Sumario

ANEXO A: Guía de la edificación sostenible 3

ANEXO B: Datos climáticos de la ciudad de Barcelona 7

ANEXO C: Tabla de propiedades térmicas de los materiales del cerramiento 15

ANEXO D: Aspectos energéticos, térmicos y acústicos 21

ANEXO E: El muro cortina. Conceptos básicos y características técnicas de sus elementos 33

ANEXO F: Estudio realizado mediante la herramienta informática LIDER (Limitación de la Demanda Energética) 65

ANEXO G: Influencia de las protecciones solares en el comportamiento térmico del edificio 93

ANEXO H: Estudio térmico realizado mediante la herramienta informática Tas (Thermal Analysis Simulator) 105

ANEXO A: Guía de la edificación sostenible

ANEXO A: Guía de la edificación sostenible

A.1. Introducción

Actualmente, la sostenibilidad constituye un punto clave para la planificación y desarrollo de cualquier proyecto. El sector de la construcción, tan en auge en nuestro país, debería dar importancia a este concepto de desarrollo sostenible, consiguiendo que los edificios diseñados bajo este prisma se conviertan en símbolos de modernidad y progreso, siendo un ejemplo para que la sociedad implante la idea de sostenibilidad en todos los ámbitos.

A.2. Desarrollo y arquitectura sostenible

El desarrollo sostenible consiste en proveer las necesidades futuras e intentar conseguir producir lo que se consume. En el ámbito de la construcción se habla de arquitectura bioclimática, biotectura, bioconstrucción, etc. De hecho, la eficiencia energética en la edificación es desde hace años objetivo de numerosas iniciativas, que incluyen todo el ciclo de vida del edificio. En éste se incluye no sólo su período de utilización, sino también el proceso de obtención de sus materias primas, de manufactura de sus productos principales, así como el final del ciclo de los materiales, al finalizar el uso del edificio. El cierre de este círculo, con la reintroducción de los materiales de demolición en la actividad industrial por vía del reciclado o la valoración de los residuos, permite una mayor eficiencia energética global, al recuperar su contenido energético para otros usos.

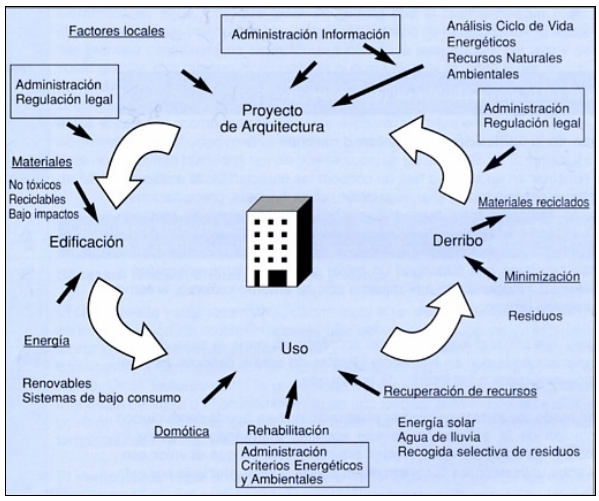


Figura A.1: Análisis del ciclo de vida (ACV) de un edificio
(Fuente: *"Guía de la Edificación sostenible. Calidad energética y medioambiental en edificación"*. IDAE)

Al diseñar un nuevo edifico, hay que tener en cuenta el impacto que esta construcción va a tener sobre el medioambiente. La incorporación de la tecnología y la voluntad de mayor confort por parte de los usuarios ha obligado a la implantación de sistemas de climatización, grandes consumidores de energía que, generalmente, proviene de fuentes no renovables y limitadas. Según [8], el consumo energético de climatización en una vivienda estándar, supone el 45% de la energía y el 39% de las emisiones de CO_2 asociadas totales. En el caso de los edificios de oficinas, la proporción del consumo de climatización respecto al total del edificio se dispara.

Diferentes autores han tratado el tema de la sostenibilidad en la edificación en los últimos años. La gran mayoría coinciden en la responsabilidad de la sociedad en temas como el respeto y compromiso con el Medio Ambiente, el uso sostenible de la energía, el uso de energías renovables o el impacto que tiene el uso de determinados materiales.

Según datos de [9], uno de estos autores, Kibert, estableció en 1994 una serie de requisitos que han de cumplir los edificios sostenibles. Lanting completó en 1996 esta lista, que quedó de la siguiente manera:

- Consumo mínimo de energía y agua a lo largo de la vida del edificio
- Uso eficiente de las materias primas
- Generación mínima de residuos y contaminación a lo largo de la vida del edificio
- Durabilidad y reciclabilidad
- Integración en el paisaje urbano
- Flexibilidad, adaptabilidad y calidad del emplazamiento frente a necesidades actuales y futuras de los usuarios
- Creación de un ambiente térmico y acústico interior saludable

ANEXO B: Datos climáticos de la ciudad de Barcelona

ANEXO B: Datos climáticos de la ciudad de Barcelona

B.1. Introducción

Este Anexo muestra las principales características climatológicas de la ciudad de emplazamiento del edificio estudiado en el proyecto. Barcelona es una ciudad situada en la costa este del mar Mediterráneo, en un territorio plano de unos 5 km de ancho, y está limitada por el mar, la cordillera litoral y la desembocadura de los ríos Llobregat y Besós. El clima es fundamentalmente mediterráneo, templado la mayor parte del año, con inviernos suaves y veranos ligeramente calurosos y húmedos.

B.2. Datos meteorológicos de Barcelona

A continuación se muestran una serie de tablas donde se exponen algunas de las principales variables a tener en cuenta en el estudio.

B.2.1. Nubosidad

Nubosidad (2003)				
Mes	**Días claros**	**Días nublados**	**Días cubiertos**	**Horas de sol**
Enero	3	19	9	178,0
Febrero	7	16	5	218,5
Marzo	4	16	11	179,4
Abril	7	8	15	204,0
Mayo	3	17	11	241,6
Junio	11	13	6	299,9
Julio	10	17	4	285,7
Agosto	1	26	4	236,9
Septiembre	3	23	4	185,6
Octubre	3	21	7	208,3
Noviembre	4	20	6	175,1
Diciembre	2	21	8	140,9
Total	58	217	90	2553,9

Tabla B.1.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

B.2.2. Temperaturas

Temperaturas (2003)						
Mes	**Media mensual (ºC)**	**Media mensual de las máximas diarias (ºC)**	**Media mensual de las mínimas diarias (ºC)**	**Máxima absoluta mensual**	**Mínima absoluta mensual**	**Oscilación térmica media mensual**
Enero	7,6	11,8	4,5	18,7	-1,3	7,3
Febrero	7,3	11,5	4,7	22,0	-0,7	6,9
Marzo	12,0	18,1	8,8	25,6	5,9	9,3
Abril	13,7	19,6	10,0	25,8	4,9	9,7
Mayo	16,7	22,6	13,1	28,8	9,2	9,5
Junio	24,4	31,0	20,2	37,2	15,5	10,8
Julio	24,8	31,9	20,5	36,3	16,5	11,3
Agosto	27,1	34,5	22,6	40,1	15,9	11,9
Septiembre	19,3	25,1	16,0	28,8	14,5	9,1
Octubre	14,1	18,5	11,4	26,6	5,5	7,1
Noviembre	11,3	15,2	9,1	18,5	4,1	6,2
Diciembre	8,3	13,4	5,9	24,1	2,1	7,6
Total	15,7	21,1	12,3	40,1	-1,3	8,9

Tabla B.2.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

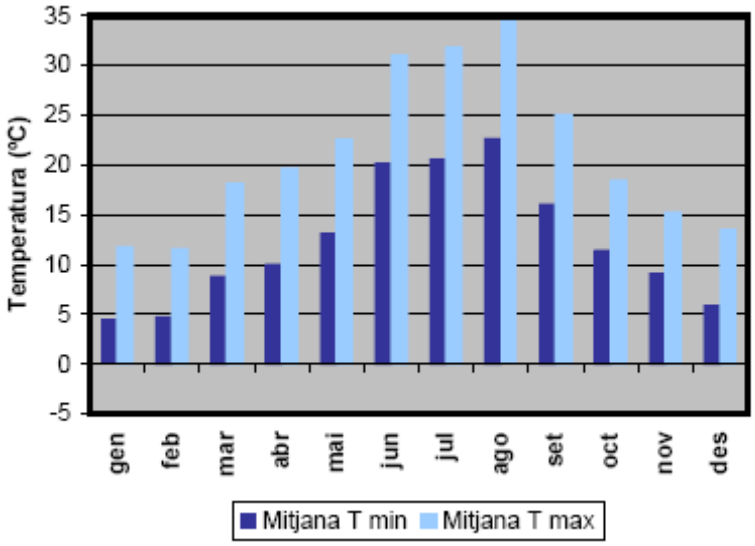


Figura B.1: Temperaturas medias de las mínimas y máximas mensuales (Fuente: www.meteocat.es)

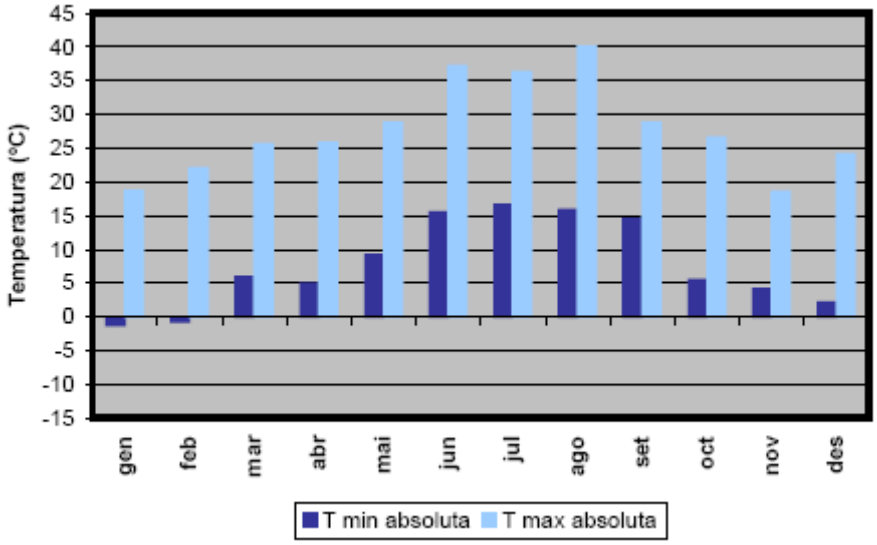


Figura B.2: Temperaturas mínimas y máximas absolutas mensuales
(Fuente: www.meteocat.es)

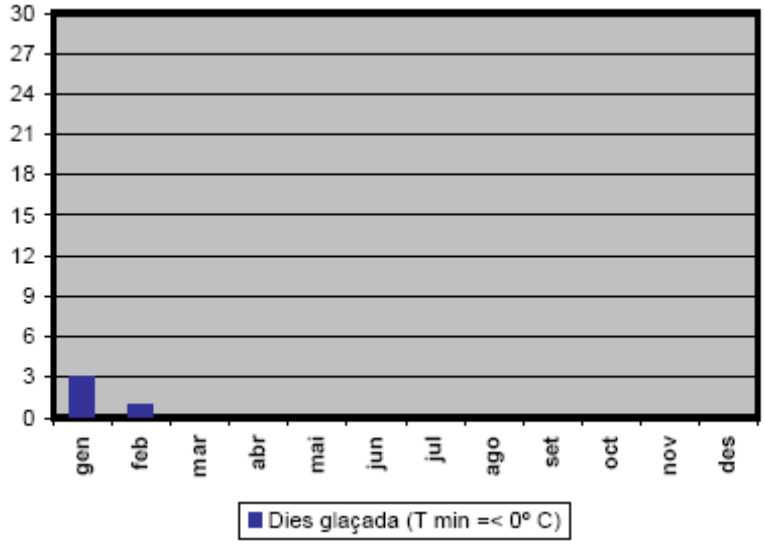


Figura B.5: Días de helada
(Fuente: www.meteocat.es)

B.2.3. Precipitaciones

Precipitaciones (2003)				
Mes	**Precipitación total (mm)**	**Precipitación mensual máxima en 24 horas (mm)**	**Precipitación mensual máxima en 30 minutos (mm)**	**Número de días de precipitación**
Enero	24,4	12,0	2,8	6
Febrero	154,8	35,4	7,6	12
Marzo	15,6	10,0	1,6	5
Abril	15,6	6,8	2,2	6
Mayo	45,2	16,2	4,0	7
Junio	0,0	0,0	0,0	0
Julio	4,8	2,2	1,6	3
Agosto	30,8	15,8	9,2	3
Septiembre	94,2	25,0	16,2	13
Octubre	144,6	34,2	10,6	12
Noviembre	13,8	4,6	1,0	9
Diciembre	34,2	10,0	3,0	6
Total	578,0	35,4	16,2	82

Tabla B.3.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

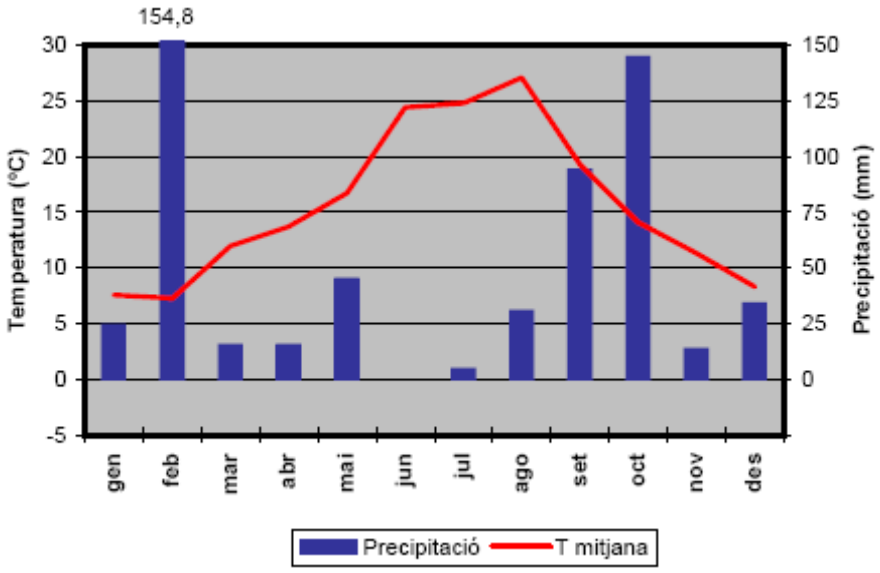


Figura B.6: Temperatura media y precipitación mensual
(Fuente: www.meteocat.es)

B.2.4. Vientos

Viento (2003)				
Mes	**Velocidad media mensual (m/s)**	**Dirección dominante**	**Media mensual de las rachas instantáneas máximas diarias (m/s)**	**Máximo absoluto mensual de las rachas instantáneas (m/s)**
Enero	6,5	NO	17,2	22,9
Febrero	5,3	NE	14,1	24,3
Marzo	4,9	NE	12,8	22,9
Abril	6,0	SO	15,1	27,8
Mayo	4,9	SO	13,3	29,6
Junio	4,7	SO	12,9	19,2
Julio	4,3	SO	13,1	19,6
Agosto	4,4	SO	12,4	20,8
Septiembre	4,2	SO	12,6	22,2
Octubre	5,9	NE	17,3	33,4
Noviembre	4,8	NE	13,2	20,5
Diciembre	6,3	NO	15,7	22,5
Total	5,2	-	14,2	33,4

Tabla B.4.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

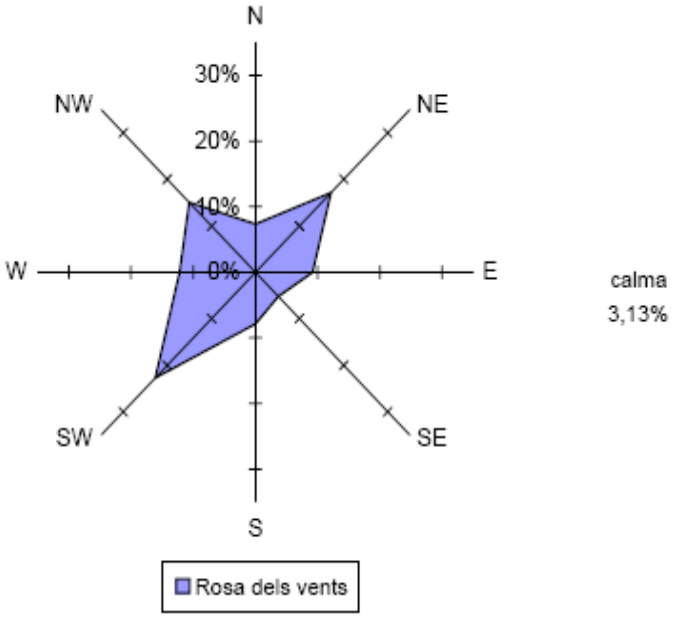


Figura B.7: Rosa de los vientos
(Fuente: www.meteocat.es)

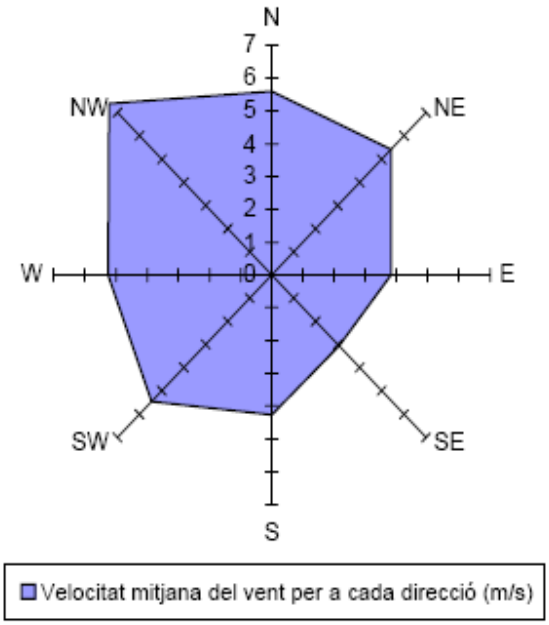


Figura B.8: Velocidad media del viento para cada dirección del viento (m/s)
(Fuente: www.meteocat.es)

B.2.5. Humedad relativa

Humedad relativa (2003)		
Mes	**Media mensual (%)**	**Media mensual de las Hr mínimas diarias (%)**
Enero	68	55
Febrero	82	66
Marzo	78	58
Abril	69	50
Mayo	72	52
Junio	59	43
Julio	66	46
Agosto	57	40
Septiembre	78	55
Octubre	81	62
Noviembre	-	63
Diciembre	76	59
Total	71	54

Tabla B.5.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

B.2.6. Presión atmosférica

Presión atmosférica (2003)	
Mes	**Media mensual (hPa)**
Enero	920
Febrero	922
Marzo	927
Abril	921
Mayo	926
Junio	927
Julio	927
Agosto	928
Septiembre	929
Octubre	921
Noviembre	923
Diciembre	925
Total	925

Tabla B.6.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

B.2.7. Irradiación solar

Irradiación solar (2003)	
Mes	**Media mensual (MJ/m^2)**
Enero	7,9
Febrero	7,4
Marzo	14,9
Abril	18,0
Mayo	19,6
Junio	22,0
Julio	22,3
Agosto	22,4
Septiembre	14,8
Octubre	8,9
Noviembre	-
Diciembre	6,1
Total	15,0

Tabla B.7.

Nota: Los datos corresponden al Observatori Fabra

Longitud 02º07'27" E. Greenwich
Latitud 41º25'05" N
Altitud 420m

Fuente: Servei Meteorològic de Catalunya. Observatori Fabra

ANEXO C: Tabla de propiedades térmicas de los materiales del cerramiento

ANEXO C: Tabla de propiedades térmicas de los materiales del cerramiento

MATERIALES	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Calor Esp.	Conduc.
A	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Acero	7850	480	58	0.11	49.88
Adobe	1780		0.85		0.73
Agua (sin convección)	1000	4184	0.6	1.00	0.52
Aire (a 20ºC,1 Atm. sin convección)	1.2	1213	0.03	0.29	0.03
Alfombras y moquetas	1000	1350	0.05	0.32	0.04
Aluminio	2700	920	204	0.22	175.44
Arcilla	2100		0.93		0.80
Arcilla expandida	300		0.09		0.08
Arcilla expandida	450		0.11		0.09
Arena con humedad natural	1700		1.4		1.20
Arena seca	1500		0.58		0.50
Asfalto	2100		0.7		0.60
B	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Betún	1050		0.17		0.15
Bronce	8500		64		55.04
C	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Cartón-yeso	900		0.18		0.15
Cascote de ladrillo	1300		0.41		0.35
Cobre	8900		384		330.24
Contrachapado	600		0.14		0.12
Corcho aglomerado UNE.5690	110		0.04		0.03
E	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Enlucido de yeso	800	880	0.3	0.21	0.26
Enlucido de yeso con perlita	570		0.18		0.15
Escoria de carbón	1200		0.19		0.16
Espuma elastomérica	60		0.34		0.29
F	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Fábrica bloques hormigón celular a	800		0.44		0.38
Fábrica bloques hormigón celular a	1000		0.56		0.48
Fábrica bloques hormigón celular a	1200		0.7		0.60
Fábrica bloques hormigón celular v	600		0.35		0.30
Fábrica bloques hormigón celular v	800		0.41		0.35
Fábrica bloques hormigón celular v	1000		0.47		0.40
Fábrica bloques huecos hormigón L	1000		0.44		0.38
Fábrica bloques huecos hormigón M	1200		0.49		0.42
Fábrica bloques huecos hormigón P	1400		0.56		0.48
Fábrica ladrillo cerámico macizo	1800	878	0.87	0.21	0.75
Fábrica ladrillo hueco	1200		0.49		0.42
Fábrica ladrillo perforado	1600		0.76		0.65
Fabrica ladrillo silico-calcáreo	1600		0.79		0.68
Fibra de vidrio	91		0.04		0.03
Fibra de vidrio I	16		0.04		0.03
Fibra de vidrio II	25		0.04		0.03
Fibra de vidrio III	38		0.03		0.03
Fibra de vidrio IV	55		0.03		0.03
Fibra de vidrio V	78		0.03		0.03
Forjado Bovedilla hormigón 16+4cm	1100		1.48		1.27
Forjado Bovedilla hormigón 20+4cm	1040		1.54		1.32

Forjado Bovedilla hormigón 25+4cm	965		1.56		1.34
Fundición o acero	7850		58		49.88
Grava rodada o de machaqueo	1700		0.81		0.70
H	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Hormigón según densidad	600	805	0.17	0.19	0.15
Hormigón según densidad	800	805	0.24	0.19	0.21
Hormigón según densidad	1000	805	0.33	0.19	0.28
Hormigón según densidad	1200	805	0.44	0.19	0.38
Hormigón según densidad	1400	805	0.57	0.19	0.49
Hormigón según densidad	1600	805	0.73	0.19	0.63
Hormigón según densidad	1800	805	0.93	0.19	0.80
Hormigón según densidad	2000	805	1.16	0.19	1.00
Hormigón según densidad	2200	805	1.39	0.19	1.20
Hormigón según densidad	2400	805	1.63	0.19	1.40
Hormigón para bloque hueco	1600	805	0.73	0.19	0.63
H	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Hormigón armado normal	2400	805	1.63	0.19	1.40
Hormigón celular con áridos sílice	600		0.34		0.29
Hormigón celular con áridos sílice	1000		0.67		0.58
Hormigón celular con áridos sílice	1400		1.07		0.92
Hormigón celular sin áridos	305		0.09		0.08
Hormigón con áridos ligeros L	600		0.17		0.15
Hormigón con áridos ligeros M	1000		0.33		0.28
Hormigón con áridos ligeros P	1400		0.55		0.47
Hormigón de fibra de madera	450		0.08		0.07
Hormigón en masa arcilla expandida	500		0.12		0.10
Hormigón en masa arcilla expandida	1500		0.55		0.47
Hormigón en masa áridos ligeros	1600		0.73		0.63
Hormigón en masa sin vibrar	2000		1.16		1.00
Hormigón en masa vibrado	2400	805	1.63	0.19	1.40
L	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Lámina bituminosa	1100		0.19		0.16
Lana mineral I	40		0.04		0.03
Lana mineral II	60		0.04		0.03
Lana mineral III	80		0.04		0.03
Linóleo	1200		0.19		0.16
M	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Madera conífera	600	1380	0.14	0.33	0.12
Madera frondosa	800	1255	0.21	0.30	0.18
Metacrilato	1000		0.19		0.16
Moqueta, alfombra	1000		0.05		0.04
Mortero de cal o bastardo	1600		0.87		0.75
Mortero de cemento	2000		1.4		1.20
P	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Papel	950		0.14		0.12
Perlita expandida	130		0.05		0.04
Picón	2100	750	2.16	0.18	1.86
Placas de escayola	800		0.3		0.26
Plaquetas	2000		1.05		0.90
Poliestireno expandido I	10	1590	0.06	0.38	0.05
Poliestireno expandido II	12		0.04		0.03
Poliestireno expandido III	15		0.04		0.03
Poliestireno expandido IV	20		0.03		0.03

Poliestireno expandido V	25		0.03		0.03
Poliestireno extrusionado	33	1210	0.03	0.29	0.03
Polietileno reticulado	30		0.04		0.03
Polisocianuro espuma	35		0.03		0.03
Poliuretano espuma L +/-5kg	35		0.02		0.02
Poliuretano espuma P	80		0.04		0.03
PVC	1350		0.18		0.15
R T	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Rocas compactas	2750	880	3.5	0.21	3.01
Rocas porosas	2100		2.33		2.00
Tablero aglomerado de partículas	650	1215	0.08	0.29	0.07
Terreno arenoso con humedad natural	1700		1.4		1.20
Terreno coherente humedad natural	1800	1460	2.1	0.35	1.81
U V	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Urea-formol espuma	12		0.04		0.03
Vermiculita expandida	120		0.04		0.03
Vidrio celular	160		0.04		0.03
Vidrio plano	2500	836	0.95	0.20	0.82

CAPAS HETEREOGENEAS	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Calor Esp.	Conduc.
	Kg/m3		W/mºC		Kcal/hmºC
Cámara aire vertical 0-2cm	1.2		0.12		0.10
Cámara aire vertical 3 cm	1.2		0.18		0.15
Cámara aire vertical 4 cm	1.2		0.22		0.19
Cámara aire vertical 5 cm	1.2		0.28		0.24
Cámara aire vertical 6 cm	1.2		0.33		0.28
Cámara aire vertical 8 cm	1.2		0.47		0.40
Cámara aire vertical 10 cm	1.2		0.59		0.51
Cámara aire vertical 15 cm	1.2		0.93		0.80
	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Cámara de 1 cm en bloques25cm	192	1000	0.15	0.24	0.13
Cámara de 1 cm en bloques	480	1000	0.23	0.24	0.20
Cámara de 3 cm en bloques	480	1000	0.34	0.24	0.29
Cámara de 6 cm en bloques	480	1000	0.45	0.24	0.39
Cámara de 14 cm en bloques	480	1000	0.83	0.24	0.71
Cámara de 11 cm en Bovedilla Horm	815	1000	0.85	0.24	0.73
				Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Cámara 2cm +yeso 1cm = 3cm	270	900	0.15	0.22	0.13
Cámara +Fibrocemento 5cm	200	1000	0.28	0.24	0.24
	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC
Mortero Bloque3cm +mortero1cm = 4 cm	1700	1000	0.83	0.24	0.71
Mortero Bloque3cm +yeso1cm = 4 cm	1400	1000	0.54	0.24	0.46
	Kg/m3	J/KgºC	W/mºC	Kcal/KgºC	Kcal/hmºC

SUPERFICIES:	Absortancia α	Emitancia ε
Plástico blanco	0.05	0.92
Cal, yeso	0.08	0.95
Aluminio pulido	0.10	0.05
Papel	0.25	0.95
Pintura blanca reciente	0.10 a 0.15	0.90
Pintura colores claros	0.30 a 0.40	0.90
Acero inoxidable.	0.45	0.25
Mármol	0.40 a 0.50	0.95
Pintura colores medios y grises	0.50 a 0.70	0.90
Ladrillo rojo	0.65	0.93
Acero galvanizado nuevo.	0.65	0.20
Hormigón claro	0.60 a 0.70	0.88
Pinturas oscuras	0.80 a 0.90	0.90
Arena húmeda	0.90	0.95
Asfalto	0.95	0.95

Tabla C.1.

ANEXO D: Aspectos energéticos, térmicos y acústicos

ANEXO D: Aspectos energéticos, térmicos y acústicos

D.1. Introducción

Para definir las necesidades de confort de los ocupantes del edificio de oficinas, tanto a nivel térmico como acústico, no sólo es necesario el establecimiento de unos parámetros de confort determinados, sino que es importante definir los mecanismos de transmisión térmica y acústica implicados.

D.2. Descripción energética y térmica

D.2.1. Mecanismos de transferencia de calor en cerramientos

En la transmisión de calor a través de los cerramientos, entre el ambiente exterior y el ambiente interior de los edificios, se distinguen varios mecanismos de transferencia:

a) Conducción

La conducción es el modo de transferencia térmica en que el calor viaja desde una capa de temperatura elevada del cerramiento a otra capa de inferior temperatura debido al contacto directo de las moléculas del material. La relación existente entre la velocidad de transferencia térmica por conducción y la distribución de temperaturas en el cerramiento depende de las características geométricas y las propiedades de los materiales que lo constituyen, obedeciendo la denominada Ley de Fourier.

$$\boxed{Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \cdot \Delta T} \quad [W/m^2] \qquad \textbf{(Ec. D.1.)}$$

Cuando el cerramiento se encuentra en equilibrio termodinámico el flujo de calor y la temperatura en cada punto del mismo permanece constante; el proceso de transmisión está en régimen estacionario y el flujo de calor es función de la conductividad de los materiales.

Cuando no existe el anterior equilibrio, ya sea porque el cerramiento no ha tenido tiempo para estabilizarse o debido a que las condiciones del entorno varían en el tiempo, el proceso de denomina transmisión en régimen transitorio, y se caracteriza porque la temperatura en cada punto del cerramiento varía en el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la acumulación del calor debida al calor específico de los materiales.

b) Convección

Se produce cuando el aire de un ambiente se pone en contacto con la superficie de un cerramiento a una temperatura distinta.

La convección libre o natural se produce cuando la fuerza motriz que mueve el aire procede exclusivamente de la diferencia de densidad en el aire, resultante del contacto con la superficie a diferente temperatura y que da lugar a fuerzas ascensionales.

En cambio, la convección forzada se produce cuando existe una fuerza motriz exterior, como el viento, que mueve el aire sobre una superficie a diferente temperatura. Debido al incremento de la velocidad del aire se transmite una mayor cantidad de calor que en la convección libre para una determinada diferencia de temperatura.

En cualquiera de los casos el fenómeno se puede evaluar mediante la Ley de Newton del enfriamiento.

$$\boxed{Q = h \cdot \Delta T} \qquad [W/m^2] \qquad \textbf{(Ec. D.2.)}$$

c) Radiación

Se produce cuando la superficie del cerramiento intercambia calor con el entorno mediante la absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas. Mientras que en la conducción y la convección es preciso la existencia de un medio material para transportar la energía, en la radiación el calor se transmite a través del vacío, o atravesando un medio transparente como el aire.

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia su temperatura absoluta T, y en un rango de longitudes de onda inversamente proporcional a su temperatura absoluta. Por consiguiente, los cerramientos emiten, en función de una propiedad superficial denominada emitancia, radiaciones de onda larga, correspondiente al espectro infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a las temperaturas típicas del ambiente. De forma simultánea, absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado irradiación.

$$\boxed{Q_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4} \qquad [W/m^2] \qquad \textbf{(Ec. D.3.)}$$

En el ambiente también se puede considerar la presencia de radiaciones de onda corta, correspondientes al espectro de radiación visible e infrarrojo cercano, y procedentes de fuentes de elevada temperatura como el sol o el alumbrado artificial. Para estas radiaciones, los cerramientos se comportan sólo como absorbentes en función de una propiedad superficial denominada absorbancia.

$$Q_{absorbida} = \alpha \cdot Q_{incidente} \quad [W/m^2] \qquad \textbf{(Ec. D.4.)}$$

d) Mecanismos combinados de transmisión del calor

Los procesos de transmisión de calor por medio de la conducción, convección y radiación se producen de forma simultánea durante el intercambio de calor entre la superficie del cerramiento y el ambiente.

En el flujo debido a la radiación debe considerarse la contribución de la absorción de onda corta, ya sea procedente del sol o del alumbrado, y la de onda larga, procedente de las superficies del entorno. En el caso de recintos cerrados se deben considerar también las radiaciones infrarrojas emitidas por el cerramiento y reflejadas por el resto de los paramentos.

Respecto a la convección, el flujo de calor depende de si el aire es movido por fuerzas gravitatorias o es impulsado por agentes externos.

Para el cálculo de los flujos de calor por radiación y convección en casos simplificados se define un Coeficiente de transferencia superficial de calor *h*:

$$Q = h \cdot \Delta T = (h_{conv} + h_{rad}) \cdot \Delta T \quad [W/m^2] \qquad \textbf{(Ec. D.5.)}$$

En la transmisión de calor por conducción a través de los cerramientos hay que considerar generalmente que éste está constituido por varias capas con propiedades físicas diferentes, debiéndose calcular su resistencia total como la suma de varias resistencias en serie, y que las temperaturas interiores resultantes en régimen estacionario tendrán un gradiente diferente en cada capa.

En el caso de tener una *cámara de aire* en el interior del cerramiento, se generan en ésta mecanismos de transmisión de calor por convección y radiación, que generalmente se pueden asimilar a una capa con resistencia térmica *sin acumulación* de calor, por carecer de masa apreciable.

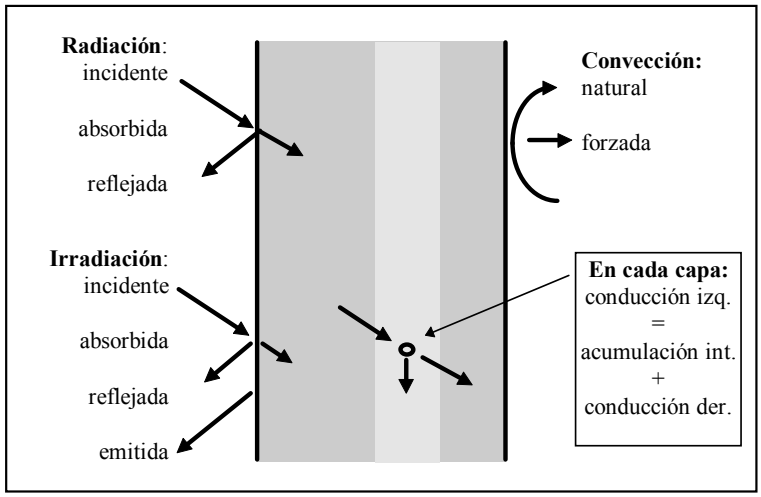


Fig. D.1: Esquema de los flujos de calor entre el cerramiento y su entorno
(Fuente: *"Acondicionamiento ambiental"*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)

D.2.2. Balance energético del edificio

Tratando el edificio como un sistema, es posible distinguir dos tipos de perturbaciones que le afectan: las externas (temperatura del aire exterior, radiación solar, humedad y contaminación exterior) y las que provienen de las actividades propias del edificio (equipos consumidores de energía, iluminación y ocupación). Estas perturbaciones externas e internas tienden a modificar las condiciones térmicas en el ambiente interior. Para realizar el control de este ambiente es necesario determinar el valor de las perturbaciones y el balance global energético del edificio.

El balance energético en el edificio, considerando el signo (+) como una entrada de calor y el (-) como una salida, es el siguiente:

(+/-) Transmisión de calor por conducción y convección entre el interior y el exterior

(+) Entradas de calor por efecto de las cargas de iluminación y de los diferentes equipos en el ambiente.

(+) Entrada de calor por radiación solar sobre los cerramientos exteriores del edificio. Efecto directo en las ventanas e indirecto sobre los paramentos opacos

(+) Entrada de calor por efecto de la ocupación por parte de los usuarios del edificio.

(+/-) Efecto de las entradas (infiltraciones) incontroladas de aire exterior. Son positivas (ganancia de calor) si el aire exterior está más caliente que el interior.

Así, en función de la relación existente entre la temperatura exterior T_e y la temperatura interior T_i se puede planear el siguiente balance:

Perturbación	$T_e > T_i$	$T_e < T_i$
Transmisión por conducción y convección	+	-
Iluminación y equipos	+	+
Radiación solar	+	+
Ocupación personal	+	+
Infiltraciones	+	-

Como puede observarse, el balance es positivo en caso que la temperatura exterior sea superior a la interior; en caso contrario, puede tenerse un balance positivo o negativo.

D.2.3. Fuentes de aporte de calor en el edificio

La ganancia de calor del edificio es la suma de la energía liberada por el conjunto de fuentes de calor que se sitúan dentro y fuera del edificio. Estas fuentes de calor tienen orígenes diversos:

a) Ganancias por conducción y convección

Este mecanismo de transmisión de calor se aplica a todas las perturbaciones que se producen a través de los cerramientos, excepto a la radiación solar.

b) Ganancias por radiación solar

La radiación solar actúa por dos vías; en primer lugar, calentando los cerramientos opacos del edificio, y en segundo entrando directamente a través de los acristalamientos y calentando los componentes interiores (paredes interiores, mobiliario). Estas acciones son ganancias instantáneas. Sólo tienen efecto sobre el aire interior del edificio transcurrido un tiempo, cuando los muros exteriores, por su inercia, dejan pasar el flujo de calor al aire interior, o cuando los elementos internos calientes comienzan a transmitir calor por convección al aire interior.

c) Ganancias de iluminación y equipos

Toda la energía consumida por el alumbrado o por los equipos se transforma en una ganancia, que pasa al ambiente al cabo de cierto tiempo por mecanismos similares al de la radiación solar. En el caso del alumbrado, hay que considerar que la parte de calor que va al ambiente a controlar dependerá del tipo de luminaria utilizada. En ciertos casos algunos equipamientos del edificio (cocinas, fogones, cafeteras...) pueden ocasionar ganancias de calor latente (vapor de agua) que pasan inmediatamente al ambiente a controlar.

d) Ganancia por ocupación

Las personas, en su actividad, desprenden calor sensible y calor latente. El calor sensible se transmite en parte por radiación y en parte por convección al ambiente. Esto supone una determinada entrada de calor sensible en el aire del edificio desfasada en el tiempo respecto de la ganancia. La ganancia latente pasa al ambiente de manera instantánea.

e) Ganancia por infiltraciones

Las entradas de aire no controladas son las infiltraciones, que son debidas a una diferencia de presiones entre el ambiente exterior y el interior. Estas variaciones de presión van asociadas habitualmente a diferencias de temperatura del aire.

Las infiltraciones se producen a través de las oberturas del edificio: puertas, ventanas y rendijas. Estas ganancias pasan al ambiente interior del edificio de manera instantánea.

D.2.4. Confort térmico

Los valores de referencia para establecer el confort térmico en oficinas, según la NTP 501 “Ambiente térmico: inconfort térmico local” para climatizar un edificio son los siguientes:

- ✓ Invierno: Temperatura: 20 - 24º C
  Humedad relativa: 30 - 70%
- ✓ Verano: Temperatura: 23 - 26º C
  Humedad: 30 - 70%

D.3. Descripción acústica

D.3.1. Conceptos básicos de acústica

a) Aislamiento acústico normalizado a ruido aéreo (R)

Es el aislamiento de un elemento constructivo medido en laboratorio en condiciones señaladas por la Norma UNE 74-040-84, considerando la influencia de la superficie *S* del elemento separador (m^2), y la absorción *A* del recinto receptor (m^2), mediante la siguiente expresión:

$$R = D + 10 \log (S/A) = L_{I1} - L_{I2} + 10 \log (S/A) \quad [dB] \qquad \textbf{(Ec. D.6.)}$$

b) Aislamiento acústico en dBA

Es la expresión global en dBA del aislamiento acústico normalizado *R*. Los valores del aislamiento proporcionado por los cerramientos se suelen estimar mediante ensayo.

Sin embargo, el aislamiento acústico proporcionado por particiones simples constituidas por materiales homogéneos es función casi exclusiva de su masa superficial, siendo aplicables las ecuaciones siguientes que determinan el aislamiento *R* (dBA) de los cerramientos en función de la masa por unidad de superficie *m* ($Kg./m^2$):

$$m < 150\ (Kg/m^2) \rightarrow R = 16{,}6\ (\log m) + 2 \quad (dBA) \qquad \textbf{(Ec. D.7.)}$$

$$m > 150\ (Kg/m^2) \rightarrow R = 36{,}5\ (\log m) - 41{,}5 \quad (dBA) \qquad \textbf{(Ec. D.8.)}$$

c) Aislamiento global de elementos constructivos mixtos (a_G)

En el campo de la edificación es normal la presencia de elementos formados por elementos constructivos distintos, caracterizados por aislamientos específicos muy diferentes entre sí, como las fachadas con cerramientos y ventanas.

El aislamiento acústico global a_G de un elemento mixto puede calcularse considerando las áreas *Si* (m^2) de cada elemento constructivo *i*, y sus correspondientes aislamientos específicos *ai* (dB) mediante la siguiente expresión:

$$a_G = 10 \log \frac{\Sigma S_i}{\Sigma \frac{S_i}{10^{a_i/10}}} = 10 \log \frac{S_c + S_v}{\frac{S_c}{10^{a_c/10}} + \frac{S_v}{10^{a_v/10}}} \quad \textbf{(Ec. D.9.)}$$

La segunda expresión es el caso más sencillo de una fachada con cerramiento y ventana, de áreas *Sc* y *Sv*, y de aislamientos *ac* y *av* respectivamente.

Para los casos habituales se comprueba que el aislamiento global de un elemento constructivo mixto es como máximo 10 dB mayor que el del elemento constructivo más débil desde el punto de vista acústico. Por ello en el caso de fachadas será preciso, para mejorar el aislamiento acústico, mejorar el aislamiento de las ventanas frente al de las partes ciegas.

En cualquier caso, es de resaltar como problema específico de los paramentos, el problema que generan las rendijas de las carpinterías, ya que pueden causar disminuciones de aislamiento del orden de 3 a 5 dB. La mejor solución es la mejora de las juntas de estanqueidad.

Igualmente importante es la disminución de aislamiento que se produce por causa de las rendijas que aparecen en cerramientos con persianas enrollables exteriores, que se cifra en 5 dB, y cuyo refuerzo debe hacerse minimizando estas rendijas mediante la colocación de juntas de estanqueidad.

D.3.2. El ruido y la contaminación acústica

La comodidad acústica, e incluso la salud física y mental, dependen de la posibilidad de habitar en un entorno lo suficientemente silencioso, sin que las molestias acústicas impidan la realización satisfactoria de las actividades cotidianas. Cuando el ruido se convierte en una molestia para un conjunto importante de la población, se habla de contaminación acústica, para poner de manifiesto los perjuicios que causa sobre el ambiente urbano y el bienestar de las personas. El conocimiento de las causas del ruido ambiental y de los niveles que previsiblemente pueda alcanzar son fundamentales para tomar medidas de diseño urbano, arquitectónico y constructivo.

Para el estudio de los niveles de ruido del entorno se suelen clasificar las fuentes de ruido entre exteriores al edificio, de interés para el diseño ambiental urbano y para el proyecto del

aislamiento acústico de la envolvente de los edificios, y interiores al propio edificio, para proyectar el adecuado aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto entre locales.

Fig. D.2: Fuentes de ruido urbano. Limpieza viaria

Esta clasificación permite tener en cuenta que las fuentes exteriores suelen generarse por agentes de difícil control (tráfico, aviones, población en general), mientras que las fuentes interiores suelen ser causadas por las instalaciones comunitarias del edificio y por la actividad de sus ocupantes y, por lo tanto, pueden ser tratadas en origen o gestionadas por los propios ocupantes.

El aislamiento acústico contribuye de manera importante a garantizar el confort interior del edificio. La transmisión del ruido se puede efectuar de tres maneras diferentes:

- Por vía directa a través de los paramentos: la transmisión se produce a través del elemento constructivo
- Por transmisiones laterales, por vía estructural: se produce por la solidarización del elemento constructivo respecto de los elementos colindantes
- Por impacto: se produce por los debilitamientos acústicos producidos por la existencia de instalaciones y otros (caída de objetos, pisadas, vibración de equipos, etc.)

D.3.3. El confort acústico

El silencio es una de las metas más importantes en la calidad ambiental de los edificios. Por eso es fundamental limitar a valores razonables el nivel de ruidos en los locales habitables, determinando estos niveles en función de la actividad de los ocupantes.

El grado de molestia que causa el ruido en las personas depende de gran número de variables, tanto del propio ruido como de los oyentes, que condicionan la sensación subjetiva de incomodidad. Para el ámbito del edificio de oficinas, se propone la siguiente clasificación de variables:

Características físicas del sonido	Nivel acústico (dBA) Espectro de frecuencias Variabilidad temporal
Características no físicas del sonido	Contenido de información Predictibilidad
Características del individuo	Necesidad de aislamiento Necesidad de concentración Actitud

Tabla D.1: Variables que afectan al confort acústico en oficinas
(Fuente: NTP 503 – *"Confort acústico. El ruido en oficinas"*)

En general, el nivel acústico (dBA) del ruido es el factor determinante de las molestias, y su nivel admisible será siempre relativo a las características del individuo y a la actividad realizada.

Los estudios de higiene laboral han demostrado la relación directa entre la exposición a niveles altos de ruido y la sordera profesional. Estudios recientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) han señalado que a partir de los 70 dBA empieza la zona de fatiga, y que niveles equivalentes Leq por encima de 80 dBA pueden causar enfermedades cardiovasculares, trastornos digestivos o desarreglos psíquicos.

Respecto a la normativa nacional en este ámbito, el Real Decreto 1316/1989, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a ruido durante el trabajo, establece que en los puestos de trabajo en que el nivel diario equivalente Leq supere los 85 dBA (durante la jornada laboral), o que el nivel de pico Lpico supere los 140 dB (algún instante durante la jornada laboral), se realizarán periódicamente evaluaciones acústicas del puesto de trabajo y revisiones auditivas a los trabajadores expuestos

Todavía no se dispone de una normativa nacional que regule y limite la contaminación acústica de forma integral, puesto que la Ley 37/2003 del Ruido no ha sido desarrollada reglamentariamente, y la Norma Básica de Condiciones Acústicas NBA-CA-88 sólo recomienda que el ruido urbano no supere el nivel acústico equivalente de 60 dBA en 24 horas.

ANEXO E: El muro cortina. Conceptos básicos y características técnicas de sus elementos

ANEXO E: El muro cortina. Conceptos básicos y características técnicas de sus elementos

E.1. Introducción

Cuando se plantea el diseño de un muro cortina, aparecen una serie de problemas iniciales que hay que solventar para que el cerramiento resultante cumpla con todos los requisitos exigidos, tanto a nivel estructural como energético.

A continuación se exponen estos problemas, clasificados por su naturaleza, a los que se intentará dar solución a lo largo del proyecto.

- **Problemas Mecánicos y Estructurales**
  - Límites dimensionales del panel de vidrio.
  - Necesidad de transmitir las acciones que actúan sobre el panel a la estructura del edificio.
  - Movimiento diferencial entre estructura y cerramiento.
  - Problemas de estanqueidad en las juntas.
  - Problemas de reacción al fuego.
- **Problemas Energéticos**
  - El vidrio altera el balance térmico del edificio.
  - Es necesario incorporar elementos para equilibrar dicho balance.
- **Problemas Acústicos**

El presente proyecto pretende definir los requerimientos del muro cortina según el CTE, dando solución a todos los problemas aquí planteados, tanto a nivel energético como acústico, estructural, de reacción al fuego, de mantenimiento o de seguridad.

E.2. Análisis del comportamiento del muro cortina.

E.2.1. Comportamiento estructural

Al acristalar una fachada entre forjados, el vidrio no puede salvar la luz típica de un gran edificio de oficinas sin que se presenten problemas que pueden afectar al funcionamiento del cerramiento y del edificio en general.

El muro cortina está fijado a la estructura resistente del edificio sin formar parte de ella; es decir, no contribuye a aumentar la resistencia de la estructura. A causa de esto, el muro cortina debe estar diseñado para poder resistir las acciones que incidan sobre sus componentes y posteriormente trasladarlas a la estructura general del edificio. Es importante, pues, determinar cuáles son las acciones que interactúan con el cerramiento. Estas acciones, así como las deformaciones que provocan en los bastidores, se ilustran en las siguientes figuras:

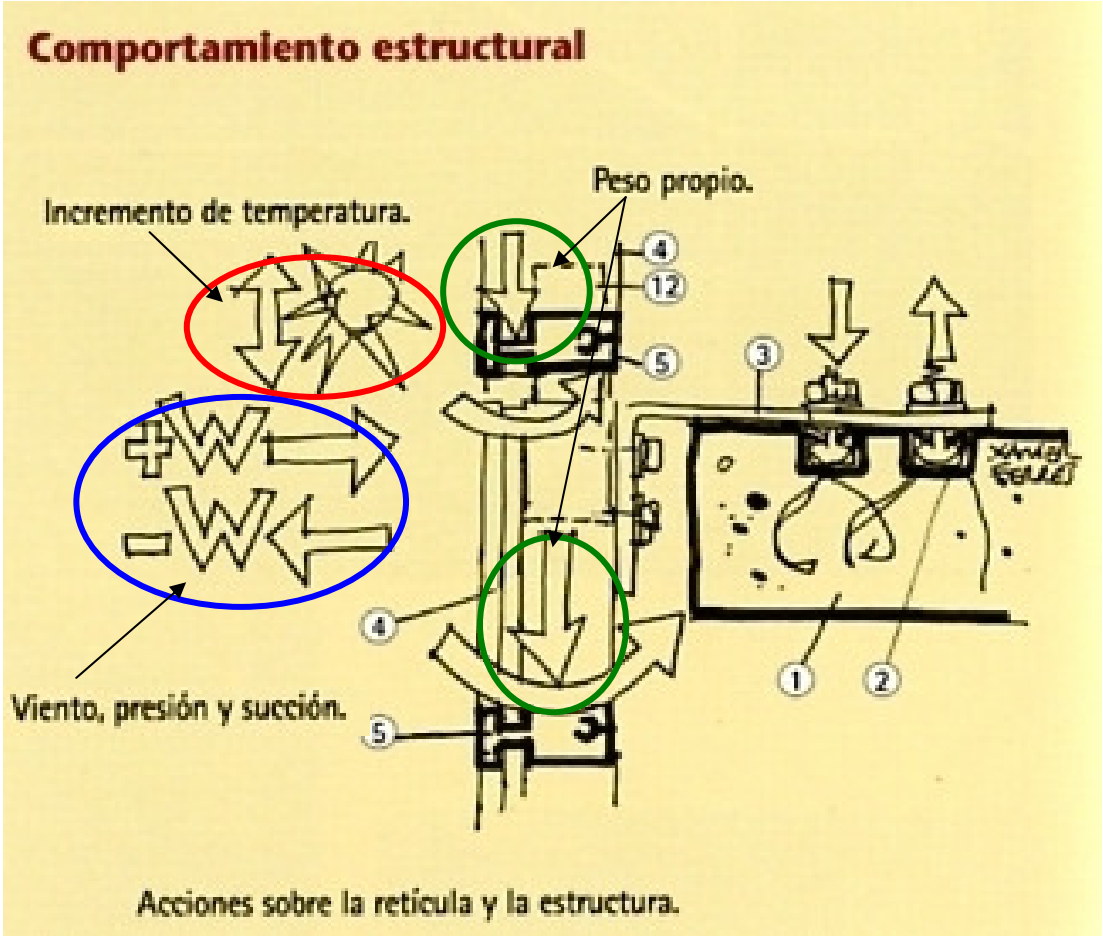
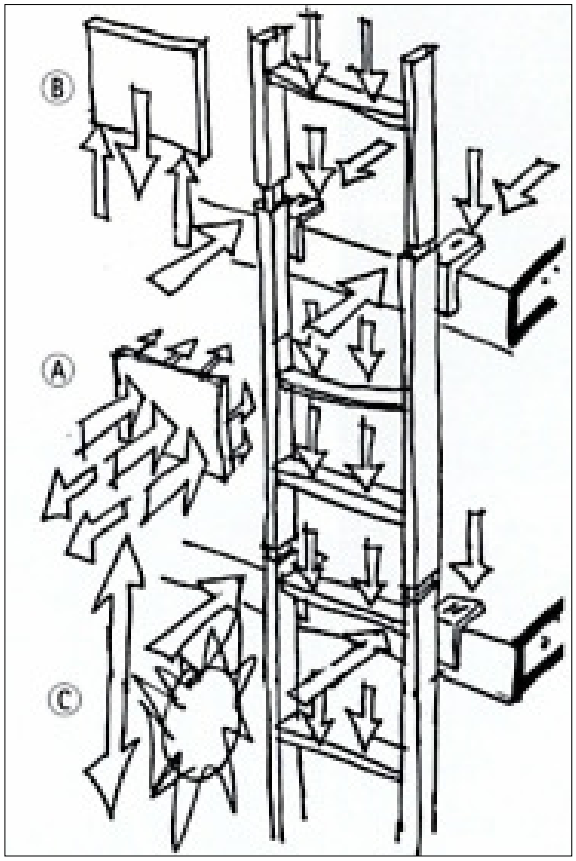


Figura E.1: Acciones sobre el muro cortina.
(Fuente: Dibujos de Xavier Ferrés para la revista Tectónica nº 16)



(A) Viento, presión (+) y succión (-)

(B) Peso propio de los elementos de relleno

(C) Dilatación y contracción por cambios de temperatura

Figura E.2: Acciones sobre el muro cortina.
(Fuente: Dibujos de Xavier Ferrés
para la revista Tectónica nº 16)

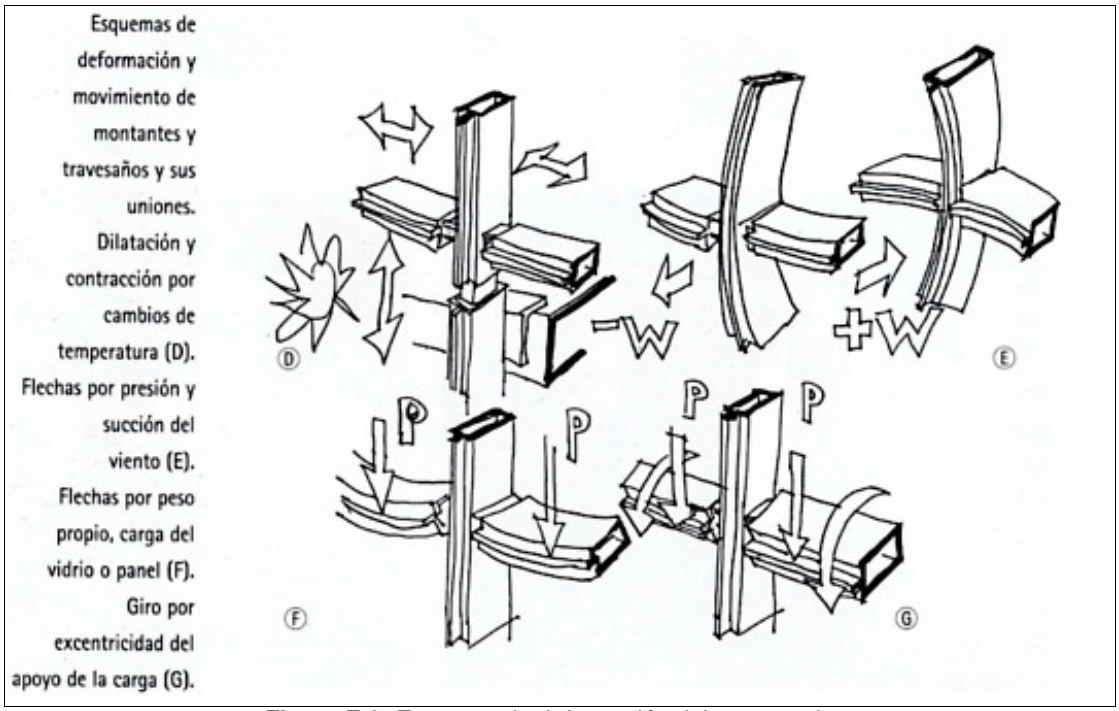


Figura E.3: Esquema de deformación del muro cortina.
(Fuente: Dibujos de Xavier Ferrés para la revista Tectónica nº 16)

Los problemas que hay que solventar para una correcta implantación del muro cortina, así como las soluciones propuestas, se muestran a continuación:

Problemas estructurales del muro cortina		
Causa	**Problema a solventar**	**Efectos**
Presión del viento	Excesiva deformación por flexión del panel de vidrio	○ Pérdida de prestaciones a corto plazo ○ Pérdida de estanqueidad de sus juntas ○ Rotura del vidrio
Cambios bruscos de temperatura	Dilatación térmica del cerramiento	El muro cortina no puede asumir las deformaciones de la estructura (flexión de forjados, flexión por viento, contracción y asentamiento del hormigón)
Acciones horizontales (presión y succión del viento) y verticales (peso propio) sobre el muro cortina	Transmitir las cargas que actúan sobre el cerramiento a la estructura del edificio	El muro cortina no aguanta los efectos de las acciones que actúan sobre él porque no forma parte de la estructura resistente del edificio

Tabla E.1: Problemas estructurales que presenta el muro cortina.

Soluciones a los problemas estructurales del muro cortina		
Soluciones	**Funcionamiento**	**Efectos**
• Recercar el vidrio con un bastidor	○ El bastidor descansa en los forjados mediante un mecanismo que transmite a la estructura las acciones verticales y horizontales que actúan sobre el bastidor. ○ El panel de vidrio apoya en los 4 lados	Se reduce la deformación del panel de vidrio
• Cerramiento continuo no interrumpido por los forjados	○ Bastidor formado por montantes y travesaños ○ Los travesaños resisten el peso del vidrio ○ El bastidor soporta las cargas horizontales (presión y succión del viento)	○ Mejora del aislamiento y la estanqueidad respecto a la opción anterior ○ Proporciona un concepto de fachada más limpio ○ Se limita la deformación del vidrio
Concebir cerramiento continuo con un sistema de juntas de dilatación	Incorporación de juntas de bastidor, juntas de acristalamiento, paneles y juntas en los anclajes y accesorios acoplados a los montantes	Se compatibilizan las deformaciones entre los diferentes elementos del muro cortina y la estructura del edificio (paneles vidrio, bastidor y forjados)
Utilizar mecanismos de anclaje bastidor-forjado adecuados	Mecanismos de anclaje resistentes que soportan las cargas puntuales aplicadas sobre ellos	○ Las acciones que actúan sobre el cerramiento (viento, peso propio) son transmitidas a la estructura a través del forjado ○ Se permite la deformación independiente y compatible del muro y de la estructura

Tabla E.2: Soluciones a los problemas estructurales planteados para el muro cortina.

E.2.2. Estanqueidad al agua y al aire.

El comportamiento frente al agua es un parámetro determinante en el diseño del muro cortina, ya que habitualmente se presentarán problemas de estanqueidad al agua y al vapor, así como condensaciones que deberán evitarse. Estos fenómenos se producen, por una parte, a causa del espesor reducido del cerramiento y, por otra, debido al carácter discontinuo del mismo, ya que está formado por materiales de naturaleza muy diversa y presenta gran cantidad de uniones y juntas.

En la siguiente tabla se resumen los principales problemas del muro cortina en su comportamiento frente al agua, así como diversas soluciones posibles propuestas por [2].

Estanqueidad del muro cortina		
Problemas	**Puntos débiles**	**Soluciones**
Estanqueidad al agua y vapor	Juntas	○ Sellado de juntas ○ Protección con elementos específicos (solapes, resaltes, tapajuntas…) ○ Junta abierta
Condensaciones	○ Vidrios (cara interior y exterior)	Añadir capas de baja emisividad en los acristalamientos
	○ Perfiles metálicos (bastidor)	○ Perfiles con rotura de puente térmico ○ Sistemas de drenaje del agua infiltrada(*)
	○ Elementos opacos	
Ataques químicos (corrosión, degradación de los tratamientos superficiales)	Todo el muro cortina (materiales, juntas y fijaciones)	Selección de materiales compatibles químicamente entre sí.

Tabla E.3: Comportamiento frente al agua del muro cortina: problemas y soluciones.

(*) Los sistemas de drenaje considerados están formados por canales de drenaje y taladros protegidos con piezas de plástico para favorecer la evacuación de las aguas por efecto Venturi (ver Fig. E.4.)

En la figura siguiente se muestran algunos de los mecanismos antes comentados, y utilizados para proporcionar estanqueidad al agua y al aire en el muro cortina.

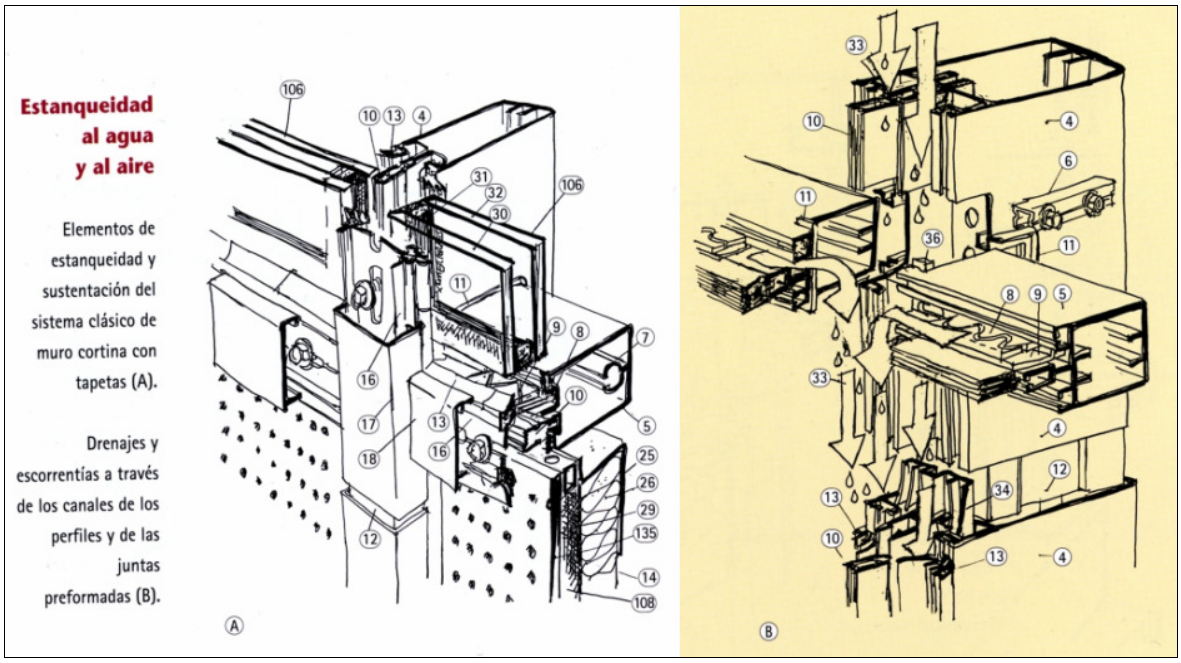


Figura E.4: Mecanismos de estanqueidad del muro cortina.
(Fuente: Dibujos de Xavier Ferrés para la revista Tectónica nº 16)

E.2.3. Comportamiento térmico.

El muro cortina es un elemento determinante en el balance energético del edificio ya que, debido a su transparencia, las ganancias y pérdidas de calor a través de la fachada son mayores que en otras tipologías de fachada. En la determinación de estos intercambios de calor, es necesario considerar aspectos propios de cada edificio concreto, como su forma, tamaño, orientación, uso y localización.

Según lo expuesto en [2], el balance energético de un edificio debe integrar las ganancias y las pérdidas de calor por transmisión, convección y radiación, evaluadas por fachadas y a lo largo del año, de tal forma que se puedan separar las épocas de calefacción y las de la refrigeración, en las que varía el signo de las aportaciones. En este sentido, el esquema de estos intercambios energéticos a través de la fachada se muestra a continuación.

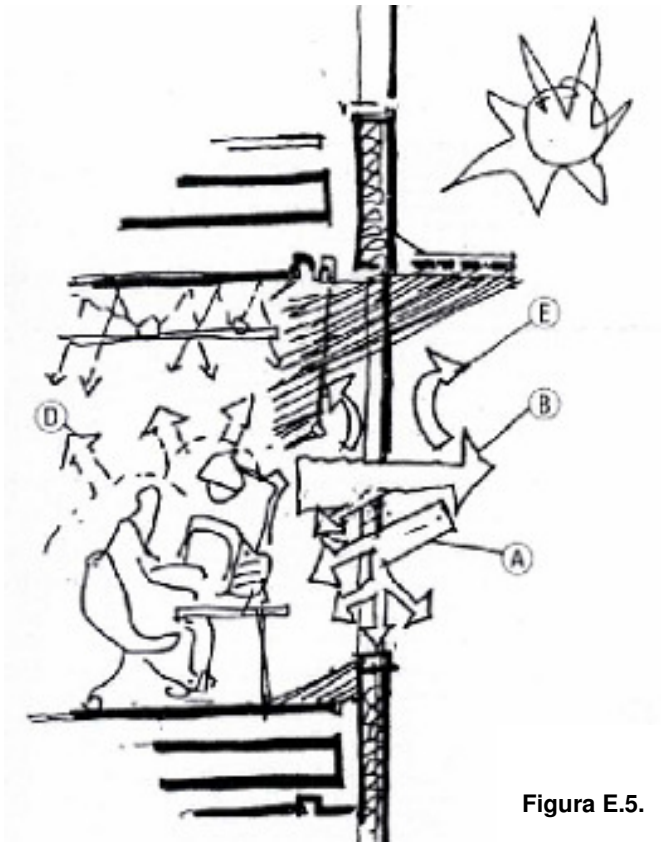


Figura E.5.

Intercambios en épocas de "calefacción" (de octubre a mayo, aproximadamente)

A. Radiación solar a través del cerramiento; energía incidente, reflejada, transmitida, absorbida.

B. Conducción a través del cerramiento.

D. Cargas interiores por equipos informáticos, iluminación interior, personas…

E. Convección.

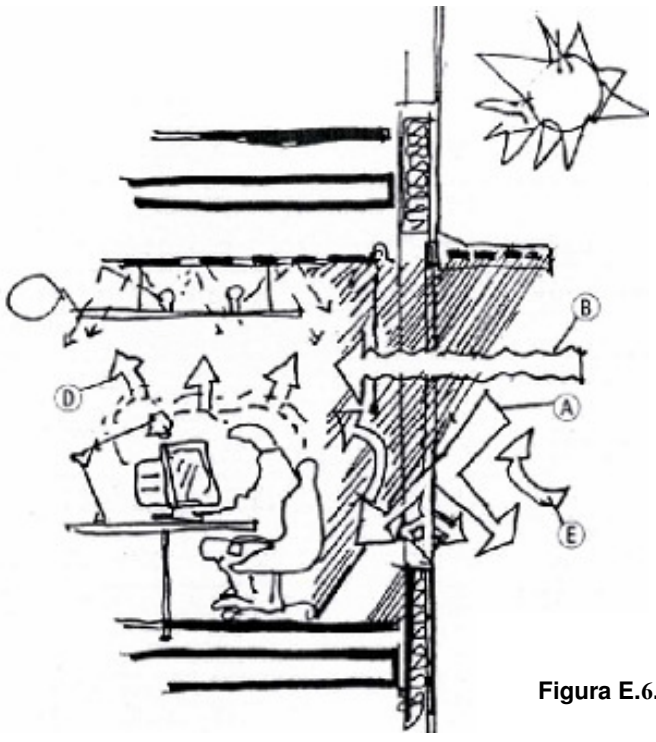
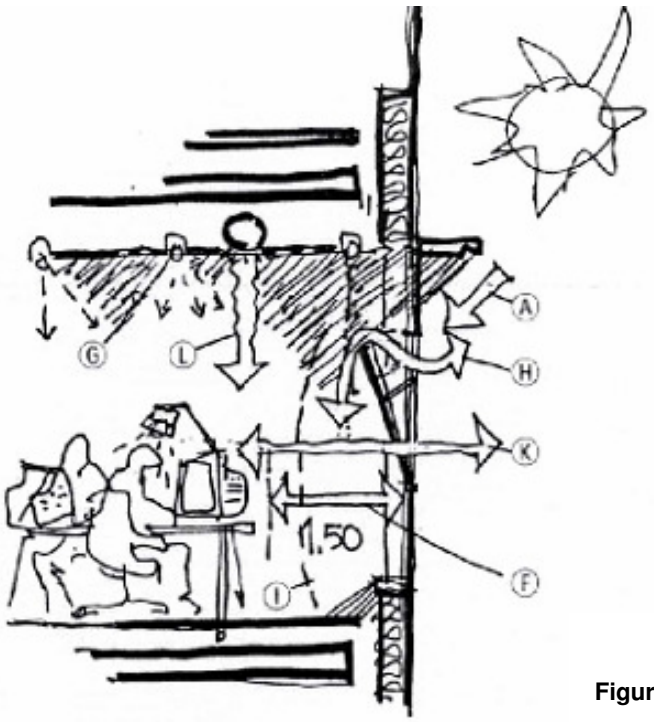


Figura E.6.

Intercambios en épocas de "refrigeración" (de abril a septiembre, aproximadamente)



Intercambios a través de la fachada que alteran las condiciones de confort del usuario

Figura E.7.

A	Radiación solar a través del cerramiento; energía incidente, reflejada, transmitida, absorbida.
B	Conducción a través del cerramiento.
D	Cargas interiores por equipos informáticos, iluminación interior, personas…
E	Convección.
F	Zona perimetral de la fachada de mayor disconfort.
G	Zona interior del edificio con mayor uso de iluminación artificial.
H	Ventilación natural.
I	Pared fría.
J	Contaminación acústica.
K	Iluminación natural, deslumbramiento y vistas interior-exterior.
L	Velocidad y temperatura del aire climatizado.

Figuras E.5.-E.7: Esquemas básicos de intercambios a través de la fachada.
(Fuente: Dibujos de Xavier Ferrés para la revista Tectónica nº 16)

En el balance energético sobre el cerramiento intervienen de manera conjunta los tres mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección y radiación. En la tabla siguiente se analizan los dos de mayor influencia en el comportamiento térmico de las fachadas.

Comportamiento térmico muro cortina			
	Conducción	**Convección**	**Radiación**
Definición	Flujo de calor a través de dos superficies a diferente temperatura, que depende de dicha diferencia de temperaturas, del espesor del material y de su conductividad.	Transferencia entre la superficie de un sólido y un fluido líquido o gaseoso. La diferencia de temperatura provoca diferencias de densidad que dan lugar a movimientos en el fluido, de manera que el más caliente sube y es sustituido por otro más frío.	Intercambio de calor entre las superficies del cerramiento y el ambiente mediante absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas, ya sean de onda corta o larga.
Problemas	○ El vidrio es un material con U generalmente alta → flujo de calor por conducción elevado ○ Pérdidas en puentes térmicos	○ La convección sólo tiene un efecto destacable en la cámara de aire de los vidrios dobles. ○ Su efecto en el intercambio de calor es menor que en los casos de conducción o radiación.	○ Efecto invernadero muy importante debido al predominio de la superficie acristalada. ○ El edificio se convierte en un acumulador de calor debido a la radiación solar directa.
Soluciones de reducción transferencia térmica	○ Actuación sobre el vidrio para bajar el coeficiente de transmisión térmica U ✓ con cámara de aire ✓ con inclusión de gases nobles ○ Actuación sobre los paneles aislantes y perfilería (uso de materiales con menor U) (*)	○ En los vidrios dobles, se puede sustituir el aire de la cámara por un gas noble, generalmente argón, con un coeficiente de transmisión térmica menor que el aire. Así se reduce el intercambio de calor por convección.	○ Actuación sobre el factor solar del vidrio ✓ reflectantes ✓ absorbentes ✓ con capa de baja emisividad ○ Orientación adecuada ○ Incorporación de sistemas de protección solar (Ver Tabla E.5.)

Tabla E.4: Comportamiento térmico del muro cortina: mecanismos de transmisión, problemas y soluciones.

(*) La absorción de onda corta procede del sol o del alumbrado. La de onda larga procede de las superficies del entorno exterior y de las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie interior y reflejadas por el resto de los paramentos.

Sistemas de protección solar		
	Interior	**Exterior**
Características	○ Eficacia limitada porque no reducen la energía térmica incidente sobre la fachada ○ Fuerzan la potencia del sistema de refrigeración	○ Se proyectan sombras sobre el vidrio. ○ Las ganancias por insolación del vidrio expuesto (radiación directa) son hasta diez veces mayores que en el vidrio en sombra (radiación difusa), según [2]
Ejemplos	○ cortinas	○ lamas ○ voladizos ○ persianas

Tabla E.5: Sistemas de protección solar aplicados en el muro cortina.

E.2.4. Comportamiento lumínico.

Desde el punto de vista de las prestaciones, el principal motivo de implantación del muro cortina es utilizar su transparencia para aumentar al máximo la iluminación natural y el contacto visual con el exterior, aspectos ambos beneficiosos para los usuarios del edificio, ya que el primero de ellos facilita las tareas visuales y el segundo proporciona un punto de referencia con el mundo exterior.

Sin embargo, este uso extensivo de la superficie acristalada en la fachada requiere de una serie de mecanismos que controlen la aportación de luz al interior del edificio. Si esto no se cumple, aparecen graves problemas de falta de confort, los más relevantes de los cuales se muestran resumidos a continuación.

Comportamiento lumínico del muro cortina		
Problemas	**Objetivos a alcanzar**	**Soluciones propuestas**
El cerramiento es transparente a las radiaciones térmicas	(Ver Apartado E.2.3.)	
El exceso de luz incidente sin regulación disminuye el bienestar de los usuarios	○ Lograr unas condiciones de iluminación uniformes en el interior del edificio ○ Obtener un nivel de iluminancia adecuado en función de la actividad desarrollada ○ Evitar brillos y deslumbramientos molestos ○ Minimizar el uso de la luz artificial	○ Actuación sobre los vidrios: uso de vidrios de control solar reflectantes y de baja emisividad ○ Protecciones solares: uso de filtros opacos o translúcidos en el interior y exterior del edificio, que permitan una iluminación difusa y modulada ○ Uso combinado de la luz natural y artificial

Tabla E.6: Comportamiento lumínico del muro cortina: Problemas y soluciones propuestas.

E.2.6. Comportamiento acústico.

Comportamiento acústico del muro cortina				
Problemas	**Puntos débiles**	**Soluciones**		
		Básica	**Mejorada**	**Óptima**
Aislamiento con el exterior difícil, debido al poco peso del cerramiento y la gran cantidad de juntas	Toda la fachada (en especial las juntas)	Sellado estanco de juntas	Vidrios especiales	Pared de doble hoja con cámara de aire intermedia

Tabla E.7: Problemas acústicos del muro cortina y soluciones propuestas.

E.2.7. Reacción frente al fuego.

La seguridad debe considerarse como un criterio fundamental en el diseño del edificio; el caso de la reacción frente al fuego se convierte en un aspecto crítico cuando se trata la tipología de muro cortina aplicada a edificios de gran altura (como es el caso mayoritario de las oficinas). Para ello el edificio debe disponer de estrategias adecuadas que garanticen la seguridad de sus ocupantes, y que actúen principalmente frenando la propagación del fuego en caso que éste se produzca.

Del mismo modo que en los apartados anteriores, el comportamiento frente al fuego del muro cortina se esquematiza en la tabla siguiente:

Reacción frente al fuego del muro cortina		
Problemas	**Puntos débiles**	**Soluciones**
Propagación rápida del fuego en vertical (entre diferentes plantas) y horizontal (por la misma planta)	La fachada en su totalidad porque el fuego se desplaza hacia ella en busca de aire oxigenado para la combustión	Sectorización del edificio en zonas independientes respecto al comportamiento frente al fuego, utilizando materiales RF (*) que eviten la propagación del fuego por la fachada
La fijación de los elementos RF ha de asegurarse a la estructura (forjados) y no al cerramiento (bastidor)	El punto de unión entre el forjado y el muro cortina	Uso de materiales como lana de roca o paneles antifuegos específicos en el espacio entre forjado y bastidor, que mantengan la continuidad de los materiales RF empleados para sectorizar

Tabla E.8.: Comportamiento ante el fuego del muro cortina: problemas y soluciones.

La sectorización del edificio comentada brevemente en la Tabla E.8. debe realizarse con materiales RF debido a que casi todos los materiales que habitualmente forman el muro cortina funden a temperaturas relativamente bajas y por lo tanto no son adecuados para la función requerida, ya que no tienen capacidad de contener el avance del fuego. Este problema se resuelve con la incorporación al cerramiento de un tramo diferenciado, conocido como “metro” de resistencia al fuego, realizado con materiales como placas de fibrosilicatos, aislantes térmicos o chapas y perfiles de acero, y fijados al forjado, tal y como se expone en la Tabla E.8

(*) RF : Resistentes al Fuego.

E.3. Tipologías de muro cortina.

Las fachadas ligeras - tipología de cerramiento en el que se enmarca el muro cortina -, se clasifican, según la relación entre la fachada y los forjados de la estructura, en dos grandes familias, tal y como se expone en [10]: el Muro Cortina y la Fachada Panel. Así, el muro cortina se presenta cuando la fachada pasa de forma continua por delante de los forjados del edificio, de manera que la estructura auxiliar permanece suspendida de ellos. En cambio, en la fachada panel ésta se interrumpe en cada forjado, delimitando paneles o zonas independientes; en consecuencia, la estructura auxiliar está apoyada en cada forjado.

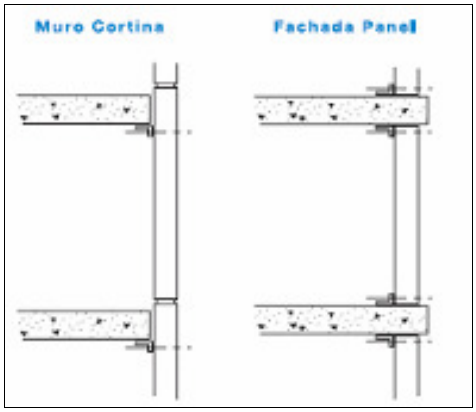


Figura E.8: Esquemas constructivos del muro cortina y la fachada panel.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

E.3.1. Muro cortina tradicional

Se caracteriza por formar retículas de acristalamientos independientes enmarcados por un perfil perimetral.

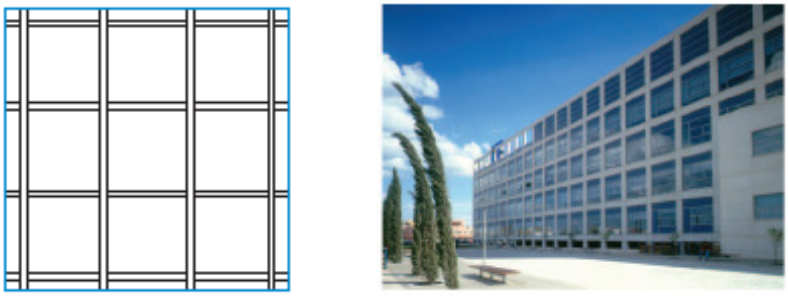


Figura E.9: Muro cortina tradicional.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

Los componentes básicos del muro cortina tradicional se definen a continuación:

- **Retícula o bastidor:** es el elemento que tiene la función resistente. Está formada por un conjunto de perfiles estructurales (montantes y travesaños) anclados a la estructura del edificio que disponen de los elementos necesarios para fijar el vidrio. Los dos componentes diferenciados de la retícula son:

  Montantes: son los elementos verticales. Están destinados a soportar su propio peso y el de las acciones de los elementos que se fijan a ellos, así como la carga del viento que incide sobre el muro cortina.

  Travesaños: son los elementos horizontales, que generalmente van anclados a los montantes, y dimensionados de tal forma que puedan aguantar la carga de los elementos de relleno que gravitan sobre ellos.

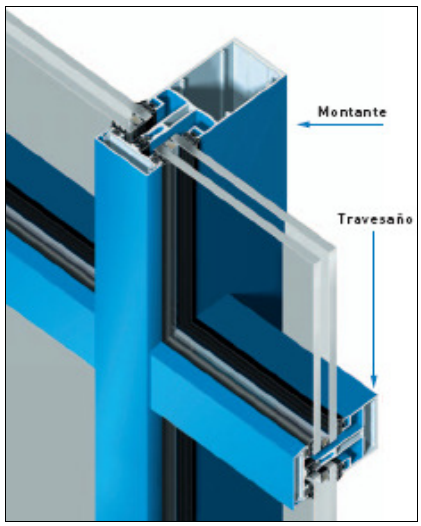


Figura E.10: Esquema básico de la retícula de un muro cortina tradicional.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

- **Elementos de relleno:** son las superficies que quedan enmarcadas por la retícula y que son rellenadas con dos elementos básicos: el vidrio y los paneles opacos.

  Vidrio: es el elemento mayoritario en el muro cortina, y se destina a las zonas de visión y de entrada de luz natural.

  Paneles opacos: se destinan a las zonas sin visión, como los antepechos o los cantos de forjados.

- **Elementos de fijación:** tienen como objetivo inmovilizar entre sí los elementos que forman la fachada y al mismo tiempo unirla a los elementos resistentes de la estructura general del edificio. Se distinguen dos tipos de fijaciones:

  ***Anclajes*:** conectan el muro cortina con la estructura portante del edificio. A través de ellos se transmiten las correspondientes cargas. Normalmente están realizados en acero o aluminio.

  Uniones: son las encargadas de mantener unidos entre sí los diferentes elementos que constituyen el muro cortina. Las principales son las uniones fijas usadas para anclar los travesaños a los montantes.

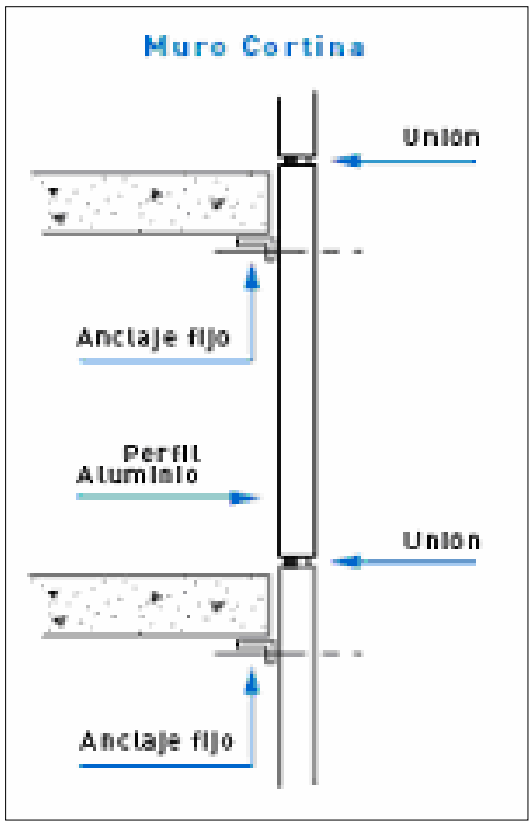


Figura E.11: Anclajes y uniones del muro cortina tradicional.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

E.3.2. Muro cortina con silicona estructural

En este caso la estructura metálica auxiliar de la fachada ligera permanece totalmente oculta detrás del vidrio. El acristalamiento no se sujeta mecánicamente entre los perfiles de la retícula, sino que se utiliza un adhesivo de alta adherencia, la silicona estructural, que lo fija por su cara interior directamente a la estructura auxiliar de la fachada.

Este sistema de muro cortina está concebido básicamente para conseguir un aspecto de cerramiento continuo de vidrio

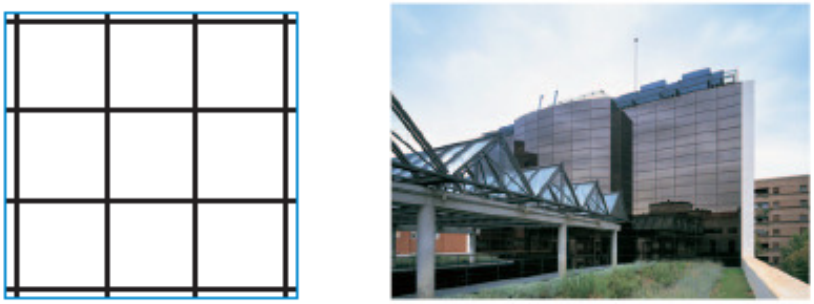


Figura E.12: Muro cortina con silicona estructural.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

Los componentes básicos del muro cortina con silicona estructural son:

- **Elementos de relleno:** en este caso el elemento básico utilizado es el vidrio. Se pueden colocar vidrios translúcidos o coloreados para conseguir el efecto de las zonas opacas manteniendo un acristalado total.

- **Silicona estructural:** es el adhesivo elástico que sustituye a la carpintería de aluminio convencional, así como a todo el conjunto de elementos de fijación y sellado del muro cortina tradicional, proporcionando estanqueidad, resistencia mecánica y flexibilidad. Debe ser capaz de resistir y transmitir a la estructura auxiliar de la fachada todos los esfuerzos generados por las distintas acciones actuantes en el acristalamiento.

- **Piezas de seguridad:** en ocasiones se colocan unas piezas adicionales de seguridad pasiva en este tipo de muro cortina. Estas piezas deben mantener sujeto mecánicamente el vidrio a la perfilería sólo en caso de desprendimiento accidental del vidrio, pero al mismo tiempo deben permanecer ocultas una vez colocadas.

E.3.3. Muro cortina con sistema de vidrio abotonado

En esta tipología de muro cortina el vidrio se ancla directamente a la estructura auxiliar mediante unas piezas metálicas articuladas en forma de araña, que se sitúan en un plano excéntrico del panel de vidrio uniendo entre si cuatro lunas de vidrio por sus extremos (ver Figura E.13). Al carecer de bastidor, aporta una sensación de máxima transparencia y luminosidad a la fachada.

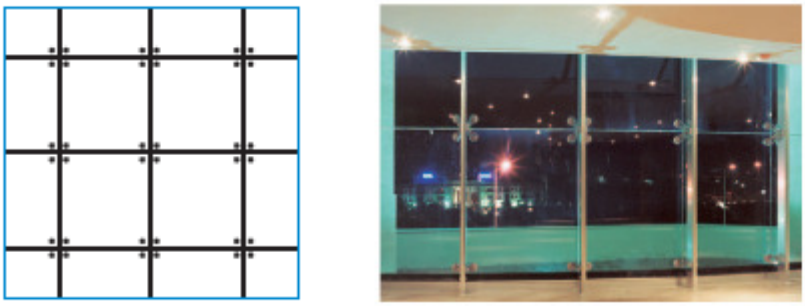


Figura E.13: Muro cortina con sistema de vidrio abotonado.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

Las acciones mecánicas incidentes sobre el vidrio se transmiten a las arañas y de éstas a la estructura de soporte. Así, el vidrio adquiere un comportamiento mecánico autoportante y por ello puede ser sujetado solamente de forma puntual sin necesidad de un recercado total. Como consecuencia del trabajo demandado al vidrio, éste tiene que ser templado, para ser capaz de resistir la concentración de tensiones que las solicitaciones puntuales en los anclajes provocan.

Las condiciones de estanqueidad al aire y al agua de la fachada se consiguen sellando el perímetro de encuentro entre vidrios. Por ello es de vital importancia garantizar la coplaneidad de los paneles de vidrio, porque es en cada una de sus cuatro aristas donde se aplican los materiales de sellado.

E.4. Materiales empleados en el muro cortina.

E.4.1. Los vidrios

En el diseño de un muro cortina es fundamental el estudio de los diferentes tipos de vidrios disponibles, así como de sus prestaciones. Esto es debido a que, al ser el vidrio el material predominante en estos tipos de fachada, es también el responsable principal de sus implicaciones energéticas.

Por ello las características del vidrio utilizado son decisivas a la hora de elegir la tipología óptima para cada aplicación concreta. Así, diferentes vidrios de diferente espesor, color o tratamiento proporcionarán diferentes valores de transmisión de calor, reflejarán en mayor o menor medida los rayos solares y filtrarán de forma diferente la luz solar.

Actualmente existe en el mercado una gran variedad de vidrios con diferentes prestaciones, que permiten solucionar problemas específicos. Algunos de estos vidrios son los vidrios de alta y baja reflectancia, el vidrio de baja emisividad, el de alta absorción o el de muy baja absorción, definidos todos ellos en el *Anexo I*. A continuación se definen diferentes tipologías de vidrios según la función que cumplen:

a) Vidrios de función térmica

El vidrio cumple una función térmica cuando produce una reducción de los intercambios térmicos entre los dos ambientes que separa. Esto es posible disminuyendo el valor del coeficiente de transmisión térmica “U”. Al disminuir su valor aumenta el aislamiento térmico, es decir, se incrementa su resistencia al paso de calor por conducción.

Teniendo en cuenta que reducir el valor de “U” a base de aumentar el espesor del vidrio lleva a soluciones inviables de excesivo espesor, es necesario incorporar vidrios dobles aislantes en sustitución de los vidrios simples. El principio de diseño de estos acristalamientos consiste en encerrar entre dos vidrios una cámara de aire que limita los intercambios térmicos por convección, aprovechando la baja conductividad térmica del aire. De esta manera se consigue, tal y como se muestra en [11], pasar de un coeficiente de transmisión térmica de 5.7 $W/m^{2}ºC$ para los vidrios simples a uno de 2.9 $W/m^{2}ºC$ en el caso de utilizar vidrios dobles con una cámara de 12mm, reduciendo así el flujo de calor a la mitad.

Es posible mejorar el coeficiente U de los vidrios dobles disminuyendo los intercambios de calor entre los dos componentes del mismo, de alguna de las siguientes formas:

- ✓ Las transferencias por radiación se pueden disminuir utilizando vidrios con un tratamiento de baja emisividad en el interior de la cámara de aire, que puede reducir el coeficiente de transmisión térmica hasta 1.7 W/m^{2}ºC.

- ✓ Las transferencias por conducción y convección disminuyen al sustituir el aire de la cámara por un gas más pesado de conductividad térmica menor (generalmente argón), reduciendo así el valor de U hasta 1.7 W/m^{2}ºC.

El uso de vidrios dobles no sólo reduce de manera apreciable las pérdidas energéticas, sino que mejora el bienestar térmico gracias a que permite elevar la temperatura de la superficie interna del vidrio. En invierno, con un bajo coeficiente U, la temperatura de la cara interior del vidrio será más elevada y disminuirá el efecto de "pared fría", como se muestra en la Figura E.14. Esto provoca un aumento de la sensación de confort cerca de las ventanas, además de disminuir los riesgos de condensación.

Figura E.14: Efecto del coeficiente U en la temperatura de la cara interior del vidrio
(Fuente: Manual del Vidrio de Saint-Gobain Glass)

Asimismo, las ganancias de calor a través de los vidrios en verano también disminuyen. Todo esto hace que la instalación de vidrios dobles sea muy interesante al provocar, gracias a la reducción de intercambios térmicos, una disminución del coste de instalación de aire acondicionado y de calefacción

b) Vidrios de control solar

Los vidrios de control solar se utilizan para limitar el libre acceso de los rayos solares a través los acristalamientos, cosa que puede traducirse en una importante subida de la temperatura en el interior de los locales, produciendo el llamado "efecto invernadero". Para atenuar este efecto pueden utilizarse vidrios de control solar, caracterizados por su bajo factor solar (definido en el *Anexo I*), de manera que sólo dejan pasar una parte de la radiación energética solar a la vez que permiten el paso de la luz.

Para disminuir el factor solar de un vidrio se puede actuar sobre su poder de absorción o de reflexión, mediante alguno de los siguientes procesos de fabricación, expuestos en [4]:

- ✓ **Pulverización en caliente de una capa de óxidos metálicos** sobre un vidrio incoloro o de color. Este procedimiento produce una coloración de la masa vítrea y le confiere una gran resistencia. Los óxidos metálicos absorben parte de la energía radiante del sol, cosa que provoca una reducción de la transmisión de la energía solar hacia el interior. El comportamiento energético de estos vidrios en los espectros ultravioleta, visible e infrarrojo varía en función del color y espesor.

- ✓ **Depósito mediante pirólisis o pulverización catódica de una capa a base de sílice** sobre un vidrio incoloro o de color. El sílice se integra en la masa superficial y se obtiene un vidrio con un gran poder de reflexión, tanto en el espectro de radiación lumínica (visible) como en el de radiación calorífica (infrarroja).

El bajo factor solar de estos vidrios se traduce en una disminución de la energía solar incidente en el interior de los locales, ocasionando:

- ✓ una limitación de los gastos de energía ligados a la climatización
- ✓ una disminución de las molestias producidas por el aumento de la temperatura
- ✓ una mejora del confort visual, al evitar los deslumbramientos

Cabe añadir que los vidrios utilizados en los muros cortina, al estar expuestos a la intemperie, necesitan garantizar la seguridad mediante una buena resistencia, tanto mecánica como al choque térmico. Por ello se emplean usualmente vidrios templados o laminados, las características de los cuales se hallan expuestas en el *Anexo I.*

E.4.2. La carpintería de los huecos

La carpintería de los huecos es un elemento muy importante para asegurar la estanqueidad del ambiente interior del edificio y proporcionar unas mejores condiciones de confort a sus usuarios. También aporta protección mecánica al acristalamiento y dota a la hoja de mecanismos de apertura y control, además de determinar la proporción opaca del área del hueco y su aislamiento térmico y acústico.

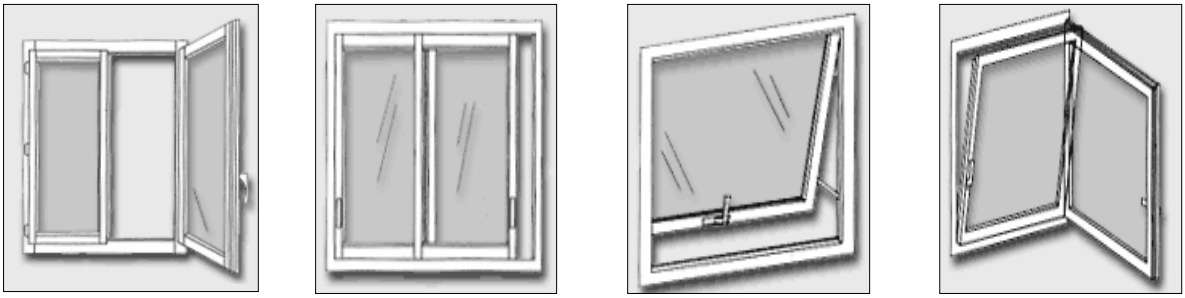
Respecto a los materiales empleados en la carpintería, los más usuales son el aluminio, la madera, el PVC y el hierro, actualmente en desuso.

Existen diversas recomendaciones, contempladas en [12], respecto a la proporción óptima del área transparente, el aislamiento térmico y acústico y la estanqueidad al aire de la carpintería que deberían seguirse para mejorar el rendimiento energético de la piel del edificio, así como para mejorar las condiciones interiores de confort. A continuación se muestran algunas de ellas. La explicación completa de cada campo puede consultarse en el *Anexo J*.

- ✓ Utilizar carpinterías con la máxima proporción de área transparente para permitir la entrada de un flujo suficiente de luz con la mínima superficie total de hueco.
- ✓ El aislamiento térmico de la carpintería debe ser similar o superior al del vidrio.
- ✓ Aumentar la estanqueidad de la carpintería reduciendo la longitud de las juntas y empleando sistemas de apertura más estancos (ventanas batientes)
- ✓ Emplear carpinterías de Clase A-2(*) como mínimo y evitar puentes acústicos por aperturas libres entre interior y exterior (rendijas u orificios).

(*) La Clase es la clasificación, que establece la NBE-CT y que recoge el CTE-HE, según la permeabilidad al aire de la carpintería de los huecos. La permeabilidad es la propiedad de una ventana o puerta de dejar paso al aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La definición desarrollada de estos términos puede encontrarse en el Glosario de la memoria.

Respecto a los mecanismos de apertura, éstos deben elegirse dependiendo de la función a desempeñar por el hueco. Así, la carpintería puede estar formada por hojas fijas o practicables, que pueden ser deslizantes o giratorias. Las hojas deslizantes pueden tener movimiento horizontal (corredera) o vertical (guillotina). Las giratorias suelen tener su eje lateral vertical (abatibles), aunque también se pueden aplicar soluciones con eje lateral horizontal superior o inferior (oscilantes), o con eje central vertical u horizontal (pivotantes). Algunos de estos mecanismos de apertura se muestran en la Figura E.15.



(1) (2) (3) (4)

Figura E.15: Diferentes tipologías de apertura de ventanas
(Fuente: TECHNAL)

(1) Abatible: rotación de las hojas sobre ejes verticales;

(2) Corredera: translación horizontal sobre guías superiores e inferiores;

(3) Oscilante: rotación sobre el eje horizontal superior;

(4) Oscilo-batiente: rotación sobre eje vertical combinado con rotación sobre eje horizontal;

La utilización de un mecanismo de apertura concreto se hace en función del porcentaje de apertura máxima deseable para ventilación. Es recomendable que además permita la regulación de pequeñas aperturas para la renovación de aire.

E.4.3. Los anclajes del vidrio

Como ya se ha comentado, el muro cortina puede ser de tres tipos diferenciados: vidrio enmarcado, silicona estructural y vidrio abotonado. A continuación se explica brevemente este último sistema, por ser el que dispone de unos elementos característicos para realizar el anclaje con el vidrio.

En el muro cortina de vidrio abotonado, los sistemas de anclaje y sujeción de las placas exteriores de vidrio deben aguantar el peso propio del vidrio y absorber los esfuerzos de flexión debidos a cargas de viento y los movimientos diferenciales, permitiendo la libre dilatación del vidrio y evitando en lo posible tensiones en él.

Este sistema de sujeción consta de dos elementos básicos: las rótulas y los grampones.

Las rótulas, Figura E.16, son unas piezas de acero inoxidable especialmente diseñadas para absorber las diferencias de dilatación y las posibles deformaciones por carga de viento, que se acoplan al vidrio al que previamente se le han practicado cuatro taladros avellanados, Figura E.17, para un mejor reparto de las tensiones.

Figura E.16: Rótula de acero inoxidable
(Fuente: www.vitro.com)

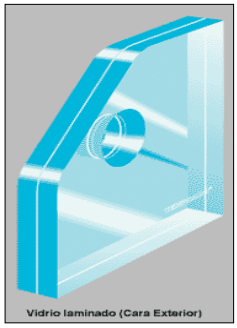


Figura E.17: Agujero cónico en vidrio laminado
(Fuente: www.vitro.com)

Los grampones, Figura E.18 y Figura E.19, son unos elementos rígidos de acero inoxidable en los que se enroscan las rótulas, y que son los que fijan el vidrio a la estructura portante auxiliar. Normalmente estos grampones tienen cuatro brazos, fijado cada uno de ellos mediante su respectiva rótula a un vidrio diferente.

Figura E.18: Grampón de 4 rótulas
(Fuente: www.vitro.com)

Figura E.19: Grampón de 4 rótulas instalado en vidrio
(Fuente: www.vitro.com)

E.4.4. Las protecciones solares

Los huecos en fachada permiten el paso de la luz, además de ofrecer al usuario una visión del entorno que le rodea. Sin embargo, esta luz solar que incide de manera directa al interior del edificio puede ocasionar unas elevadas ganancias de calor en el ambiente interior, cosa que obliga a forzar el sistema de refrigeración.

La radiación solar que entra en un local a través de un acristalamiento es absorbida por los objetos y las paredes interiores que, al calentarse, reemiten una radiación térmica de onda larga (situada en la zona de los infrarrojos lejanos). Los vidrios son prácticamente opacos a estas radiaciones de longitud de onda larga, de manera que la energía solar que entra queda atrapada en el local, que tiende a calentarse por efecto invernadero.

Por este motivo conviene equipar todas las fachadas (excepto las orientadas al norte) con un sistema de protección solar que intercepte la radiación antes de que ésta penetre en el interior del edificio.

La manera más eficaz de reducir las ganancias térmicas por radiación es situar las protecciones solares en el exterior del cerramiento, ya que así se evita que los rayos solares incidan directamente sobre el acristalamiento. En cambio, cualquier protección solar interior al local, como cortinas o persianas, se calentará por absorción y disipará el calor al interior, ya que la energía solar ya ha atravesado el acristalamiento. Las protecciones interiores suelen tener un rendimiento muy deficiente, al no evitar el efecto invernadero.

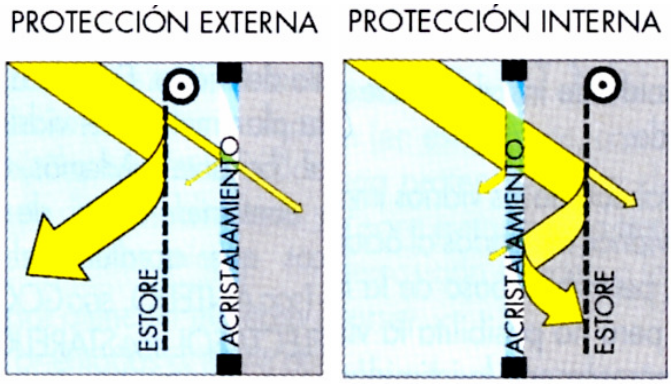


Figura E.20: Influencia de la posición del sistema de protección solar sobre el efecto invernadero (Fuente: Manual del Vidrio de Saint-Gobain Glass)

Según [2], para ser eficaz en verano, la protección solar debe detener entre el 80 y el 85% de la energía solar de las radiaciones solares, lo que supone un factor solar modificado de los huecos (vidrio y protección solar) comprendido entre el 15 y el 20%.

El diseño del sistema de protección solar depende del clima y de la orientación de los huecos. Así, la orientación norte no suele necesitar de protección solar, mientras que la sur facilita una protección solar muy eficaz mediante voladizos horizontales.

a) Orientación Sur

Los locales orientados al sur aprovechan al máximo los beneficios del sol en invierno (sol bajo), mientras que en verano, con el sol alto, es fácil proteger las aberturas. El sistema de protección solar óptimo para esta orientación son los parasoles fijos horizontales, que aportan sombra sin interrumpir la visión.

b) Orientaciones Este y Oeste

Los acristalamientos orientados al este o al oeste reciben la máxima energía en verano: por la mañana, aprovechan la luz del este y por la tarde la del oeste. Especial atención merecen las aberturas orientadas al oeste puesto que, cuando reciben la luz solar, la temperatura exterior suele ser elevada (final de la tarde).

En estas orientaciones los voladizos no son funcionales debido a la baja posición del sol incidente, de manera que la protección debe ser vertical, interrumpiendo la visión. La solución óptima es el uso de parasoles verticales compuestos por lamas orientables, que situadas en direcciones SE o SO protegerán de la salida y puesta del sol en el solsticio de verano sin obstruir el soleamiento en el solsticio de invierno. En la Figura E.21. se muestran los dos tipos de protección solar comparados: voladizo y lamas verticales.

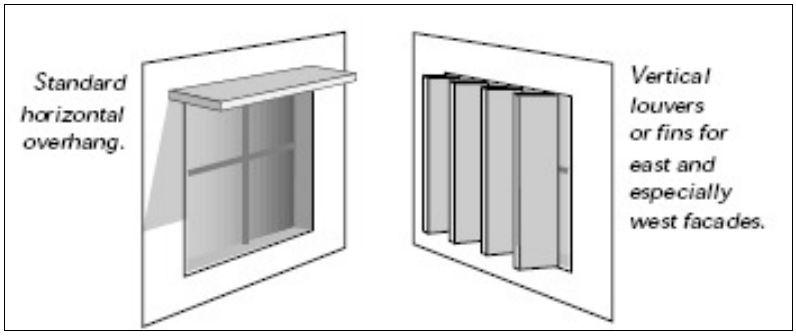


Figura E.21: Diferentes configuraciones de protecciones solares externas (Fuente: *"Tips for daylighting with windows. The Integrated Approach"*.)

En ausencia de pantallas verticales es posible instalar, tal y como se expone en [12], parasoles horizontales, preferiblemente con control sobre el ángulo de protección en función del recorrido solar, como es el caso de los toldos enrollables o las bandejas orientables.

E.5. Fabricación y montaje del muro cortina

Las fachadas ligeras como el muro cortina son prácticamente preparadas en su totalidad en el taller, para después ser desplazadas a la obra donde se procede a su montaje. El proceso de montaje se realiza totalmente en seco, sin poder manipular "in situ" la dimensión de las piezas y con el acabado ya incorporado en el taller. A continuación se describen brevemente las fases del proceso de puesta en obra del muro cortina.

E.5.1. Fabricación en taller.

La fabricación en el taller se lleva a cabo en paralelo con el avance de la obra, manteniendo un control exhaustivo de las tolerancias permitidas para los diferentes elementos. Las herramientas usadas en el taller son básicamente equipos de corte y ensamblaje de control numérico de gran precisión.

E.5.2. Transporte.

Debido a las dificultades de almacenaje de los elementos constituyentes del muro cortina, la logística y la programación de la producción se realizan con el objetivo de no crear stocks sino de producir, transportar y montar prácticamente "just in time".

E.5.3. Montaje en obra.

En el proceso de montaje se manipulan piezas de gran tamaño y a gran altura, por lo que las condiciones de seguridad en el trabajo deben ser muy estrictas, especialmente atentas a las condiciones atmosféricas de cada día y a la evolución y despliegue del resto de la obra en marcha.

La instalación del muro cortina se hace, comúnmente, mediante dos sistemas que pueden combinarse en una obra: el sistema convencional o stick y modular o frame. La diferencia entre las dos modalidades reside en el trabajo en terreno, mientras el sistema convencional requiere de mayor labor en obra, el modular dispone de elementos previamente fabricados en planta.

a) Sistema convencional

A pesar de ser más lento, es el sistema más utilizado. Consiste en fabricar en taller los perfiles montantes y travesaños, con sus elementos de fijación y parte de los accesorios. En obra se realiza el ensamblaje de los perfiles, formando así la retícula donde se incorporan posteriormente el acristalamiento, las ventanas y los paneles ciegos.

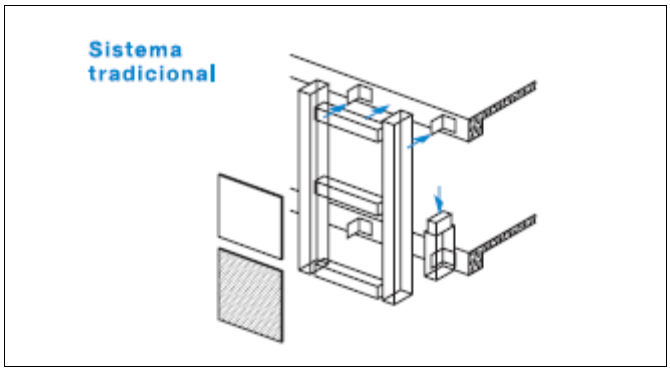


Figura E.22: Montaje del muro cortina tradicional.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

El sistema convencional, debido a que traslada el trabajo casi completamente a terreno, requiere de una alta supervisión y mano de obra especializada. Entre sus ventajas destaca que no se necesitan sofisticados equipos de izamiento para proceder a su montaje.

b) Sistema modular

Este procedimiento de ejecución consiste en fabricar en el taller unos módulos totalmente acabados, que incorporan los paneles ciegos de cerramiento, las ventanas y su correspondiente acristalamiento. Generalmente, la altura de estos módulos coincide con la distancia entre forjados por lo que cada módulo posee su propio anclaje y es constructivamente independiente del resto de módulos.

Este tipo de montaje prácticamente no tiene mano de obra, excepto la colocación de los paneles prefabricados, lo que implica una puesta en obra más rápida. Además, los paneles prefabricados tienen otra ventaja muy importante, ya que como el montaje de los módulos se

realiza en taller, los controles de calidad a los que se someten son mayores, con lo que se consigue una mayor fiabilidad del producto final.

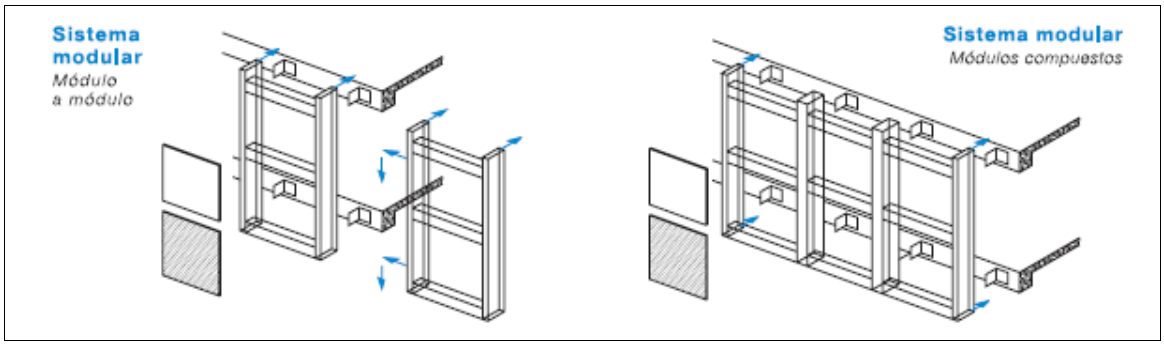


Figura E.23: Montaje del muro cortina mediante paneles prefabricados.
(Fuente: Diseño de fachadas ligeras. Manual de introducción al proyecto arquitectónico. ITeC)

E.5.4. Cuadro comparativo entre sistemas

Sistema modular	Sistema convencional
Desplaza las operaciones de fabricación al taller (ambiente más controlado), lo cual facilita el control de calidad del proceso	Se instala directamente en obra, por lo cual requiere un mayor coste de supervisión en obra
Se necesitan grúas para alzar los módulos en la obra	Se necesitan andamios para la instalación
Ofrece menor riesgo de accidente en obra y de rotura de cristales	Presenta mayor riesgo de accidente y de rotura de cristales por manipulación en obra
Requiere más ingeniería de proyecto	Difícil realizar una revisión detallada del producto antes de la instalación
Mejor calidad del producto acabado	Menor garantía de buena adhesión en obra de las siliconas
Se adapta a soluciones mayores y más industrializadas, que requieren mayor productividad	Se adapta mejor a muros cortina menores
Edificios en altura Grandes superficies	**Edificios más bajos Superficies menores**

Tabla E.9.: Comparativa entre sistemas de montaje del muro cortina.

E.6. Limpieza y mantenimiento de las fachadas

Uno de los aspectos más importantes a considerar en la fase de diseño y construcción de grandes fachadas acristaladas es su limpieza y mantenimiento. En la mayoría de los casos es imposible limpiar las superficies de vidrio desde el interior del edificio, por lo que es necesario implantar un sistema de mantenimiento desde el exterior que asegure dicha limpieza de una manera cómoda y eficaz.

Según los criterios establecidos por [13], la solución adoptada con mayor frecuencia es la utilización de plataformas mecánicas eléctricas, que se sustentan sobre unos puntos fijos y se desplazan sobre raíles. Estas plataformas de mantenimiento permiten el movimiento vertical y horizontal y, según la *NTP 207: Plataformas eléctricas para trabajos en altura*, están formadas básicamente por los siguientes elementos:

E.6.1. Góndola

Constituye el elemento portante del equipo y está formada por un chasis resistente montado sobre ruedas sobre el que se sitúa una carcasa metálica, que sirve como elemento protector del tambor para enrollar los cables, del motor de elevación, de los motores de translación, del sistema de frenado y del cuadro eléctrico.

E.6.2. Cables de sustentación

Los elementos de sustentación de la cesta están constituidos por dos cables independientes de acero de 8 o 9 mm de diámetro. Cada cable se sujeta, mediante abrazaderas, por un extremo a la estructura de la cesta, y por el otro al tambor de enrolle.

E.6.3. Brazos de elevación

La máquina dispone de dos brazos de donde se suspende la cesta. Tienen una longitud aproximada de 2,5 m. y están construidos en chapa de acero de 3mm, pudiendo ser fijos o móviles. Los de la Figura 8.2. son móviles gracias a un sistema de accionamiento hidráulico, que les permite un movimiento de aproximación a las fachadas.

Figura E.24: Brazos móviles desde el exterior

E.6.4. Cesta

Está formada por una plataforma resistente cerrada en todo su perímetro con una barandilla para proteger a los operarios de una posible caída. Se construye habitualmente con tubos de acero y se reviste con chapas de material ligero. Sus medidas típicas son:

Longitud	de 1,60 a 1,75 m
Anchura	de 0,65 a 0,70 m
Altura	de 1,00 a 1,10 m

Tabla E.10.

En su interior incorpora un cuadro de mando y, suspendido en la parte inferior, dispone de un anillo perimetral de seguridad, que desconecta la máquina si la cesta encuentra algún obstáculo en su desplazamiento.

Figura E.25: Operario en operaciones de limpieza desde la cesta

E.6.5. Raíles

Se colocan sobre la cubierta del edificio, constituyendo la vía de rodadura de la máquina.

ANEXO F: Estudio realizado mediante la herramienta informática LIDER (Limitación de la Demanda Energética)

ANEXO F: Estudio realizado mediante la herramienta informática LIDER (Limitación de la Demanda Energética)

F.1. Introducción

Este Anexo pretende mostrar los criterios establecidos para el análisis del cumplimiento del DB-HE1 del CTE, referente a la limitación de la demanda energética, por parte del edificio de estudio. Dicho cumplimiento puede determinarse por aplicación de dos Opciones de Cálculo paralelas: la Opción General y la Simplificada.

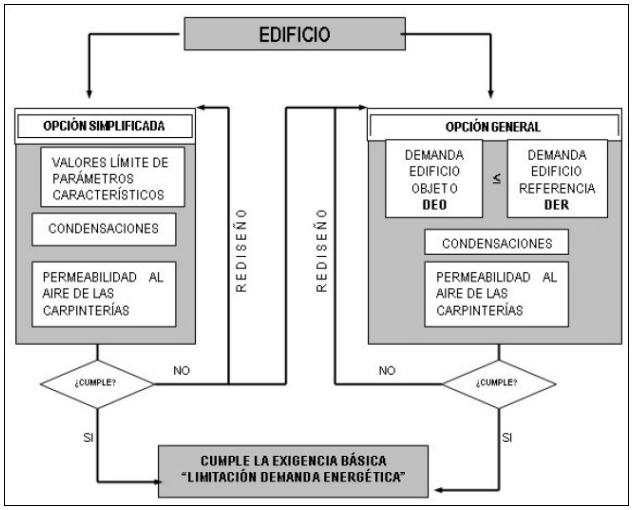


Figura F.1: Procedimiento de aplicación del DB-HE1

El estudio expuesto a continuación se ha desarrollado siguiendo la Opción General, mediante el programa informático LIDER, de libre acceso en el sitio oficial [14] del Código Técnico de la Edificación.

F.2. Herramienta informática utilizada

La herramienta informática utilizada es LIDER, LImitación de la DEmanda eneRgética.

Ésta es una herramienta de simulación informática para el análisis de la demanda energética (en calefacción y refrigeración) de los edificios en función de la geometría, los cerramientos utilizados, las cargas internas, los sistemas de climatización e iluminación, la orientación del edificio, el entorno y la climatología de la zona.

La estructura de la aplicación puede verse en la siguiente figura:

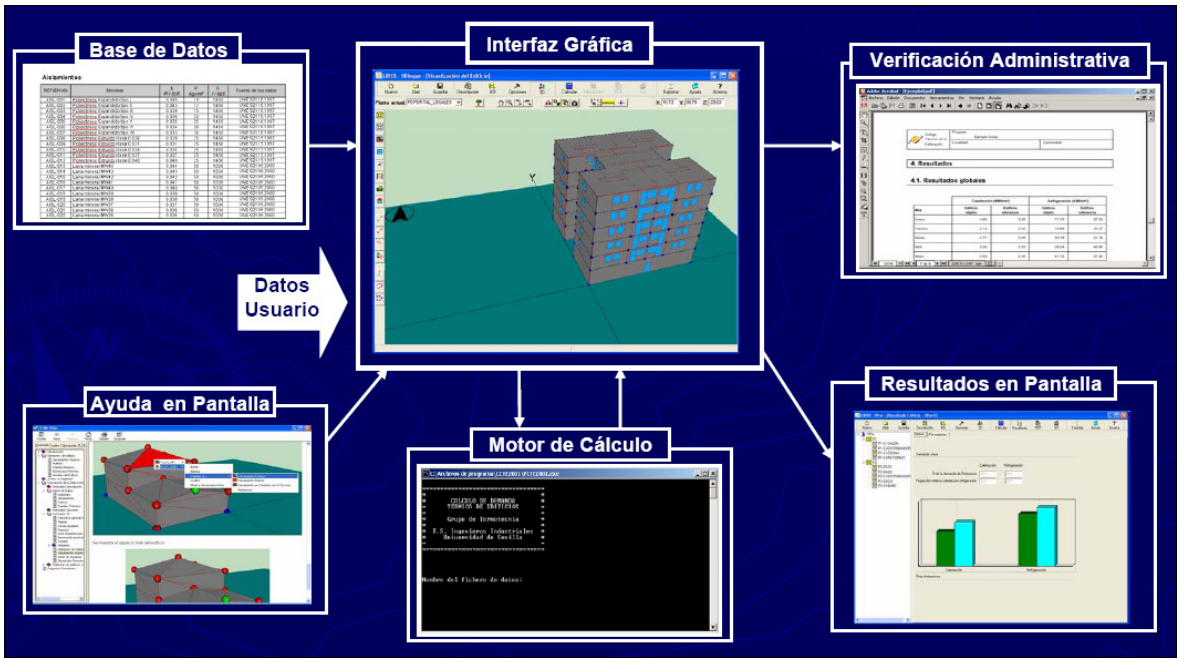


Figura F.2: Estructura del programa LIDER

El usuario introduce una serie de datos de entrada, como la definición geométrica y constructiva del edificio o su uso y ubicación. Estos datos, junto con otros valores por defecto contenidos en la base de datos interna del programa, sirven para definir el edificio objeto que se quiere calcular.

Una vez hecho esto, el motor de cálculo de LIDER genera un edificio de referencia, que es idéntico al edificio objeto excepto en lo referente a las calidades constructivas de los cerramientos, que son las mínimas impuestas por el CTE para el cumplimiento de la Opción Simplificada. Se comparan las demandas de calefacción y refrigeración de dicho edificio de referencia con las del edificio objeto, de manera que si las primeras son menores a las segundas el edificio diseñado por el usuario cumple con la normativa.

Visualización del edificio:

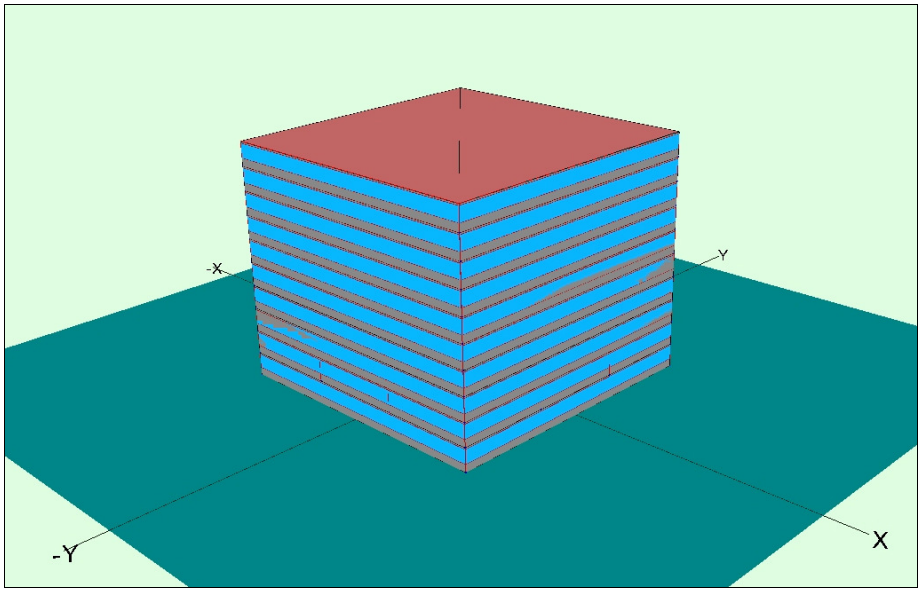


Figura F.3: Visualización del edificio objeto introducido en LIDER

Descripción del edificio:

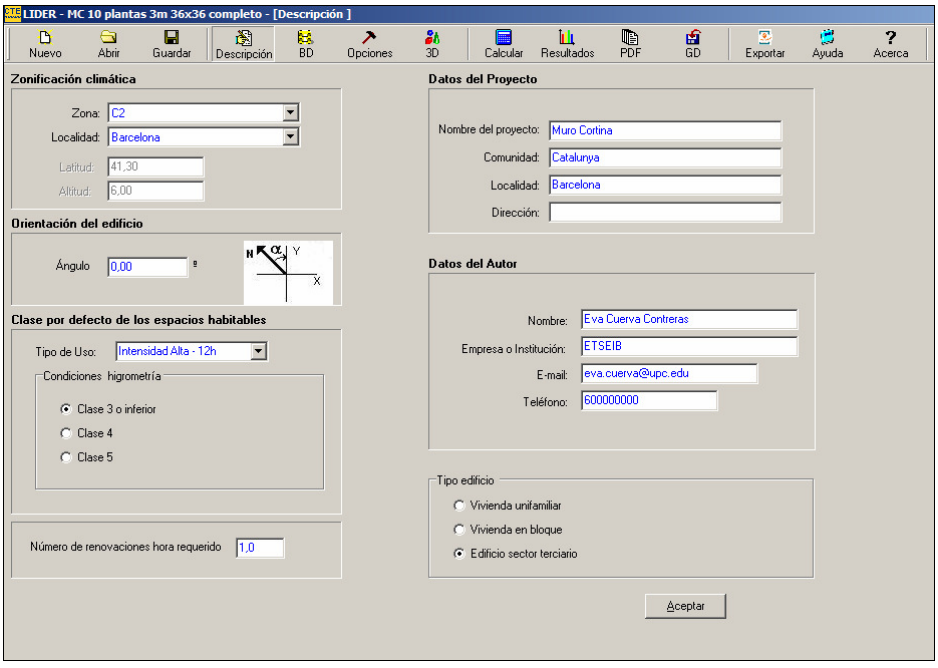


Figura F.4: Descripción del edificio objeto introducido en LIDER

Los resultados que pueden obtenerse mediante LIDER son:

- Verificación de si los cerramientos del edificio objeto cumplen o no con las transmitancias máximas.
- Verificación del cumplimiento de las exigencias de permeabilidad al aire por parte de las carpinterías de los huecos.
- Determinación de la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio objeto y del edificio de referencia, tanto a nivel global como por zonas.
- Si el edificio objeto cumple con la reglamentación, generación de una salida impresa con la información del denominado documento administrativo.

F.3. Metodología para la simulación

Para la determinación de la demanda de calefacción y refrigeración, el programa LIDER usa una metodología basada en el cálculo horario del comportamiento térmico teniendo en cuenta los efectos de masa térmica y el acoplamiento entre diversas zonas del edificio.

Calcula las solicitaciones exteriores de radiación solar en las diferentes orientaciones e inclinaciones de los cerramientos de la envolvente, teniendo en cuenta las sombras propias del edificio y la presencia de otros edificios u obstáculos que pueden bloquear dicha radiación.

Además, determina las sombras producidas sobre los huecos por obstáculos de fachada tales como voladizos, retranqueos, salientes laterales, etc.

F.3.1. Tablas resumen de las simulaciones realizadas

Se han realizado diversas simulaciones para establecer las conclusiones expuestas en la memoria. Se han planteado cuatro series diferenciadas de simulaciones para determinar diferentes aspectos importantes para la comprobación del cumplimiento por parte de la fachada de los mínimos exigidos por el CTE. A continuación se muestran las tablas de resultados de dichas simulaciones, algunas de ellas presentes ya en la memoria.

a) Influencia de las dimensiones de planta.

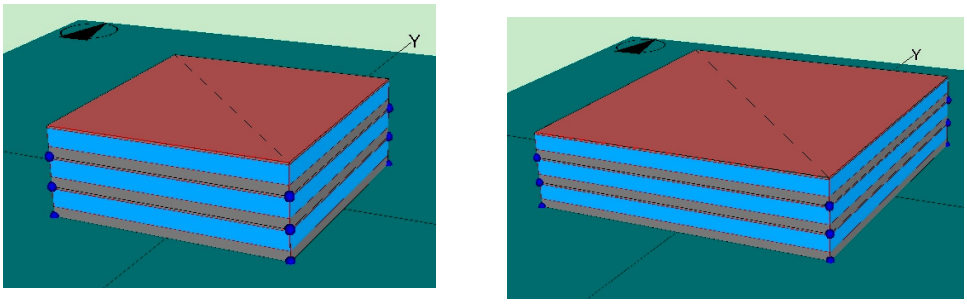


Figura F.5: Vista de los edificios comparados: planta cuadrada de 24x24m y de 36x36m

Planta cuadrada 24x24 m				
U	**F**	**Cumple Opción General**	**% Calefacción**	**% Refrigeración**
1,4	0,20	SI	0	63,2
1,4	0,60	NO	0	108,9
1,8	0,20	SI	0	58
1,8	0,70	NO	0	112,2
2,3	0,20	SI	0	52,6
2,3	0,70	NO	0	101,3
2,8	0,20	SI	0	48,4
2,8	0,80	NO	0	103,2
3,5	0,20	SI	139,2	43,6
3,5	0,90	NO	0	100,9
4,0	0,30	SI	256,7	46,8
4,0	0,90	SI	0	94,4
Planta cuadrada 36x36 m				
U	**F**	**Cumple Opción General**	**% Calefacción**	**% Refrigeración**
1,4	0,20	SI	0	69,2
1,4	0,60	NO	0	104,6
1,8	0,20	SI	0	64,9
1,8	0,70	NO	0	107,1
2,3	0,20	SI	0	59,3
2,3	0,80	NO	0	107,6
2,8	0,20	SI	0	55,4
2,8	0,80	SI	0	100,0
2,8	0,90	NO	0	107,3
3,5	0,20	SI	0	50,8
3,5	0,90	SI	0	98,1
4,0	0,30	SI	0	53,1
4,0	0,90	SI	0	92,9

Tabla F.1: Resultados de las simulaciones realizadas

b) Influencia de las protecciones solares

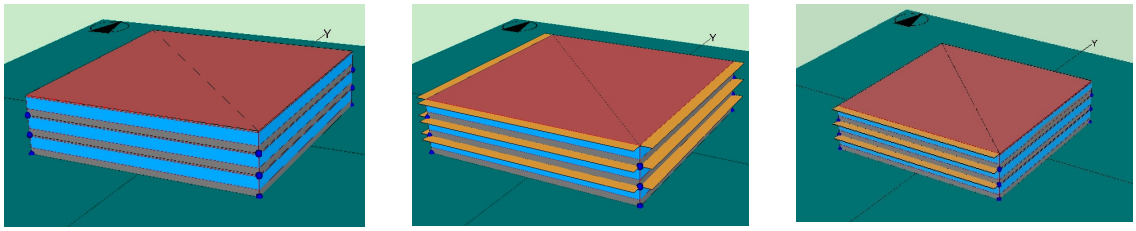


Figura F.6: Vista de los edificios comparados: sin voladizo, con voladizo a S, E y O y con voladizo a S y lamas verticales a E y O

	% Demanda de referencia	
	Calefacción	**Refrigeración**
sin protección solar	0%	72,1%
voladizo a S, E, O y cambio vidrios	0%	81,2%
voladizo a S, E y O	0%	67%
voladizo a S + lamas verticales a E y O	0%	64,5%

Tabla F.2: Resultados de las simulaciones realizadas

c) Comparativa Opciones de cálculo

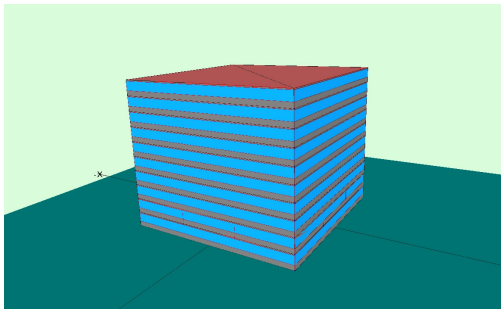


Figura F.7: Vista del edificio objeto estudiado

U	F	Cumple Opción General	% Calefacción	% Refrigeración	Cumple Opción Simplificada
1,4	0,20	SI	0	65,6	SI
1,4	0,30	SI	0	74,3	SI
1,4	0,40	SI	0	83,0	NO
1,4	0,50	SI	0	91,9	NO
1,4	0,60	NO	0	100,8	NO
1,8	0,20	SI	0	60,5	SI
1,8	0,30	SI	0	68,8	SI
1,8	0,40	SI	0	77,3	NO
1,8	0,50	SI	0	85,8	NO
1,8	0,60	SI	0	94,5	NO
1,8	0,70	NO	0	103,1	NO
2,3	0,20	SI	0	55,5	SI
2,3	0,30	SI	0	62,8	SI
2,3	0,40	SI	0	70,9	NO
2,3	0,50	SI	0	78,9	NO
2,3	0,60	SI	0	87,0	NO
2,3	0,70	SI	0	95,5	NO
2,3	0,80	NO	0	103,8	NO
2,8	0,20	SI	0	51,2	NO
2,8	0,30	SI	0	58,3	NO
2,8	0,40	SI	0	65,2	NO
2,8	0,50	SI	0	72,8	NO
2,8	0,60	SI	0	80,7	NO
2,8	0,70	SI	0	88,5	NO
2,8	0,80	SI	0	96,4	NO
2,8	0,90	NO	0	103,8	NO
3,5	0,20	SI	0	46,1	NO
3,5	0,30	SI	0	55,4	NO
3,5	0,40	SI	0	58,9	NO
3,5	0,50	SI	0	65,6	NO
3,5	0,60	SI	0	72,6	NO
3,5	0,70	SI	0	80,1	NO
3,5	0,80	SI	0	87,5	NO
3,5	0,90	SI	0	94,5	NO
4,0	0,30	SI	0	48,2	NO
4,0	0,40	SI	0	54,8	NO
4,0	0,50	SI	0	61,1	NO
4,0	0,60	SI	0	67,7	NO
4,0	0,70	SI	0	74,7	NO
4,0	0,80	SI	0	81,9	NO
4,0	0,90	SI	0	88,5	NO

Tabla F.3: Resultados de las simulaciones realizadas

d) Determinación de las prestaciones de los vidrios. Actuación sobre los vidrios para reducir la demanda del edificio

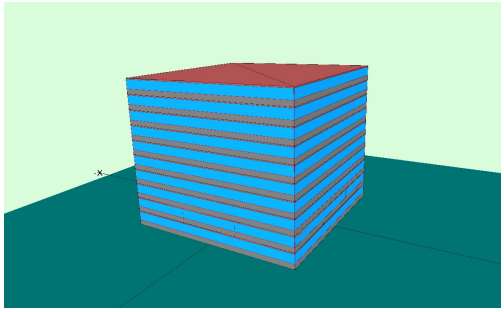


Figura F.8: Vista del edificio objeto estudiado

d.1) Efecto de la reducción del factor solar de los vidrios. Coeficiente de transmisión térmica constante:

U_S = 3,6 W/m^2 K $U_{E,O}$ = 2,8 W/m^2 K U_N = 2,4 W/m^2 K

% Calefacción = 0% R: refrigeración

F_S	$F_{E/O}$	F_N	R (%)	% N	S	E	O	SE	SO	NE	NO
0,52	0,35	0,70	68,1	**79,8**	68,5	62,6	60,9	61,0	62,1	73,4	70,8
0,52	0,35	0,60	66,9	**76,2**	68,5	62,5	60,9	61,0	62,1	69,0	68,0
0,52	0,35	0,50	65,7	**72,7**	68,5	62,5	60,9	61,0	62,1	65,0	65,2
0,52	0,35	0,40	64,4	**69,2**	68,5	62,5	60,9	61,0	62,1	62,3	60,0
0,40	0,35	0,40	61,8	**69,2**	61,4	62,5	60,9	54,7	56,8	62,3	60,0
0,35	0,35	0,35	60,3	**67,4**	57,6	62,4	60,8	52,5	55,1	61,0	58,8
0,30	0,30	0,30	56,8	**65,6**	54,0	59,9	58,3	47,5	50,3	57.3	55,1
0,25	0,25	0,30	54,0	**65,6**	50,7	57,4	55,8	42,8	46,9	55,0	52,7
0,25	0,20	0,25	51,6	**63,8**	50,7	54,8	53,3	41,0	42,8	51,4	49,1
0,20	0,20	0,20	50,2	**62,1**	48,5	54,8	53,3	38,5	41,6	48,8	47,8

Tabla F.4: Resultados de las simulaciones realizadas

d.2) Efecto del aumento del coeficiente de transmisión térmica de los vidrios. Factor solar constante:

F_S = 0,52 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,70

% Calefacción = 0% R: refrigeración

U_S	$U_{E/O}$	U_N	R (%)	% N	S	E	O	SE	SO	NE	NO
3,6	2,8	2,4	68,1	**79,8**	68,5	62,6	60,9	61,0	62,1	73,4	70,8
3,6	2,8	3,0	66,4	**75,2**	68,5	62,5	60,9	61,0	62,1	67,4	66,2
3,6	2,8	3,5	65,3	**71,5**	68,5	62,5	60,9	61,0	62,1	65,1	62,5
3,6	2,8	4,0	64,4	68,1	**68,5**	62,5	60,9	61,0	62,1	62,8	60,4
4,0	3,0	4,0	62,2	**68,1**	65,2	61,2	59,6	57,0	58,0	61,9	59,5
4,0	3,0	4,4	61,5	64,2	**65,2**	61,2	59,6	57,0	58,0	60,2	57,9
4,4	3,5	4,4	58,5	**64,1**	62,1	58,0	56,7	52,9	52,9	58,8	55,9
4,4	4,0	4,4	56,5	**64,1**	62,1	54,0	54,0	49,8	51,1	56,0	54,0
4,4	4,4	4,4	55,0	**64,1**	62,1	52,1	51,0	48,4	49,6	53,1	52,5

Tabla F.5: Resultados de las simulaciones realizadas

d.3) Efecto de la aplicación conjunta de las dos estrategias anteriores:

U_S	$U_{E/O}$	U_N	F_S	$F_{E/O}$	F_N	R (%)
3,6	2,8	2,4	0,52	0,35	0,70	68,1
4,4	4,4	4,4	0,30	0,30	0,30	46,0
4,4	4,4	4,4	0,25	0,20	0,30	42,4
4,4	4,4	4,4	0,20	0,20	0,20	40,9

Tabla F.6: Resultados de las simulaciones realizadas

F.3.2. Documento administrativo de conformidad con la normativa

A continuación se presenta el documento administrativo conforme el edificio de estudio cumple con la normativa expuesta en el DB-HE1 del CTE. El documento se corresponde al primer modelo simulado en la serie **d)** presentada en el apartado F.3.1, es decir, es el modelo que presenta los parámetros característicos de los vidrios con los valores establecidos en la Tabla 2.2 del DB-HE1. Todos los documentos generados en las simulaciones tienen la misma estructura, y tan sólo se diferencian en los valores expuestos en las Tablas F.1 a F.6; por ello, no se han incorporado en el presente Anexo.

Código Técnico de la Edificación

Proyecto: Muro Cortina
Fecha: 02/01/2007
Localidad: Barcelona
Comunidad: Catalunya

CTE Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

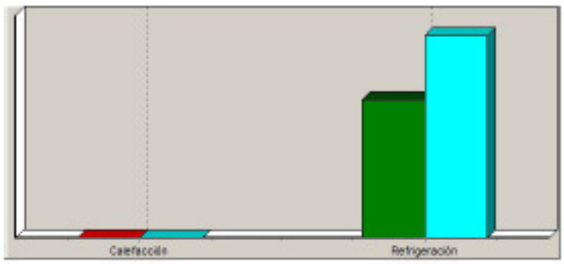
1. DATOS GENERALES

Nombre del Proyecto Muro Cortina	
Localidad Barcelona	**Comunidad Autónoma** Catalunya
Dirección del Proyecto	
Autor del Proyecto Eva Cuerva	
Autor de la Calificación ETSEIB	
E-mail de contacto eva.cuerva@upc.edu	**Teléfono de contacto** 600000000
Tipo de edificio Terciario	

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación.

	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de Referencia	0	68,1
Proporción realtiva calefacción refrigeración	0,0	100,0



Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA

3.1. Espacios

Nombre	Planta	Uso	Clase higrométria	Área (m²)	Altura (m)
P01_E01	P01	Intensidad Alta - 12h	-	1296,00	3,00
P02_E01	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E02	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E03	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E04	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E05	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E06	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E07	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E08	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P02_E09	P02	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E01	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E02	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E03	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E04	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E05	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E06	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E07	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E08	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00
P03_E09	P03	Intensidad Alta - 12h	-	144,00	3,00

CTE Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

3.2. Cerramientos opacos

3.2.1 Materiales

Nombre	K (W/mK)	e (kg/m³)	cp (J/kgK)	R (m²K/W)	Z (m²sPa/Kg)	Just.
1 pie LM métrico o catalán 40 mm< G < 50	1,53	2140,00	1000,00	-	10	--
1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm< G < 10	0,54	900,00	1000,00	-	10	--
Azulejo cerámico	1,30	2300,00	840,00	-	1e+30	--
Betún fieltro o lámina	0,23	1100,00	1000,00	-	50000	--
BH aligerado hueco espesor 300 mm	0,45	1050,00	1000,00	-	6	--
BH convencional espesor 250 mm	1,00	685,00	1000,00	-	10	--
Cámara de aire ligeramente ventilada horizo	-	-	-	0,09	-	--
Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm	-	-	-	0,19	-	--
Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	-	-	-	0,18	-	--
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0,03	30,00	1000,00	-	20	--
EPS Poliestireno Expandido [0.045 W/[mK]]	0,05	30,00	1000,00	-	20	--
Hormigón armado d > 2500	2,50	2600,00	1000,00	-	80	--
Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,80	1525,00	1000,00	-	10	--
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	0,04	40,00	1000,00	-	1	--
Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,25	825,00	1000,00	-	4	--
Placas de yeso armado con fibras minerales	0,25	900,00	1000,00	-	4	--
Tierra vegetal [d < 2050]	0,52	2000,00	1840,00	-	1	--
XPS Expandido con dióxido de carbono CO4	0,04	37,50	1000,00	-	100	--
XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	0,03	37,50	1000,00	-	100	--

CTE Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

3.2.2 Composición de Cerramientos

Nombre	U (W/m²K)	Peso (kg/m²)	Material	Espesor (m)
Fachada 1	0,37	0,00	1 pie LM métrico o catalán 40 mm< G < 50 m	0,150
			Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	0,000
			EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0,060
			Placas de yeso armado con fibras minerales	0,050
Cubierta	0,39	0,00	Azulejo cerámico	0,010
			Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020
			Betún fieltro o lámina	0,010
			XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	0,060
			Cámara de aire ligeramente ventilada horizo	0,000
			BH aligerado hueco espesor 300 mm	0,100
			Hormigón armado d > 2500	0,300
Tabique vivienda	0,61	0,00	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,014
			Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,014
			MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	0,050
			Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,014
			Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,014
suelo enterrado	0,11	0,00	Tierra vegetal [d < 2050]	1,000
			Hormigón armado d > 2500	0,075
			XPS Expandido con dióxido de carbono CO4	0,300
			Hormigón armado d > 2500	0,075
Forjado	0,49	0,00	Azulejo cerámico	0,010
			Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020

CTE Calificación Energética	Proyecto COMPARATIVA OPCIÓN SIMPLIFICADA	
	Localidad	Comunidad

Nombre	U (W/m²K)	Peso (kg/m²)	Material	Espesor (m)
Forjado	0,49	0,00	Betún fieltro o lámina	0,010
			XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	0,050
			BH aligerado hueco espesor 300 mm	0,050
			Hormigón armado d > 2500	0,300

3.3. Cerramientos semitransparentes

3.3.1 Vidrios

Nombre	Coef. global (W/m²K)	Factor solar	Just.
Vidrio S	3,60	0,52	SI
Vidrio E/O	2,80	0,35	SI
Vidrio N	2,40	0,70	SI

3.3.2 Marcos

Nombre	Coef. global (W/m²K)	Just.
VER_Con rotura de puente térmico mayor de 12 mm	3,20	--

3.3.3 Huecos

Nombre	Acristalamiento	Marco	% Hueco	Permeabilidad m³/hm² a 100Pa)	Just.
Hueco	Vidrio S	VER_PVC tres cámaras	10,00	27,00	SI
Hueco_4	Vidrio E/O	VER_PVC tres cámaras	10,00	27,00	SI
Hueco_5	Vidrio N	VER_PVC tres cámaras	10,00	27,00	SI

CTE Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

4. Resultados

4.1. Resultados por espacios

Espacios	Área (m²)	Nº espacios iguales	Calefacción % de max	Calefacción % de ref	Refrigeración % de max	Refrigeración % de ref
P01_E01	1295,0	1	0.0	0.0	69,8	91,4
P02_E01	144,0	8	0.0	0.0	84,3	62,1
P02_E02	144,0	8	0.0	0.0	100,0	68,5
P02_E03	144,0	8	0.0	0.0	91,3	61,0
P02_E04	144,0	8	0.0	0.0	89,6	60,9
P02_E06	144,0	8	0.0	0.0	87,7	62,6
P02_E07	144,0	8	0.0	0.0	90,6	70,8
P02_E08	144,0	8	0.0	0.0	93,6	79,8
P02_E09	144,0	8	0.0	0.0	86,8	73,4
P03_E01	144,0	1	0.0	0.0	72,4	54,9
P03_E02	144,0	1	0.0	0.0	71,1	60,8
P03_E03	144,0	1	0.0	0.0	70,3	57,0
P03_E04	144,0	1	0.0	0.0	65,4	56,3
P03_E06	144,0	1	0.0	0.0	61,9	58,4
P03_E07	144,0	1	0.0	0.0	70,3	65,7
P03_E08	144,0	1	0.0	0.0	65,1	78,2
P03_E09	144,0	1	0.0	0.0	66,9	68,9

CTE Calificación Energética	Proyecto: Muro Cortina	
	Localidad: Barcelona	Comunidad: Catalunya

5. Lista de comprobación

Los siguientes elementos del edificio no provienen de la base de datos estándar, debiéndose acreditar sus propiedades térmicas.

Los espacios que se indican, se debe acreditar la producción de humedad utilizada.

Nombre	kg/h	Tasa	Humedad relativa
P01_E01	-	-	45,00
P02_E01	-	-	45,00
P02_E02	-	-	45,00
P02_E03	-	-	45,00
P02_E04	-	-	45,00
P02_E05	-	-	45,00
P02_E06	-	-	45,00
P02_E07	-	-	45,00
P02_E08	-	-	45,00
P02_E09	-	-	45,00
P03_E01	-	-	45,00
P03_E02	-	-	45,00
P03_E03	-	-	45,00
P03_E04	-	-	45,00
P03_E05	-	-	45,00
P03_E06	-	-	45,00
P03_E07	-	-	45,00
P03_E08	-	-	45,00

Nombre	kg/h	Tasa	Humedad relativa
P03_E09	-	-	45,00

Calificación Energética	Proyecto	
	Muro Cortina	
	Localidad Barcelona	Comunidad Catalunya

F.3.3. Composición de los cerramientos

Por último, se presentan los datos correspondientes a la composición de los cerramientos utilizados en el diseño del edificio. Los relativos a los vidrios son los mismos del modelo expuesto en el apartado F.3.2. Los vidrios utilizados en el resto de simulaciones sólo varían en los valores de F y U empleados.

a) Cerramientos opacos

a.1) Muros de fachada:

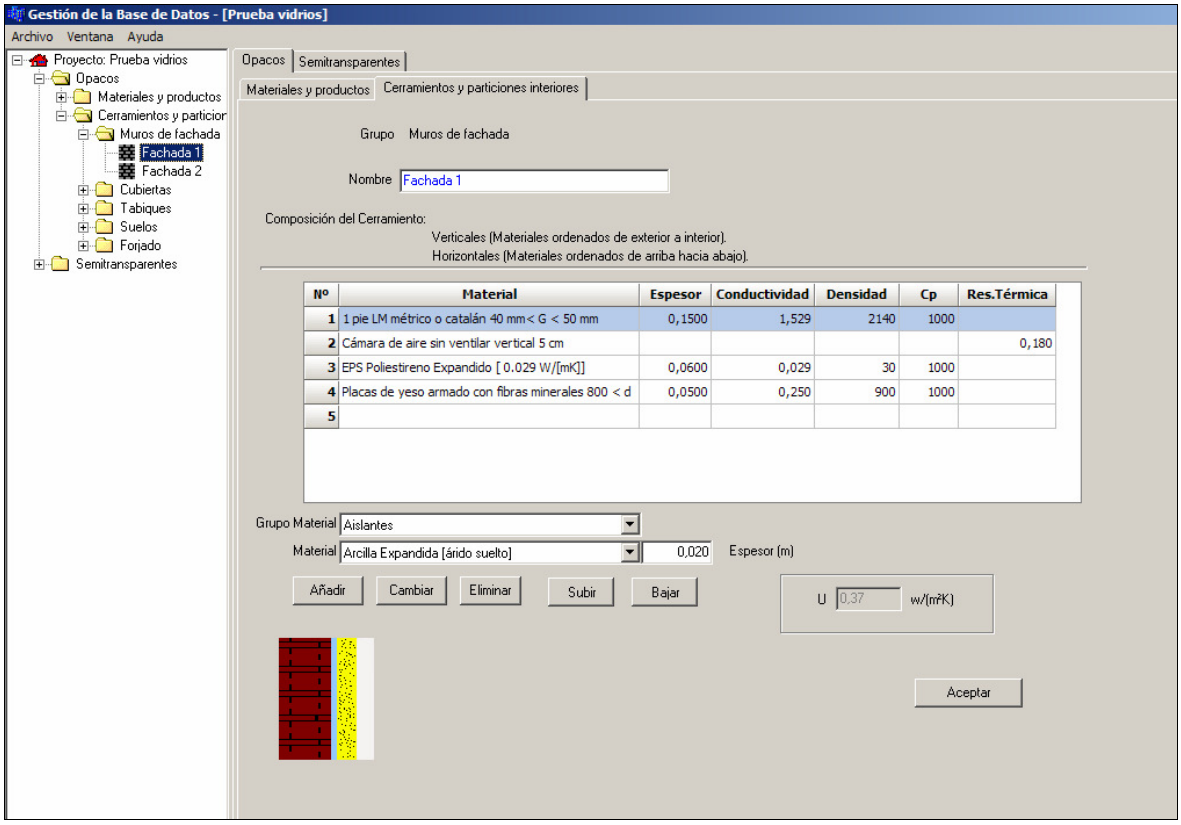


Figura F.9: Composición de los muros de fachada

a.2) Cubierta:

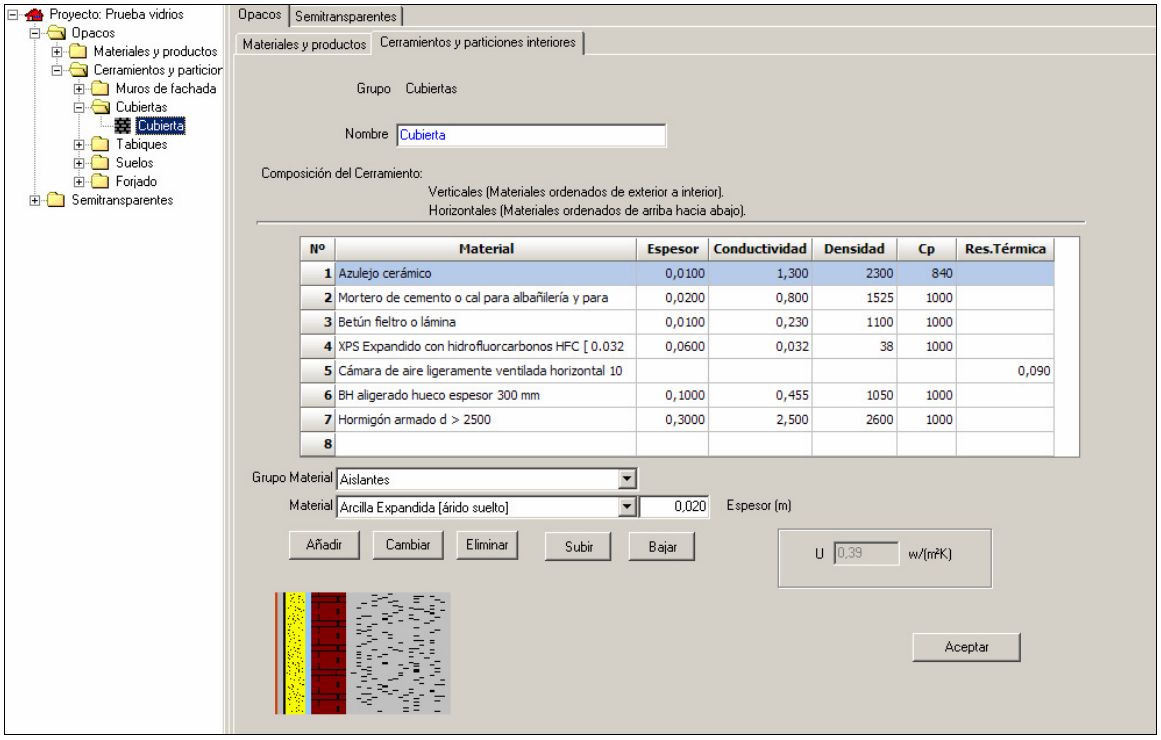


Figura F.10: Composición de la cubierta

a.3) Particiones interiores (tabiques):

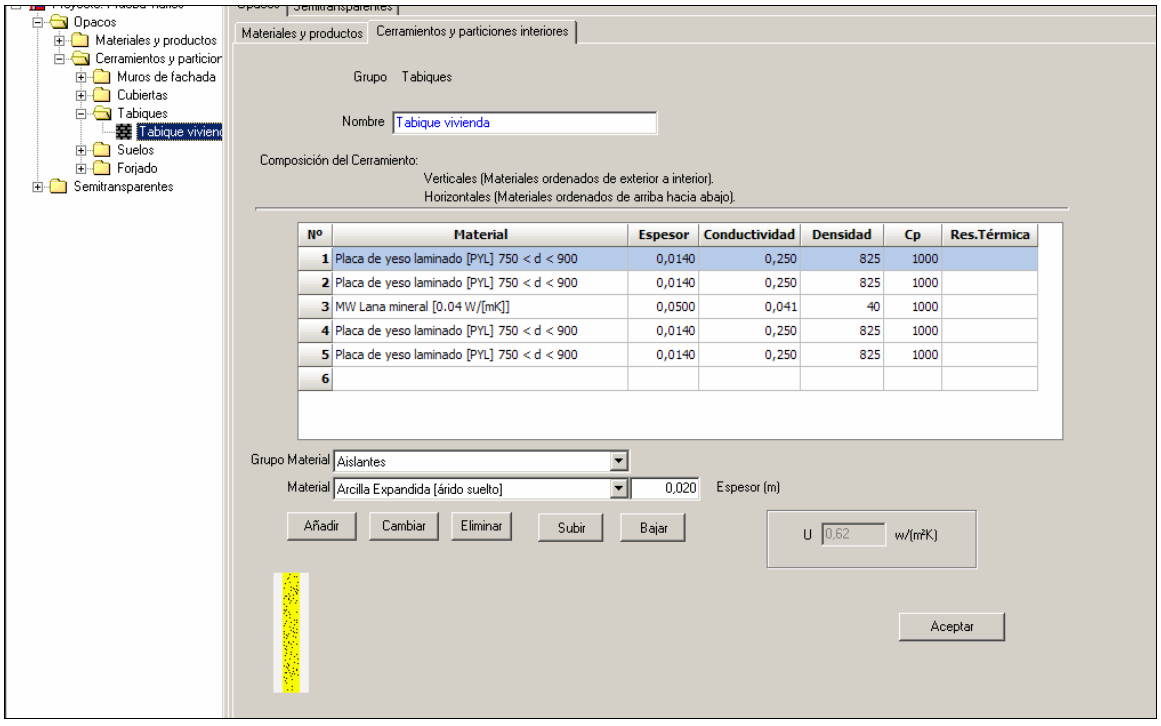


Figura F.11: Composición de los tabiques

a.4) Suelo en contacto con el terreno:

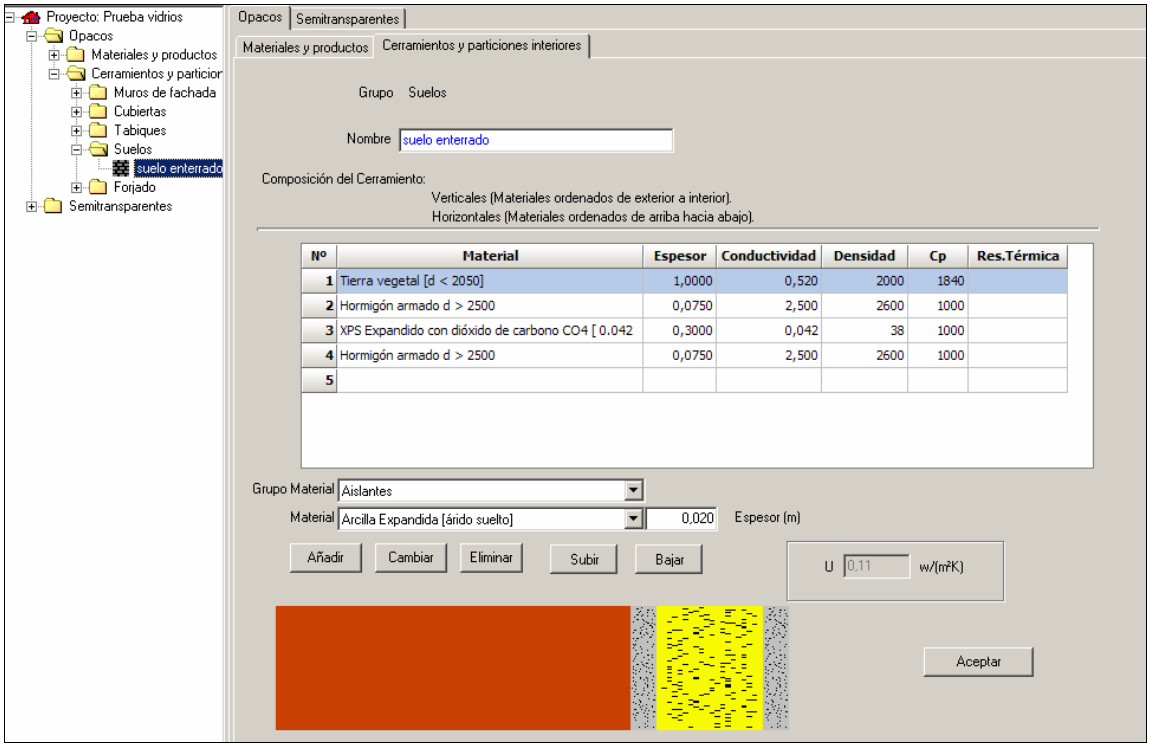


Figura F.11: Composición del suelo en contacto con el terreno

a.5) Forjados:

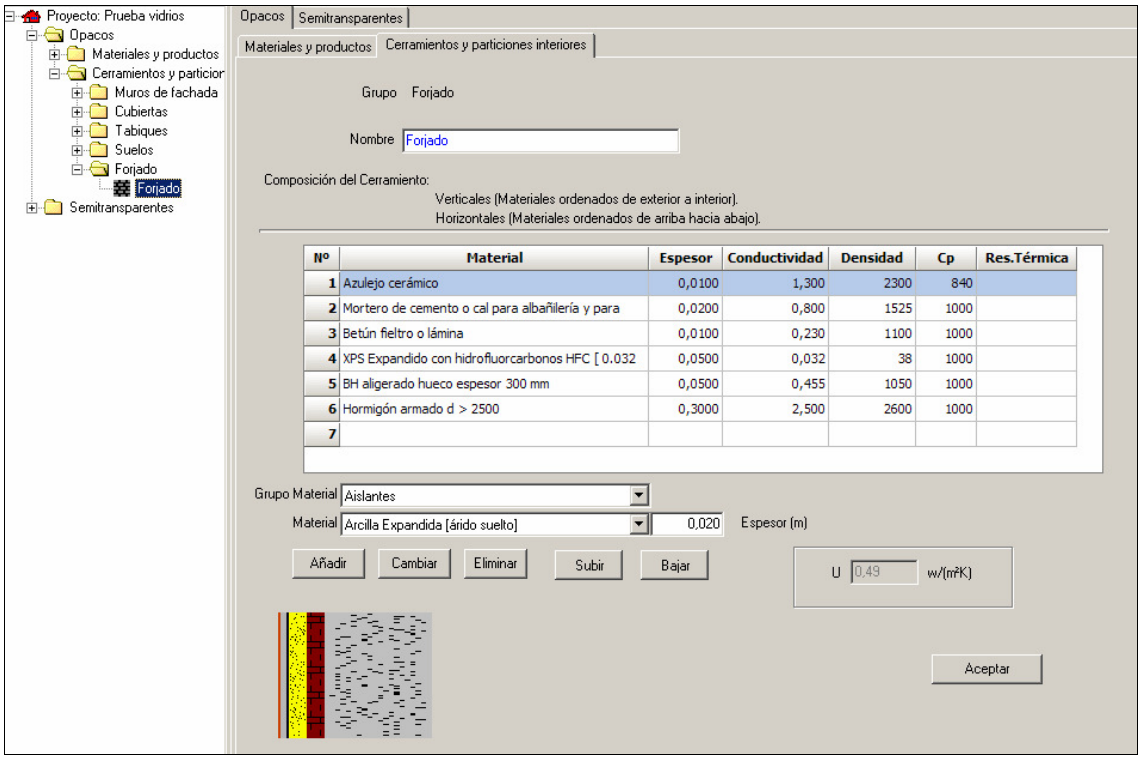


Figura F.12: Composición de los forjados

b) Cerramientos semitransparentes

b.1) Vidrios:

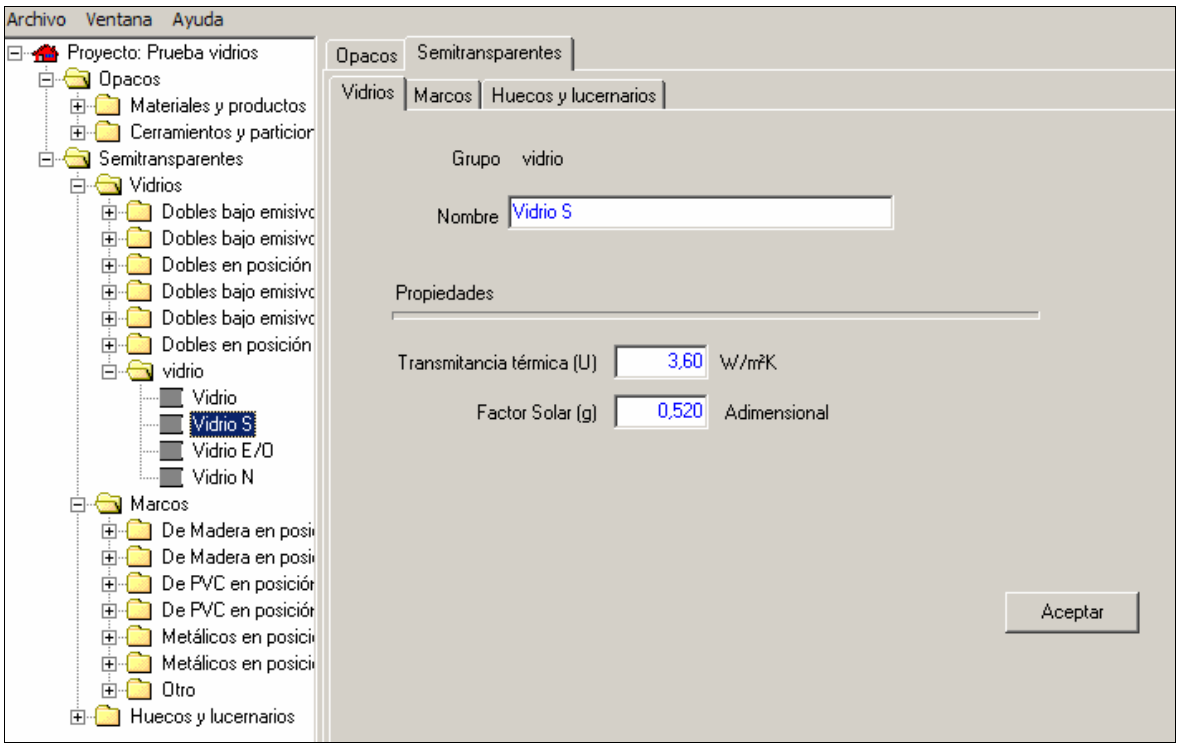


Figura F.13: Características del vidrio correspondiente a la fachada Sur

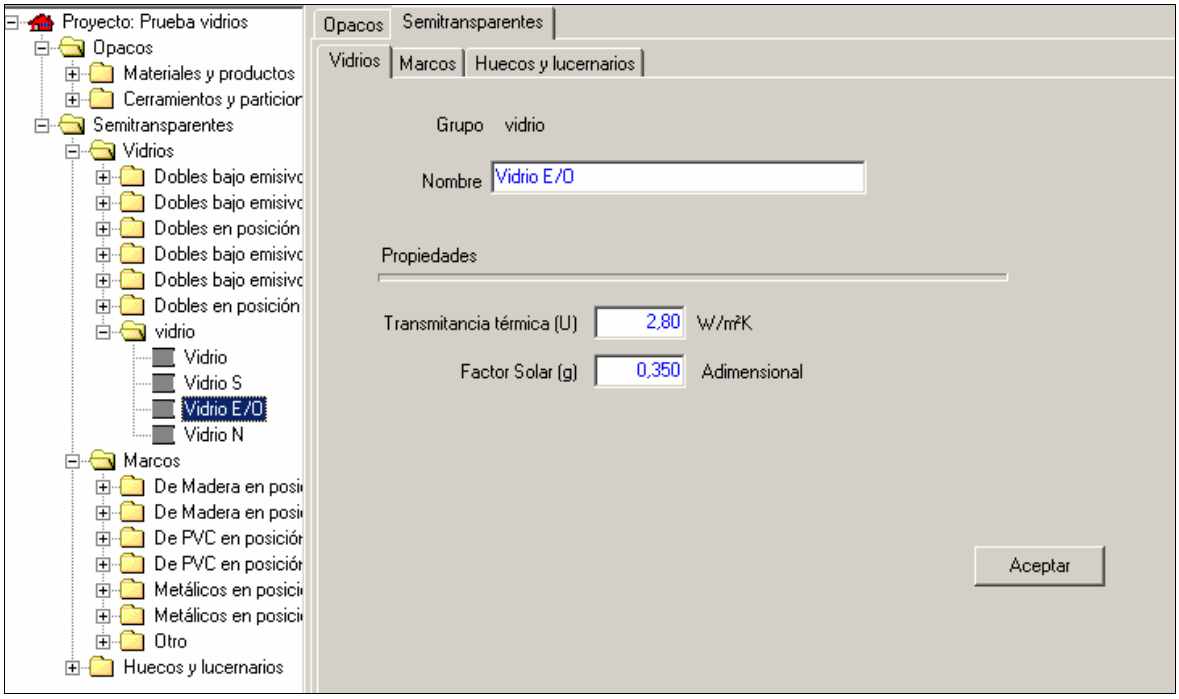


Figura F.14: Características del vidrio correspondiente a las fachadas Este y Oeste

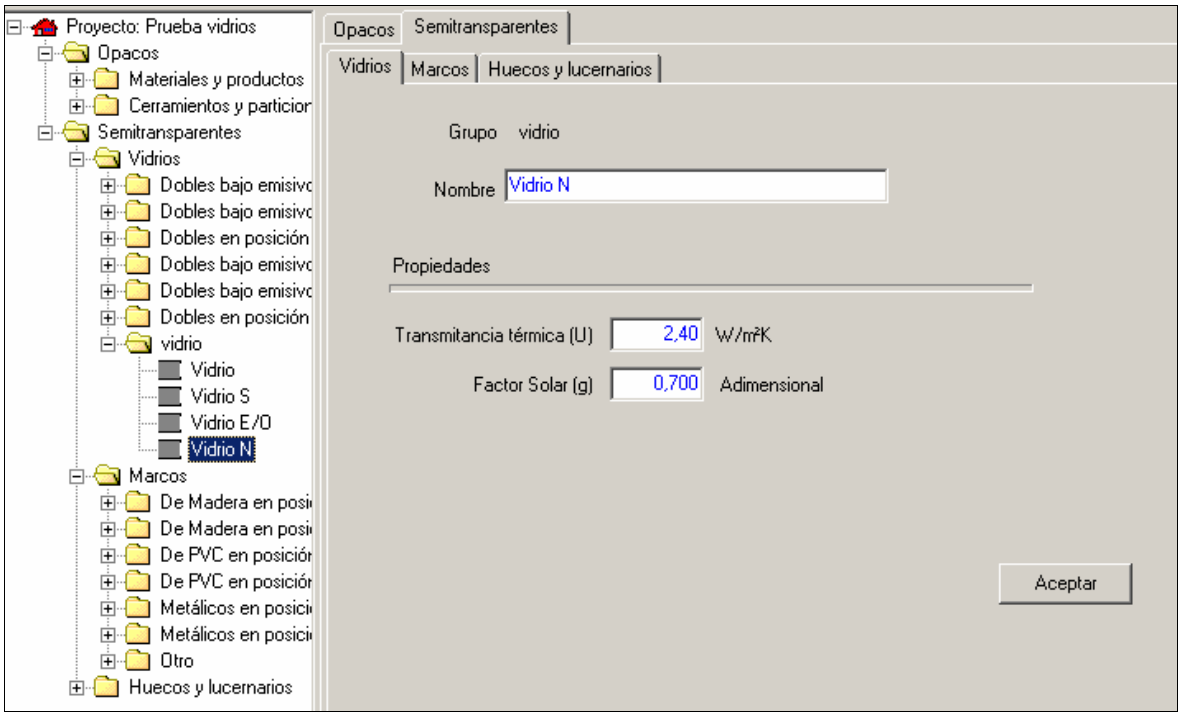


Figura F.15: Características del vidrio correspondiente a la fachada Norte

b.2) Marcos:

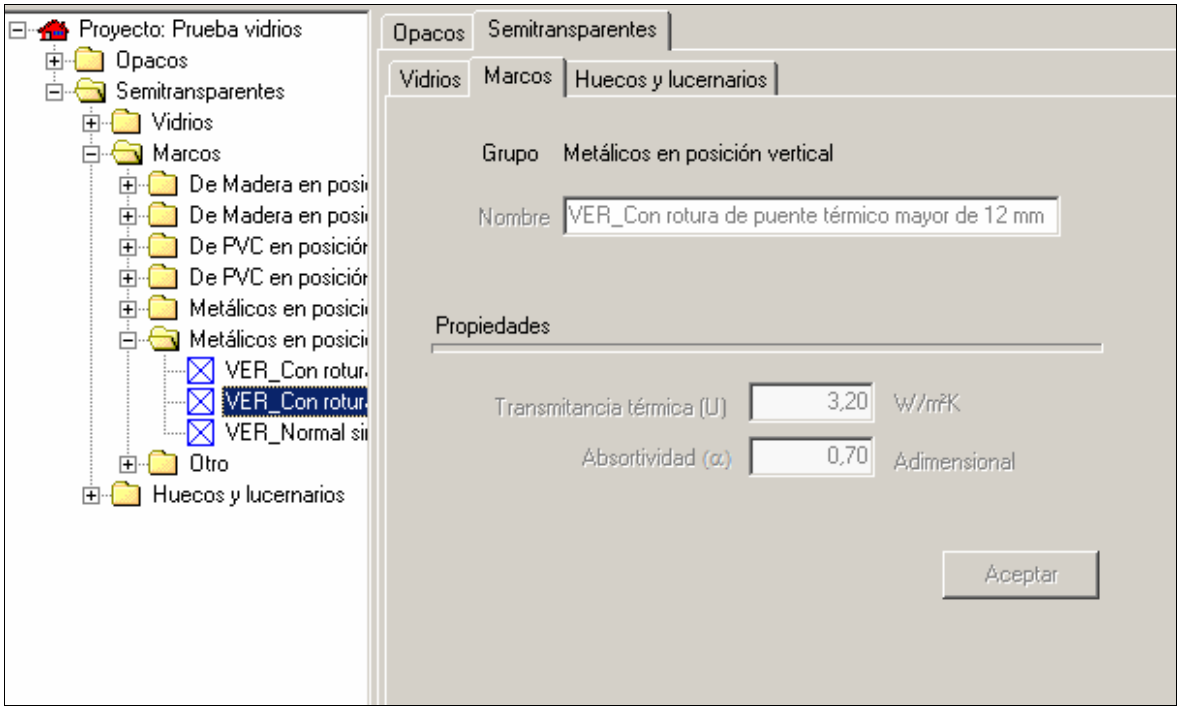


Figura F.16: Características de los marcos utilizados en los huecos

b.3) Huecos:

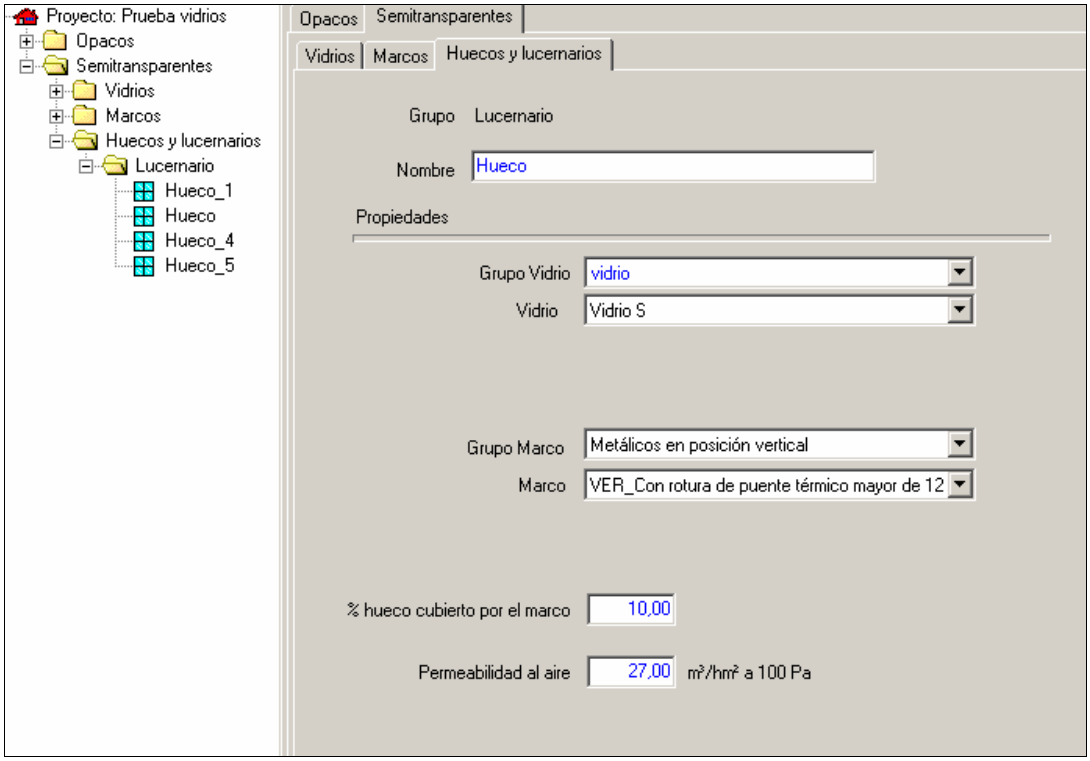


Figura F.17: Características de los huecos correspondientes a la fachada Sur

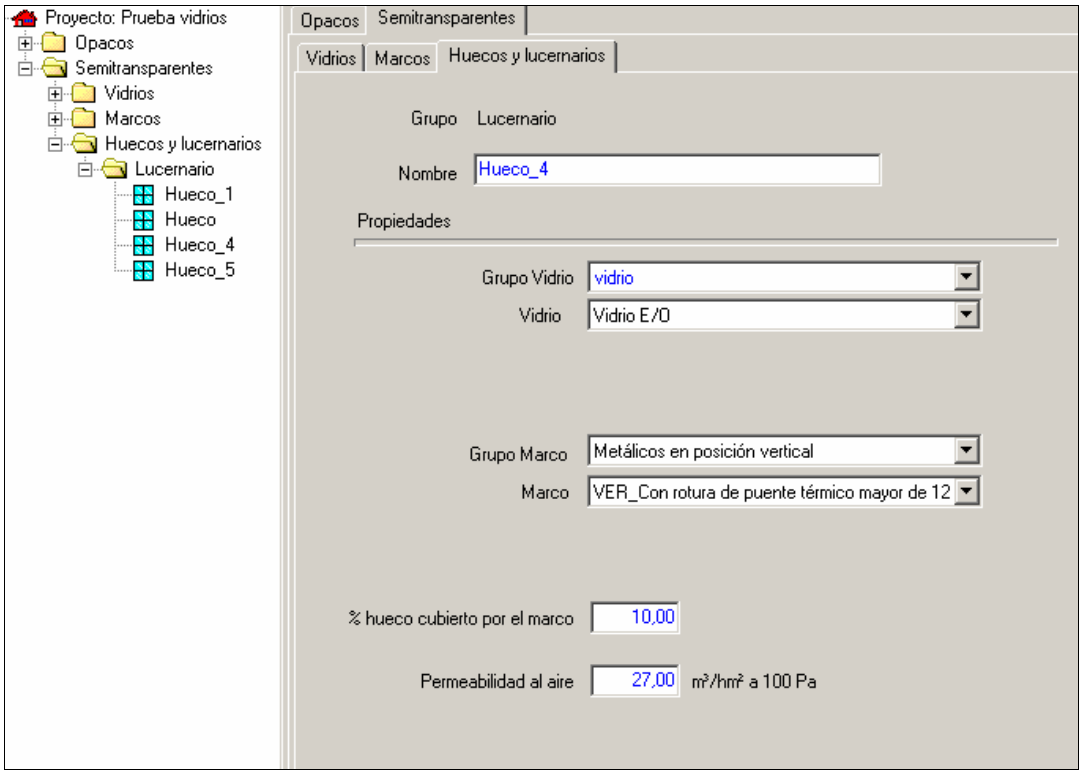


Figura F.18: Características de los huecos correspondientes a las fachadas Este y Oeste

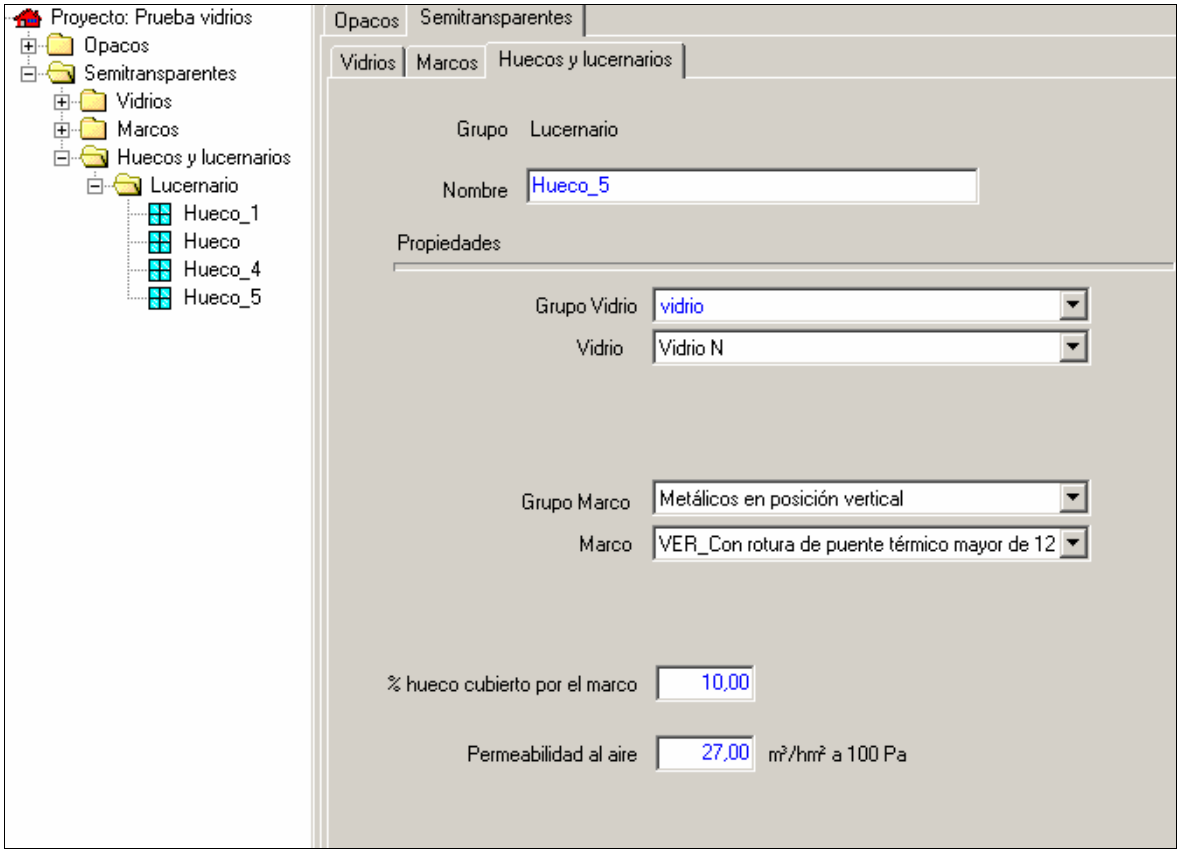


Figura F.19: Características de los huecos correspondientes a la fachada Norte

ANEXO G: Influencia de las protecciones solares en el comportamiento térmico del edificio

ANEXO G: Influencia de las protecciones solares en el comportamiento térmico del edificio

G.1. Introducción

El uso de protecciones solares permite la proyección de sombras sobre la superficie acristalada de fachada, lo que reduce la incidencia solar a través de los huecos hacia el interior del edificio. Esto permite obtener el mismo comportamiento energético utilizando vidrios de menores prestaciones - en este caso con un factor solar menor - que los que se utilizarían si no se dispusiera de este tipo de elementos protectores.

En este punto se pretende determinar de qué manera el programa informático LIDER tiene en cuenta las protecciones solares a la hora de realizar el cálculo de necesidades de calefacción y refrigeración del edificio objeto.

Según el CTE-HE1, el factor solar modificado de los huecos, en presencia de protecciones solares, se calcula según la siguiente fórmula:

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0{,}04 \cdot U_m \cdot \alpha] \qquad \textbf{(Ec. G.1.)}$$

donde:

- F_s = factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas E.11 a E.15 en función del dispositivo de sombra.
- FM = fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o fracción de parte maciza en el caso de puertas.
- $g_\perp$ = factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.
- U_m = transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/m^2K]
- α = absortividad del marco

Los valores máximos de transmitancia térmica y factor solar modificado de huecos que permite el CTE para la zona climática de Barcelona se presentan en la siguiente tabla:

ZONA CLIMÁTICA C2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U_{Mlim}: 0,73 W/m^{2}K
Transmitancia límite de suelos	U_{Slim}: 0,50 W/m^{2}K
Transmitancia límite de cubiertas	U_{Clim}: 0,41 W/m^{2}K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F_{Llim}: 0,32

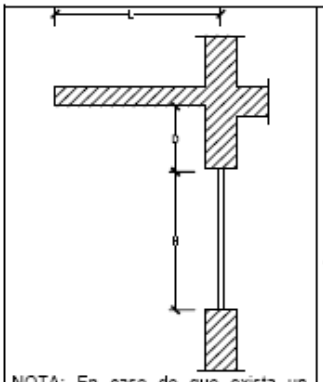
	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	-	0,47	-	0,51
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38

Tabla G.1: Valores límite de los parámetros característicos medios de la envolvente térmica
(Fuente: Tabla 2.2 del DB-HE, sección HE1 del CTE)

Para la comprobación se ha escogido una protección solar tipo voladizo, que se ha instalado en tres de las cuatro fachadas del edificio objeto, las correspondientes a las orientaciones sur, este y oeste.

G.2. Cálculo y dimensionado del voladizo

El factor de sombra obtenido con un voladizo depende de sus características geométricas, según lo indicado en la Tabla G.2.



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

ORIENTACIÓNES 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	0,82	0,50	0,28	0,16
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,87	0,64	0,39	0,22
	D/H > 0,5	0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	0 < D/H ≤ 0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,94	0,82	0,60	0,27
	D/H > 0,5	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	0 < D/H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
	D/H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

Tabla G.2: Factores de sombra para obstáculos en fachada (caso voladizo)
(Fuente: Tabla E.11 del DB-HE, sección HE1 del CTE)

Debido a la disposición de las zonas opacas y las zonas acristaladas que presenta el edificio estudiado, se ha diseñado el siguiente voladizo:

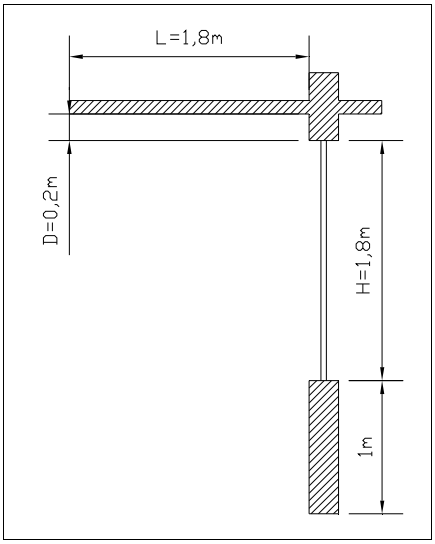


Figura G.1: Esquema del voladizo calculado

Entrando con estos valores de D, L y H en la tabla anterior, se obtienen los siguientes valores de factor de sombra para las diferentes orientaciones contempladas:

Fachada S:	$F_S = 0,50$
Fachadas E/O:	$F_S = 0,77$
Fachada N:	no se contempla el uso de voladizo

A continuación se presenta el cálculo del factor solar máximo de los vidrios, según orientación, para que el factor solar modificado sea igual al factor solar máximo permitido por el CTE e indicado en la Tabla G.1. Se han tomado los valores de transmisión térmica y absortividad del marco utilizados en el modelo introducido en LIDER, y correspondientes a una carpintería de aluminio con rotura de puente térmico mayor de 12mm.

Cálculo Fachada S:

Valores máximos según CTE-HE1:

$F_{max} = 0,52$
$U_{max} = 3,6\ W/m^2K$

Valores de cálculo:

$F_s = 0,50$
$FM = 10\%$
$U_m = 3,2\ W/m^2K$
$\alpha = 0,70$

Con lo que se obtiene:

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0{,}04 \cdot U_m \cdot \alpha] \Rightarrow 0{,}52 = 0{,}50 \cdot [(1 - 0{,}1) \cdot g_\perp + 0{,}1 \cdot 0{,}04 \cdot 3{,}2 \cdot 0{,}7]$$

de donde: $\boxed{g_{\perp \max} = 1{,}14}$

El resultado obtenido indica que es posible instalar cualquier tipo de vidrio - respecto a su factor solar - en la fachada sur, incluso uno que deje pasar el 100% de la radiación solar incidente al interior del edificio, ya que el voladizo compensa el efecto de este vidrio de bajas prestaciones, gracias a las sombras que proyecta sobre la fachada.

Cálculo Fachadas E/O:

Valores máximos según CTE-HE1:

F_{max} = 0,35
U_{max} = 2,8 W/m^{2}K

Valores de cálculo:

F_s = 0,77
FM = 10%
U_m = 3,2 W/m^{2}K
α = 0,70

Con lo que se obtiene:

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0{,}04 \cdot U_m \cdot \alpha] \Rightarrow 0{,}35 = 0{,}77 \cdot [(1 - 0{,}1) \cdot g_\perp + 0{,}1 \cdot 0{,}04 \cdot 3{,}2 \cdot 0{,}7]$$

de donde: $\boxed{g_{\perp \max} = 0{,}52}$

Este resultado indica que el comportamiento del edificio en sus fachadas este y oeste debería ser el mismo utilizando vidrios de factor solar 0,35 o bien con vidrios de factor solar 0,52 y un voladizo de las características del definido anteriormente.

G.3. Resultados obtenidos por simulación en LIDER

G.3.1. Efectos de los voladizos horizontales en la demanda del edificio

Para comprobar estas apreciaciones teóricas, se ha simulado mediante LIDER el edificio objeto reducido, formado por tres plantas diáfanas de 36x36 metros, en dos situaciones diferentes: la primera simulación corresponde a los valores máximos de factor solar de los

vidrios (en las fachadas sur, este y oeste) que permite el CTE-HE1. En la segunda se ha utilizado el mismo factor solar modificado, obtenido mediante combinación del voladizo diseñado y los vidrios con el factor solar calculado.

Por último se han comparado los resultados en estos dos casos con los obtenidos si se combinan los dos mecanismos de protección solar: un factor solar bajo en los vidrios utilizados y el uso de protecciones externas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por simulación en LIDER:

% Demanda de referencia					
Calefacción			**Refrigeración**		
Sin voladizo	Con voladizo y cambio vidrios	Con voladizo sin cambio vidrios	Sin voladizo	Con voladizo y cambio vidrios	Con voladizo sin cambio vidrios
0	0	0	**72,1%**	**81,2%**	**67,0%**

Tabla G.3: Disminución demanda de refrigeración por aplicación de voladizos horizontales. Resultados de LIDER

En primer lugar se observa que, como en las otras simulaciones realizadas, el edificio sólo presenta demanda de refrigeración al ser de alta carga interna y con 12 horas de funcionamiento ininterrumpido.

Respecto a la demanda de refrigeración, ya se ha dicho que debería ser la misma en los dos casos simulados, al tener los huecos el mismo factor solar modificado. Sin embargo, y como puede comprobarse en la Tabla G.3, si se emplean protecciones solares dicha demanda aumenta.

Esto es debido a que, cuando el sol está en una posición baja, es decir, cuando sale y cuando se pone, el voladizo horizontal no actúa, ya que la radiación llega igualmente al vidrio y se transmite al interior del edificio. En el caso estudiado, al tener el vidrio un factor solar más elevado, éste permite que entre una mayor cantidad de radiación solar. Como no hay demanda de calefacción, sino sólo de refrigeración, esto repercute negativamente, ya que la demanda se incrementa (en un 9,1% respecto al punto de partida) al haber más calor acumulado que disipar. La posible solución sería diseñar un sistema de protección solar más adecuado para las fachadas E y O como, por ejemplo, un sistema de lamas verticales, que limiten la incidencia solar para posiciones bajas del sol.

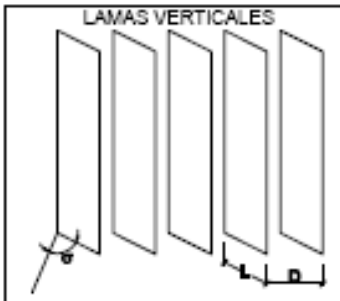
En el caso en que no se dispone de voladizo, el vidrio usado realiza por sí solo toda la acción de protección solar. Pero esta es una protección integral, ya que actúa por igual en todas las horas de sol. Por ello los espacios reciben menos radiación solar, se calientan menos y, por lo tanto, la demanda de refrigeración es menor.

G.3.2. Efectos de las lamas verticales en la demanda del edificio

Para las fachadas este y oeste se implantará un sistema de lamas verticales, comparando con LIDER las demandas de partida con las obtenidas aplicando simultáneamente dichas lamas a este y oeste y el voladizo antes definido a sur.

El dimensionado de las lamas verticales se realiza según el CTE-HE1. Según éste, el factor de sombra obtenido con lamas verticales depende de la orientación de la fachada en la que se instalen, así como del ángulo de inclinación de las lamas respecto a la vertical (ángulo σ), según lo indicado en la Tabla G.4.

LAMAS VERTICALES



ORIENTACIÓN	ANGULO DE INCLINACIÓN (σ) -60	-45	-30	0	30	45	60
SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1.
El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Tabla G.4: Factores de sombra para obstáculos en fachada (caso lamas verticales)
(Fuente: Tabla E.13 del DB-HE, sección HE1 del CTE)

Como puede observarse, la disposición óptima de las lamas para proporcionar un mayor factor de sombra se corresponde con un ángulo σ = 60º. Sin embargo, se ha considerado que éste es un ángulo demasiado cerrado, que limitaría excesivamente la entrada de luz al interior del edificio. Por ello, se ha elegido un sistema de lamas con ángulo de inclinación σ = 45º, que proporciona un buen factor de sombra sin dificultar tanto la transmisión luminosa.

Las otras dimensiones necesarias para realizar la simulación en LIDER son la distancia entre lamas, D, y la distancia que sobresalen de la superficie de la fachada, L. Estos valores se han tomado de la siguiente manera: D = 0,30 m y L = 0,20 m

El resultado de la simulación con LIDER combinando el uso del voladizo y las lamas verticales se presenta en la Tabla G.5:

	% Demanda de referencia	
	Calefacción	**Refrigeración**
voladizo a S + lamas verticales a E y O	0%	64,5%

Tabla G.5: Disminución demanda de refrigeración por aplicación simultánea de voladizo horizontal a S y lamas verticales a E y O. Resultados de LIDER

Como puede observarse, la máxima reducción de demanda de refrigeración se consigue en este caso de uso simultáneo de voladizo en fachada sur y lamas verticales en fachadas este y oeste. El valor de dicha reducción respecto al caso de partida es de un 7,6%.

Estos estudios demuestran en primer lugar que el programa LIDER sí tiene en cuenta el uso de protecciones solares en el edifico objeto. También concluye que el uso de protecciones solares externas es beneficioso para reducir la demanda pero que es más efectiva la actuación sobre el factor solar de los vidrios, ya que ésta es una protección que actúa siempre, contrariamente a lo que pasa con las protecciones externas. La reducción máxima en la demanda (un 7,6% en el caso tratado) se obtiene por combinación de estos dos factores. Por último, se comprueba que la elección del sistema de protección solar ha de estar determinada por la orientación de la fachada en la que se instale. Así, la protección óptima a nivel de reducción de demanda de refrigeración para fachadas orientadas a este es el voladizo horizontal; para fachadas a este y oeste, las lamas verticales.
Para cuantificar el valor añadido que supone para el edificio el uso de protecciones solares se utilizará un programa de simulación energética de edificios, el Tas, que permitirá validar los resultados obtenidos mediante LIDER, así como obtener valores numéricos de consumo energético del edificio. Sin embargo, los valores de demanda que se obtengan en Tas no se corresponderán exactamente a los obtenidos con LIDER, ya que el estudio en LIDER se ha realizado con el edificio reducido (de tres plantas) para simplificar cálculos, mientras que el estudio en Tas se ha realizado con el edificio completo (10 plantas) para obtener los valores reales de demanda.

G.4. Resultados obtenidos por simulación en Tas

G.4.1. Fachada sur

En este caso se ha utilizado como protección solar el mismo voladizo definido en el apartado G.2. (mismas dimensiones y características). Se han comparado mediante Tas las demandas del caso de partida (vidrios con los valores mínimos del CTE-HE1) con las obtenidas en las mismas condiciones aplicando dicho voladizo a sur. Los resultados de las simulaciones realizadas son los siguientes:

	S	SE	SO	PB	TOTAL
Demanda Refrigeración Anual (kWh)					
sin protecciones solares	193.182	188.518	205.678	407.516	1.654.062
con voladizo a S	146.672	153.402	170.936	405.564	1.535.742
Reducción demanda	24,08%	18,63%	16,89%	0,48%	7,15%

Tabla G.6: Disminución de demanda de refrigeración por aplicación de un voladizo a sur. Resultados de Tas

Como puede observarse en la Tabla G.6, la orientación que más disminuye su demanda de refrigeración (un 23,43%) es la sur exacta, por delante de la SE (un 18,49%) y la SO (un 16,79%), que tan sólo se benefician parcialmente de la protección solar empleada. La disminución en la demanda total del edificio es de un 7,15%, equiparable al caso simulado en LIDER, con el que se obtenía una reducción máxima de demanda usando voladizos de un 5,1%.

G.4.2. Fachadas este y oeste

Del mismo modo que en el caso del LIDER, para las fachadas orientadas a este y oeste se ha implantado un sistema de protección solar a base de lamas verticales que actúan para posiciones bajas del sol. En el análisis realizado, se han comparado mediante Tas las demandas del caso de partida con las obtenidas en las mismas condiciones aplicando simultáneamente dichas lamas a este y oeste y el voladizo antes definido a sur. A continuación se expone el dimensionado de dichas lamas, según el CTE-HE1.

a) Cálculo y dimensionado de las lamas verticales.

Tal y como se hizo en el apartado G.3.2, se ha elegido también un sistema de lamas con ángulo de inclinación σ = 45. Con este valor de σ, se obtienen los siguientes valores de factor de sombra para las diferentes orientaciones contempladas:

Fachada E: $F_S = 0,45$

Fachada O: $F_S = 0,41$

A continuación se presenta, para las orientaciones E y O, el cálculo del factor solar modificado a aplicar, obtenido mediante el factor solar del vidrio y el factor de sombra de la protección solar. Debido a las dificultades técnicas para introducir en el programa Tas sistemas de lamas verticales, se aplicará este factor solar modificado íntegramente como factor solar de los vidrios.

Cálculo Fachada E:

El punto de partida es el mínimo exigido por el CTE-HE1:

U = 2,8 W/m^{2}K

Fs = 0 → $g_\perp$ = **0,35 = F**

Incorporando las lamas verticales, se obtiene:

Valores de cálculo:

$F_s = 0,45$

FM = 10%

$U_m = 3,2$ W/m^{2}K

α = 0,70

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \Rightarrow F = 0,45 \cdot [(1 - 0,1) \cdot 0,35 + 0,1 \cdot 0,04 \cdot 3,2 \cdot 0,7]$$

de donde: $\boxed{F = 0,145}$

Cálculo Fachada O:

El punto de partida es el mínimo exigido por el CTE-HE1:

U = 2,8 W/m^{2}K

Fs = 0 → $g_\perp$ = **0,35 = F**

Incorporando las lamas verticales, se obtiene:

Valores de cálculo:
$F_s = 0,41$
FM = 10%
$U_m = 3,2\ W/m^2K$
$\alpha = 0,70$

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \Rightarrow F = 0,41 \cdot [(1 - 0,1) \cdot 0,35 + 0,1 \cdot 0,04 \cdot 3,2 \cdot 0,7]$$

de donde: $\boxed{F = 0,103}$

b) Resultados obtenidos con uso simultáneo de voladizo a S y lamas verticales a E y O.

Los resultados de las simulaciones realizadas con Tas combinando el uso del voladizo y las lamas verticales se presentan en la Tabla G.7:

	Demanda Refrigeración Anual (kWh)		
	sin protecciones solares	**con voladizo a S + lamas verticales a E y O**	**Reducción demanda**
N	123.411	123.411	0,00%
S	193.182	146.672	24,08%
E	124.108	115.410	7,01%
O	140.255	122.222	12,86%
NE	128.338	124.685	2,85%
NO	143.056	131.177	8,30%
SE	188.518	143.331	23,97%
SO	205.678	151.199	26,49%
PB	407.516	392.356	3,72%
TOTAL	1.654.062	1.450.463	12,31%

Tabla G.7: Demanda de refrigeración por orientaciones para los diferentes casos estudiados de protecciones solares. Datos obtenidos por simulación con Tas

Como puede observarse, la máxima reducción de demanda que se consigue es de un 12,31%, en el caso de uso simultáneo de voladizo en fachada sur y lamas verticales en fachadas este y oeste. La orientación que más reduce su demanda es la SO, en un 26,49%, seguida de la SE, con un 23,97% y la S, con un 24,08%. La orientación SO es la crítica, al ser la más expuesta a las ganancias solares; por ello, el uso de las protecciones solares adecuadas según orientación resulta muy efectivo para disminuir la demanda de refrigeración del edificio.

ANEXO H: Estudio térmico realizado mediante la herramienta informática Tas (Thermal Analysis Simulator)

ANEXO H: Estudio térmico realizado mediante la herramienta informática Tas (Thermal Analysis Simulator)

H.1. Introducción

Este Anexo pretende mostrar los criterios establecidos para el estudio térmico con el que se han analizado las demandas de climatización del edificio objeto, así como las diferentes temperaturas que definen el confort de los espacios interiores. El estudio se ha realizado mediante el programa informático Tas de EDSL, con el que se han realizado una serie de simulaciones térmicas horarias correspondientes a un período de un año. De este modo se detectan las temperaturas de los espacios, así como las demandas de calefacción y refrigeración para las 24 horas de cada uno de los días del año.

H.2. Herramienta informática utilizada

La herramienta informática utilizada es Tas, Thermal Analysis Software.

Es una herramienta de simulación informática para el análisis del comportamiento térmico de los edificios en función de la geometría, los cerramientos utilizados, las cargas internas, los sistemas de climatización, la orientación del edificio, el entorno y la climatología de la zona.

Orientación y ubicación del edificio:

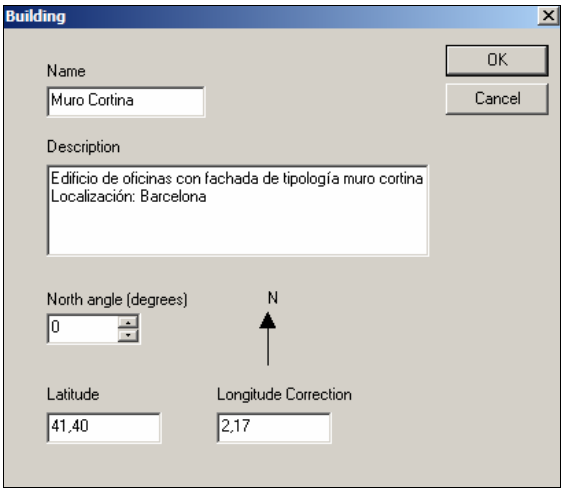


Figura H.1: Orientación y ubicación del edificio

Los resultados que se pueden obtener son:

- Estimación del impacto solar. Proyección de sombras propias o de edificios cercanos.
- Análisis del comportamiento térmico de las fachadas, vidrios, etc.
- Análisis de las condiciones térmicas de la zona interior.

H.3. Metodología para la simulación térmica

La simulación térmica con Tas tiene en cuenta una serie de procesos de transmisión de calor de forma transitoria (hora a hora). Estos procesos son:

Conducción: la conducción a través de la estructura del edificio se trata de forma transitoria a lo largo del tiempo. Mediante un procedimiento informático basado en iteraciones se calculan los flujos de calor por conducción en las superficies como paredes, ventanas, tabiques, etc., en función del tiempo y de la temperatura del instante anterior. Este proceso se ha aplicado en el edificio mediante la descripción de las características térmicas de todos los cerramientos implicados.

Convección: la convección en las superficies del edificio y en los espacios interiores se trata utilizando una combinación de relaciones empíricas y teóricas que relacionan el flujo térmico por convección con la diferencia de temperaturas y la orientación de las superficies. En el caso de la convección externa, ésta está relacionada con la velocidad del viento.

Radiación: el intercambio de calor por radiación de onda larga se modela utilizando la ley de Stefan-Boltzman, así como las emisividades superficiales de los materiales y las estructuras que componen el edificio. La radiación solar absorbida, reflejada y la transmitida por cada elemento del edificio se calcula a partir de los datos solares de Barcelona proporcionados por el programa. Este aspecto se resuelve dividiendo la radiación en componentes directos y difusos, y calculando los flujos incidentes en función de la posición del sol y de modelos empíricos de radiación celeste.

Incrementes térmicos internos: estos incrementos térmicos, entre los que se incluyen: iluminación, equipos y ocupantes del edificio, así como los índices de infiltración y los programas de funcionamiento de las plantas se agrupan en perfiles y se aplican a las diferentes zonas del modelo.

H.4. Definición del edificio objeto

El edificio se ha diseñado siguiendo los mismos criterios utilizados en el modelo del LIDER: igual localización (Barcelona) y orientación de fachadas, mismas dimensiones y número de plantas, misma distribución interior de espacios y materiales de características (F y U) equivalentes.

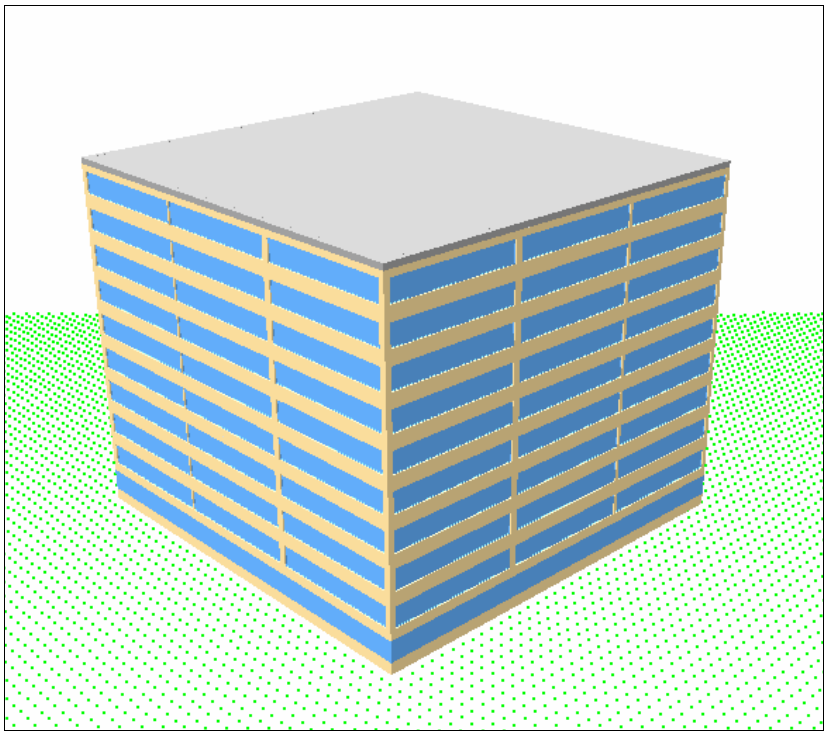


Figura H.2: Vista general del modelo de edificio introducido en Tas

Se ha empleado un horario de oficinas de 12 h (8-20h), en las que funcionan de manera continua los equipos de climatización.

Se han zonificado todas las orientaciones posibles, agrupando los espacios iguales en tres tipos: los pertenecientes a la segunda planta - directamente en contacto con el espacio diáfano de planta baja -, los de las plantas interiores (P3 a P9) y los de la planta superior – en contacto directo con la cubierta-.

Respecto a las condiciones internas de los espacios, se han considerado los mismos valores de cargas internas que los que emplea LIDER para realizar sus cálculos. Estos valores son, según [6]:

Alta carga Interna:

- Ocupación: 7,2 m^2/persona
  - ✓ calor sensible: 71,79 W/persona→ 9,96 W/m^2 (caso de estudio)
  - ✓ calor latente: 45,42 W/persona → 6,3 W/m^2 (caso de estudio)
- Iluminación: 7,5 W/m^2
- Equipos: 7,5 W/m^2
- Valores nominales para el total de fuentes internas: 31,28 W/m^2

Cabe señalar que para el cálculo de los valores pico de demanda (Apartado H.6.2.) los ratios expuestos, a pesar de determinar según LIDER un caso de alta carga interna, representan según el documento [7], expuesto en el *Anexo K*, un caso de baja carga interna, al ser el ratio menor de 35 W/m^2.

H.5. Análisis del confort térmico

Este estudio pretende determinar cómo afectan las propiedades de los vidrios utilizados en el confort térmico de los usuarios del edificio. El punto de partida para la simulación en Tas son los vidrios de transmitancia térmica máxima y factor solar mínimo que permite el DB-HE1. Posteriormente se han simulado los casos óptimos de demanda de refrigeración encontrados en el estudio con LIDER: vidrios de F = 0,2, de U = 4,4 W/m^2 K y la solución combinada.

H.5.1. Tablas resumen de las simulaciones realizadas

A continuación se presentan los gráficos con los datos obtenidos en la secuencia de simulaciones realizada. Se han representado (para cada orientación y tipo de espacio) para tres días característicos del año, los siguientes parámetros: temperatura exterior, temperatura radiante y temperatura resultante.

a) Simulaciones con los valores de vidrios establecidos por el CTE-HE1

a.1) Orientación Norte

21 de diciembre (día 355)

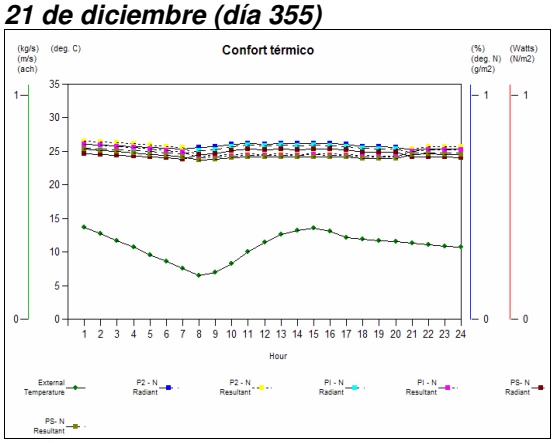


Figura H.3.

21 de junio (día 172)

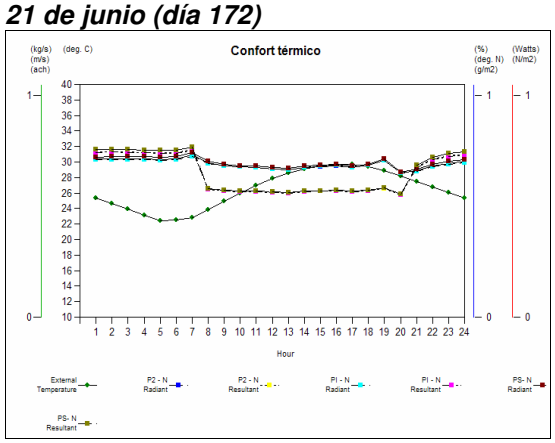


Figura H.4.

21 de septiembre (día 264)

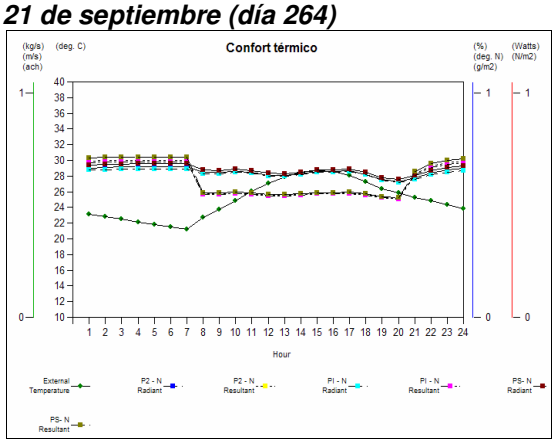


Figura H.5.

a.2) Orientación Sur

21 de diciembre (día 355)

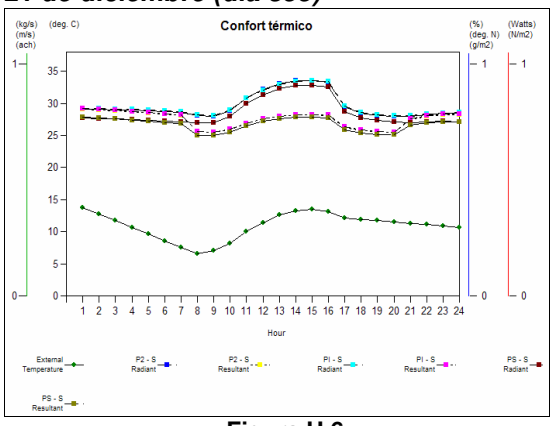


Figura H.6.

21 de junio (día 172)

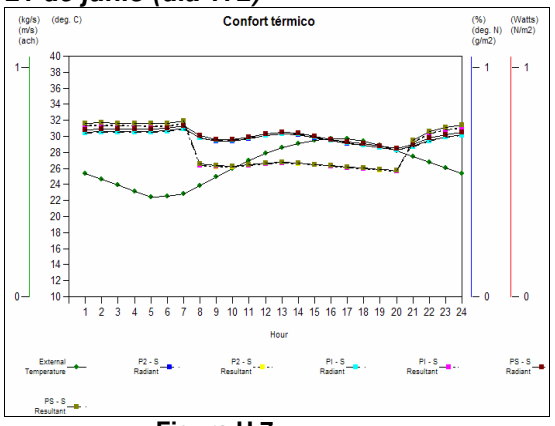


Figura H.7.

21 de septiembre (día 264)

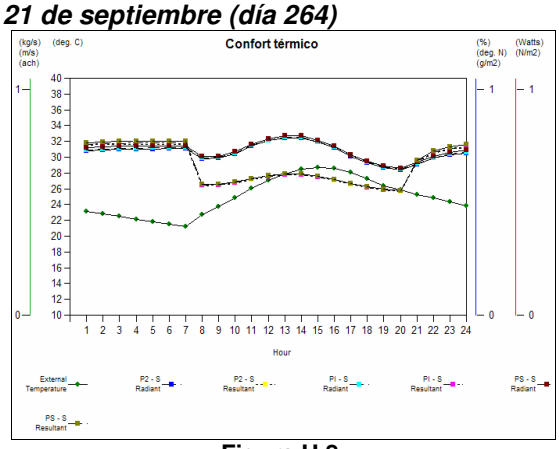


Figura H.8.

a.3) Orientación Este

21 de diciembre (día 355)

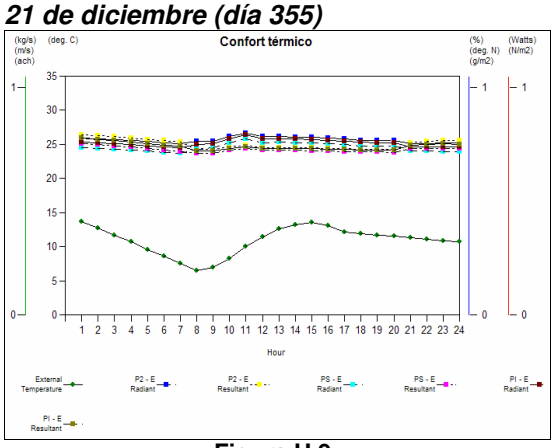


Figura H.9.

21 de junio (día 172)

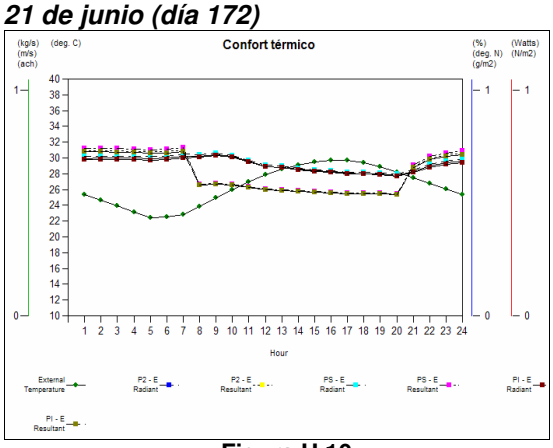


Figura H.10.

21 de septiembre (día 264)

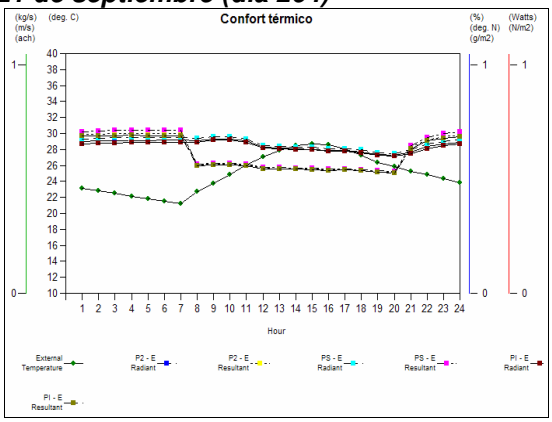


Figura H.11.

a.4) Orientación Oeste

21 de diciembre (día 355)

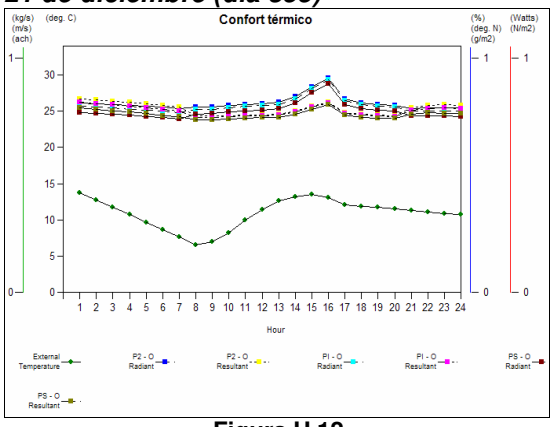


Figura H.12.

21 de junio (día 172)

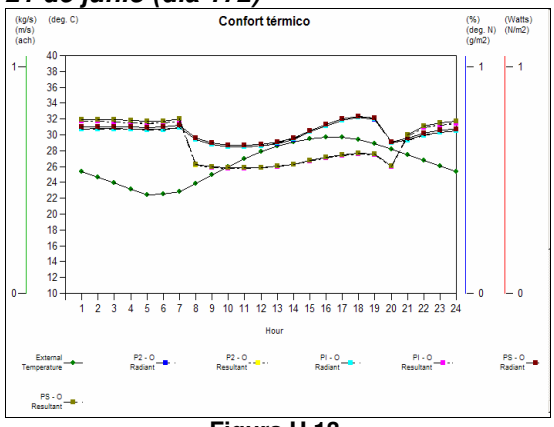


Figura H.13.

21 de septiembre (día 264)

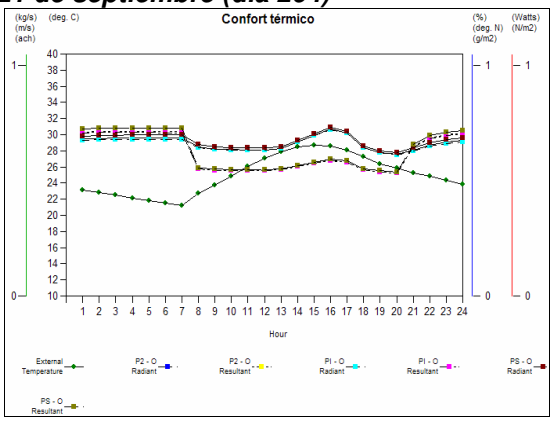


Figura H.14.

a.5) Orientación NE

21 de diciembre (día 355)

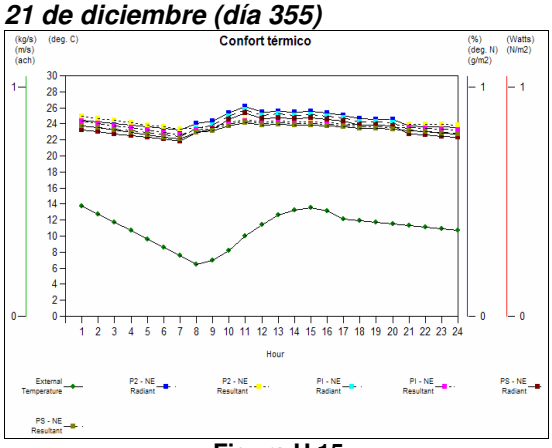


Figura H.15.

21 de junio (día 172)

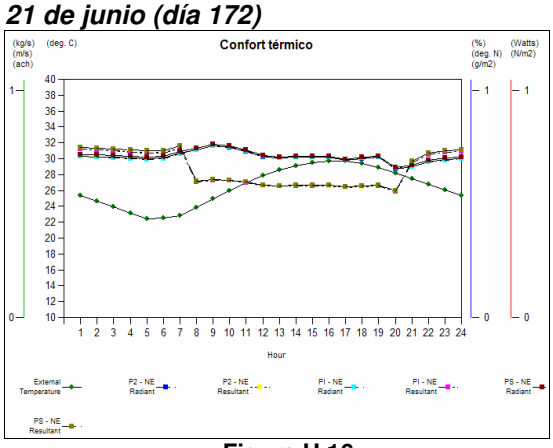


Figura H.16.

21 de septiembre (día 264)

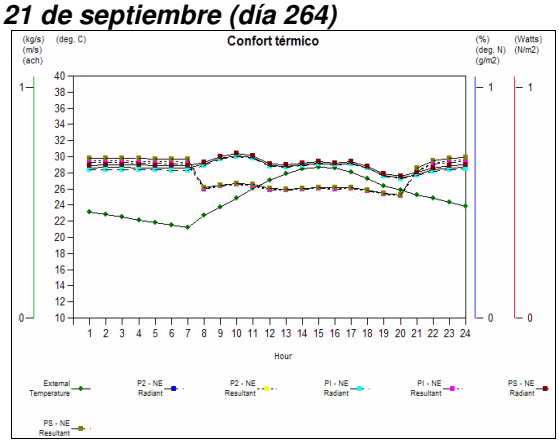


Figura H.17.

a.6) Orientación NO

21 de diciembre (día 355)

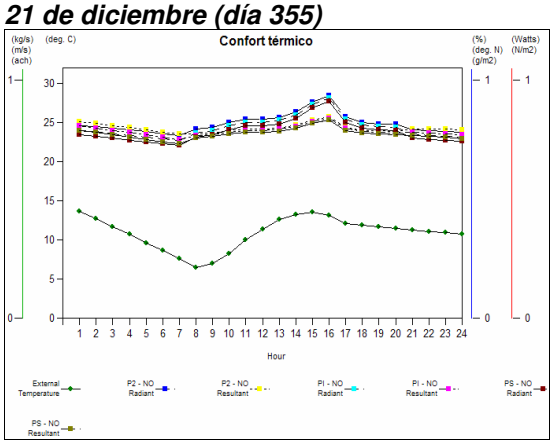


Figura H.18.

21 de junio (día 172)

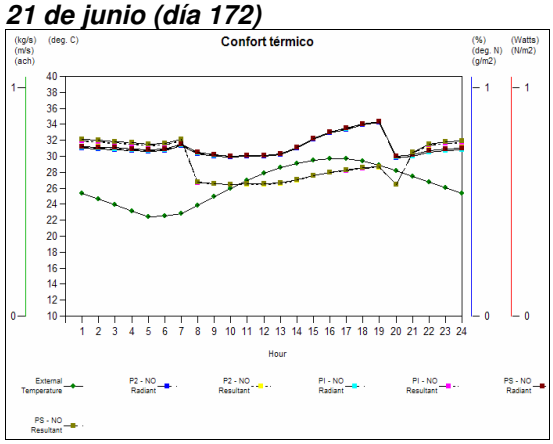


Figura H.19.

21 de septiembre (día 264)

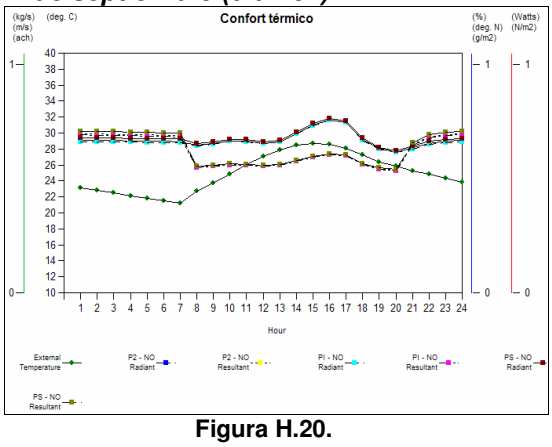


Figura H.20.

a.7) Orientación SE

21 de diciembre (día 355)

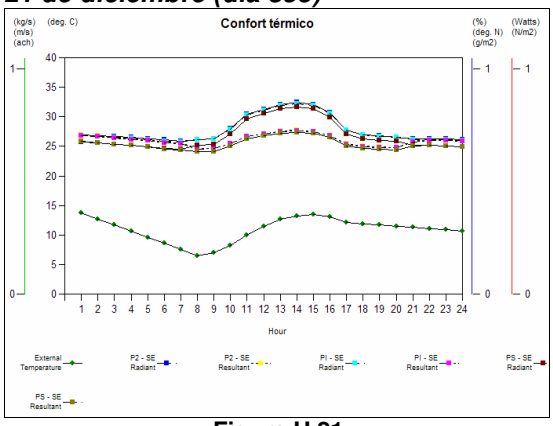


Figura H.21.

21 de junio (día 172)

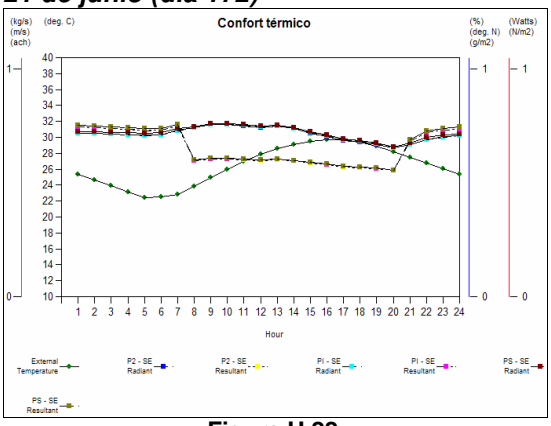


Figura H.22.

21 de septiembre (día 264)

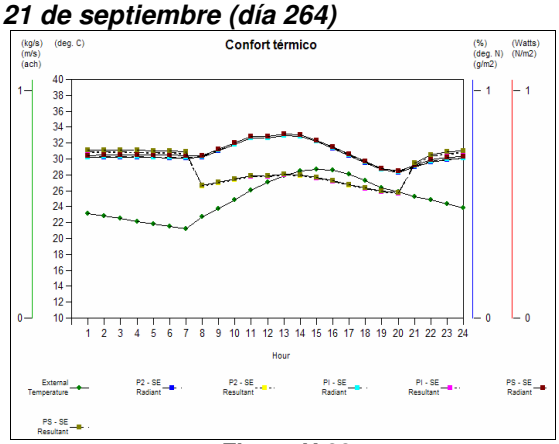


Figura H.23.

a.8) Orientación SO

21 de diciembre (día 355)

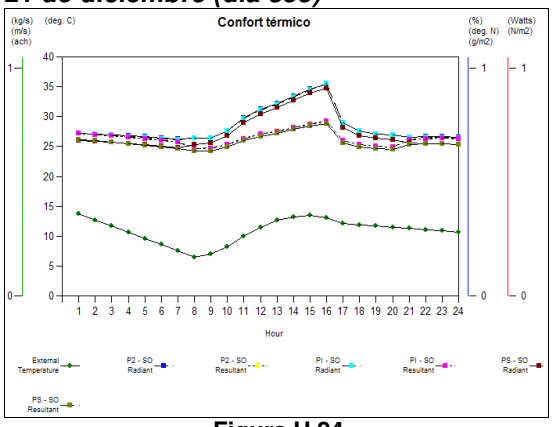


Figura H.24.

21 de junio (día 172)

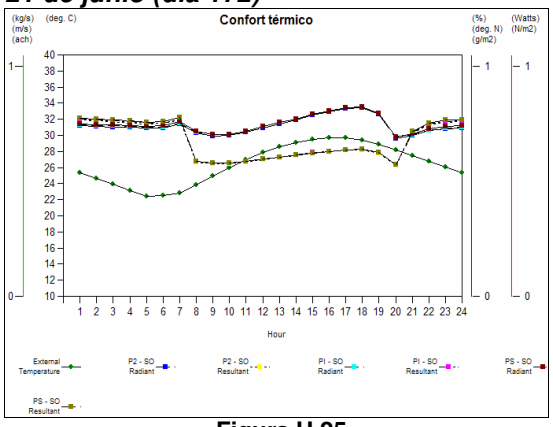


Figura H.25.

21 de septiembre (día 264)

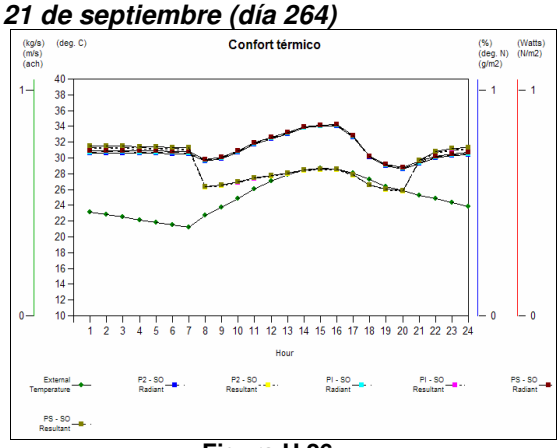


Figura H.26.

b) Caso óptimo para disminución del factor solar

b.1) Orientación Norte

21 de diciembre (día 355)

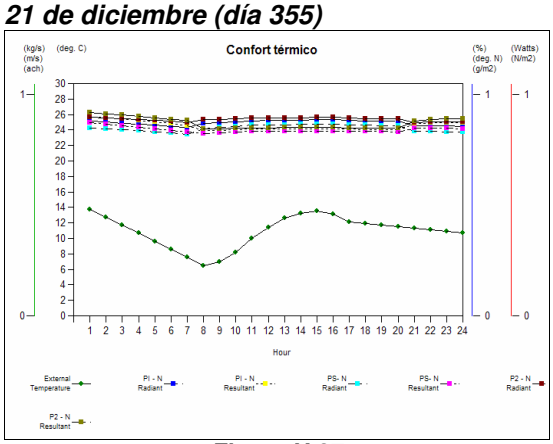


Figura H.27.

21 de junio (día 172)

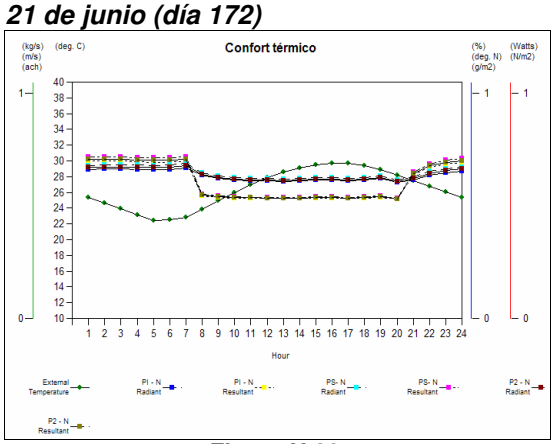


Figura H.28.

21 de septiembre (día 264)

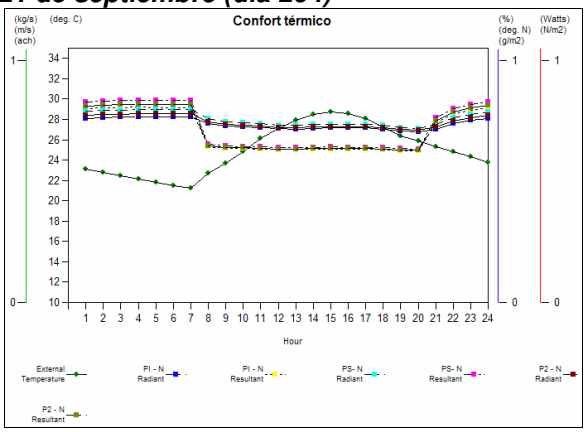


Figura H.29.

b.2) Orientación Sur

21 de diciembre (día 355)

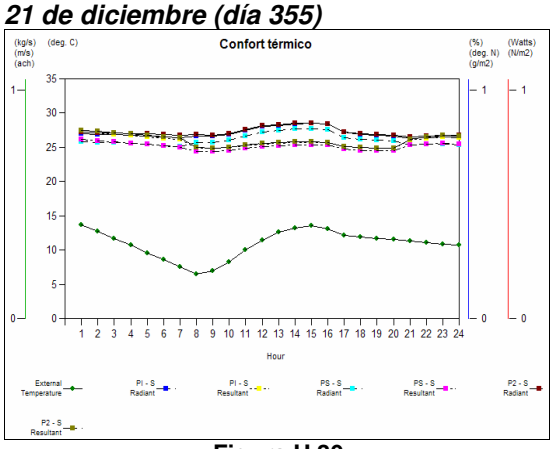


Figura H.30.

21 de junio (día 172)

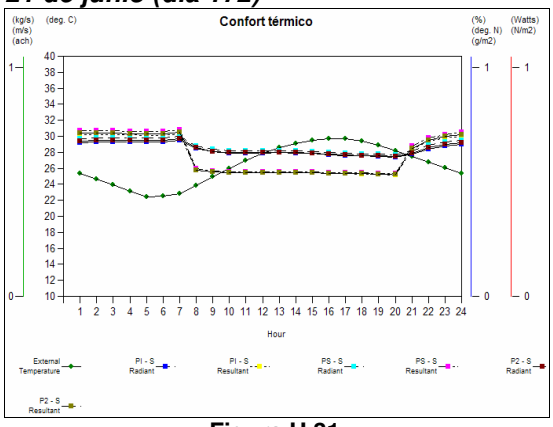


Figura H.31.

21 de septiembre (día 264)

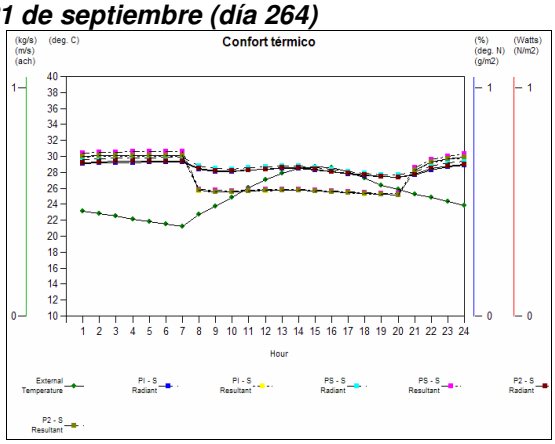


Figura H.32.

b.3) Orientación Este

21 de diciembre (día 355)

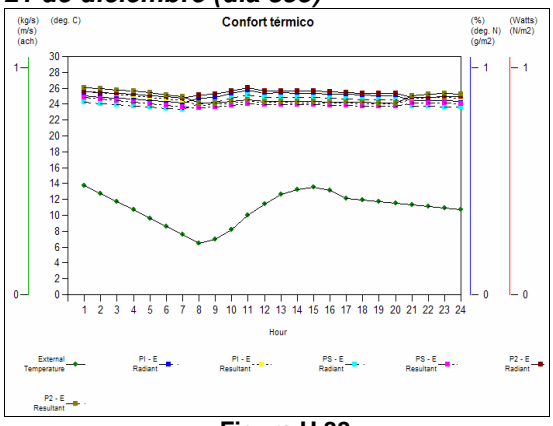


Figura H.33.

21 de junio (día 172)

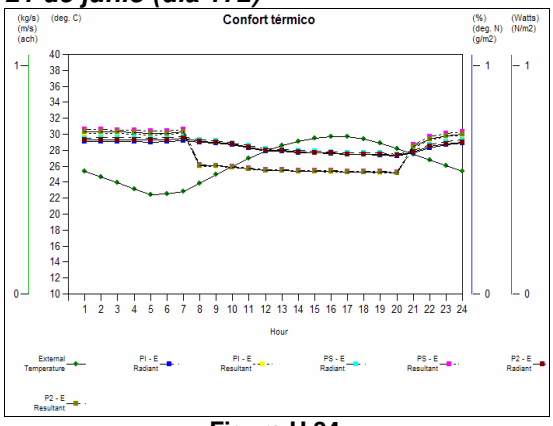


Figura H.34.

21 de septiembre (día 264)

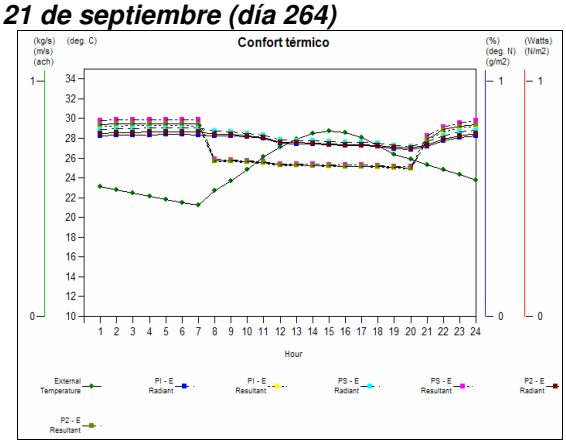


Figura H.35.

b.4) Orientación Oeste

21 de diciembre (día 355)

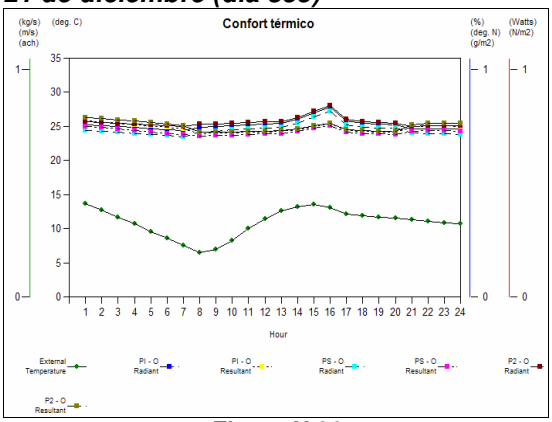


Figura H.36.

21 de junio (día 172)

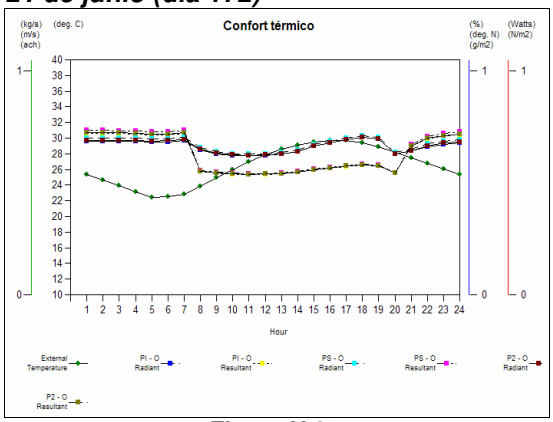


Figura H.37.

21 de septiembre (día 264)

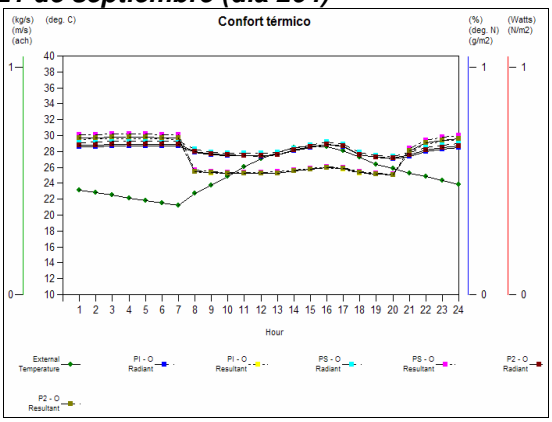


Figura H.38.

b.5) Orientación NE

21 de diciembre (día 355)

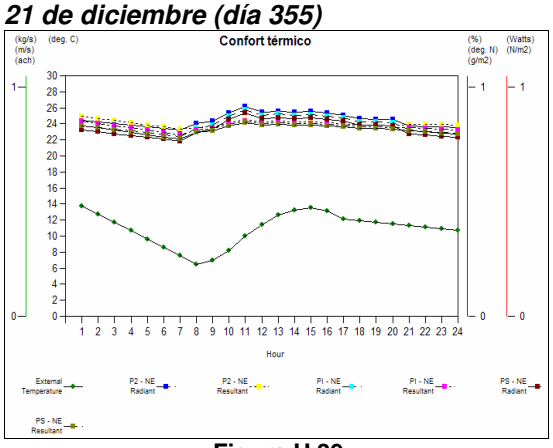


Figura H.39.

21 de junio (día 172)

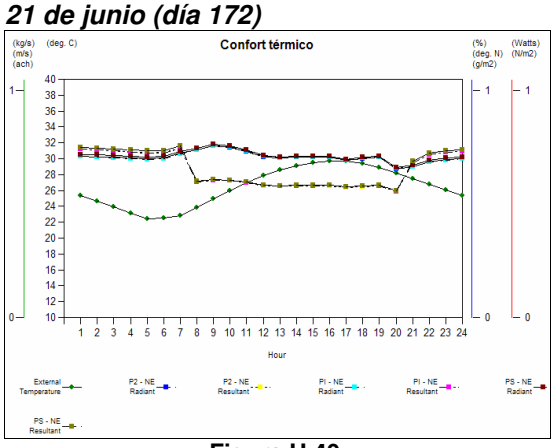


Figura H.40.

21 de septiembre (día 264)

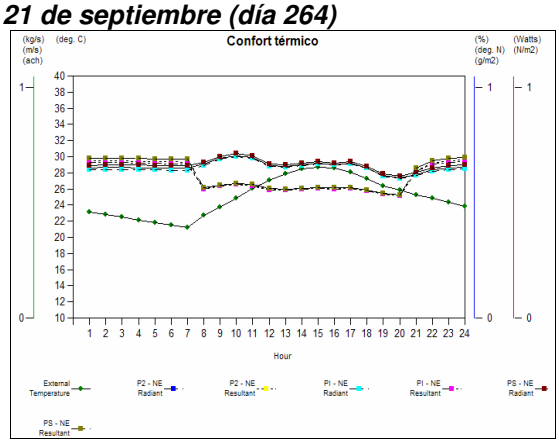


Figura H.41.

b.6) Orientación NO

21 de diciembre (día 355)

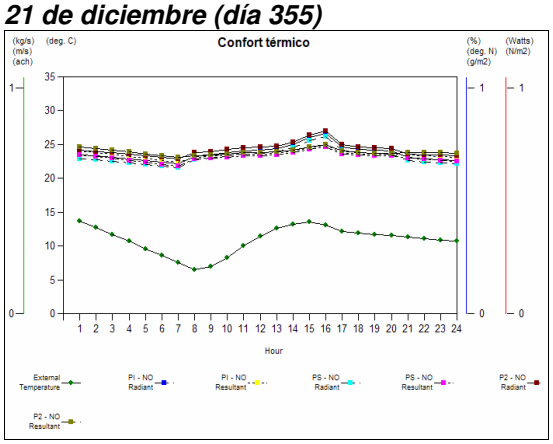


Figura H.42.

21 de junio (día 172)

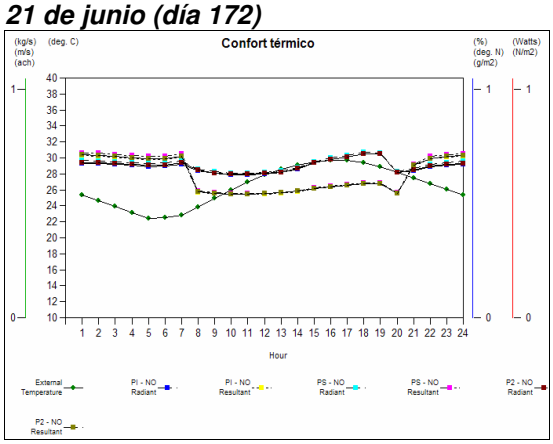


Figura H.43.

21 de septiembre (día 264)

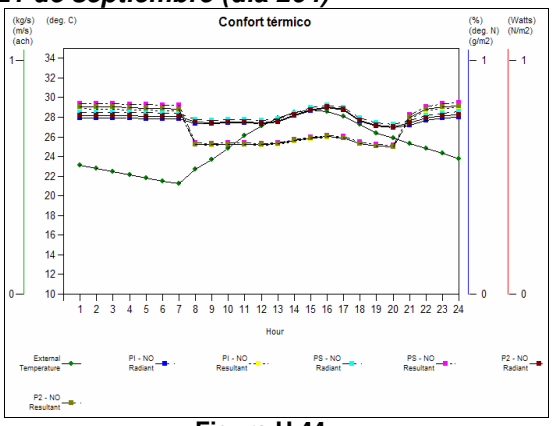


Figura H.44.

b.7) Orientación SE

21 de diciembre (día 355)

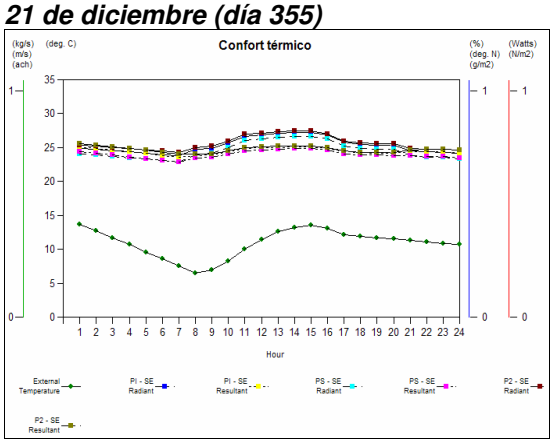


Figura H.45.

21 de junio (día 172)

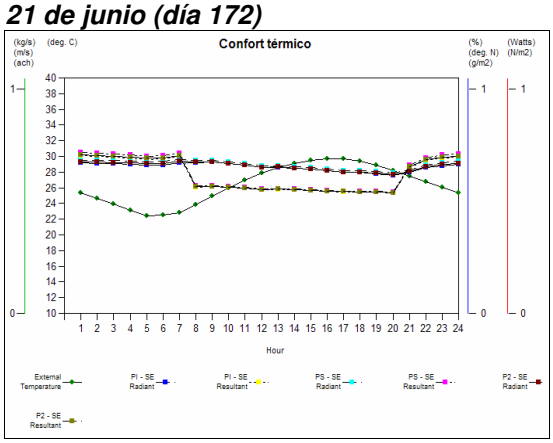


Figura H.46.

21 de septiembre (día 264)

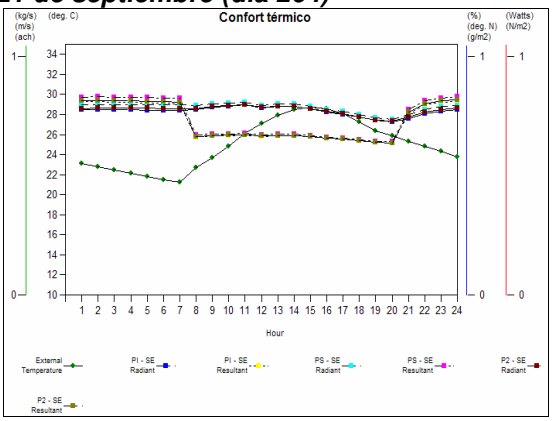


Figura H.47.

b.8) Orientación SO

21 de diciembre (día 355)

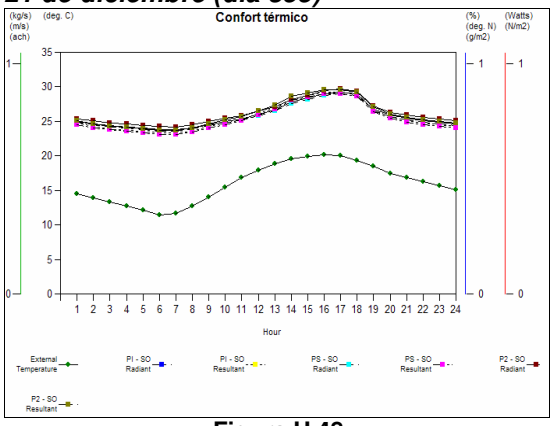


Figura H.48.

21 de junio (día 172)

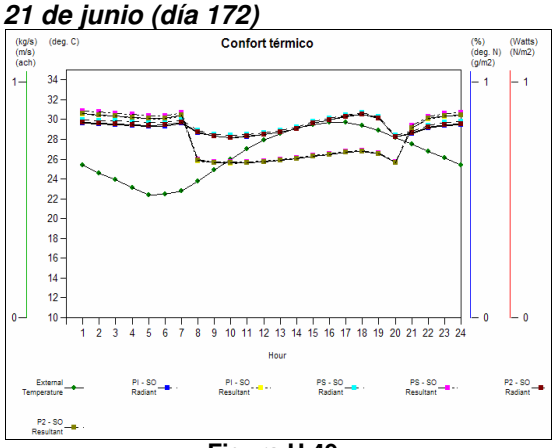


Figura H.49.

21 de septiembre (día 264)

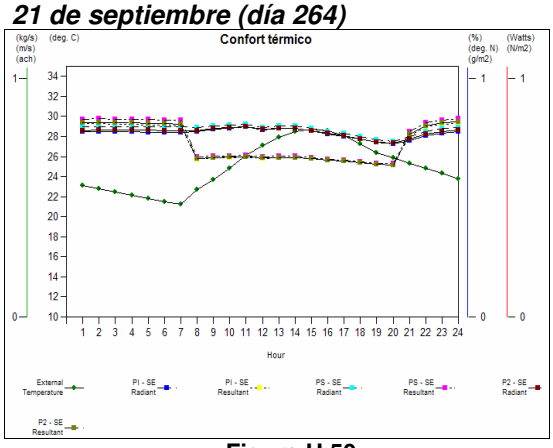


Figura H.50.

c) Caso óptimo para aumento del coeficiente de transmisión térmica

c.1) Orientación Norte

21 de diciembre (día 355)

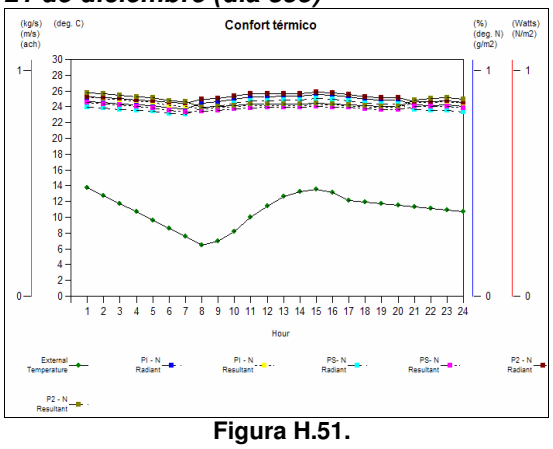


Figura H.51.

21 de junio (día 172)

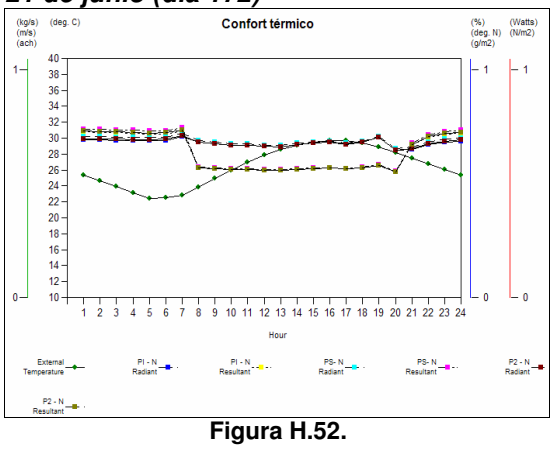


Figura H.52.

21 de septiembre (día 264)

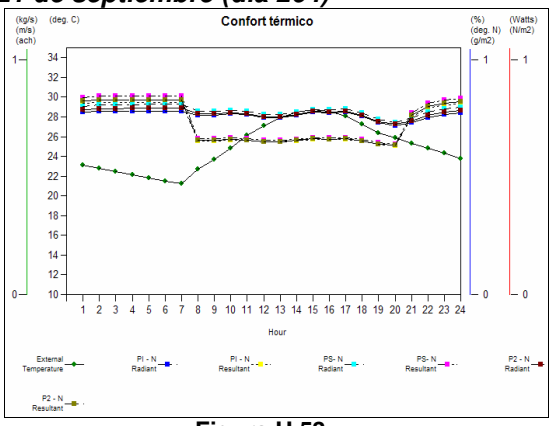


Figura H.53.

c.2) Orientación Sur

21 de diciembre (día 355)

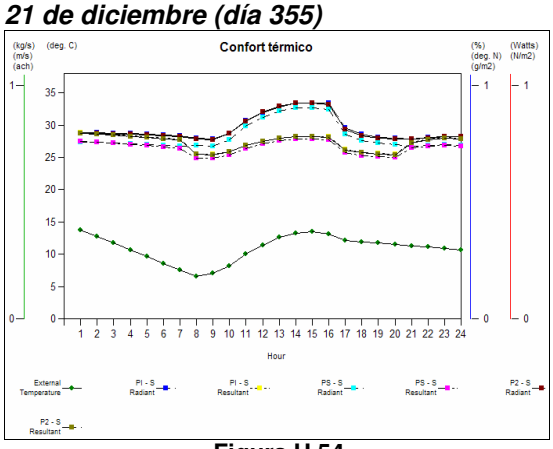


Figura H.54.

21 de junio (día 172)

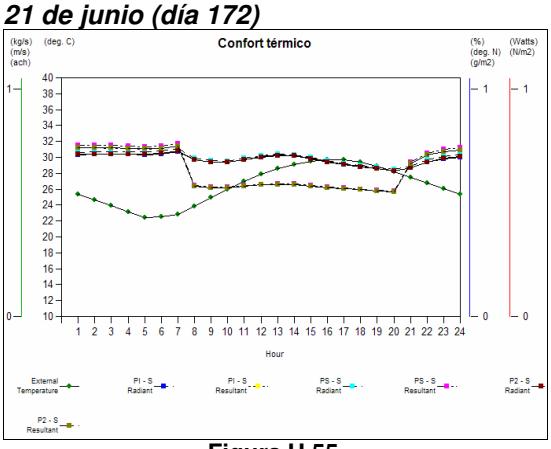


Figura H.55.

21 de septiembre (día 264)

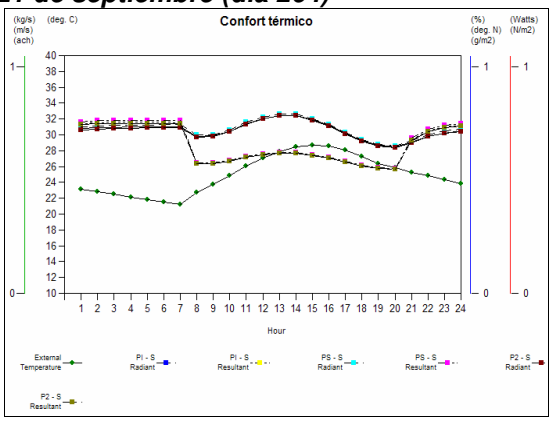


Figura H.56.

c.3) Orientación Este

21 de diciembre (día 355)

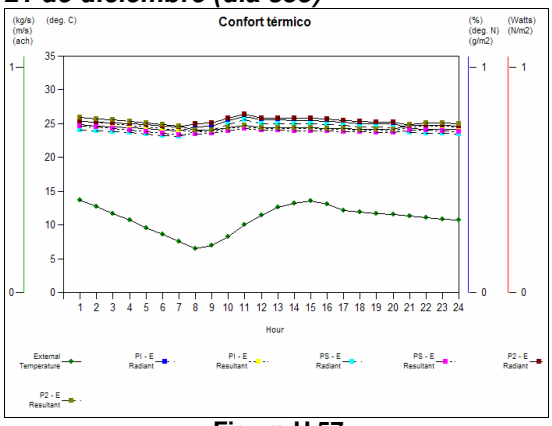


Figura H.57.

21 de junio (día 172)

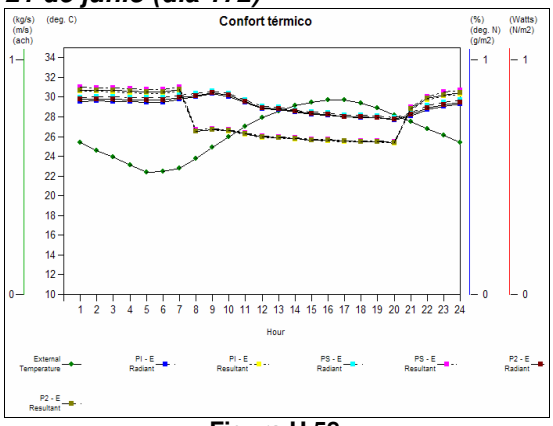


Figura H.58.

21 de septiembre (día 264)

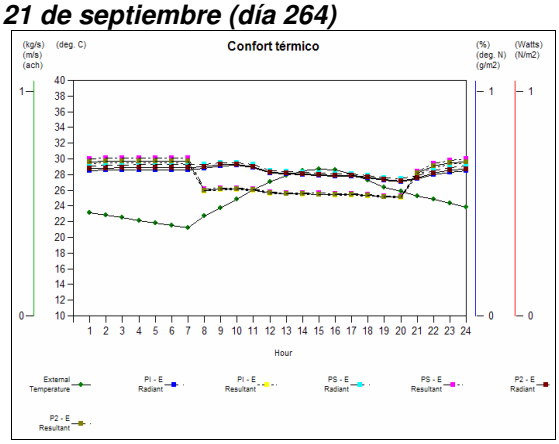


Figura H.59.

c.4) Orientación Oeste

21 de diciembre (día 355)

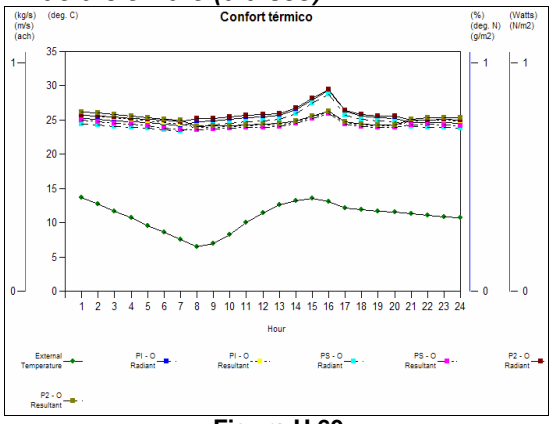


Figura H.60.

21 de junio (día 172)

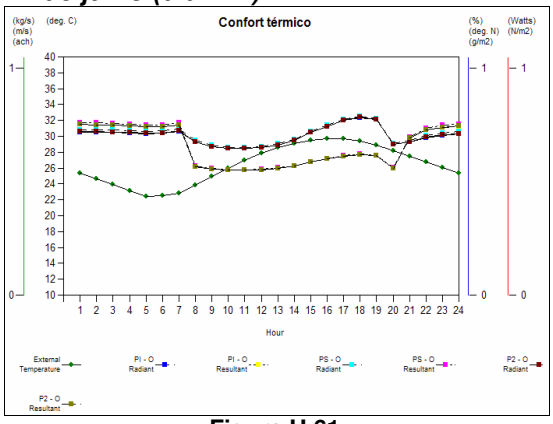


Figura H.61.

21 de septiembre (día 264)

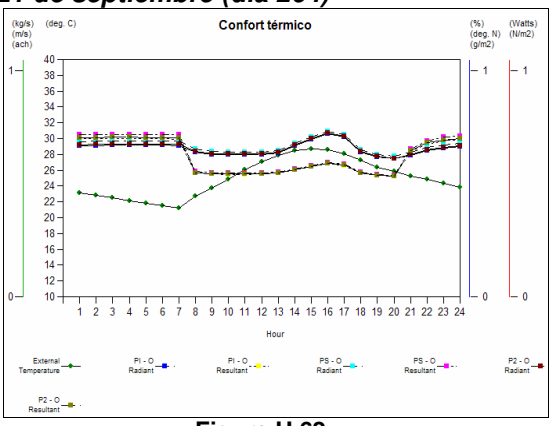


Figura H.62.

c.5) Orientación NE

21 de diciembre (día 355)

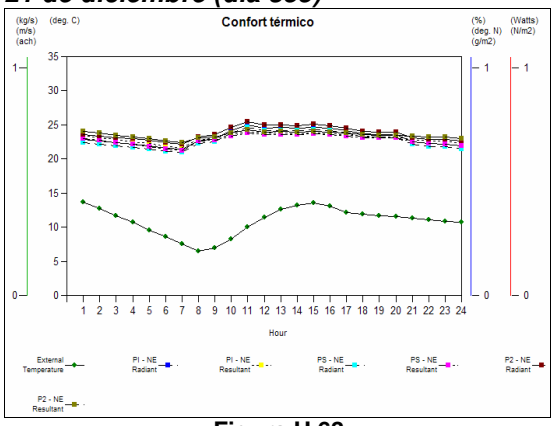


Figura H.63.

21 de junio (día 172)

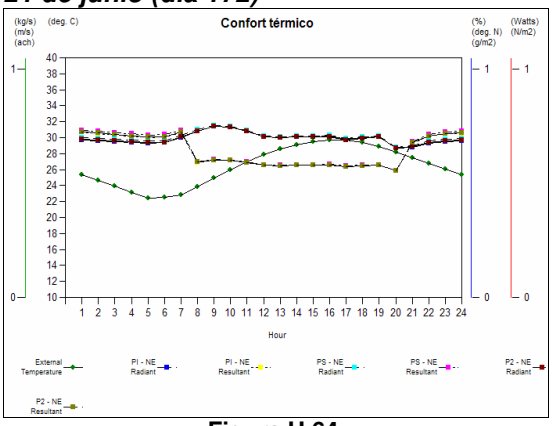


Figura H.64.

21 de septiembre (día 264)

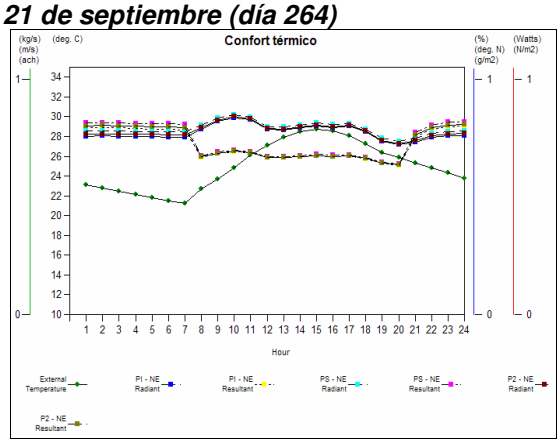


Figura H.65.

c.6) Orientación NO

21 de diciembre (día 355)

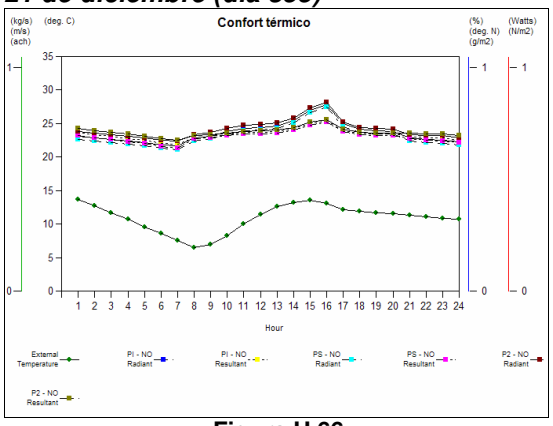


Figura H.66.

21 de junio (día 172)

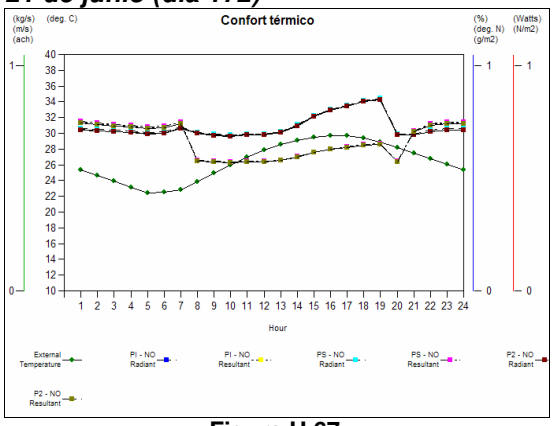


Figura H.67.

21 de septiembre (día 264)

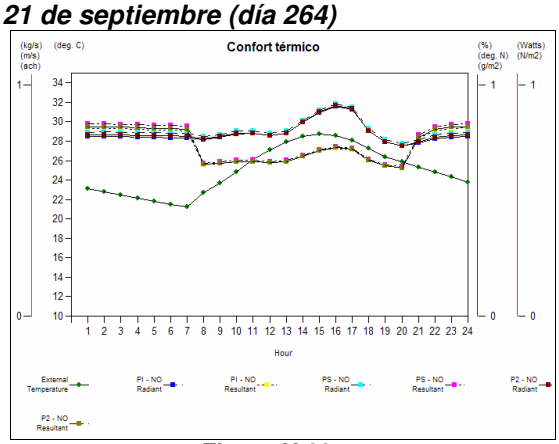


Figura H.68.

c.7) Orientación SE

21 de diciembre (día 355)

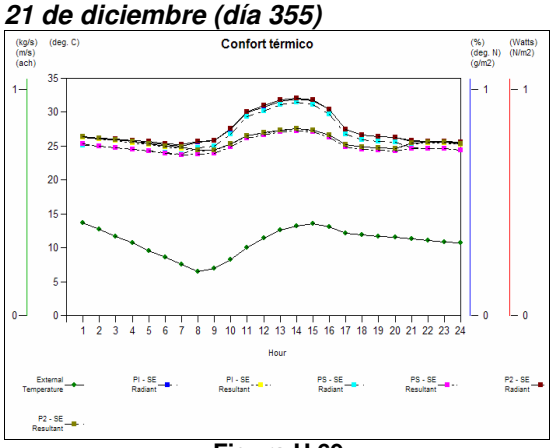


Figura H.69.

21 de junio (día 172)

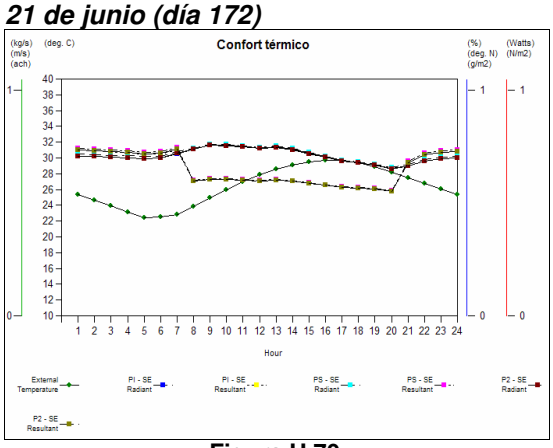


Figura H.70.

21 de septiembre (día 264)

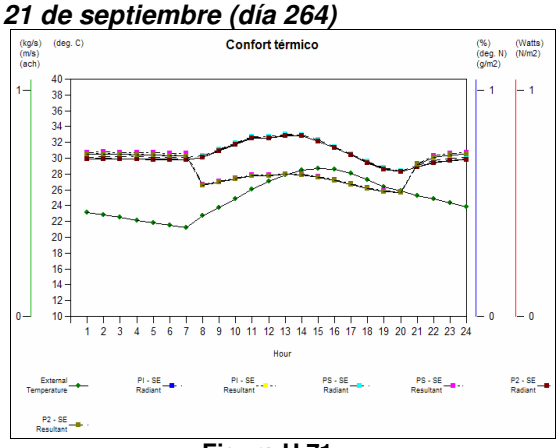


Figura H.71.

c.8) Orientación SO

21 de diciembre (día 355)

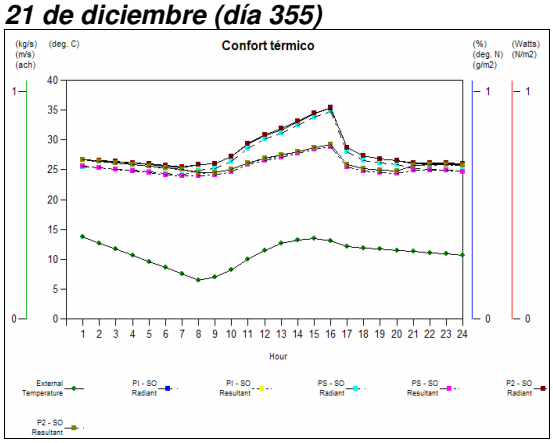


Figura H.72.

21 de junio (día 172)

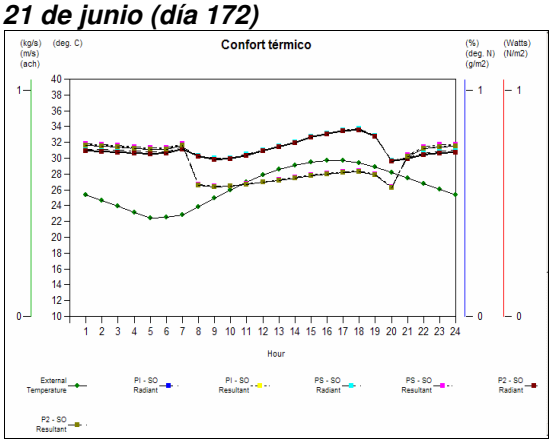


Figura H.73.

21 de septiembre (día 264)

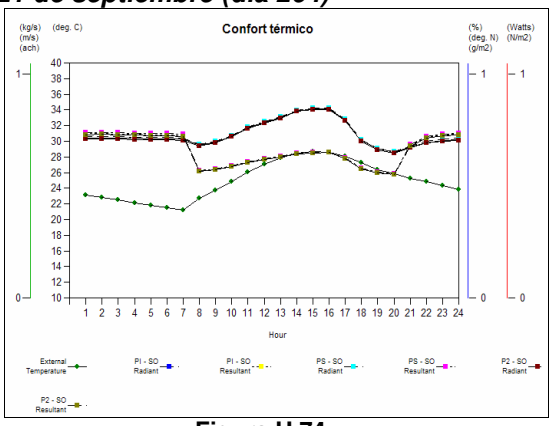


Figura H.74.

d) Caso óptimo combinado

d.1) Orientación Norte

21 de diciembre (día 355)

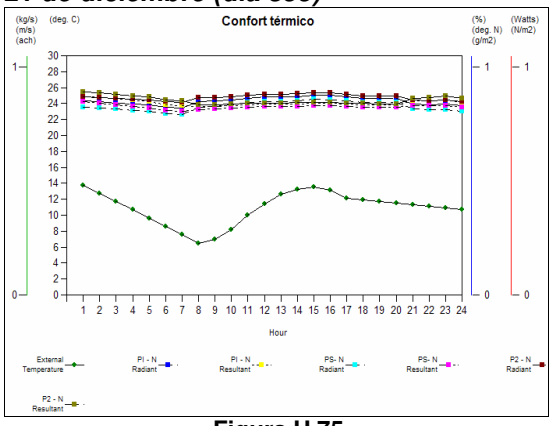


Figura H.75.

21 de junio (día 172)

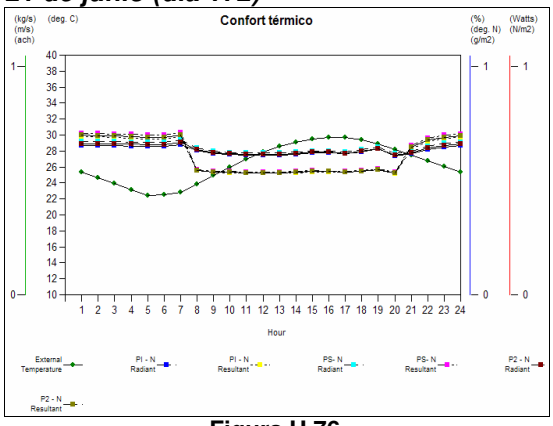


Figura H.76.

21 de septiembre (día 264)

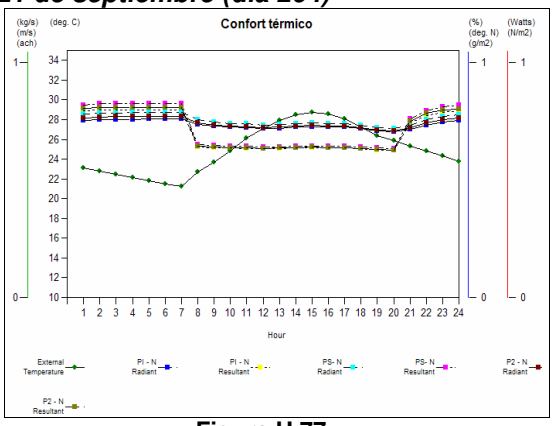


Figura H.77.

d.2) Orientación Sur

21 de diciembre (día 355)

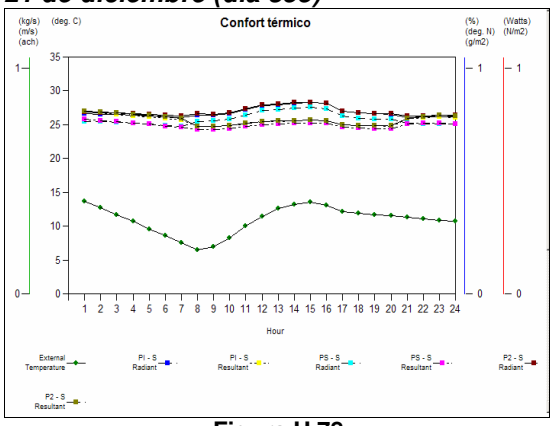


Figura H.78.

21 de junio (día 172)

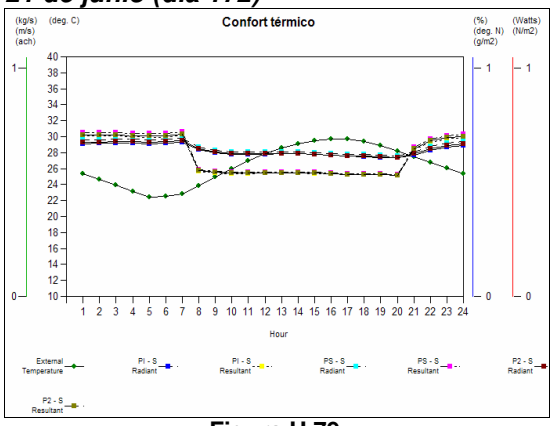


Figura H.79.

21 de septiembre (día 264)

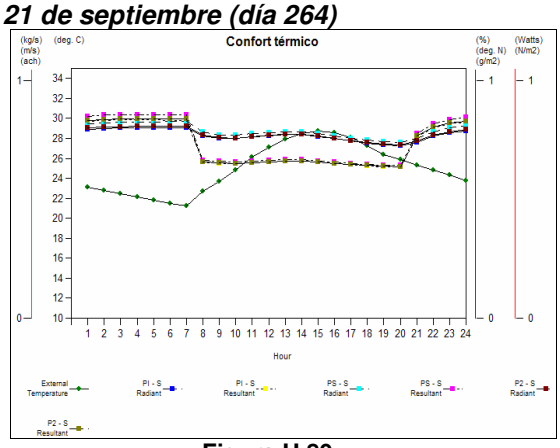


Figura H.80.

d.3) Orientación Este

21 de diciembre (día 355)

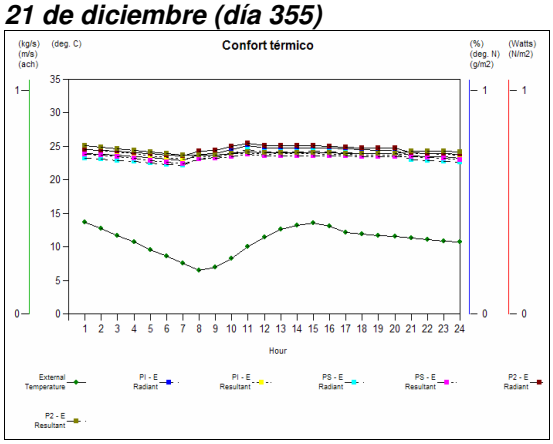


Figura H.81.

21 de junio (día 172)

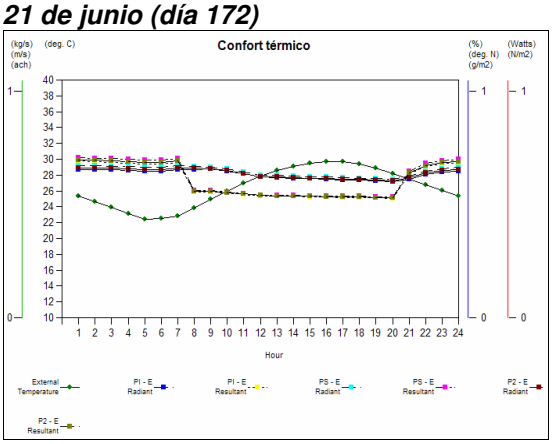


Figura H.82.

21 de septiembre (día 264)

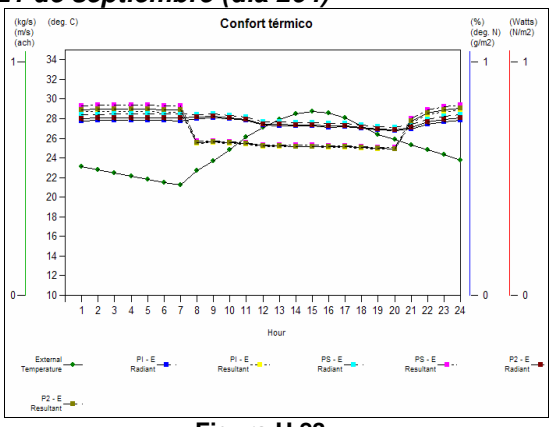


Figura H.83.

d.4) Orientación Oeste

21 de diciembre (día 355)

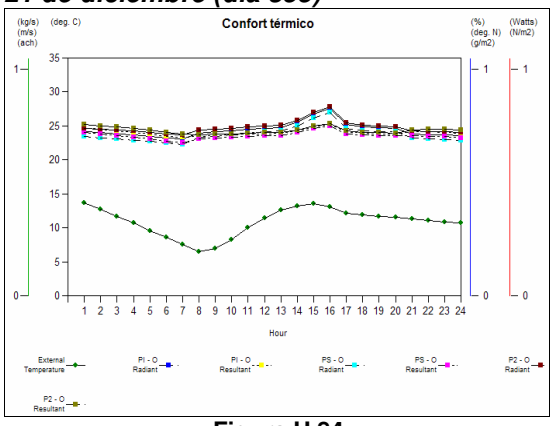


Figura H.84.

21 de junio (día 172)

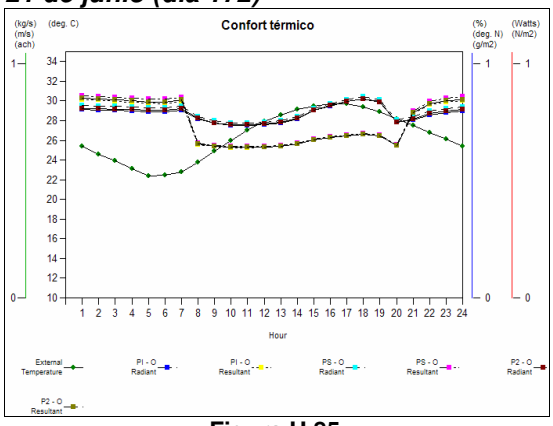


Figura H.85.

21 de septiembre (día 264)

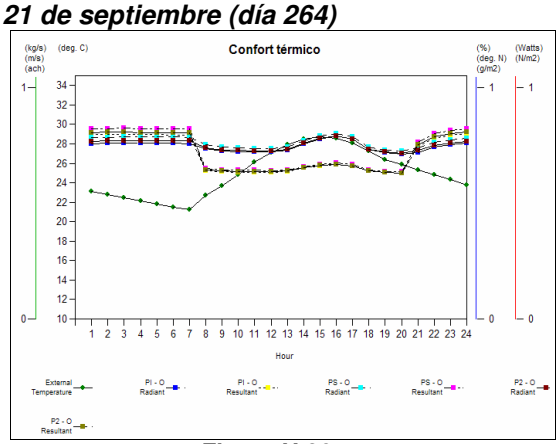


Figura H.86.

d.5) Orientación NE

21 de diciembre (día 355)

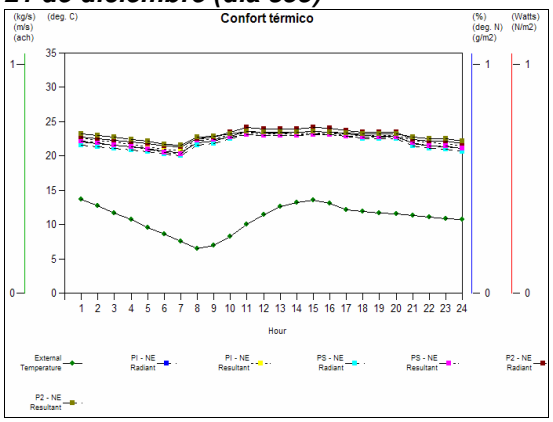


Figura H.87.

21 de junio (día 172)

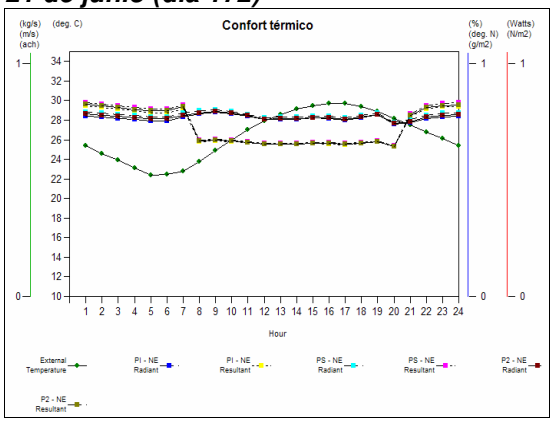


Figura H.88.

21 de septiembre (día 264)

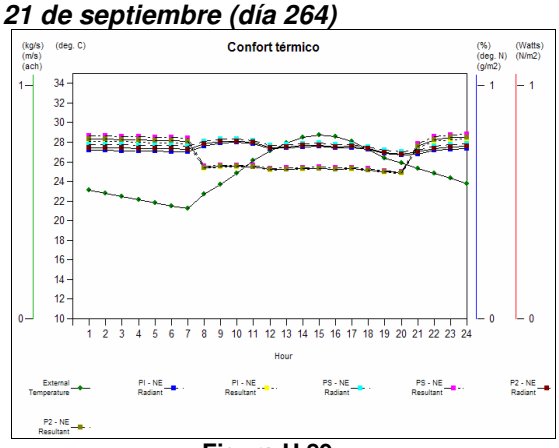


Figura H.89.

d.6) Orientación NO

21 de diciembre (día 355)

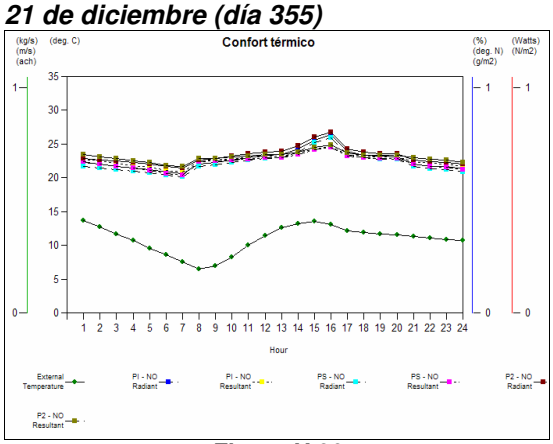


Figura H.90.

21 de junio (día 172)

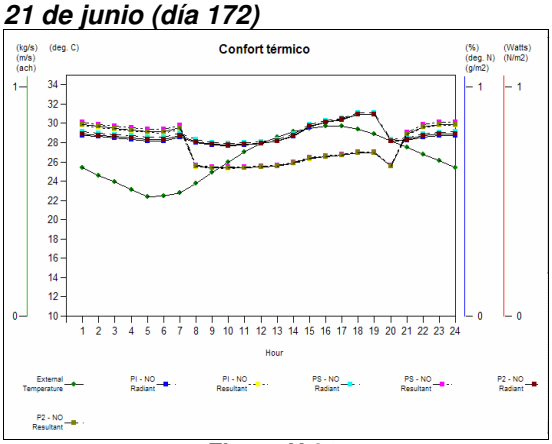


Figura H.91.

21 de septiembre (día 264)

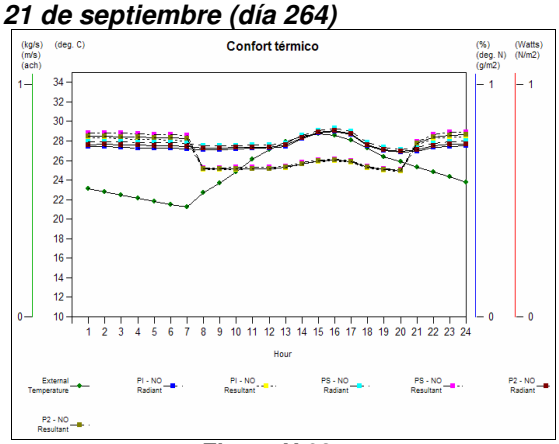


Figura H.92.

d.7) Orientación SE

21 de diciembre (día 355)

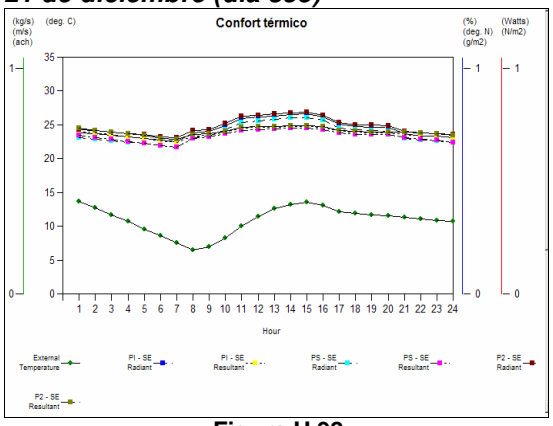


Figura H.93.

21 de junio (día 172)

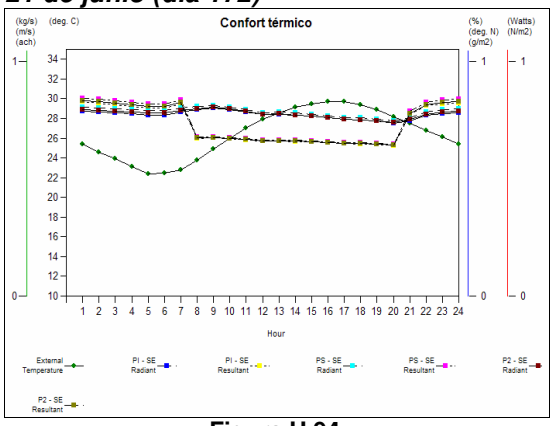


Figura H.94.

21 de septiembre (día 264)

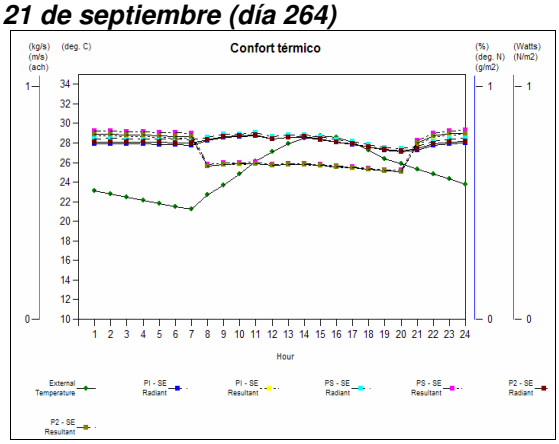


Figura H.95.

d.8) Orientación SO

21 de diciembre (día 355)

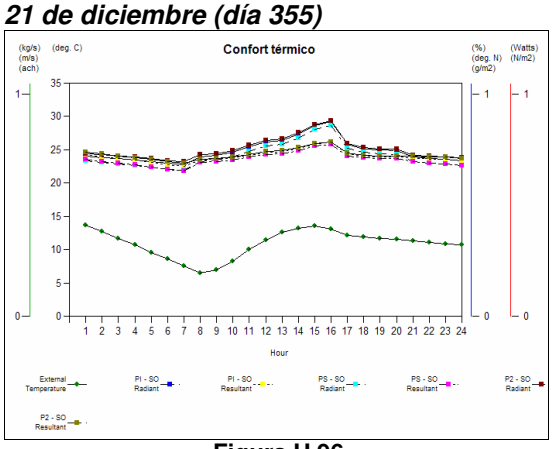


Figura H.96.

21 de junio (día 172)

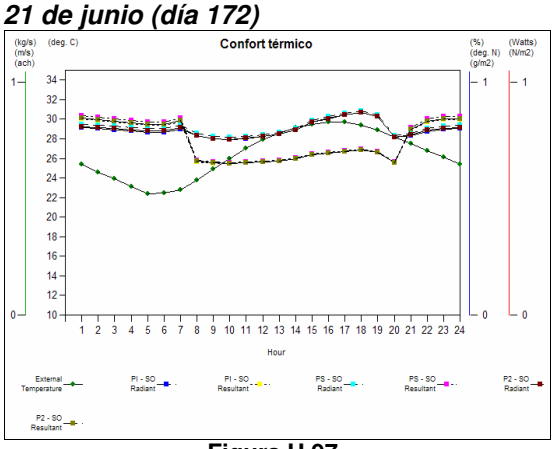


Figura H.97.

21 de septiembre (día 264)

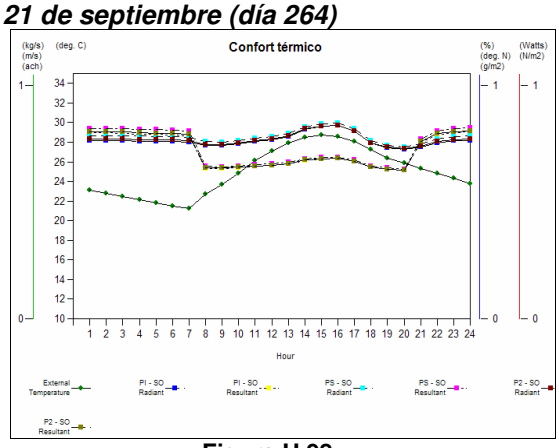


Figura H.98.

H.6. Análisis de la demanda de climatización del edificio

Se ha simulado en Tas el comportamiento térmico del edificio, extrayendo los valores de demanda para cuatro situaciones en las propiedades de los vidrios: de requerimientos mínimos según el CTE-HE1, y soluciones óptimas para la demanda de refrigeración (vidrios de F = 0,2, de U = 4,4 W/m^2 K y la solución combinada de F y U).

También se ha realizado este mismo análisis para cada una de las orientaciones. En las tablas siguientes se resumen los resultados de las simulaciones realizadas; se muestra la demanda de climatización anual (en kWh), así como la reducción porcentual de demanda que supone cada una de las mejoras realizadas respecto al punto de partida. Se comprueba así que la demanda de calefacción es totalmente despreciable, y sin consecuencias para el estudio. También se presenta, para cada caso, el valor de la carga de pico por m^2, tanto de refrigeración como de calefacción, para demostrar que, si bien despreciable, esta última también existe en el edificio de estudio.

H.6.1. Tablas resumen de las simulaciones realizadas

En las tablas correspondientes a los Análisis 1 y 2, la primera línea se corresponde con el punto de partida (vidrios establecidos por el CTE).

a) Análisis 1: Disminución del factor solar

b) Análisis 2: Aumento del coeficiente de transmisión térmica

c) Análisis 3: Caso óptimo combinado

a) Análisis 1: Disminución del factor solar

F_S = 0,52 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,70	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	PB	TOTAL
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	123.411	193.182	124.108	140.255	128.338	143.056	188.518	205.678	407.516	1.654.062
Pico demanda (W/m^2)	57,56	76,47	59,86	70,94	66,54	76,92	79,55	92,28	41,44	55,80
F_S = 0,52 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,50										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	115.707	193.026	123.848	140.197	121.787	136.324	188.510	205.687	404.888	1.629.974
Pico demanda (W/m^2)	53,29	76,50	59,63	70,85	63,06	74,93	79,46	92,23	40,91	55,42
Reducción demanda	6,24%	0,08%	0,21%	0,04%	5,10%	4,71%	0,00%	0,00%	0,64%	1,46%
F_S = 0,40 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,40										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	111.969	172.686	123.082	139.419	118.610	133.058	171.417	187.951	369.275	1.554.467
Pico demanda (W/m^2)	51,28	69,67	59,23	70,60	61,36	73,89	76,19	88,67	40,15	53,72
Reducción demanda	9,27%	10,61%	0,83%	0,60%	7,58%	6,99%	9,07%	8,62%	2,76%	6,02%
F_S = 0,30 $F_{E,O}$ = 0,30 F_N = 0,30										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	108.081	156.333	118.730	132.596	112.396	124.628	154.549	168.297	385.510	1.461.120
Pico demanda (W/m^2)	49,17	56,37	57,10	66,97	57,80	69,69	72,35	82,87	38,92	50,88
Reducción demanda	12,42%	19,07%	4,33%	5,46%	12,42%	12,88%	18,02%	18,17%	5,40%	11,66%
F_S = 0,25 $F_{E,O}$ = 0,20 F_N = 0,25										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	105.711	148.022	111.127	120.160	104.725	112.777	141.449	150.511	374.788	1.369.270
Pico demanda (W/m^2)	47,93	63,49	53,64	59,96	54,42	62,72	68,77	76,83	37,58	48,00
Reducción demanda	14,34%	23,38%	10,46%	14,33%	18,40%	21,17%	24,97%	26,82%	8,03%	17,22%
F_S = 0,20 $F_{E,O}$ = 0,20 F_N = 0,20										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	104.083	104.841	110.823	119.851	103.355	111.376	135.541	144.371	371.567	1.341.808
Pico demanda (W/m^2)	47,2	61,99	53,48	59,87	53,85	62,26	67,43	75,50	37,29	47,41
Reducción demanda	15,66%	27,09%	10,70%	14,55%	19,47%	22,15%	28,10%	29,81%	8,82%	18,88%

Tabla H.1: Análisis 1. Resultados para demanda de refrigeración

	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	PB	TOTAL
F_S = 0,52 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,70										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	2,03	0,32	-	-	-	2,35
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	2,00	0,32	-	-	-	0,15
F_S = 0,52 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,50										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	2,91	0,90	-	-	-	3,81
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	2,77	0,90	-	-	-	0,27
F_S = 0,40 $F_{E,O}$ = 0,35 F_N = 0,40										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	3,45	1,29	-	-	-	4,74
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	3,17	1,29	-	-	-	0,32
F_S = 0,30 $F_{E,O}$ = 0,30 F_N = 0,30										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	4,70	2,35	-	-	-	7,05
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	3,92	2,25	-	-	-	0,45
F_S = 0,25 $F_{E,O}$ = 0,20 F_N = 0,25										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	6,58	4,08	-	-	-	10,66
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	4,82	3,61	-	-	-	0,61
F_S = 0,20 $F_{E,O}$ = 0,20 F_N = 0,20										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	7,01	4,43	-	-	-	11,44
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	5,01	3,79	-	-	-	0,64

Tabla H.2: Análisis 1. Resultados para demanda de calefacción

b) Análisis 2: Aumento del coeficiente de transmisión térmica

U_S = 3,6 $U_{E,O}$ = 2,8 U_N = 2,4										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	123.411	193.182	124.108	140.255	128.338	143.056	188.518	205.678	407.516	1.654.062
Pico demanda (W/m²)	57,56	76,47	59,86	70,94	66,54	76,92	79,55	92,28	41,44	55,80
U_S = 3,6 $U_{E,O}$ = 2,8 U_N = 3,5										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	120.492	193.049	123.985	140.215	125.982	140.273	188.528	205.674	405.877	1.644.075
Pico demanda (W/m²)	56,72	76,52	59,84	70,93	65,62	77,16	79,49	92,25	41,39	56,41
Reducción demanda	2,37%	0,07%	0,10%	0,03%	1,84%	1,95%	-0,01%	0,00%	0,40%	0,60%
U_S = 4,0 $U_{E,O}$ = 3,0 U_N = 4,0										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	118.013	190.971	122.975	139.344	123.384	137.540	185.786	202.974	402.749	1.623.736
Pico demanda (W/m²)	56,02	76,19	59,79	71,63	64,87	77,66	79,77	92,93	41,27	56,01
Reducción demanda	4,37%	1,14%	0,91%	0,65%	3,86%	3,86%	1,45%	1,31%	1,17%	1,83%
U_S = 4,4 $U_{E,O}$ = 3,5 U_N = 4,4										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	116.049	189.271	120.888	137.380	120.587	134.783	182.020	199.379	399.033	1.599.390
Pico demanda (W/m²)	55,50	75,89	59,90	73,41	64,22	79,28	80,03	94,43	41,20	55,60
Reducción demanda	5,97%	2,02%	2,59%	2,05%	6,04%	5,78%	3,45%	3,06%	2,08%	3,31%
U_S = 4,4 $U_{E,O}$ = 4,4 U_N = 4,4										
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	115.750	188.772	117.789	134.524	118.496	133.072	177.760	195.522	395.320	1.577.005
Pico demanda (W/m²)	55,44	75,74	60,32	76,58	64,26	82,41	80,70	96,91	41,20	56,40
Reducción demanda	6,21%	2,28%	5,09%	4,09%	7,67%	6,98%	5,71%	4,94%	2,99%	4,66%
	N	**S**	**E**	**O**	**NE**	**NO**	**SE**	**SO**	**PB**	**TOTAL**

Tabla H.3: Análisis 2. Resultados para demanda de refrigeración

	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	PB	TOTAL
U_S = 3,6 $U_{E,O}$ = 2,8 U_N = 2,4										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	2,03	0,32	-	-	-	2,35
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	2,00	0,32	-	-	-	0,15
U_S = 3,6 $U_{E,O}$ = 2,8 U_N = 3,5										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	7,96	3,87	-	-	-	11,83
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	4,99	3,22	-	-	-	0,60
U_S = 4,0 $U_{E,O}$ = 3,0 U_N = 4,0										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	19,77	12,47	-	-	-	32,24
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	8,04	6,15	-	-	-	1,03
U_S = 4,4 $U_{E,O}$ = 3,5 U_N = 4,4										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	-	-	42,40	30,92	-	-	-	73,32
Pico demanda (W/m^2)	-	-	-	-	11,92	10,04	-	-	-	1,60
U_S = 4,4 $U_{E,O}$ = 4,4 U_N = 4,4										
Demanda Calefacción Anual (kWh)	-	-	0,09	-	85,09	63,79	0,05	-	-	149,02
Pico demanda (W/m^2)	-	-	0,09	-	15,81	13,93	0,05	-	-	2,17

Tabla H.4: Análisis 1. Resultados para demanda de calefacción

c) Análisis 3: Caso óptimo combinado

F_S = 0,20 $F_{E,O}$ = 0,20 F_N = 0,20 U_S = 4,4 $U_{E,O}$ = 4,4 U_N = 4,4	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	PB	TOTAL
Demanda Refrigeración Anual (kWh)	101.250	139.613	104.446	113.386	98.512	106.518	129.929	138.799	361.297	1.293.750
Pico demanda (W/m^2)	48,95	64,87	54,67	66,41	56,48	71,42	71,53	82,04	37,42	50,29
Reducción demanda	17,96%	27,73%	15,84%	19,16%	23,24%	25,54%	31,08%	32,52%	11,34%	21,78%

Tabla H.5: Análisis 3. Resultados para demanda de refrigeración

$F_S = 0,20$ $F_{E,O} = 0,20$ $F_N = 0,20$ $U_S = 4,4$ $U_{E,O} = 4,4$ $U_N = 4,4$	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	PB	TOTAL
Demanda Calefacción Anual (kWh)	0,20	-	0,38	0,23	128,98	114,06	17,61	12,99	-	274,45
Pico demanda (W/m^2)	0,20	-	0,38	0,23	18,53	17,36	5,83	4,54	-	3,43

Tabla H.6: Análisis 3. Resultados para demanda de calefacción

H.6.2. Cálculo de los picos de demanda de climatización

Mediante una macro disponible en el programa Tas, se han calculado los picos de demanda del edificio, tanto a nivel global como por zonas. Estos valores ya se han presentado en las tres tablas anteriores. A continuación se muestra, para cada uno de los casos simulados, la tabla de resultados obtenida, que contiene los siguientes datos: pico de demanda de refrigeración (kW), carga pico por metro cuadrado (W/m^2), día y hora en la que se produce el pico, y temperatura del aire y resultante para cada zona. Las tablas de picos de calefacción no se muestran, al no ser relevantes para el estudio.

a) Vidrios mínimos establecidos por el CTE

a.1) $F_S = 0,52$ $F_{E,O} = 0,35$ $F_N = 0,70$; $U_S = 3,6$ $U_{E,O} = 2,8$ $U_N = 2,4$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
835,59	55,80	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	157,44	41,44	204	8	23,0	26,4
PI - N	54,49	56,19	204	8	23,0	26,4
PI - S	76,30	77,89	302	14	23,0	28,4
PI - E	55,95	58,29	204	8	23,0	26,5
PI - O	67,62	70,45	246	17	23,0	27,7
PI - NE	63,16	65,91	204	8	23,0	27,1
PI - NO	73,51	76,71	246	17	23,0	28,3
PI - SE	77,12	79,66	246	13	23,0	28,1
PI - SO	89,92	92,89	246	16	23,0	29,1
PI - Interior	44,20	45,51	247	8	23,0	25,4
PS- N	8,37	60,42	204	8	23,0	26,7
PS - S	10,57	75,52	302	14	23,0	28,2
PS - E	8,61	62,78	246	8	23,0	26,8
PS - O	9,94	72,45	246	17	23,0	27,9
PS - NE	9,41	68,76	204	8	23,0	27,3
PS - NO	10,71	78,22	246	17	23,0	28,4
PS - SE	11,17	80,75	246	13	23,0	28,2
PS - SO	12,90	93,26	246	16	23,0	29,2
PS - Interior	7,22	52,03	211	8	23,0	25,9
P2 - N	7,77	56,05	204	8	23,0	26,3
P2 - S	10,64	76,00	302	14	23,0	28,3
P2 - E	8,03	58,53	204	8	23,0	26,5
P2 - O	9,59	69,91	246	17	23,0	27,7
P2 - NE	8,89	64,96	204	8	23,0	27,1
P2 - NO	10,38	75,85	246	17	23,0	28,2
P2 - SE	10,82	78,23	246	13	23,0	28,0
P2 - SO	12,54	90,71	246	16	23,0	29,0
P2 - Interior	6,53	47,07	247	8	23,0	25,5

Tabla H.7.

b) Análisis 1: Disminución del factor solar

b.1) $F_S = 0,52$ $F_{E,O} = 0,35$ $F_N = 0,50$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
760,73	55,42	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	155,42	40,91	204	8	23,0	26,3
PI - N	49,98	51,54	204	8	23,0	26,0
PI - S	76,36	77,95	302	14	23,0	28,4
PI - E	55,73	58,06	204	8	23,0	26,5
PI - O	67,55	70,37	246	17	23,0	27,7
PI - NE	59,57	62,17	204	8	23,0	26,8
PI - NO	71,48	74,59	246	17	23,0	28,0
PI - SE	77,06	79,60	246	13	23,0	28,1
PI - SO	89,90	92,86	246	16	23,0	29,1
PS- N	7,80	56,31	211	8	23,0	26,3
PS - S	10,57	75,54	302	14	23,0	28,2
PS - E	8,58	62,59	246	8	23,0	26,8
PS - O	9,92	72,36	246	17	23,0	27,9
PS - NE	8,95	65,38	204	8	23,0	27,0
PS - NO	10,44	76,26	246	17	23,0	28,2
PS - SE	11,15	80,66	246	13	23,0	28,2
PS - SO	12,89	93,19	246	16	23,0	29,2
P2 - N	7,21	52,03	204	8	23,0	26,0
P2 - S	10,64	76,02	302	14	23,0	28,3
P2 - E	7,98	58,23	204	8	23,0	26,5
P2 - O	9,57	69,81	246	17	23,0	27,6
P2 - NE	8,44	61,65	204	8	23,0	26,8
P2 - NO	10,12	73,93	246	17	23,0	28,0
P2 - SE	10,80	78,12	246	13	23,0	28,0
P2 - SO	12,53	90,63	246	16	23,0	29,0

Tabla H.8.

b.2) $F_S = 0,40$ $F_{E,O} = 0,35$ $F_N = 0,40$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
737,41	53,72	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	152,53	40,15	204	8	23,0	26,2
PI - N	47,86	49,35	204	8	23,0	25,8
PI - S	68,20	69,62	337	14	23,0	27,1
PI - E	55,42	57,74	204	8	23,0	26,4
PI - O	67,36	70,18	246	17	23,0	27,7
PI - NE	57,88	60,40	204	8	23,0	26,7
PI - NO	70,49	73,56	246	17	23,0	27,9
PI - SE	73,61	76,04	246	11	23,0	27,7
PI - SO	86,20	89,05	246	16	23,0	28,7

PS- N	7,55	54,48	211	8	23,0	26,2
PS - S	9,84	70,34	246	14	23,0	27,0
PS - E	8,52	62,16	246	8	23,0	26,8
PS - O	9,89	72,12	246	17	23,0	27,8
PS - NE	8,72	63,70	204	8	23,0	26,9
PS - NO	10,30	75,25	246	17	23,0	28,1
PS - SE	10,73	77,62	246	11	23,0	27,8
PS - SO	12,42	89,78	246	16	23,0	28,7
P2 - N	6,93	50,02	204	8	23,0	25,8
P2 - S	9,66	69,04	337	14	23,0	27,1
P2 - E	7,93	57,80	204	8	23,0	26,4
P2 - O	9,53	69,52	246	17	23,0	27,6
P2 - NE	8,21	59,98	204	8	23,0	26,6
P2 - NO	9,98	72,89	246	17	23,0	27,9
P2 - SE	10,36	74,91	246	11	23,0	27,5
P2 - SO	12,06	87,20	246	16	23,0	28,5

Tabla H.9.

b.3) $F_S = 0,30$ $F_{E,O} = 0,30$ $F_N = 0,30$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
698,48	50,88	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	147,84	38,92	204	8	23,0	26,1
PI - N	45,74	47,17	211	8	23,0	25,6
PI - S	63,32	64,64	246	14	23,0	26,2
PI - E	53,14	55,36	246	8	23,0	26,2
PI - O	63,79	66,45	246	17	23,0	27,3
PI - NE	54,33	56,69	204	8	23,0	26,4
PI - NO	66,34	69,23	246	17	23,0	27,5
PI - SE	69,64	71,94	246	11	23,0	27,1
PI - SO	80,27	82,92	246	16	23,0	28,0
PS- N	7,27	52,47	211	8	23,0	26,0
PS - S	9,38	67,05	246	14	23,0	26,4
PS - E	8,26	60,22	246	8	23,0	26,6
PS - O	9,40	68,54	246	17	23,0	27,5
PS - NE	8,24	60,22	204	8	23,0	26,6
PS - NO	9,73	71,10	246	17	23,0	27,7
PS - SE	10,22	73,91	246	11	23,0	27,2
PS - SO	11,63	84,13	246	16	23,0	28,1
P2 - N	6,63	47,88	211	8	23,0	25,6
P2 - S	9,02	64,42	338	14	23,0	26,2
P2 - E	7,64	55,72	246	8	23,0	26,3
P2 - O	9,04	65,93	246	17	23,0	27,3
P2 - NE	7,73	56,49	204	8	23,0	26,3
P2 - NO	9,41	68,73	246	17	23,0	27,5
P2 - SE	9,85	71,21	246	11	23,0	27,0
P2 - SO	11,28	81,55	246	16	23,0	27,9

Tabla H.10.

b.4) $F_S = 0,25$ $F_{E,O} = 0,20$ $F_N = 0,25$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
658,83	48,00	246	15

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	142,75	37,58	246	8	23,0	25,9
PI - N	44,63	46,02	212	8	23,0	25,5
PI - S	61,44	62,71	246	14	23,0	25,9
PI - E	49,69	51,76	246	8	23,0	25,9
PI - O	56,83	59,20	246	17	23,0	26,6
PI - NE	50,94	53,16	212	8	23,0	26,0
PI - NO	59,46	62,05	246	17	23,0	26,8
PI - SE	66,04	68,22	246	13	23,0	26,3
PI - SO	74,10	76,54	246	15	23,0	27,0
PS- N	7,08	51,10	211	8	23,0	25,9
PS - S	9,13	65,24	246	14	23,0	26,1
PS - E	7,79	56,83	246	8	23,0	26,3
PS - O	8,45	61,63	246	17	23,0	26,8
PS - NE	7,79	56,89	212	8	23,0	26,3
PS - NO	8,79	64,23	246	17	23,0	27,0
PS - SE	9,72	70,32	246	13	23,0	26,5
PS - SO	10,82	78,26	246	15	23,0	27,2
P2 - N	6,47	46,68	212	8	23,0	25,5
P2 - S	8,75	62,53	246	14	23,0	25,9
P2 - E	7,17	52,32	246	8	23,0	25,9
P2 - O	8,10	59,05	246	17	23,0	26,6
P2 - NE	7,29	53,22	212	8	23,0	26,0
P2 - NO	8,47	61,89	246	17	23,0	26,8
P2 - SE	9,37	67,79	246	13	23,0	26,3
P2 - SO	10,47	75,68	246	15	23,0	26,9

Tabla H.11.

b.5) $F_S = 0,20$ $F_{E,O} = 0,20$ $F_N = 0,20$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
650,78	47,41	246	15

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	141,65	37,29	246	8	23,0	25,8
PI - N	43,92	45,29	212	8	23,0	25,4
PI - S	59,86	61,10	246	14	23,0	25,7
PI - E	49,56	51,63	246	8	23,0	25,9
PI - O	56,76	59,13	246	17	23,0	26,6
PI - NE	50,36	52,56	212	8	23,0	25,9
PI - NO	59,02	61,59	246	17	23,0	26,8
PI - SE	64,65	66,79	246	13	23,0	26,1
PI - SO	72,73	75,13	246	15	23,0	26,8
PS- N	6,97	50,30	211	8	23,0	25,8
PS - S	8,93	63,78	246	14	23,0	25,9

PS - E	7,77	56,67	246	8	23,0	26,3
PS - O	8,44	61,54	246	17	23,0	26,8
PS - NE	7,71	56,33	212	8	23,0	26,2
PS - NO	8,73	63,78	246	17	23,0	26,9
PS - SE	9,54	69,01	246	13	23,0	26,3
PS - SO	10,64	76,97	246	15	23,0	27,0
P2 - N	6,37	46,01	212	8	23,0	25,4
P2 - S	8,55	61,09	246	14	23,0	25,6
P2 - E	7,15	52,14	246	8	23,0	25,9
P2 - O	8,08	58,95	246	17	23,0	26,6
P2 - NE	7,21	52,66	212	8	23,0	25,9
P2 - NO	8,41	61,43	246	17	23,0	26,7
P2 - SE	9,20	66,50	246	13	23,0	26,0
P2 - SO	10,29	74,40	246	15	23,0	26,7

Tabla H.12.

c) Análisis 2: Aumento del coeficiente de transmisión térmica

c.1) $U_S = 3,6$ $U_{E,O} = 2,8$ $U_N = 3,5$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
774,28	56,41	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	157,25	41,39	204	8	23,0	26,4
PI - N	53,72	55,39	204	8	23,0	26,3
PI - S	76,37	77,95	302	14	23,0	28,4
PI - E	55,91	58,25	204	8	23,0	26,5
PI - O	67,62	70,44	246	17	23,0	27,7
PI - NE	62,28	65,00	204	8	23,0	27,1
PI - NO	73,72	76,93	246	17	23,0	28,3
PI - SE	77,07	79,61	246	13	23,0	28,1
PI - SO	89,90	92,87	246	16	23,0	29,1
PS- N	8,23	59,45	204	8	23,0	26,6
PS - S	10,57	75,56	302	14	23,0	28,2
PS - E	8,61	62,76	246	8	23,0	26,8
PS - O	9,93	72,44	246	17	23,0	27,9
PS - NE	9,27	67,73	204	8	23,0	27,2
PS - NO	10,74	78,43	246	17	23,0	28,4
PS - SE	11,16	80,69	246	13	23,0	28,2
PS - SO	12,89	93,22	246	16	23,0	29,2
P2 - N	7,66	55,32	204	8	23,0	26,3
P2 - S	10,64	76,03	302	14	23,0	28,3
P2 - E	8,02	58,49	204	8	23,0	26,5
P2 - O	9,59	69,91	246	17	23,0	27,7
P2 - NE	8,78	64,12	204	8	23,0	27,0
P2 - NO	10,42	76,12	246	17	23,0	28,2
P2 - SE	10,81	78,17	246	13	23,0	28,0
P2 - SO	12,54	90,67	246	16	23,0	29,0

Tabla H.13.

c.2) $U_S = 4,0$ $U_{E,O} = 3,0$ $U_N = 4,0$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
768,77	56,01	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	156,79	41,27	204	8	23,0	26,4
PI - N	53,04	54,70	204	8	23,0	26,3
PI - S	76,02	77,60	302	14	23,0	28,3
PI - E	55,82	58,16	204	8	23,0	26,5
PI - O	68,30	71,15	246	17	23,0	27,7
PI - NE	61,56	64,24	204	8	23,0	27,0
PI - NO	74,19	77,42	246	17	23,0	28,3
PI - SE	77,33	79,88	246	13	23,0	28,1
PI - SO	90,54	93,53	246	16	23,0	29,2
PS- N	8,13	58,68	204	8	23,0	26,6
PS - S	10,53	75,26	302	14	23,0	28,2
PS - E	8,61	62,76	246	8	23,0	26,8
PS - O	10,03	73,13	246	17	23,0	27,9
PS - NE	9,16	66,93	204	8	23,0	27,2
PS - NO	10,80	78,91	246	17	23,0	28,4
PS - SE	11,20	80,97	246	13	23,0	28,2
PS - SO	12,99	93,90	246	16	23,0	29,2
P2 - N	7,57	54,68	204	8	23,0	26,3
P2 - S	10,60	75,71	302	14	23,0	28,2
P2 - E	8,01	58,45	246	8	23,0	26,5
P2 - O	9,68	70,61	246	17	23,0	27,7
P2 - NE	8,68	63,43	204	8	23,0	27,0
P2 - NO	10,49	76,65	246	17	23,0	28,3
P2 - SE	10,85	78,48	246	13	23,0	28,0
P2 - SO	12,64	91,38	246	16	23,0	29,0

Tabla H.14.

c.3) $U_S = 4,4$ $U_{E,O} = 3,5$ $U_N = 4,4$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
763,18	55,60	204	8

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	156,50	41,20	204	8	23,0	26,4
PI - N	52,51	54,15	204	8	23,0	26,3
PI - S	75,71	77,29	302	14	23,0	28,3
PI - E	55,82	58,16	246	8	23,0	26,5
PI - O	70,01	72,94	246	17	23,0	27,8
PI - NE	60,94	63,60	204	8	23,0	27,0
PI - NO	75,74	79,04	246	17	23,0	28,4
PI - SE	77,56	80,12	246	13	23,0	28,1
PI - SO	91,95	94,99	246	16	23,0	29,2

PS- N	8,06	58,17	211	8	23,0	26,5
PS - S	10,49	74,98	302	14	23,0	28,1
PS - E	8,62	62,88	246	8	23,0	26,8
PS - O	10,27	74,89	246	17	23,0	28,0
PS - NE	9,06	66,20	204	8	23,0	27,2
PS - NO	11,02	80,51	246	17	23,0	28,5
PS - SE	11,23	81,20	246	13	23,0	28,2
PS - SO	13,19	95,38	246	16	23,0	29,3
P2 - N	7,51	54,18	204	8	23,0	26,2
P2 - S	10,55	75,41	302	14	23,0	28,2
P2 - E	8,05	58,68	246	8	23,0	26,5
P2 - O	9,93	72,42	246	17	23,0	27,8
P2 - NE	8,61	62,86	204	8	23,0	26,9
P2 - NO	10,72	78,31	246	17	23,0	28,3
P2 - SE	10,89	78,78	246	13	23,0	28,0
P2 - SO	12,85	92,92	246	16	23,0	29,1

Tabla H.15.

c.4) $U_S = 4,4$ $U_{E,O} = 4,4$ $U_N = 4,4$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
774,25	56,40	246	16

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	156,50	41,20	204	8	23,0	26,4
PI - N	52,45	54,09	204	8	23,0	26,3
PI - S	75,58	77,15	302	14	23,0	28,3
PI - E	56,25	58,61	246	8	23,0	26,5
PI - O	73,05	76,11	246	17	23,0	28,0
PI - NE	60,86	63,52	198	8	23,0	27,0
PI - NO	78,73	82,16	246	17	23,0	28,6
PI - SE	78,19	80,77	246	11	23,0	28,3
PI - SO	94,31	97,43	246	16	23,0	29,4
PS- N	8,05	58,10	211	8	23,0	26,5
PS - S	10,47	74,84	302	14	23,0	28,1
PS - E	8,66	63,19	246	8	23,0	26,8
PS - O	10,70	78,02	246	17	23,0	28,2
PS - NE	9,03	65,97	198	8	23,0	27,2
PS - NO	11,45	83,62	246	17	23,0	28,7
PS - SE	11,33	81,92	246	11	23,0	28,3
PS - SO	13,53	97,84	246	16	23,0	29,4
P2 - N	7,50	54,13	204	8	23,0	26,2
P2 - S	10,53	75,23	302	14	23,0	28,2
P2 - E	8,11	59,16	246	8	23,0	26,5
P2 - O	10,37	75,62	246	17	23,0	28,0
P2 - NE	8,67	63,31	198	8	23,0	27,0
P2 - NO	11,15	81,46	246	17	23,0	28,5
P2 - SE	10,98	79,42	246	11	23,0	28,1
P2 - SO	13,20	95,45	246	16	23,0	29,2

Tabla H.16.

d) Caso óptimo combinado

d.1) $F_S = 0,20$ $F_{E,O} = 0,20$ $F_N = 0,20$; $U_S = 4,4$ $U_{E,O} = 4,4$ $U_N = 4,4$

Peak Cooling Load (kW)	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*
690,27	50,29	246	15

Zone	*Peak Cooling Load (kW)*	*Peak Load per square metre (W/m2)*	*Day of Peak*	*Hour of Peak*	*Air Temp (C)*	*Rest Temp (C)*
PB1	142,14	37,42	246	8	23,0	25,8
PI - N	45,83	47,26	212	8	23,0	25,5
PI - S	62,69	63,99	246	14	23,0	25,6
PI - E	50,75	52,87	246	8	23,0	25,9
PI - O	62,99	65,63	246	17	23,0	26,9
PI - NE	52,97	55,28	212	8	23,0	26,1
PI - NO	67,79	70,75	246	17	23,0	27,1
PI - SE	68,56	70,82	246	11	23,0	26,4
PI - SO	78,98	81,58	246	15	23,0	27,0
PS- N	7,17	51,77	212	8	23,0	25,9
PS - S	9,33	66,64	246	13	23,0	25,9
PS - E	7,91	57,67	246	8	23,0	26,3
PS - O	9,33	68,03	246	17	23,0	27,0
PS - NE	8,04	58,75	212	8	23,0	26,3
PS - NO	9,98	72,87	246	17	23,0	27,3
PS - SE	10,12	73,15	246	11	23,0	26,6
PS - SO	11,55	83,50	246	15	23,0	27,1
P2 - N	6,62	47,82	212	8	23,0	25,5
P2 - S	8,95	63,99	246	14	23,0	25,6
P2 - E	7,33	53,47	246	8	23,0	25,9
P2 - O	8,99	65,56	246	17	23,0	26,8
P2 - NE	7,59	55,43	198	8	23,0	26,1
P2 - NO	9,67	70,65	246	17	23,0	27,1
P2 - SE	9,76	70,60	246	11	23,0	26,4
P2 - SO	11,21	81,04	246	15	23,0	26,9

Tabla H.17.