directa, debiéndose recurrir a utilizar diferentes estrategias para resolverlas. Uno de los modos más

usuales para resolver este problema (Clarke J.A., 1985) es utilizando el método numérico de diferencias finitas aplicado al balance energético para volúmenes de control.

En este subapartado se muestra la base teórica de la aplicación TSBI3 c22 (1997), similar a otras aplicaciones de cálculo horario como PASSPORT-Plus (Lewis O. et al, 1999).

La aplicación parte del modelo que representa al edificio objeto de cálculo, es decir, un cierto número de zonas separadas entre sí y del exterior por medio de cerramientos o de elementos constructivos de diferentes clases. El método determina:

- Para cada zona o volumen de aire, su correspondiente balance horario de energía y humedad. Se desprecia el calor específico del aire y por tanto, la acumulación de energía en el mismo.
- Para cada cerramiento o elemento constructivo analiza la transmisión térmica no estacionaria que tiene lugar a su través.

Se realiza la hipótesis de transferencia de energía cuasi-estacionaria, de manera que las variables se suponen constantes durante un lapso de tiempo finito, discretización en el tiempo.

Por otro lado, los elementos constructivos que forman el edificio son divididos en volúmenes de control finitos, cada uno de los cuales está representado en cuanto a variables físicas por su nodo correspondiente, discretización en el espacio. Las variaciones térmicas experimentadas por el nodo son expresadas como una función del flujo de energía que entra o sale del volumen de control y de la capacidad calorífica del material que lo forma.

Los elementos constructivos son implementados mediante la superposición de capas homogéneas de distintos materiales caracterizados por sus valores de conductividad térmica, capacidad calorífica, espesor y densidad.

El aire de la zona se modeliza como un volumen de aire representado por un único nodo en el cuál se calculan la temperatura y la humedad representativa de todo el volumen. La aplicación no considera el fenómeno de la estratificación.

El método resuelve el balance energético asociado a cada volumen de aire despreciando la capacidad calorífica de éste afectando al balance los siguientes términos:

- transferencia de energía a través de las superficies constructivas en contacto con el aire (muros, forjados, cubiertas, etc.),
- flujos de energía a través de las ventanas y las puertas,
- radiación solar a través de las ventanas, muros másicos y muros Trombe,
- cargas internas y sistemas de acondicionamiento,
- infiltración de aire y ventilación,
- transferencia de masas de aire entre zonas.

La transferencia de energía que recibe el volumen de aire de la zona proveniente de las superficies constructivas que lo rodean puede expresarse mediante la fórmula:

$$\Phi_{vol, cerram} = \sum_{cerramientos} A_{sup} \frac{T_{sup} - T_{vol}}{R_{sup}} \quad [D.89]$$

$\Phi_{vol, cerram}$  : es el flujo de energía que recibe el volumen de aire proveniente de todos los cerramientos en contacto con él, en W

$A_{sup}$  : es el área de cada elemento o superficie constructiva, en m<sup>2</sup>

$T_{sup}$  : es la temperatura superficial en la cara interior del cerramiento, en K

$T_{vol}$  : es la temperatura del volumen de aire, en K

$R_{sup}$  : es la resistencia térmica superficial de la cara interna del elemento asociada a la combinación de convección y radiación, en m<sup>2</sup>K/W

El flujo de energía a través de puertas o ventanas queda definido por la siguiente fórmula:

$$\Phi_{vol, vent / puer} = \sum_{vent / puer} A_{vent / puer} \cdot U_{vent / puer} \cdot (T_1 - T_2) \quad [D.90]$$

$\Phi_{vol, vent/puer}$  : es el flujo de energía que recibe el volumen de aire a través de puertas y ventanas, en W

$U_{vent/puer}$  : es el coeficiente de transmisión térmica del elemento, puerta o ventana, incluido el marco, en W/m<sup>2</sup>K

$T_1$  y  $T_2$  : son las temperaturas a cada lado del elemento, en K

La ganancia solar que recibe el aire de una zona depende del modo en que esta radiación se reparte entre los diversos elementos que componen la zona, es decir, entre el volumen de aire y los cerramientos que la rodean:

$$\Phi_{vol, sol} = f_{sol-vol} \cdot \Phi_{sol} \quad [D.91]$$

$\Phi_{vol, sol}$  : es la energía solar neta captada por el volumen de aire, en W

$f_{sol-vol}$  : es la fracción de radiación solar entrante en la zona que es transmitida al volumen de aire

$\Phi_{sol}$  : es la radiación solar total que llega a la zona, en W

La transferencia de aire entre zonas o desde el exterior puede deberse a infiltraciones incontroladas de aire exterior, mezclas, ventilación natural y ventilación forzada. Dependiendo del caudal de aire y de su temperatura, la potencia que incide sobre el volumen de aire de una zona sería la siguiente suponiendo la mezcla perfecta del aire antes de abandonar la zona:

$$\Phi_{vol, vent} = n_{vent} \cdot V(\rho c_p) \cdot (T_{vent} - T_{air}) \quad [D.92]$$

$\Phi_{vol, vent}$ : energía que recibe el volumen de aire por ventilación, en W

$n_{vent}$  : renovación de aire en la zona por ventilación, en s<sup>-1</sup>

$V$ : volumen de la zona, en m<sup>3</sup>

$\rho$  : densidad del aire a 15°C, supuesta constante, en kg/ m<sup>3</sup>

$c_p$  : es el calor específico del aire, en J/kg.K

El balance total de energía para una zona resulta de igualar a cero la suma algebraica de todas las contribuciones y pérdidas anteriores:

$$\begin{aligned}
 T_{vol} \cdot \left( \sum_{\text{cerram}} \frac{A_{sup}}{R_{sup}} + \sum_{\text{vent / puer}} A_{\text{vent / puer}} \cdot U_{\text{vent / puer}} + V(\rho c_p)_{vol} \cdot (n_{ext} + \sum_{\text{zonas}} n_{\text{zona}}) \right) = \\
 \sum_{\text{cerram}} \frac{A_{sup} \cdot T_{sup}}{R_{sup}} + \sum_{\text{vent / puer}} A_{\text{vent / puer}} \cdot U_{\text{vent / puer}} \cdot T_{\text{zona}} + V(\rho c_p)_{vol} \cdot (n_{ext} \cdot T_{ext} + \sum_{\text{zonas}} n_{\text{zona}} \cdot T_{\text{zona}}) \\
 + \Phi_{vol,sol} + \Phi_{vol,vent} + \Phi_{vol,sist}
 \end{aligned}
 \tag{D.93}$$

donde  $\Phi_{vol,sist}$  es el valor de la potencia total de los sistemas térmicos de acondicionamiento, calefacción si es positivo y refrigeración si negativo.

Esta ecuación o más propiamente, el sistema de ecuaciones resultante de aplicar el balance a todas las zonas del modelo permite el cálculo de las temperaturas en cada zona para cada instante o intervalo de tiempo discreto, con la condición de conocer las temperaturas superficiales de los cerramientos.

Por otro lado, la transmisión de energía que ocurre dentro de las estructuras constructivas del edificio, básicamente muros, forjados y cubiertas, es descrita en el modelo mediante ecuaciones no estacionarias, teniéndose en cuenta el calor específico de cada capa que forma parte de un cerramiento. En el esquema puede apreciarse la subdivisión de un cerramiento compuesto por tres capas en varios volúmenes de control.

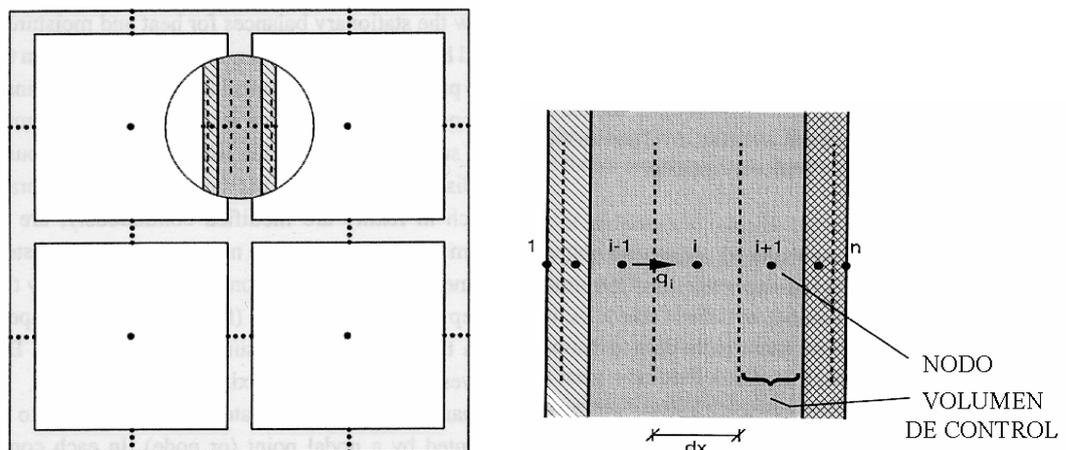


Fig. D.13: Discretización espacial de acuerdo con el método diferencias finitas.  
(Fuente: TSBI3, 1997)

El flujo de energía que llega al volumen  $i$  procedente del  $i-1$  puede calcularse con la ecuación de transmisión de energía de Fourier suponiendo que la variación de temperatura entre los nodos correspondientes es la misma que en el caso estacionario. De esta manera los gradientes de temperatura de la ley de Fourier se sustituyen por los calculados mediante diferencias finitas de la temperatura entre nodos encontrándose a una distancia finita. Esta aproximación común a la mayor parte de métodos numéricos permite resultados tanto más precisos cuanto más pequeña sea la distancia internodal.

El flujo de energía entre dos nodos encerrados por sus volúmenes de control, válido en el lapso de tiempo que va entre los instantes  $j$  y  $j+1$  es:

$$q_i^{j+1} = - \frac{T_i^{j+1} - T_{i-1}^{j+1}}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i} \quad [\text{D.94}]$$

$q$  : flujo de energía, en W/ m<sup>2</sup>

$\Delta x$ : anchura del volumen de control, en m

$\lambda$  : conductividad térmica del material, en W/m.K

$R$ : posible resistencia térmica entre los volúmenes de control, en m<sup>2</sup>.K/W

$i$ : índice de referencia en el espacio

$j$ : índice de referencia en el tiempo

El denominador expresa la suma de las resistencias térmicas entre los nodos  $i-1$  e  $i$ . Cuando el cálculo llega al instante  $j+1$ , las temperaturas al final de este intervalo de tiempo discreto no se conocen aún por lo que no pueden introducirse valores explícitos en la parte derecha de la ecuación. Se recurre entonces a un método implícito para resolverla consistente en suponer constante el flujo de energía durante el intervalo discreto que va del instante  $j$  al  $j+1$ . Con esta premisa, la diferencia entre el flujo de energía en el nodo  $i$  y el  $i+1$  puede expresarse en función de la variación de entalpía del nodo  $i$  en el lapso de tiempo considerado:

$$\rho_i \cdot \Delta x_i \cdot \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t} = (q_{i+1}^{j+1} - q_i^{j+1}) \quad [\text{D.95}]$$

$h$ : es la entalpía específica definida respecto a un nivel de referencia, en J/kg

$\Delta t$ : es la duración del lapso de tiempo considerado, en s

Expresando la variación de entalpía como un salto de temperatura multiplicado por el calor específico y utilizando la ecuación vista inicialmente para el flujo de energía, resulta:

$$(\rho \cdot c_p)_i \cdot \Delta x_i \cdot \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i} + \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + \frac{\Delta x_{i+1}}{2\lambda_{i+1}} + R_{i+1}} \quad [\text{D.96}]$$

Para resolver esta ecuación es preciso conocer las condiciones de contorno. Así, para el volumen  $i=1$ , cara interior del cerramiento, la ecuación anterior conduce a la siguiente:

$$(\rho \cdot c_p)_i \cdot \Delta x_i \cdot \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = q_{\text{sup, cara1}} + \frac{T_1 - T_1^{j+1}}{R_{\text{sup, cara1}}} + \frac{T_2^{j+1} - T_1^{j+1}}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_{i+1}}{2\lambda_2} + R_2} \quad [\text{D.97}]$$

$q_{\text{sup, cara 1}}$ : flujo de energía que incide sobre la superficie de contorno, es decir, la cara interior del cerramiento, en  $\text{W/m}^2$

$R_{\text{sup, cara 1}}$ : resistencia superficial, en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

$T_1$ : temperatura de la superficie de contorno, es decir, de la cara 1 del cerramiento considerado. Equivale a la  $T_{\text{sup}}$  vista en la ecuación del balance total de energía para una zona. Puede obtenerse una ecuación similar para la cara externa del cerramiento, esto es, el nodo  $i=n$ .

Haciendo uso de dos nuevas variables,

$$H_i = \frac{1}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i} \quad [\text{D.98}]$$

$$HO_i = \frac{(\rho \cdot c_p)_i \cdot \Delta x_i}{\Delta t} \quad [\text{D.99}]$$

las ecuaciones anteriores pueden reescribirse así:

$$-H_i \cdot T_{i-1}^{j+1} + (HO_i + H_i + H_{i+1}) \cdot T_i^{j+1} - H_{i+1} \cdot T_{i+1}^{j+1} = HO_i \cdot T_i^j \quad [\text{D.100}]$$

$$(HO_1 + H_1 + H_2) \cdot T_1^{j+1} - H_2 \cdot T_2^{j+1} = HO_1 \cdot T_1^j + H_1 \cdot T_{\text{aire}} + q_{\text{surf, face1}} \quad [\text{D.101}]$$

Donde  $H_1 = \frac{1}{R_{\text{sup, cara1}}}$  y  $H_2 = \frac{1}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{2\lambda_2} + R_2}$

O bien, de una forma todavía más simplificada:

$$A \cdot T_{i-1}^{j+1} + B \cdot T_i^{j+1} + C \cdot T_{i+1}^{j+1} = D_i \quad [\text{D.102}]$$

$$B \cdot T_1^{j+1} + C \cdot T_2^{j+1} = D_1 \quad [\text{D.103}]$$

Por lo que,

$$\begin{bmatrix} B_1 & C_1 & & & & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & \\ & A_i & B_i & C_i & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & A_n & B_n & \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1^{j+1} \\ \cdot \\ T_i^{j+1} \\ \cdot \\ T_n^{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ \cdot \\ D_i \\ \cdot \\ D_n \end{bmatrix} \quad [\text{D.104}]$$

expresión cuya matriz de coeficientes tiene todo ceros fuera de las tres diagonales principales, por lo que puede resolverse por el método tridiagonal o del doble arrastre.

De esta manera, partiendo de las temperaturas calculadas en el instante anterior pueden calcularse las temperaturas en cada nodo para el instante siguiente, sin más que conocer los flujos de energía por radiación y las temperaturas en las dos caras del cerramiento condiciones de contorno. Para iniciar el proceso se suponen todas las temperaturas iguales a 20°C y comienza un cálculo iterativo desde el primer día del período de simulación tantas veces como sea necesario hasta que el método se estabiliza.

Aunque el método implícito de cálculo mantiene su estabilidad con intervalos temporales de discretización grandes, la ecuación explícita del flujo de energía entre dos volúmenes de control precisa un lapso de tiempo pequeño para lograr suficiente precisión. Teniendo en cuenta que los datos climáticos son leídos de hora en hora, la discretización mínima deberá ser de dos intervalos de tiempo por hora.

Cuando se inicia una simulación hay que determinar el número de intervalos mínimo por hora (máximo  $\Delta t$ ) necesarios para lograr una precisión suficiente. Este límite queda fijado tomando un número de Fourier inferior a 1,25 para todos los volúmenes de control que forman el modelo del edificio siendo el valor de este número:

$$R = \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2}. \quad [\text{D.105}]$$

Resultando

$$(\Delta t)_{m\acute{a}x} = \underset{\text{Vol\_de\_Control}}{\text{mín}} \left( 1.25 \frac{\rho c_p}{\lambda} (\Delta x)^2 \right) \quad [\text{D.106}]$$

El cálculo del flujo de energía a través de los cerramientos precisa conocer las temperaturas en todas las zonas adyacentes. Pero calcular estas temperaturas exige entre otras cosas, el conocimiento de las temperaturas superficiales de los cerramientos. Ver ecuación del balance de energía en cada zona.

Esta mutua dependencia podría resolverse mediante el planteamiento de un sistema de ecuaciones con todas las temperaturas de las zonas y todas las distribuciones de temperatura en los cerramientos. La matriz de coeficientes de este sistema no resulta en general tridiagonal por lo que los métodos numéricos para resolverlo resultan algo complicados.

Puede lograrse suficiente precisión mediante el procedimiento siguiente:

1. Se calcula la temperatura del aire de cada zona basándose en el flujo de energía en el instante actual y las pérdidas por transmisión a través de los cerramientos.
2. A partir de las temperaturas del aire en cada zona, se calcula la distribución de temperatura en los cerramientos, cálculo no estacionario.
3. Se repite el primer punto con las pérdidas de energía por transmisión que han resultado de la nueva distribución de temperaturas en cerramientos.

Con este método, el balance de energía en cada zona se calcula dos veces en cada intervalo de tiempo.

Por último, el balance de humedad en una zona se calcula de modo similar al visto para el balance de energía, aunque en este caso no se considera transporte de vapor a través de cerramientos.

$$x_{vol} = \frac{G_{vol,cargas} + G_{vol,vent} + G_{vol,zonas}}{V\rho_{air} \left( n_{VentOut} + \sum_{zonas} n_{MixOut} \right)} = \frac{G_{vl,cargas} + V\rho_{air} \left( n_{vent} x_{vent} + \sum_{zonas} n_{MixIn} x_{MixIn} \right)}{V\rho_{air} \left( n_{VentOut} + \sum_{zonas} n_{MixOut} \right)}$$

[D.107]

$G_{vol,cargas}$  : ganancia de humedad debida a la respiración de las personas y otras cargas, en kg/h

$G_{vol,vent} = n_{VentIn} \cdot V\rho_{vol} \cdot (x_{VentIn} - x_{air})$  : ganancia de humedad por ventilación, suponiendo mezcla total del aire antes de abandonar la zona, en kg/h;

$n_{VentIn}$  : intercambio de aire por ventilación, en l/h

$x_{VentIn}$  : contenido de humedad del aire que llega por ventilación, en kg/kg

$x_{air}$  : contenido de humedad del aire en la zona, en kg/kg

$G_{vol,MixIn} = \sum n_{MixIn} \cdot V\rho_{vol} \cdot (x_{MixIn} - x_{air})$  : ganancia de humedad debida al aire proveniente de otras zonas, en kg/h;

$n_{MixIn}$  : intercambio de aire entre zonas, en l/h

$x_{MixIn}$  : contenido de humedad del aire que llega desde otra zona, en kg/kg

$n_{VentOut}$  : flujo de aire hacia el exterior por ventilación, en l/h

$n_{MixOut}$  : flujo de aire hacia otras zonas, en l/h

#### D.3.1.1. Características y potenciales del programa TSBI3.

Basado en cálculo dinámico horario, *TSBI3* permite obtener la evolución de temperaturas hora a hora en cada zona del edificio, temperaturas superficiales en cerramientos, consumos de

calefacción y refrigeración<sup>3</sup>, ganancia solar por zonas<sup>4</sup>, renovaciones de aire por infiltración, ventilación y mezcla interzonal, balance térmico total o por zonas, consumos eléctricos de los sistemas de ventilación forzada, etc.

Los resultados se presentan de forma numérica o gráfica. El usuario puede seleccionar el período de tiempo a visualizar y así mismo elegir entre la disposición típica variable-tiempo o una presentación de variables acumuladas.

De gran versatilidad y funcionalidad permite la programación de multitud de sistemas y cargas a lo largo del período de simulación. Ejemplo de ello son las cargas internas (ocupación, equipos, iluminación, etc.), la ventilación programada o el comando de los sistemas de acondicionamiento<sup>5</sup>.

La gran capacidad de cálculo y programación acarrea algunos inconvenientes como son la necesidad de disponer de datos climáticos medios horarios<sup>6</sup> y una considerable complejidad de uso con lo que ello conlleva en cuanto al tiempo requerido para introducir un modelo de edificio y realizar las simulaciones pertinentes. A ello hay que añadir la dificultad de detectar y corregir errores, sólo factible tras un dilatado período de aprendizaje.

---

<sup>3</sup> Bajo consigna programable de temperatura zonal.

<sup>4</sup> Considerando sombreados provocados por obstrucciones exteriores y protecciones solares. Las últimas versiones del programa permiten modelar muros térmicos y muros Trombe, además de invernaderos y otros elementos de captación utilizados en arquitectura bioclimática.

<sup>5</sup> De esta manera puede modelar cualquier edificio, con las condiciones de uso reales a que está sometido.

<sup>6</sup> Fichero *TRY* (*Test Reference Years*) o año climático de referencia.

---

# Anexo E

## Generación TRY a partir de datos climáticos horarios

---

En este anexo se incluyen diferentes propuestas de métodos para la generación de climas horarios TRY a partir de datos climáticos horarios registrados en la localidad analizada.

### E.1. Construcción de un TRY a partir de datos climáticos horarios

La generación de un TRY con datos climáticos reales horarios parte de la asignación de pesos ponderados a los diferentes parámetros climáticos, siendo los pasos a realizar los siguientes:

1. Para cada mes del calendario se seleccionan cinco meses del conjunto de años mediante la función de distribución acumulada de cada uno de los nueve parámetros diarios siguientes:
  - Temperatura máxima ( $t_{max}$ ), mínima ( $t_{min}$ ) y media ( $t_m$ ).
  - Humedad relativa máxima ( $h_{max}$ ), mínima ( $h_{min}$ ) y media ( $h_m$ ).
  - Velocidad del viento máxima ( $v_{max}$ ) y media ( $v_m$ ).
  - Radiación global diaria horizontal ( $H_G$ ).

La comparación de los meses se realiza mediante el coeficiente estático FS definido por Finkelstein J.M. et al (1971).

Para  $n$  observaciones de una variable  $x$  que se ordena ascendentemente ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), la función de la frecuencia acumulada (CFD) de esa variable viene dada por la función  $S_n(x)$ .

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{Para } x < x_1 \\ \frac{k-0.5}{n} & \text{Para } x_k < x < x_{k+1} \\ 1 & \text{Para } x > x_n \end{cases} \quad [E.1]$$

Para cada parámetro climático se determina el coeficiente estático ( $FS$ ) de un mes ( $m$ ) de un año particular, realizándose una comparación de la frecuencia acumulada mensual y anual.

$$FS = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |S_m(x_i) - S_{a,m}(x_i)| \quad [E.2]$$

$n$ : número de días del mes analizado.

$S_m(x_i)$ : frecuencia acumulada del parámetro climático  $x$  del mes analizado para el día  $i$ .

$S_{a,m}(x_i)$ : frecuencia acumulada del parámetro climático  $x$  para el día  $i$  evaluado con todos los días de la serie de años del mes analizado.

Una vez obtenido el valor  $FS$  para todos los meses y para todos los parámetros, se realiza una ponderación de éstos correspondiendo los mayores pesos a las variables climáticas que más influyen en los análisis energéticos que se realizan con los TRY.

Los cinco meses que se seleccionan son para los que menor valor tiene la aplicación de la suma ponderada ( $WS$ ).

$$WS = \sum_{j=1}^9 w_j \times FS_j \quad [E.3]$$

$\sum_{j=1}^9$ : el sumatorio se extiende a los nueve parámetros climáticos analizados ( $j$ ).

$w_j$ : peso asignado al parámetro climático  $j$ . En la tabla E.1 se muestran los valores que adopta según diferentes autores.

$FS_j$ : coeficiente estático para el mes analizado del parámetro climático  $j$ .

Método	$t_{max}$	$t_{min}$	$t_m$	$h_{max}$	$h_{min}$	$h_m$	$v_{max}$	$v_m$	$H_G$
Pissimanis D. (1988)	0,042	0,042	0,084	0,042	0,042	0,084	0,084	0,084	0,50
Marion W. (1995)	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,50
Bahadori M.N. (1986)	0,05	0,05	0,30	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,40

Tabla E.1. Pesos aplicados en la selección de meses para la creación del fichero climático TRY según diversos autores. (Fuente: Argiriou A. et al 1999)

- La selección final de los meses que conformarán el TRY se realiza comparando la radiación global sobre horizontal y la temperatura media de los cinco meses preseleccionados.

El primer criterio de selección se basa en la determinación de la desviación media cuadrática de la radiación global, después se comparan los coeficientes estáticos (*FS*) para la radiación global y para la temperatura media diaria.

La desviación media cuadrática (*RMSD*) se determina para los meses preseleccionados.

$$RMSD = \sqrt{\sum_{l=1}^N \frac{(x_{kl} - x_{ml})^2}{N}} \quad (\text{kWh/m}^2\text{h}) \quad [\text{E.4}]$$

$x_{kl}$ : radiación global sobre horizontal media mensual horaria del año  $k$  y correspondiente a la hora  $l$ , ( $\text{kWh/m}^2$ ).

$x_{ml}$ : radiación global sobre horizontal media horaria para el mes analizado obtenida a partir de los datos climáticos horarios de los años disponibles de dicho mes, ( $\text{kWh/m}^2$ ).

$N$ : número de horas del día en el que la radiación solar no es nula para el mes analizado, (h).

De los cinco meses se eligen como candidatos aquellos que tienen los menores valores de desviación media cuadrática y que están comprendidos dentro del rango de  $0,0055 \text{ kWh/m}^2\text{h}$ .

Si entre los dos valores menores hay una diferencia superior al rango anterior, el mes seleccionado será el correspondiente al valor inferior.

Cuando hay varios meses que pertenecen al rango, entonces la selección se realiza mediante los coeficientes estáticos de la radiación global sobre horizontal y de la temperatura media.

Primero se selecciona con los menores parámetros *FS* de la radiación global de los meses preseleccionados utilizándose un rango de 0.04. En este caso si aparece más de un mes que pertenezca al rango se realizará finalmente la selección mediante el coeficiente estático de la temperatura media.

Una vez realizado el proceso anterior se construye el fichero TRY con los meses seleccionados siendo éste el año climático tipo a utilizar en métodos de análisis energético detallados.

En el artículo de Argiriou A. et al (1999) se realiza una comparación de diferentes métodos para seleccionar los meses que conformarán el TRY. De entre los analizados propone como los mejores el Método Festa-Ratto (Festa R. et al 1993) y el de Pissimanis D, anteriormente descrito.

Esta comparación se realiza basándose en los resultados de demanda energética obtenidos para diferentes sistemas como un edificio, un colector solar térmico y otro fotovoltaico, utilizando la aplicación TRNSYS (Klein S. et al 1988) y MINSUN, desarrollado por la Agencia Internacional de la Energía 1989.

La diferencia existente entre utilizar los dos métodos fue tan sólo de un 6%, mientras que para otros métodos analizados por Argiriou A. et al (1999) se llegaron a estimar diferencias de hasta un 35%.

El método propuesto por Festa R. et al (1993) tiene mayor complejidad matemática que el propuesto por Pissimanis D. et al (1988) ya que la selección se realiza mediante estandarización de los datos climáticos. A continuación se desarrollan los pasos a realizar para aplicar el Método de Festa-Ratto.

1. Los parámetros meteorológicos se deben convertir en residuos estandarizados respecto a la tendencia de igualación de periodos largos.

Los datos meteorológicos utilizados en este método son:

- Temperatura máxima ( $t_{max}$ ) y media ( $t_m$ ).
- Humedad relativa media ( $h_m$ ).
- Velocidad del viento media ( $v_m$ ).
- Radiación global diaria horizontal ( $H_G$ ).

En primer lugar hay que definir el residuo estándar  $X$  de una variable  $x(y,m,d)$  para el año  $y$ , mes  $m$  y para el día  $d$  se obtiene de la siguiente expresión:

$$X(y, m, d) = \frac{x(y, m, d) - \mu_x(m, d)}{\sigma_x(m, d)} \quad [E.5]$$

$\mu_x(m, d)$ : media suavizada de la variables  $x$  para el mes  $m$  y el día  $d$  estimada para todos los años de datos.

$\sigma_x(m, d)$ : desviación estándar suavizada de la variables  $x$  para el mes  $m$  y el día  $d$  estimada para todos los años de datos.

Para obtener la media y la desviación estándar suavizadas se puede recurrir a la técnica de los splines y así hallar una curva suave de datos medios para todo el año, o recurrir al método descrito por Festa R. et al (1988).

En este punto se debe determinar el residuo estándar ( $X$ ) para todas las variables y para todos los días de la serie de años.

2. Una vez obtenidos los residuos estándar se debe proceder a calcular el producto de los residuos estándares,  $z(y,m,d)$ .

$$z(y, m, d) = X(y, m, d) \times X(y, m, d + 1) \quad [E.6]$$

$X(y, m, d + 1)$ : residuo estándar del día siguiente al evaluado en el producto de residuos estándar. En el caso de analizarse el último día de un mes, el día siguiente sería para el mes  $m+1$  y el día  $1$ .

A partir del parámetro anterior se obtiene el residuo estándar de primer orden de  $Z(y,m,d)$  para todos los días de la serie de datos anuales.

$$Z(y, m, d) = \frac{z(y, m, d) - \mu_z(m, d)}{\sigma_z(m, d)} \quad [E.7]$$

$\mu_z(m, d)$ : media suavizada de la variables  $z$  para el mes  $m$  y el día  $d$  estimada para todos los años de datos.

$\sigma_z(m, d)$ : desviación estándar suavizada de la variables  $z$  para el mes  $m$  y el día  $d$  estimada para todos los años de datos.

3. Una vez determinados los valores residuales estándares y los productos para cada mes se determinan las distancias medias mensuales, las desviaciones estándares y los coeficientes de Kolmogorov-Smirnov. Éstos se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$M_x(y, m) = \frac{1}{nd(m)} \sum_d X(y, m, d) \quad [E.8]$$

$$M_{M_x}(m) = \frac{1}{ny} \sum_y M_x(y, m) \quad [E.9]$$

$$S_x(y, m) = \sqrt{\frac{1}{nd(m)} \times \sum_d [X(y, m, d) - M_x(y, m)]^2} \quad [E.10]$$

$$S_{M_x}(m) = \sqrt{\frac{1}{ny} \times \sum_y [M_x(y, m) - M_{M_x}(y)]^2} \quad [E.11]$$

$M_x(y, m)$ : promedio mensual de los residuos estandarizados.

$M_{M_x}(m)$ : promedio mensual para la serie de años de los residuos estandarizados.

$S_x(y, m)$ : desviación estándar mensual.

$S_{M_x}(m)$ : promedio mensual para la serie de años de la desviación estándar.

$d$ : sumatorio que se extiende a todos los días del mes analizado.

$nd(m)$ : número de días del mes estudiado.

$ny$ : número de años de la serie de datos meteorológicos.

En la figura E.1 se muestra un ejemplo (Festa R. et al 1993) del cálculo de las ecuaciones anteriores para diez años de datos climáticos (1980-89) en Ispra (Italia), en este caso se ha utilizado el dato de la radiación global diaria sobre horizontal.

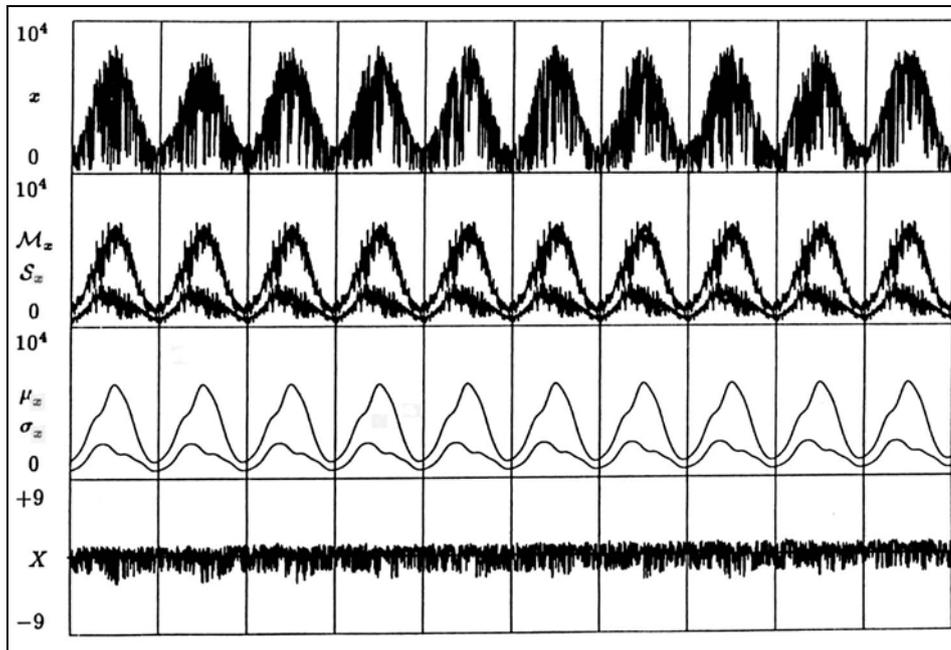


Figura E.1. Diez años (1980-89) de datos de radiación global sobre horizontal diaria ( $\text{Wh/m}^2$ ) en Ispra. Por filas aparecen:  $x$ ,  $M_x$ ,  $S_x$ ,  $\mu_x$ ,  $\sigma_x$  y  $X$ . (Fuente: Festa R. et al 1993).

Para determinar el coeficiente de Kolmogorov-Smirnov se definen las funciones:

- $F_{y,m}(X_0)$ : fracción de valores de  $X$  inferiores a  $X_0$  del mes  $m$  del año  $y$ .
- $G_m(X_0)$ : fracción de valores de  $X$  inferiores a  $X_0$  del mes  $m$  y evaluado para el conjunto de años.

Para cada mes  $m$  del año y existen varios parámetros previos a la obtención de la distancia media. Son los siguientes:

$$d_{av}(y, m) = |M_x(y, m) - M_{M_x}(m)| \quad [\text{E.12}]$$

$$d_{sd}(y, m) = |S_x(y, m) - S_{M_x}(m)| \quad [\text{E.13}]$$

$$d_{ks}(y, m) = \max_{x_0} |F_{y,m}(X_0) - G_m(X_0)| \quad [\text{E.14}]$$

$d_{av}(y, m)$ : diferencia entre promedios mensuales.

$d_{sd}(y, m)$ : diferencia entre desviaciones estándares mensuales.

$d_{ks}(y, m)$ : parámetro de Kolmogorov-Smirnov.

Los tres valores anteriores deben ser calculados para cada parámetro  $X$  y  $Z$  de cada mes individualmente. Con estos resultados se determina finalmente la distancia promediada ( $d(y,m)$ ).

$$d(y,m) = (1 - \alpha - \beta) \times d_{ks}(y,m) + \alpha \times d_{av}(y,m) + \beta \times d_{sd}(y,m) \quad [E.15]$$

$\alpha \cong \beta \cong 0.1$ : el valor de estos coeficientes se puede igualar a 0.1 como indica Festa. R. (1993).

4. El procedimiento de selección de los meses se basa en el parámetro de la distancia promediada.

Para los cinco datos climáticos analizados, ver punto 1° de este método, se obtiene para cada mes las dos distancias promedio para los parámetros  $X$  y  $Z$ .

Para seleccionar los 12 meses que conformarán el año tipo, primero hay que asignar a cada mes la mayor distancia promedio de las diez posibles ( $d_{max}(y,m)$ ). El mes elegido ( $m$ ) será aquel que presente la menor distancia promedio asignada.

$$d_{min\_max}(m) = \min\{d_{max}(y,m) | 1 \leq y \leq yn\} \quad [E.16]$$



---

# Bibliografía

## Referencias

---

1. Adolphe L., (1996). *Towards a Geocoded information system for environmental conscious design of urban projects*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Conference Proceedings, Berlin, 26-29 March 1996, pp 306-309.
2. Adolphe L., (1998). *A design tool for global evaluation of urban sustainability*. Environmentally Friendly Cities, Proceedings of Passive and Low Energy Architecture, Libon, June 1998, pp 67-70.
3. Adolphe L., (1999). *Urban morphology and microclimate of open spaces*. Rebuilding the city of tomorrow, Conference Proceedings Barcelona, 4-9 October 1999, pp 117-120.
4. Aguiar R., Collares-Pereira M. (1992). *Statistical properties of hourly global radiation*. Solar Energy vol. 48 (3), pp. 157-167.
5. Akbary H., (1992). *Coolingour communities - A Guidebook on Tree Planting and Light Colored Surfacing*. US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
6. Ali-Tourdert F., Mayer H., (2006). *Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate*. Building an Environment vol. 41, pp. 94-108.
7. Ali-Tourdert F., Mayer H., (2007). *Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons*. Solar energy vol. 81, pp. 742-754.
8. Alvarez S. (1991). *Bioclimatic architecture and practical design: design and analytical tools*. Ponencias Seminario Europeo de Arquitectura Bioclimática y Diseño Práctico, Programa Thermie de la Comisión de las Comunidades Europeas Dirección General de la Energía (DG XVII).
9. Andersen B. (1982). *Danish Test Reference Year, TRY. Meteorological Data for HVAC and Energy*. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.
10. Anink D., Boonstra C., Mak J. (1998). *Handbook of sustainable building*. James & James.
11. Antonopoulos K.A., Valsmakis S.P. (1993). *Effects of indoor and outdoor heat transfer coefficients and solar absorptance on heat flow through walls*. Energy vol. 18, pp. 259-271.
12. Antonopoulos K.A., Tzivanidis C. (1995). *Time constant of Greek buildings*. Energy vol. 20, pp. 789-802.

13. Argiriou A., Lykoudis S., Kontoyiannidis S., Balaras C.A., Asimakopoulus D., Petrakis M. Kassomenos P. (1999). *Comparison of methodologies for TMY Generation using 20 years data for Athens, Greece*. Solar Energy vol. 66, pp. 33-45.
14. ASHRAE (1997). *1997 Fundamentals Handbook, (Energy Estimating and Modeling Methods)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
15. Assis E., Souza R.V.G., Valadare V.M., (1998). *Solar and lighting acces rights in buildins. A review of the land use legislation or Belo Horizonte, Brazil*. Environmentally Friendly Cities, Proceedings of Passive and Low Energy Architecture, Libon, June 1998, pp 607-610.
16. Aste N., Solaini G. (1998). *Solar energy in an urban context: the Milan case study*. Rebuild the eruoepan cities of tomorrow, Proceedings, Florene, 1-3 April 1998, pp 267-270.
17. Bahadori M.N., Chamberlain M.J. (1986). *A simplification of weather data to evaluate daily and monthly energy needs of residential buildings*. Solar Energy vol. 36, pp. 499-507.
18. Balcomb J.D. (1992). *Passive solar buildings*. The MIT Press.
19. Bansal N.K., Shail, Gaur R.C. (1996). *Application of U and g values for sizing passive heating concepts*. Solar Energy vol. 57, pp. 361-373.
20. Bernad R., Monguy G., Schwartz M. (1982). *La radiación solar conversión térmica y aplicaciones*. Technique & Documentation (lavoisier).
21. Behling S. y S. (2002). *Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible*. Gustavo Gili.
22. Bhandari M.S., Bansal N.K. (1994). *Solar heat gain factors and heat loss coefficients for passive heating concepts*. Solar Energy vol. 53, pp. 199-208.
23. Bitan A. (1998). *Climatic-related planning strategies in future compact, dense and sustainable urban environment, methodology – tools - implementation*. Rebuild the eruoepan cities of tomorrow, Proceedings, Florene, 1-3 April 1998, pp 75-78.
24. Boes E.C., Anderson H.E., Hall I.J., Prairie R.R. and Stromberg R.T. (1977). *Availability of direct, total and diffuse solar radiation to fixed and tracking collectors in the U.S.A.*. Sandia Rep. SAND77-0885.
25. Breto Sergio, Turégano J.A., Uriel A. M., (2008). *Energía solar y datos climáticos en Aragón*. Universidad de Zaragoza y Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de Aragón.
26. Bruse M., Fleer H., (1998). *Simulation surface-plant-air interactions inside urban environments with a tree-dimensional numercical model*. Enviromental Modelling Software vol. 13, pp 373-384.
27. Bruse M., (2004). *ENVI-met*. Homepage [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com).
28. Büchler P., Eicker A., Heidt F.D. (1998). *Shadow calculations for solar architecture and urban planning with SOMBRERO*. Environmentally Friendly Cities, Proceedings of Passive and Low Energy Architecture, Libon, June 1998, pp 567-570.

29. Burberry P. (1983). *Ahorro de energía*. Hermann Blume Ediciones.
30. Cannistraro G., Giaconia C., Pietrafesa M., Rizzo G. (1995). *Reduced weather data for building climatization and application to 29 European localizations*. Energy vol. 20 (7), pp. 637-646.
31. Capeluto I.G., Yezioro A., Shaviv E., (2003). *Climatic aspects in urban design – a case study*. Building and Environment vol. 38 (7), pp. 827-835.
32. Carbonari A., Rossi G. (1996). *OMBRE-URBANE a software to evaluate urban shadows effects on building facade*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Conference Proceedings, Berlin, 26-29 March 1996, pp 362-365.
33. Carbonari A. (1998). *Ombre-Urbane-2. A software to evaluate available sun radiation on building's surfaces, and daylighting level in urban spaces or interiors, in presence of urban obstructions*. Environmentally Friendly Cities, Proceedings of Passive and Low Energy Architecture, Libon, June 1998, pp 453-456.
34. Censolar, IDAE (2002). *Instalaciones de energía solar térmica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Anexo X*. IDAE.
35. Cheng V., Ng. E., Givoni B., (2005). *Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate*. Solar Energy vol. 78, pp. 528-534.
36. Chinkali P., Hagishima A., Tanimoto J., (2004). *A computer system to support Albedo Calculation in urban areas*. Building an environment vol. 39, pp. 1213-1221.
37. Chueca F. (1974). *Breve historia del urbanismo*. Alianza Editorial.
38. Clarke J. A. (1985). *Energy simulation in building design*. Adam Hilger.
39. Claux P., Franca J. P., Gilles R., Pessa A., Pouget A., Raoust M. (1982). *Methode 5000*. PYC Edition France.
40. Cobo A. (1995). *Optimización matemática*. Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación de la Universidad de Cantabria.
41. Collares-Pereira M., Rabl A. (1979). *The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values*. Solar Energy 22 (2), pp. 155-164.
42. Colombo R. Landabaso A., Sevilla A. (1995). *Manuel de conception. Architecture solaire passive pour la région Méditerranéenne*. Commission Européenne. Centre Commun de recherche.
43. Collado F.J. (1988). *Evaluación del flujo solar en boca de un recinto tipo cavidad para una central termosolar y estudio y simulación de éste*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
44. Commission Européenne (1993). *Directiva sobre limitaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> CEE 93/76*. Centre Commun de recherche, Commission Européenne.
45. Commission Européenne (2001). *Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al rendimiento energético de los edificios*. Commission Européenne. Centre Commun de recherche.

46. Coronel J.F., Álvarez S., (2001). *Experimental work and analysis of confined urban spaces*. Solar Energy vol. 70 (3), pp. 263-273.
47. Crowther D., Steemers K. (1998). *City shape and environmental quality*. Rebuild the European cities of tomorrow, Proceedings, Florene, 1-3 April 1998, pp 133-136.
48. Cucumo M., Kaliaakatsos D., Marinelli V. (1995). *Estimating effective solar absorptance in rooms*. Energy and Buildings vol. 23, pp. 117-120.
49. Demirbilek F.N., Yener C. (1996). *A proposal for correction values for winter outdoor design temperatures*. Solar Energy vol. 57 (2), pp. 111-116.
50. Depecker P., Menezo C., Virgone J., Lepers S. (2001). *Design of buildings shape and energetic consumption*. Building and Environment vol. 36, pp. 627-635.
51. Dogniaux R., Lemoine M. (1983). *Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency*. Solar Energy Research and Development in the European Community, Series F, Volume 2, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
52. Doulos L., Santamouris M., Livida I., (2004). *Passive cooling of outdoor urban spaces*. Solar Energy vol. 77, pp. 231-249.
53. Duffie J. A., Beckman W. A. (1974). *Solar energy of thermal processes*. John Willey and Sons.
54. Duffie J. A., Beckman W. A. (1980). *Solar engineering of thermal processes*. Willey.
55. Eichommer W, Schломann B. (1999). *A comparison of thermal building regulations in the European Union*. Mure database Save Programme, European Commission, Directorate General for Energy (DG XVII).
56. Elsayed M.M., Al-Turki A.M. (1991). *Calculation of shading factor for a collector field*. Solar Energy vol. 47 (6), pp. 413-424
57. Erbs D.G., Klein S., Duffie J. A. (1982). *Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation*. Solar Energy, 28 (4), pp 293-304.
58. Erbs D.G., Klein S., Beckman W. A. (1983). *Estimation of degree days and ambient bin data from monthly average temperatures*. Ashrae Journal, vol 60, pp 1124-1130.
59. Festa R., Ratto C.F. Degol D. (1988). *A procedure to obtain average daily values of meteorological parameters from monthly averages*. Solar Energy vol. 40, pp. 309-313.
60. Festa R., Ratto C.F. (1993). *Proposal of a numerical procedure to select reference years*. Solar Energy vol. 50, pp. 9-17.
61. Feuermann D., Gordon J.M, Zarmi Y. (1985). *A typical meteorological day (TMD) approach for predicting the long-term performance of solar energy systems*. Solar Energy vol. 35, pp. 63-69.
62. Fillipín C., Flores Larsen S., Beascochea A., Lesino G., (2005). *Response of conventional and energy-saving buildings to design and human dependent factors*. Solar Energy Vol. 78, pp. 445-470.

63. Filkelstein J.M, Schafer R.E. (1971). *Improved goodness of fit tests*. Biometrika vol. 58,, pp. 641-645.
64. Font Tullot I. (1984). *Atlas de la radiación solar en España*. Sección de Publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología.
65. Fröhlich C., Wehrli C. (1981). *Spectral distribution of solar irradiance from 25000 nm to 250 nm..* World Radiation Center, Davos, Switzerland, private communication.
66. Gansler R.A., Klein S.A., Beckman W.A. (1994). *Assesment of the accuracy of generated meteorological data for use in solar energy simulation studies*. Solar Energy Vol. 53, pp. 279-287.
67. García X. (2004). *Edificación y sostenibilidad: limitaciones de la nueva normativa*. XII Congreso Ibérico e VII Ibero - Americano de Energía Solar. Vigo España – SPE
68. Gellicoe G. Gellicoe S. (1995). *El paisaje del Hombre*. Editorial Gustavo Gili.
69. Geros V., Santamouris S., Karatasou S., Tsangrassoulis A., Papanikolaou N., (2005). *On the cooling potential of nigh ventilation techniques in the urban environment*. Energy and Buildings vol. 37. pp 243-257.
70. Ghiaus C., Allard F., S., Santamouris S., Georgakis C., Nicol F., (2006). *Urban environment influence on natural ventilation potencial*. Building and Environment vol. 41. pp 395-406.
71. Givoni B. (1978). *L'home, l'architecture et le climat*. Editions du Moniteur.
72. Givoni B. (1991). *Characteristics, design implications and applicability of passive solar heating systems for buildings*. Solar Energy vol. 47 (6), pp 425-435.
73. Goncalves H., Oliveira M., Carmelo S., Aguiar R., Ramalho A., Graca J.M. (2002). *Ambiente urbano construído e condicoes de conforto térmico*. XI Congreso Ibérico e VI Ibero - Americano de Energía Solar. Vilamoura Portugal – SPES
74. Goncalves H., Pano M.O., Carmelo S., Graca J.M., , Ramalho A., Aguiar R. (2004). *Os edificios e a cidade estudo de avaliacao das necesidades energéticas dos edificios no espacio urbano, o caso da cidade de Lisboa*. XII Congreso Ibérico e VII Ibero - Americano de Energía Solar. Vigo España - SPES
75. Gopinathan K.K. (1992). *Solar sky radiation estimation techniques*. Solar Energy Vol 49 (1), pp 9-11.
76. Gopinathan K.K., Soler A. (1993). *Mapping and analysing the spatial and temporal variations of radiation parameters in Spain*. Energy vol. 18 (6). pp. 665-679.
77. Gopinathan K.K., Soler A. (1995). *Diffuse radiation models and monthly-average, daily, diffuse data for a wide latitude range*. Energy vol. 20 (7). pp 657-667.
78. Gordon J.M. (2001). *Solar energy. The state of the art. ISES position papers*. International Solar Energy Society (ISES) y James & James.

79. Goulding J. R., Owen Lewis J., Steemers Theo C. (1993). *Energy in architecture, the european passive solar handbook*. Commission of the European Communities.
80. Grupo Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza (2001). *Report Final Thermie n°BU 178/95 Barrio Goya*. Commission of the European Communities.
81. Grupo Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza (2002). *Características térmicas de cerramientos en células laboratorio*. Informe técnico. Consorcio Nacional de Fabricantes Cerámicos - Hyspalit.
82. Gympel J. (1996). *Historia de la Arquitectura*. Könemann.
83. Heras M.R., San Isidro M.J., Zarzalejo L., Ferrer J.A., Monreal M., Granados H., Travesí J. (2002). *Método de evaluación bioclimática y energética de la ecociudad de Sarriguren (Navarra)*. XI Congreso Ibérico e VI Ibero - Americano de Energía Solar. Vilamoura Portugal - SPES
84. Herde A.de, González J.A. (1997). *Arquitectura Bioclimática*. Colegio de Arquitectos de Galicia.
85. Hernández M.A., Pericás J.C., García F., Monné C., Turégano J.A. (2000). *Optimización energética de edificios: Aplicación MEDEA*. IX Congreso Ibérico de Energía Solar sobre Energías Renovables y Desarrollo Sostenible. Actas del congreso. pp 585-590.
86. Hernández M.A., García F., Ramos J. (2002). *Datos climáticos sintéticos horarios de Aragón*. Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.
87. Hernández M.A., Martínez A., Turégano J.A. (2004). *Urbanismo energético y arquitectura bioclimática: resultados de dos años de monitorización en la urbanización Barrio Goya*. XII Congreso Ibérico e VII Ibero - Americano de Energía Solar. Vigo España - SPES
88. Hernández M.A. (2005). *Estimación de la radiación solar y aplicaciones*. Publicaciones del Gobierno de Navarra del Dpto. de Educación y Cultura.
89. Hildebrand F. (1999). *Designing the city. Towards a more sustainable urban form*. E & FN Spon.
90. IEA Task 13 (1995). *Solar low energy houses of IEA Task 13*. James&James.
91. IEA (1997). *Solar energy houses*. James&James.
92. Iqbal M. (1980). *Prediction of hourly diffuse solar radiation from measured hourly global radiation on a horizontal surface*. Solar Energy, 23 (5), pp. 491-503.
93. Iqbal M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.
94. Janssen J.E. (1982). *Ashrae Trans.* 88, 713.
95. Jones P.J., Willinas J., Lannon S. (1998). *Solar energy in an urban context: the Milan case study*. Rebuild the european cities of tomorrow, Proceedings, Florene, 1-3 April 1998, pp 144-147.
96. Jürgens O. (1992). *Ciudades españolas. Su desarrollo y configuración urbanística*. Ministerio de para las Administraciones Públicas.

97. Klein S. (1988). TRNSYS – *A transient system simulation program*. University of Wisconsin – Madison, Engineering Experiment Station Report 38-12.
98. Knight K.M., Klein S.A., Duffie J.A. (1991). *A methodology for the synthesis of hourly weather data*. Solar Energy 46 (2), pp. 109-120.
99. Koef H. (1997). *La arquitectura en sus planos*. Ediciones Cátedra.
100. Kolokotroni M., Zhang Y., Watkins R., (2007). *The London Heat Island and building cooling design*. Solar Energy 81, pp. 102-110.
101. Kristl Z., Krainer A. (2001). *Energy evaluation of urban structure and dimensioning of building site using iso-shadow method*. Solar Energy 70 (1), pp. 23-34.
102. Landabaso A., Sevilla A. (1995). *Manuel de conception: architecture solaire passive pour la Région Méditerranéene*. Commission of the European Communities.
103. Leclercq P. (1996). *Energy-conscious architectural design in urban context*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Conference Proceedings, Berlin, 26-29 March 1996, pp 75-78.
104. Ley 1/1992, de 26 de junio de Reforma de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación del Suelo Urbana.
105. Ley 8/2007, de 28 de mayo de 2007 de Suelo.
106. Lewis O., Goulding J. (1999). *European Directory of Sustainable and Energy Efficient Building 1999*. James & James.
107. Li X., Yu Z., Li Y., (2005). *Numerical analysis of outdoor thermal environmental around buidings*. Building and Environment vol 40 pp 853-866.
108. Liu B.Y.H, Jordan R.C. (1960). *The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation*. Solar Energy 4 (3), pp. 1-19.
109. Lomas K.J. (1990). *A new method of empirically validating dynamic thermal simulation models of buildings*. The twelfth annual ASME International Solar Energy Conference. Miami (Florida), April 1-4.
110. Lomas K.J., Eppel H., Martin C.J., Bloomfield D.P. (1997). *Empirical validation of building energy simulation programs*. Energy and Building vol. 26, pp. 253-275.
111. Lund H. (1985). *Test Reference Years TRYs: weather data sets for computer simulations of solar energy systems and energy consumption in buildings*. Report N° EUR 9765, Commission of the European Commnuties, Brussels.
112. Maccari A., Zinzi M. (2001). *Simplified algorithms for the Italian Energy Rating scheme for fenestration in residential building*. Solar Energy vol 60 pp 75-92.
113. Mahlia T.M.I., Taufiq B.N., Ismail, Masjuki H.H., (2007). *Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall*. Energy and Buildings vol 39 pp 182-187.

114. Mascaró L., Martins da Silva L. (2002). *Forma urbana e disponibilidad de energia solar*. XI Congreso Ibérico e VI Ibero - Americano de Energía Solar. Vilamoura Portugal - SPES.
115. Marín J.M., Monné C.M. (1997). *Transferencia de energía*. Servicio Publicaciones de la Universidad de Zaragoza.
116. Marion W., Urban K. (1995). *User's Manual for TMY2s Typical Meteorological Years*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA.
117. Markus T.A., Morris E.N. (1980). *Building, climate and energy*, Pitman.
118. Mes-Res (1999). *Municipal measures to promote energy savings in residential buildings*, Save II Program – Project SA / 331SP.
119. Miguel de A., Bilbao J., (2005). *Test reference year generation from meteorological and simulation solar radiation data*. Solar Energy vol 78 pp 695-703.
120. Mitjá A., Batalla E. (1982). *Manual de radiación solar*, Universidad Politécnica de Barcelona e Instituto de Técnicas Energéticas – E.T.S.I.I.B.
121. Ministerio de Fomento, IDAE (1999). *Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas*. Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones.
122. Ministerio de Fomento (2005). *Proyecto del Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Fomento.
123. Ministerio de la Presidencia (2007). *RD 47/2007 Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de nueva construcción*. Ministerio de la Presidencia BOE 31 enero de 2007.
124. Ministerio de la Presidencia (2007b). *RD 1027/2007 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE)*. Ministerio de la Presidencia BOE 207 de 29 de agosto de 2007.
125. Ministerio de Vivienda (2006). *RD 314/2006 Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda BOE 28 marzo de 2006.
126. Ministerio de Vivienda y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2007a). *Documentote condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos*. Ministerio de Vivienda y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
127. Ministerio de Vivienda y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2007b). *Opción simplificada para la calificación energética de edificios de viviendas*. Ministerio de Vivienda y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
128. Ministerio de Industria y Energía (1981). *Radiación solar sobre superficies inclinadas*. Ministerio de industria y energía. Dpto. Investigación y nuevas fuentes Comisario de la energía y recursos minerales centro de estudios de la energía.
129. Mochida A., Yoshimo H., Miyauchi S., Mitamura T., (2006). *Total analysis of cooling effects of cross-ventilation effected by microclimate around a building*. Solar Energy vol 80 pp 371-382.

130. MOPT (1992). *Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 (Condiciones Térmicas en la Edificación)* Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
131. MOPT (1992). *I.T. I.C. Reglamento e Instrucciones Técnicas de las Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria*. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
132. MOPT (1998). *RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios*. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
133. Muhaisen A.S., Gadi M.B., (2005). *Mathematical model for calculating the shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry*. Building and Environment vol. 40, pp. 1619-1625.
134. Nasursa, Gobierno de Navarra Dpto. de Medio Ambiente Ordenación del Territorio y Vivienda. (2004). *Concurso de suelo público 2004. Segunda Fase Sarriguren*. Nasursa, Gobierno de Navarra Dpto. de Medio Ambiente Ordenación del Territorio y Vivienda.
135. Niewianda A., Eicker A., Heidt F.D. (1996). *Sombrero-shadow calculations for the use in architecture and urban planning*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Conference Proceedings, Berlin, 26-29 March 1996, pp 342-345.
136. Nikolopoulou M., Steemers K., (2003). *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. Energy and Buildings vol. 35, pp. 95-101.
137. NRE-AT-87 (1987). *Norma reglamentaria de edificación sobre aislamiento térmico*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de 27 de abril nº 832 de 1987 (Política Territorial i Obres Públiques).
138. Olgyay V. (1998). *Arquitectura y clima*. Gustavo Gili.
139. Orgill J.F., Hollands K.G. (1977). *Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface*. Solar Energy vol. 19 (4), pp. 357-359.
140. Parmelee G.V. (1954). *Irradiation on vertical and horizontal surfaces by diffuse solar radiation from cloudless skies*. ASHRAE Transactions, vol. 60 (1510), pp. 341-356.
141. Pearson D. (2000). *El libro de la Casa Natural*. Integral
142. PEEV versión 2.1, CADEM 1992
143. Pfrommer P. (1995). *Thermal Modelling of highly glazed spaces*. Tesis doctoral de Monfort University Leicester.
144. Pissimanis D., Karras G., Notaridou V., Gavra K. (1988). *The generation of a 'Typical Meteorological Year' for the city of Athens*. Solar Energy vol. 40, pp. 405-411.
145. Reindl D.T., Beckman W.A., Duffie J.A. (1990). *Diffuse fraction correlations*. Solar Energy vol. 45 (1), pp. 1-7.

146. Robitu M., Musy M., Inard C., Groleau D., (2006). *Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate*. Solar energy vol. 80, pp. 435-447.
147. Rogora A., Losa C. (1999). *Urban morphology and microclimate of open spaces*. Rebuilding the city of tomorrow, Conference Proceedings Barcelona, 4-9 October 1999, pp 352-354.
148. Ruano M. (1999). *Ecourbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*. Gustavo Gili.
149. Rudy M. (1998). *Informing solar building design in an urban context*. Rebuild the european cities of tomorrow, Proceedings, Florene, 1-3 April 1998, pp 334-337.
150. Salom J., Pascual J., Ivancic A., Lao J. (2002). *Estudio del sector viviendas en PEMB (Plan de Mejora Energética de Barcelona)*. XI Congreso Ibérico e VI Ibero - Americano de Energía Solar. Vilamoura Portugal - SPES
151. Santamouris M. (1997). *Passive cooling of buildings*. Commission of the European Communities DG XVII.
152. Santamouris M., Papanikolau N., Livada I., Koronakis I., Georgakis S., Argiriou A., Assimakopoulos D.N., (2001). *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildin*. Solar Energy vol. 70, pp. 201-216.
153. Shashua-Bar L., Hoffman M.E. (2002). *The green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites*. Building an environment vol. 37, pp. 1279-1288.
154. Shashua-Bar L., Hoffman M.E. (2003). *Geometry and orientation aspects in passive cooling of cayon streets with tress*. Energy and Buildings vol. 35, pp. 61-68.
155. Soler A. (1990). *Statical comparison for 77 european stations of 7 sunshine-based models*. Solar Energy vol. 45 (6), pp. 365-370.
156. Sorensen B. (1979). *Renowable Energy*. Acedmic Press.
157. Spencer J.W. (1971). *Fourier series representation of the position of the Sun*. Search vol. 2 (5), 172.
158. Spencer J.W. (1982). *A comparison of methods for estimating hourly diffuse solar radiation from global solar radiation*. Solar Energy vol. 29 (1), pp. 19-32.
159. Steemer K., Baker N., Crowther D., Nikolopoulou M., Clocquet R. (1996). *Project ZED: modelling environmental characteristics of urban forms*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Conference Proceedings, Berlin, 26-29 March 1996, pp 4-7.
160. Stepanov V., Starikova N., Stepanova T. (2000). *Indices for estimation of energy conservation in space heatin*. Energy and Building vol. 31, pp. 189-193.
161. Stren R, White R., Whitney J. (1992). *Sustainable cities. Urbanization and the environment in international perpestive*. Westwiew Press.
162. Synnefa A., Santamouris M., Livada I., (2006). *A stuy of thermal performance of reflective coatings for the urban environment*. Solar Energy vol. 80, pp. 968-981.

163. Synnefa A., Santamouris M., Apostolakis K., (2007). *On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coating for the urban environment*. Solar Energy vol. 81, pp. 488-497.
164. Take A.H., Loveday D.L. (1996). *External convection coefficients for framed rectangular elements on building facades*. Energy and Buildings vol. 24, pp. 147-154.
165. Tanimoto J., Hagishima A., Chimklai P., (2004). *An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology*. Energy and Buildings vol. 36, pp. 781-793.
166. Thomsen K.E., Schultz J.M., Poel B.. (2005). *Measured performance of 12 demonstration projects—IEA Task 13 “advanced solar low energy buildings”*. Energy and Buildings vol. 37, pp. 111-119.
167. Tiwari G.N., Upadhyay M., Rai S.N. (1994). *An comparison of Passive Cooling Techniques*. Building and Environment vol. 29, pp. 21-31.
168. TSBI3. version c22 (1997). *TSBI3 Computer Program for Thermal Simulation of Buildings. User’s Guide*. Danish Building Research Institute.
169. Tslepidaki I., Santamouris M., Asimakopoulos D.N., Kontoyiannidis S. (1994). *On the variability of cooling degree-days in an urban environment: application to Athens, Greece*. Energy and Buildings vol. 21, pp. 93-99.
170. Turégano J. A., Freixo J., Atecyr-Aragón (1994). *Datos climáticos de Aragón*. Diputación General de Aragón Departamento de Industria, Comercio y Turismo.
171. Turégano J. A., Bernal L. M, Campos C., Monné C. (1995). *Atlas de radiación solar en Aragón*. Diputación General de Aragón Departamento de Industria, Comercio y Turismo.
172. Turégano J. A., Gaviria M. (1995). *Ciudad Jardín Puerta de los Pirineos. Una descripción de intenciones*. Gobierno de Aragón. Departamento de Ordenación Territorial, Obras Públicas y Transporte. Instituto del Suelo y la Vivienda de Aragón..
173. Turégano J. A., Hernández M.A., Pericás J.C., García F. (1999). *Informe Técnico sobre la Auditoría energética del proyecto de la urbanización de la Ecociudad de Sarriguren de Navarra*. Diputación Foral de Navarra. Departamento de Ordenación Territorial.
174. Turégano J.A., Hernández M.A (2001). *Meteo, aplicación informática para el análisis termoambiental de edificios*. Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza registro provincial de la propiedad intelectual de Zaragoza nº 4251.
175. Turégano J.A., Hernández M.A, García F. (2001). *El urbanismo bioclimáticos en Residencial Parque Goya*. Diputación General de Aragón - Departamento de Industria Comercio y Desarrollo.
176. Turégano J.A., Hernández M.A, García F. (2002a). *Urbanismo y arquitectura bioclimática en Residencial Parque Goya*. Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.
177. Turégano J.A., Hernández M.A, García F. (2002b). *URSOS. Diseño bioclimático y optimización energética de urbanizaciones*. Programa de simulación cofinanciado por IDAE y desarrollado por el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.

178. Turégano J.A., Hernández M.A, García F. (2002c). *Urbanismo y arquitectura bioclimática en Residencial Parque Goya*. Revista 'El Instalador', Monográfico sobre Arquitectura Bioclimática.
179. Turégano J.A., Hernández M.A, García F. (2002d). *Análisis de la urbanización de Valdespartera*. Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza.
180. Turégano J.A., Hernández M.A. (2002e). *Final Technical Report: Urban Planning "Barrio Goya"*. Project BU /00178/95. Commission of the European Communities.
181. Turégano J.A., Velasco C., Martínez A. (2004). *Urbanismo energético y arquitectura bioclimática: cuestión de escala*. XII Congreso Ibérico e VII Ibero - Americano de Energía Solar. Vigo España – SPE
182. UNE - EN 410 (1998). *Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos*. AENOR.
183. UNE - EN 673 (1998). *Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U. Método de cálculo*. AENOR.
184. UNE - EN 832 (2000). *Comportamiento térmico de los edificios. Cálculo de las necesidades energéticas para calefacción. Edificios residenciales*, AENOR, (norma equivalente a ISO 9164, 1992).
185. Vinuesa J., Vidal M.J. (1991). *Los procesos de urbanización*. Editorial Síntesis.
186. Whillier A. (1965). *Solar radiation graphs*. Solar Energy vol. 9 (3), pp. 164-165.
187. Yañez G. (1982). *Energía solar, edificación y clima*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
188. Yañez G. (1988). *Arquitectura solar: aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
189. Zárata A. (1991). *El espacio interior de la ciudad*. Editorial Síntesis.
190. Zhai Z.J., Chen Q.Y., (2006). *Sensitivity analysis and application guides for integrated building energy and CFD simulation*. Energy and Buildings vol. 38, pp. 1060-1068.
191. Znouda E., Ghrab-Morcós N., Hadj-Alouane A., (2007). *Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms*. Energy and Buildings vol. 39, pp. 148-153.