

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EDIFICIOS

ESTUDIO TÉCNICO
PER 2011-2020



IDAIE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EDIFICIOS

Coordinador de la edición de Estudios Técnicos PER 2011-2020:

Jaume Margarit i Roset, Director de Energías Renovables de IDAE

Título: Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios.

Estudio Técnico PER 2011-2020

Madrid, 2011

Autores:

Aiguasol: Àngel Carrera, Laura Sisó, Antoni Herena, Maria Valle,
Maria Casanova, Daniel González

Coordinación y revisión IDAE: Carlos Montoya, Andrés Paredes, Raquel Vázquez

El presente estudio ha sido promovido por el IDAE en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables (PER) en España 2011-2020. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, los contenidos de esta publicación son responsabilidad de sus autores y no representan necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que se tratan en ella.

ÍNDICE

7	R1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación
29	R2. Estado del arte de la climatización solar
63	R3. Parque edificatorio. Análisis de los datos estadísticos
131	R4. Resultados demanda energética
161	R5. Modelización de los sistemas de climatización solar
179	R6. Informe final

1 Introducción

1.1 OBJETIVOS DEL DOCUMENTO

El presente documento se enmarca dentro del proyecto *Evaluación del potencial en España de climatización con energía solar térmica en edificios del sector residencial y sector servicios para la elaboración del PER 2011-2020*.

El proyecto tiene como objetivo la determinación del potencial de aplicación de la energía solar térmica para la producción de frío y calor utilizables en sistemas de climatización en edificios del sector residencial y del sector servicios en España, tanto en instalaciones individuales (viviendas unifamiliares) como en usos colectivos (viviendas plurifamiliares, hospitales, edificios comerciales, oficinas, etc.) ya sea en edificios de nueva construcción como en los edificios existentes. Los resultados se expresarán en forma de metros cuadrados de captadores solares instalables y en el porcentaje de demanda que resultará cubierto por los mismos. Éstos se mostrarán por provincia, comunidad autónoma (CCAA), tipología de edificios y tecnologías.

Los resultados obtenidos serán integrados en los estudios sobre prospectivas destinados a establecer los objetivos de este área en el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.

El estudio ha sido contratado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, a la empresa AIGUASOL.

El trabajo cuya metodología y resultados se explican en el presente documento consiste en la definición de los modelos sobre tipos de edificaciones que serán empleados para calcular, mediante simulación dinámica, la demanda de calefacción y aire acondicionado a abastecer con energía solar térmica en las diferentes provincias de España.

1.2 RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

El proyecto *Evaluación del potencial en España de climatización con energía solar térmica en edificios del sector residencial y sector servicios para la elaboración del PER 2011-2020* se ha realizado siguiendo la metodología que se resume a continuación.

El proyecto se ha estructurado en cuatro fases que ofrecen como resultado ocho documentos que contienen la descripción detallada de la metodología, cálculos, análisis y resultados del estudio.

Las fases son las siguientes:

- Fase 1: Resultados del escenario base (análisis energético) para un año de referencia y tres niveles energéticos.
- Fase 2: Datos del parque edificatorio.
- Fase 3: Resultados del escenario base. Representación SIG.
- Fase 4: Resultados energéticos y económicos globales. Escenario base, mercado y apoyo. Representación SIG.

Los documentos son los siguientes:

- R1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación.
- R2. Estado del arte de la climatización solar.
- R3. Parque edificatorio. Análisis de los datos estadísticos.
- R4. Resultados de demanda energética.
- R5. Modelización de los sistemas de climatización solar.
- R6. Informe final.

El cálculo del potencial máximo de climatización solar constituirá el ESCENARIO BASE y seleccionará aquellos sistemas que permiten un ahorro del 20% de energía primaria respecto al sistema convencional.

A partir de la selección de estos casos se elaborarán los ESCENARIOS MERCADO y APOYO. En ambos casos se analizarán los parámetros económicos. Configurarán el ESCENARIO MERCADO aquellos casos que ofrezcan una viabilidad económica aceptable. Los ESCENARIOS APOYO analizarán la misma situación considerando una subvención del 30% y del 60% de la inversión.

El estudio analizará distintas tipologías edificatorias del sector residencial y terciario (o servicios). Para estas tipologías se realizarán modelos para realizar los cálculos energéticos mediante simulación dinámica y a su vez se estimará la superficie útil de cada tipo que se ha construido en España, y que va a construirse en una perspectiva de los próximos diez años. Se valorarán las características constructivas de las 12 zonas climáticas según el Código Técnico de la Edificación y se estimará un

incremento y una reducción en el nivel energético de la demanda, asociado al momento de construcción estimado de los edificios. El análisis se realizará para las 52 provincias españolas.

Se analizarán distintas tecnologías de climatización solar, incluyendo absorción de simple y de doble efecto, desecación con enfriamiento evaporativo y captadores solares térmicos planos selectivos, de vacío y concentradores cilindro-parabólicos.

Los cálculos ofrecerán resultados energéticos y económicos para cada uno de los casos analizados. Éstos se cruzarán con los datos estadísticos para definir el potencial total sobre la superficie edificada en España.

Los resultados del potencial para distintos escenarios se sintetizarán mediante gráficos y mapas en formato SIG.

Este primer documento asienta las bases metodológicas sobre los modelos de edificios que van a ser simulados.

R1. TIPOLOGÍAS EDIFICATORIAS. MODELADO E HIPÓTESIS BÁSICAS DE SIMULACIÓN

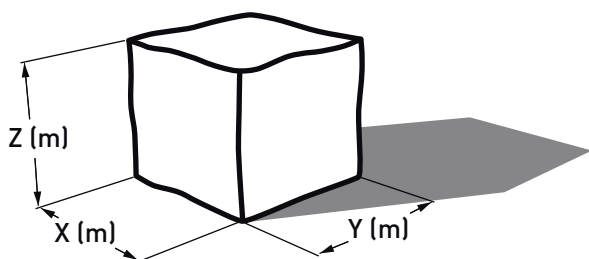
1 Modelado base

1.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de dar cabida a una muestra suficientemente amplia del parque edificatorio español, se ha optado por desarrollar un modelo de simulación básico que permita una gran variabilidad en sus parámetros de definición. De esta manera, variando dichos parámetros, es posible obtener edificios de diferentes dimensiones, orientaciones, elementos constructivos, usos etc.

Se ha intentado evitar el uso de complejos modelos con un alto nivel de detalle en los que por características determinadas, reflejen un comportamiento energético poco representativo.

Se ha optado por un modelo de planta cuadrada, de dimensiones variables en función de los parámetros requeridos.



Debido a que uno de los factores determinantes en la viabilidad de los sistemas de climatización solar es la simultaneidad entre el perfil de demanda y la disponibilidad solar, se ha considerado de relevante importancia distinguir entre diferentes usos edificatorios. Se han seleccionado los siguientes:

1. Residencial unifamiliar.
2. Residencial plurifamiliar.
3. Terciario oficinas.
4. Terciario hospitales.
5. Terciario centros comerciales.

Para el sector residencial se pretende englobar todo el parque edificatorio mientras que para el sector terciario se han seleccionado grupos que tienen un comportamiento significativamente distinto en cuanto a perfil horario de demanda asociado a la variabilidad de cargas térmicas y horarios de uso (ROCOCO)¹. Estos grupos presentan a priori un potencial relevante para la aplicación de sistemas de climatización solar,

que será contrastado mediante los cálculos del presente estudio, por los siguientes motivos en cada caso:

- Terciario oficinas: perfil con una intensidad alta de cargas internas y de ganancias solares por mayor superficie transparente que otros edificios, coincidente con las horas de mayor disponibilidad solar.
- Terciario hospitales: perfil con una demanda alta tanto de aire acondicionado como de calefacción y de agua caliente sanitaria durante mayor número de horas que en otro tipo de edificaciones; disponibilidad de cubierta para ubicar captadores solares por unidad de superficie útil más elevada que otros edificios del sector terciario.
- Terciario centros comerciales: elevada disponibilidad de cubierta para captadores solares por unidad de superficie útil.

En el estudio estadístico del parque edificatorio se han distinguido también estos tres grupos edificatorios para el sector terciario, así como el total. Los edificios del sector terciario registrados según las estadísticas y que no estén contemplados dentro de los modelos, se distribuirán en alguno de los grupos modelados según mayor similitud de uso.

1.2 MORFOLOGÍA

Se ha considerado que la tipología que permite una mayor representatividad del parque edificatorio español es la tipología torre, de planta cuadrada. Esta simplificación pretende englobar la variabilidad de distintas formas paralelepédicas con múltiples orientaciones que podrían definir el parque edificatorio español.

El modelo utilizado es un modelo simplificado de una sola zona térmica de dimensiones variables.

En función de qué tipo de edificio se busque representar, se definirá a nivel de morfología:

1. Área de la planta.
2. Número de plantas.
3. % de cerramientos transparentes.

Además, evidentemente, se contemplarán diferentes perfiles de clima, ocupación, ganancias internas, etc., que se definirán en capítulos posteriores.

Los requisitos de uso y de iluminación de los diferentes tipos de edificio varían en función de si el

¹ROCOCO. Reduction of costs of solar cooling systems (contract No TREN/05/FP6EN/S07.54855/020094)

edificio es residencial o se emplea para servicios (sector terciario), por lo tanto, se considera que el porcentaje de los cerramientos transparentes respecto del total de la fachada variará en función de la tipología estudiada.

A continuación se muestran imágenes del modelo básico:

Figura 1. Modelo básico, vista perspectiva

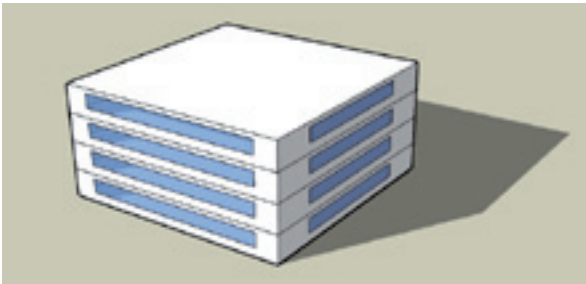


Figura 2. Modelo básico, vista frontal



Figura 3. Modelo básico, vista planta



El presente estudio refleja una valoración generalista que pretende abarcar todo el territorio español. Con esta finalidad, se plantea un modelo unizona, sin definir diferentes zonas térmicas dentro del edificio, de manera que:

1. Se evita que el aumento de definición de las zonas interiores derive en un comportamiento peculiar no extrapolable a otros edificios.
2. Permita la parametrización de las características que definen al edificio de manera sencilla y rápida.
3. Permita una fácil integración de los sistemas energéticos a estudiar.

Una de las ventajas del modelo torre unizona de planta cuadrada es que presenta unas longitudes de fachada iguales a las cuatro orientaciones principales, que permite recoger el efecto de la orientación sin necesidad de recurrir a diferentes simulaciones. De esta manera es posible simplificar el impacto de la radiación solar en los edificios.

Es conveniente recordar que la variable orientación no es posible tenerla en cuenta en el presente estudio, puesto que los informes estadísticos sobre el parque edificatorio español de los que se dispone no aportan datos en este sentido.

1.3 DIMENSIONES

Con el propósito de poder incluir y valorar en el estudio el área edificable y cómo afecta esta a la viabilidad de la implementación de los sistemas evaluados, se ha trabajado con diferentes casuísticas a nivel de dimensiones del modelo básico.

La variación de la superficie de planta permite evaluar el área y la demanda energética a cubrir con los sistemas energéticos estudiados. La generación de frío mediante la energía térmica aportada por el sol requiere del uso de un área de captación solar, por lo que confiere una importancia capital al espacio disponible para dicha área de captación, que variará en función de la superficie de planta.

La superficie cubierta por el sistema también influirá en el análisis económico de la implementación de las tecnologías estudiadas.

Por otro lado, las dimensiones del modelo básico también variarán en función de la tipología edificatoria a describir, en función de si se habla de:

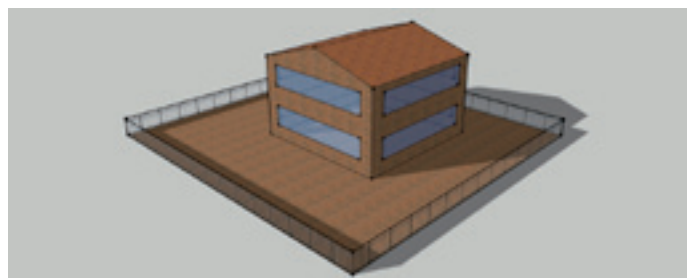
1. Residencial unifamiliar.
2. Residencial plurifamiliar.
3. Terciario oficinas.
4. Terciario hospitales.
5. Terciario centros comerciales.

Por esta razón se ha planteado un modelo de simulación básico, la descripción morfológica del cual se puede seguir en el punto anterior, de diferentes superficies y volúmenes.

Se fija la altura entre forjados a 3 metros. En las siguientes páginas se observan las casuísticas referentes a dimensiones con las que se ha trabajado:

Dimensiones de la tipología residencial unifamiliar

Tabla 1. Casuísticas por dimensiones del modelo de residencial unifamiliar

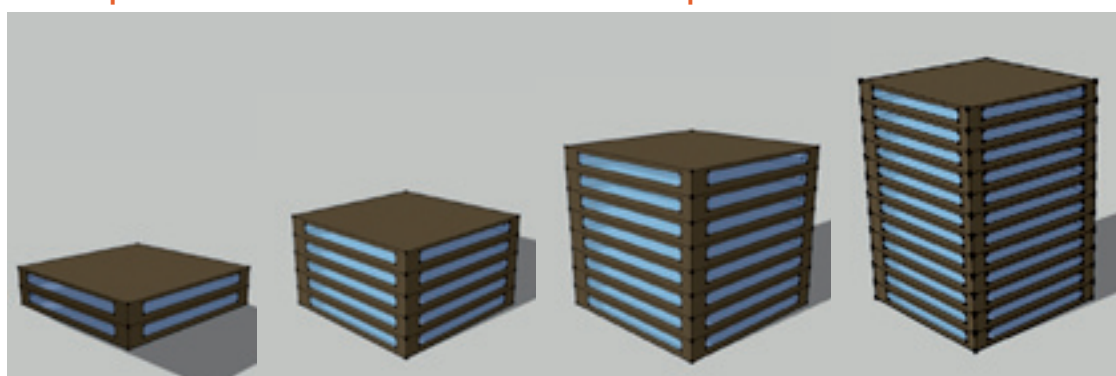


Superficie planta (m ²)	2 Plantas	
	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
100	200	600

Longitud fachada 10 m		Huecos (%)	Área huecos (m ²)
		Norte	25
Área fachada 60 m ²	Sur	35	21
	Este	30	18
	Oeste	30	18

Dimensiones de la tipología residencial plurifamiliar

Tabla 2. Casuísticas por dimensiones del modelo de residencial plurifamiliar

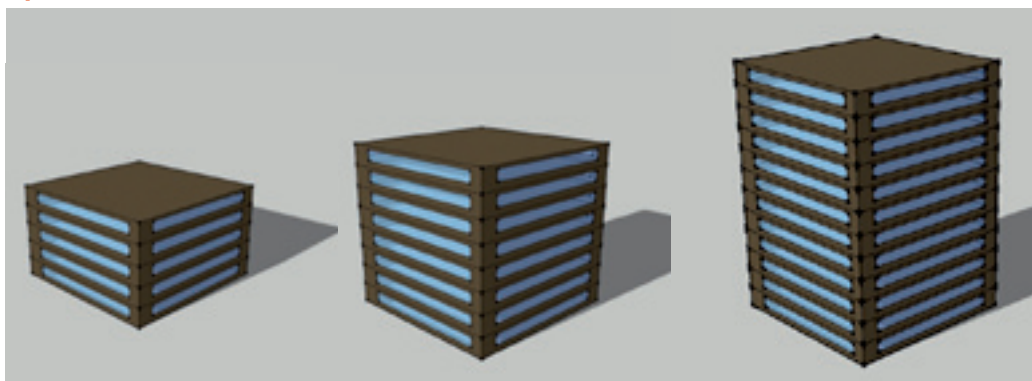


Superficie planta (m ²)	2 plantas		5 plantas		8 plantas		12 plantas	
	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
200	400	1.200	1.000	3.000	-	-	-	-
400	800	2.400	2.000	6.000	3.200	9.600	-	-
800	-	-	4.000	12.000	6.400	19.200	9.600	28.800

Los porcentajes de cerramientos transparentes se mantienen respecto del caso unifamiliar variando únicamente el valor del área de los cerramientos transparentes en función de la superficie de planta de cada modelo.

Dimensiones de la tipología terciario oficinas

Tabla 3. Casuísticas por dimensiones del modelo terciario de oficinas



	5 plantas		8 plantas		12 plantas	
Superficie planta (m ²)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
200	1.000	3.000	-	-	-	-
400	2.000	6.000	3.200	9.600	-	-
800	4.000	12.000	6.400	19.200	9.600	28.800

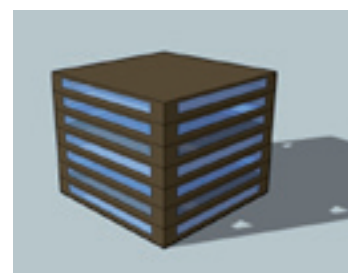
Los porcentajes de cerramientos transparentes varían respecto al modelo residencial situándose en el 60% para todas las fachadas.

Dimensiones de la tipología terciario hospitales

Tabla 4. Casuísticas por dimensiones del modelo terciario de hospitales



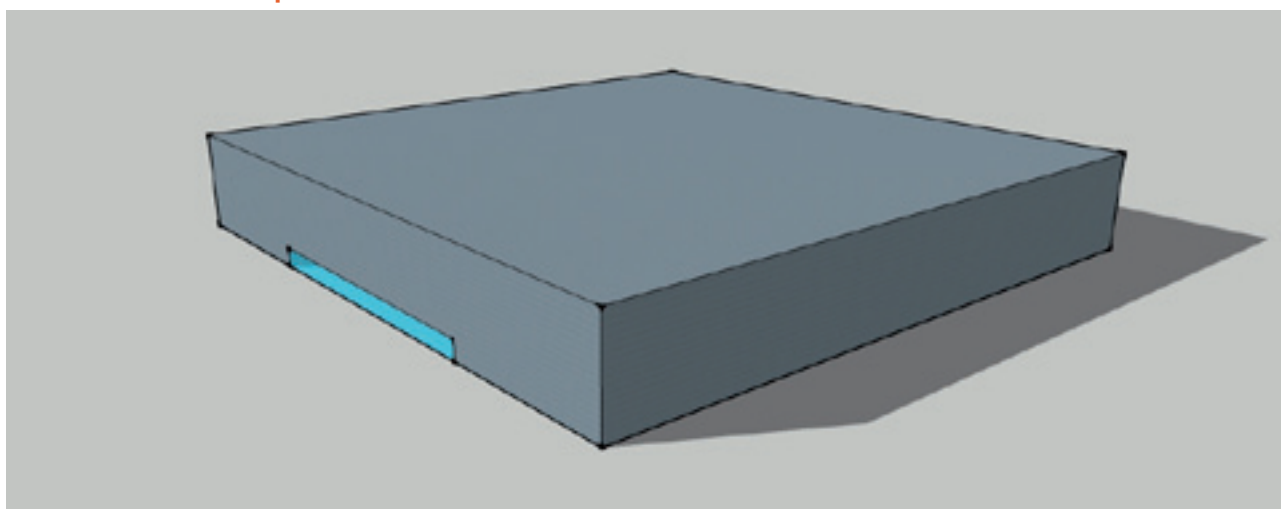
	3 Plantas	
Superficie planta (m ²)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
833	2.500	7.500



	7 Plantas	
Superficie total (m ²)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
50.000	7.143	21.429
80.000	11.429	34.286

Dimensiones de la tipología terciario centros comerciales

Tabla 5. Casuísticas por dimensiones del modelo terciario de centro comercial



	1 Planta	
Superficie planta (m ²)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
15.000	15.000	45.000
50.000	50.000	150.000
100.000	100.000	300.000

En la tabla siguiente se resumen las 23 tipologías y la nomenclatura que se utilizará a lo largo de todo el estudio para referenciarlas.

Tabla 6. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Sup. planta o total* (m ²)	1p**	2p	3p	5p	7p	8p	12p
Residencial unifamiliar	100	-	RU021	-	-	-	-	-
Residencial plurifamiliar	200	-	RP022	-	RP052	-	-	-
	400	-	RP024	-	RP054	-	RP084	-
	800	-	-	-	RP058	-	RP088	RP128
Terciario oficinas	200	-	-	-	OF052	-	-	-
	400	-	-	-	OF054	-	OF084	-
	800	-	-	-	OF058	-	OF088	OF128

(Continuación)

Tipo	Sup. planta o total* (m ²)	1p**	2p	3p	5p	7p	8p	12p
Terciario hospitalares	2.500	-	-	H0033	-	-	-	-
	50.000	-	-	-	-	H0075	-	-
	80.000	-	-	-	-	H0078	-	-
Terciario c. comercial	15.000	CC010	-	-	-	-	-	-
	50.000	CC015	-	-	-	-	-	-
	100.000	CC019	-	-	-	-	-	-

*Superficie total en hospitales y centros comerciales

**p: plantas

1.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS EN BASE A ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

Los elementos constructivos son elementos clave que definirán en grado sumo el comportamiento térmico del edificio, la relación de las diferentes zonas entre ellas mismas y con el exterior, el acceso a la radiación solar, la inercia del edificio y de otros aspectos.

A continuación se describe de forma resumida los cerramientos de tipo opaco (fachadas, cubiertas, divisorias, etc.) y los cerramientos de tipo transparente característicos del edificio a simular. El software de simulación dinámica modela los cerramientos mediante conjuntos de capas de diversos materiales. La principal característica de los cerramientos opacos es el valor del coeficiente global de transferencia de calor (U), el cual se especifica en las tablas posteriores. Los valores de U especificados han sido calculados con coeficientes superficiales de transferencia de calor de 7,7 W/(m²K) y 25 W/(m²K), interior y exterior, respectivamente.

Es interesante considerar también que los cerramientos que componen el edificio se dividen al modelarlos con el software de simulación, entre cerramientos externos (una de sus capas es exterior), internos (con dos capas en el interior de una

misma zona térmica), adyacentes (con cada capa en una zona térmica diferente) y con condiciones de contorno o "boundary" (con una cara adyacente a una zona no introducida en el modelado).

Los cerramientos transparentes se caracterizan, además de por el coeficiente de transferencia de calor, por el factor solar y por el factor de transmisión de la luz. El factor solar (g) es la relación entre la energía total que entra dentro de un espacio a través de la superficie transparente y la energía solar que incide sobre esta. El conocimiento del factor de transmisión luminosa (t) permite el cálculo del valor aproximado del nivel de iluminación disponible en el interior de la zona si se tiene el conocimiento del nivel de iluminación exterior.

Los cerramientos transparentes son, en gran medida, una variable de fundamental influencia en el comportamiento térmico de los edificios.

Los cerramientos utilizados en las simulaciones varían en función de la zona climática. Según estipula el Código Técnico de la Edificación, existen 12 zonas climáticas diferentes que engloban toda la geografía española. Las zonas climáticas han sido generadas a raíz del cálculo de las severidades de invierno y verano para las capitales de provincia. Se han calculado 5 divisiones de invierno y 4 de verano. A continuación se muestra la clasificación de las diferentes zonas climáticas, en las que la letra corresponde a la división de invierno y el número a la división de verano.

Tabla 7. División climática

		SC (invierno)				
SC (verano)	A4	B4	C4		E1	
	A3	B3	C3	D3		
			C2	D2		
			C1	D1		

La identificación de las zonas climáticas con las localidades, capitales de provincia, se realiza siguiendo la tabla **D.1- Zonas climáticas** del **Documento Básico HE1** del **Código Técnico de la Edificación**.

Los cerramientos utilizados, tanto opacos como transparentes, se modelan para cada capital de provincia en función de los requisitos mínimos exigidos en el **DB-HE1** del **CTE** en base a:

Limita demanda calefacción
Transmitancia térmica límite en muros de fachada
Transmitancia térmica límite en suelos
Transmitancia térmica límite en cubiertas
Transmitancia térmica límite en vidrios y marcos
Limita demanda refrigeración
Factor solar en vidrios

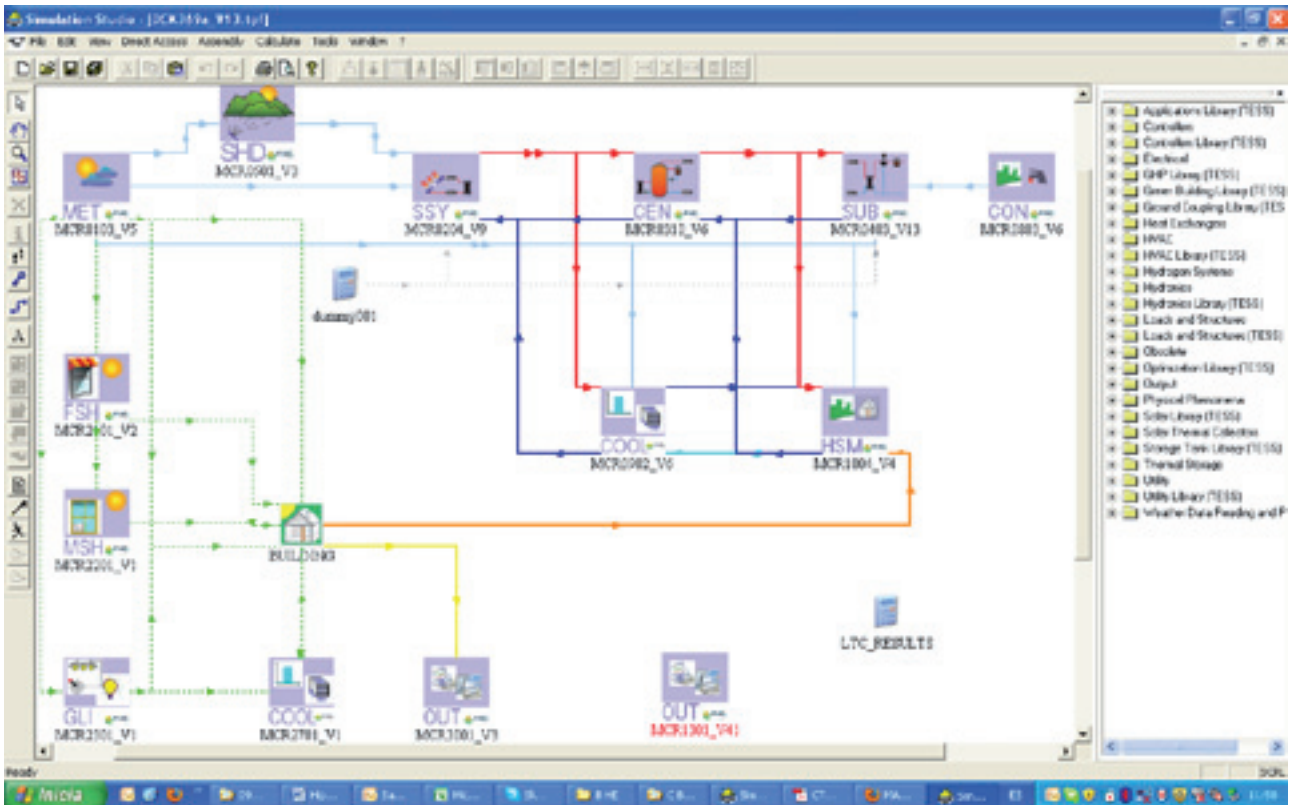
2 Definición de las hipótesis de simulación

2.1 BASES DE CÁLCULO

Con el objetivo de determinar el comportamiento térmico de los edificios objeto de estudio se ha llevado a cabo la simulación de los mismos, mediante TRNSYS 16. La simulación de los edificios se realiza utilizando el modelo multi-zona de análisis

térmico (TYPE 56 de TRNSYS), así como el pre-procesador PREBID, que permite la descripción con todo detalle de las características geométricas, constructivas y de funcionamiento del edificio estudiado. En el presente capítulo se describen con detalle los principales parámetros que definen las características en cada caso.

Figura 4. TRNSYS Studio



Las hipótesis de definición de los modelos (características constructivas, consignas de climatización, perfiles horarios, cargas internas, etc.) se han tomado según prescribe el Código Técnico de la Edificación (CTE) en los capítulos HE-1 y HE-2 o bien según los documentos reconocidos para la certificación energética de edificios por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Secretaría de Estado de Energía), en caso de existir, para la tipología edificatoria considerada.

2.2 TIPOLOGÍA RESIDENCIAL

Las hipótesis de la tipología residencial se extraen del documento reconocido **Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos**. Este Documento sienta las bases de la metodología de la verificación del cumplimiento del CTE y la Certificación Energética.

A continuación se muestran las principales hipótesis de definición para los modelos térmicos correspondientes a la tipología residencial.

Tabla 8. Hipótesis de simulación para la tipología residencial

Hipótesis de simulación (residencial)																									
Meteorología																									
Los datos meteorológicos utilizados en las simulaciones provienen de los ficheros climáticos utilizados por las herramientas oficiales de cumplimiento de la normativa edificatoria (LIDER) y la certificación energética (CALENER VyP y CALENER GT).																									
Infiltración																									
El valor de la tasa de infiltración es de 0,8 ren/horas. Esta renovación de aire se realiza de forma constante debido a la permeabilidad de los cerramientos opacos, aberturas no deseadas y porosidad de los cerramientos. La temperatura del aire de renovación por infiltración es la temperatura ambiente.																									
Ventilación																									
La ventilación es función de la ocupación e independiente de la tasa de infiltración. Cuando existe ocupación se ventila con una tasa de 1,2 ren/hora. Cuando no hay ocupación, la ventilación presenta una tasa de 0,2 ren/hora.																									
La temperatura del aire de ventilación es la temperatura ambiente, sin tratamiento para la humedad relativa del aire.																									
Climatización																									
Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno.																									
Se diferencia entre días laborales, sábados o festivos. Se supondrá que el día 1 de enero es lunes. No se consideran fiestas nacionales, regionales ni locales.																									
A continuación se muestra el perfil de refrigeración para el régimen de verano:																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Temp. (°C)	27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27
El perfil de calefacción para el resto del año:																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Temp. (°C)	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17

(Continuación)

Hipótesis de simulación (residencial)																								
Ocupación y G.I.																								
A continuación se muestran los valores de ganancias internas generadas por ocupación, iluminación y equipamientos. Se han utilizado diferentes colores para distinguir de manera rápida la evolución de estos valores.																								
Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	2,15
Sábado	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábado	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Ilumin. (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivos	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	4,40	4,40	4,40	2,20
Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivos	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	4,40	4,40	4,40	2,20

2.3 TIPOLOGÍA OFICINAS

Las hipótesis de la tipología oficinas se extraen del documento reconocido **Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos**. Este Documento sienta las bases de la metodología de la verificación del cumplimiento del CTE y la Certificación Energética.

A continuación se muestran las principales hipótesis de definición para los modelos térmicos correspondientes a la tipología oficinas.

Tabla 9. Hipótesis de simulación para la tipología oficinas

Hipótesis de simulación (oficinas)																								
Meteorología																								
Los datos meteorológicos utilizados en las simulaciones provienen de los ficheros climáticos utilizados por las herramientas oficiales de cumplimiento de la normativa edificatoria (LIDER) y la certificación energética (CALENER VyP y CALENER GT).																								
Infiltración																								
El valor de la tasa de infiltración es de 0,8 ren/horas. Esta renovación de aire se realiza de forma constante debido a la permeabilidad de los cerramientos opacos, aberturas no deseadas y porosidad de los cerramientos. La temperatura del aire de renovación es la temperatura ambiente. La temperatura del aire de renovación por infiltración es la temperatura ambiente.																								
Ventilación																								
La ventilación es función de la ocupación e independiente de la tasa de infiltración. Cuando existe ocupación se ventila con una tasa de 1,2 ren/hora. Cuando no hay ocupación, la ventilación presenta una tasa de 0,2 ren/hora. La temperatura del aire de ventilación es la temperatura ambiente, sin tratamiento para la humedad relativa del aire.																								
Climatización																								
Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno. Se diferencia entre días laborales, sábados o festivos. Se supondrá que el día 1 de enero es lunes. No se consideran fiestas nacionales, regionales ni locales. A continuación se muestra el perfil de refrigeración para el régimen de verano:																								
Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	-	-	25	25	25	25	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	-	-	25	25	25	25	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El perfil de calefacción para el resto del año:																								
Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	20	20	20	20	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	20	20	20	20	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Se trata la humedad relativa del ambiente durante todo el año asegurando un 60% de Hr.																								

(Continuación)

Hipótesis de simulación (oficinas)**Ocupación y G.I.**

A continuación se muestran los valores de ganancias internas generadas por ocupación, iluminación y equipamientos. Estos valores corresponden a intensidad alta según el Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos. Se ha utilizado diferentes colores para distinguir de manera rápida la evolución de estos valores. Los valores de ganancias internas siguen el perfil ocupación, como también lo hacen los perfiles de calefacción y refrigeración.

Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	-	-	-	10,00	10,00	10,00	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	-	-	-	6,31	6,31	6,31	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Los siguientes valores corresponden a intensidad alta según el Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos.

Ilumin. (100%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	100	100	100	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	-	-	-	7,50	7,50	7,50	-	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.4 TIPOLOGÍA HOSPITALES

Las hipótesis de la tipología hospitales se extraen del documento reconocido **Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos**. Este Documento sienta las bases de la metodología de la verificación del cumplimiento del CTE y la Certificación Energética. Sin embargo, al ser los hospitales un tipo de edificio que requiere una climatización a lo largo de las 24 horas del día, que no se describe específicamente en dicho documento, se han adaptado los perfiles de uso a esta condición.

A continuación se muestran las principales hipótesis de definición para los modelos térmicos correspondientes a la tipología hospitales.

Tabla 10. Hipótesis de simulación para la tipología hospitales

Hipótesis de simulación (hospitales)																								
Meteorología																								
Los datos meteorológicos utilizados en las simulaciones provienen de los ficheros climáticos utilizados por las herramientas oficiales de cumplimiento de la normativa edificatoria (LIDER) y la certificación energética (CALENER VyP y CALENER GT).																								
Infiltración																								
El valor de la tasa de infiltración es de 0,8 ren/horas. Esta renovación de aire se realiza de forma constante debido a la permeabilidad de los cerramientos opacos, aberturas no deseadas y porosidad de los cerramientos. La temperatura del aire de renovación es la temperatura ambiente. La temperatura del aire de renovación por infiltración es la temperatura ambiente.																								
Ventilación																								
La ventilación es función de la ocupación e independiente de la tasa de infiltración. Cuando existe ocupación se ventila con una tasa de 1,2 ren/hora. Cuando no hay ocupación, la ventilación presenta una tasa de 0,2 ren/hora. La temperatura del aire de ventilación es la temperatura ambiente, sin tratamiento para la humedad relativa del aire.																								
Climatización																								
Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno. Se diferencia entre días laborales, sábados o festivos. Se supondrá que el día 1 de enero es lunes. No se consideran fiestas nacionales, regionales ni locales. A continuación se muestra el perfil de refrigeración para el régimen de verano:																								
Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	27	27	27	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27
Sábado	27	27	27	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27
Festivo	27	27	27	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27

(Continuación)

Hipótesis de simulación (hospitales)

El perfil de calefacción para el resto del año:

Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17
Sábado	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17
Festivo	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17

Se trata la humedad relativa del ambiente durante todo el año asegurando un 60% de Hr.

El modelo correspondiente a hospital de menores dimensiones se tratará según los perfiles y ganancias internas del modelo de oficinas.

Ocupación y G.I.

A continuación se muestran los valores de ganancias internas generadas por ocupación, iluminación y equipamientos. Estos valores se obtienen del Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos y corresponden a intensidad alta de 7:00 a 23:00 los días laborales y los sábados, e intensidad media el resto de días. se ha utilizado diferentes colores para distinguir de manera rápida la evolución de estos valores. los valores de ganancias internas siguen el perfil ocupación, como también lo hacen los perfiles de calefacción y refrigeración.

Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	6,00
Sábado	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	6,00
Festivo	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00

Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	3,79
Sábado	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	3,79
Festivo	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79

(Continuación)

Hipótesis de simulación (hospitales)																								
Los siguientes valores corresponden a intensidad alta según el Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos. Para iluminación se toma un valor de 22 W/m ² .																								
Ilumin. (100%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	25	25	25	25	25	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25
Sábado	25	25	25	25	25	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25
Festivo	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.5 TIPOLOGÍA CENTROS COMERCIALES

Las hipótesis de la tipología oficinas se extraen del documento reconocido **Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos**. Este Documento sienta las bases de la metodología de la verificación del cumplimiento del CTE y la Certificación Energética.

A continuación se muestran las principales hipótesis de definición para los modelos térmicos correspondientes a la tipología centros comerciales.

Tabla 11. Hipótesis de simulación para la tipología centros comerciales

Hipótesis de simulación (centros comerciales)	
Meteorología	
Los datos meteorológicos utilizados en las simulaciones provienen de los ficheros climáticos utilizados por las herramientas oficiales de cumplimiento de la normativa edificatoria (LIDER) y la certificación energética (CALENER VyP y CALENER GT).	
Infiltración	
El valor de la tasa de infiltración es de 0,8 ren/horas. Esta renovación de aire se realiza de forma constante debido a la permeabilidad de los cerramientos opacos, aberturas no deseadas y porosidad de los cerramientos. La temperatura del aire de renovación es la temperatura ambiente.	
La temperatura del aire de renovación por infiltración es la temperatura ambiente.	

(Continuación)

Hipótesis de simulación (centros comerciales)**Ventilación**

La ventilación es función de la ocupación e independiente de la tasa de infiltración. Cuando existe ocupación se ventila con una tasa de 1,2 ren/hora. Cuando no hay ocupación, la ventilación presenta una tasa de 0,2 ren/hora.

La temperatura del aire de ventilación es la temperatura ambiente, sin tratamiento para la humedad relativa del aire.

Climatización

Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno.

Se diferencia entre días laborales, sábados o festivos. Se supondrá que el día 1 de enero es lunes. No se consideran fiestas nacionales, regionales ni locales.

A continuación se muestra el perfil de refrigeración para el régimen de verano:

Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

El perfil de calefacción para el resto del año:

Temp. (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Se trata la humedad relativa del ambiente durante todo el año asegurando un 60% de Hr.

Ocupación y G.I.

A continuación se muestran los valores de ganancias internas generadas por ocupación, iluminación y equipamientos. Estos valores se obtienen del Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos y corresponden a intensidad media. Se ha utilizado diferentes colores para distinguir de manera rápida la evolución de estos valores. Los valores de ganancias internas siguen el perfil ocupación, como también lo hacen los perfiles de calefacción y refrigeración.

Hipótesis de simulación (centros comerciales)																								
Ocupación sensible (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ocupación latente (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Los siguientes valores corresponden a intensidad media según el Documento de condiciones de aceptación de programas informáticos alternativos.																								
Ilumin. (100%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	-	-	-	-	-	-	-	-	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	-	-
Sábado	-	-	-	-	-	-	-	-	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	-	-
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3 Caracterización de la demanda de agua caliente sanitaria

3.1 METODOLOGÍA

El cálculo de la demanda de ACS se ha realizado en base a los criterios que marca la normativa vigente de ámbito estatal que afecta al cálculo de la aportación solar en las diferentes localizaciones. Esta normativa es el Código Técnico de la Edificación, documento HE apartado 4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria).

En consecuencia, las demandas de ACS se calcularán en función de los valores que establece el CTE (HE4).

Para el cálculo de ésta es necesario conocer determinados parámetros de ocupación según el tipo de edificio y en función de los parámetros que marca el CTE para determinar la ocupación de cada uno de ellos se calcula la demanda de ACS (tabla 4 del apartado 3.1.1 del HE4).

El cálculo de la demanda del edificio se realiza en base a los valores que marca el CTE, HE4 apartado 3.1.1.1, con una demanda de referencia a 60 °C.

La temperatura citada para determinar la demanda de ACS de una vivienda es la mencionada según normativa, pero la temperatura de servicio –es decir, la de consumo– es diferente, siendo ésta de 45 °C.

Los resultados energéticos del sistema se han obtenido mediante una simulación dinámica con el software de cálculo TRANSOL 3.0., basado en el programa de simulaciones dinámicas TRNSYS (TRaNsient simulation SYStems).

Los resultados obtenidos se añaden a la posterior simulación de los edificios con TRNSYS junto con el comportamiento térmico del edificio (demanda total de ACS, calefacción y refrigeración).

La conversión de la demanda de ACS de 60 °C a 45 °C se realiza suponiendo que la energía demandada a 60 °C será la misma energía demandada a 45 °C, y por lo tanto, la relación utilizada para el cálculo es la de la conservación de la energía.

$$Q_1(60\text{ }^\circ\text{C}) = Q_2(45\text{ }^\circ\text{C})$$

Desarrollando la fórmula:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2$$

con $\Delta T_1 = T_{1\text{ preparación}} - T_{red}$

y $\Delta T_2 = T_{2\text{ preparación}} - T_{red}$

Para los valores de la temperatura del agua fría de red se consideran los valores medios mensuales para cada capital de provincia.

3.2 CRITERIOS DE DEMANDA

Según la norma HE4 del CTE los criterios de demanda a 60 °C para el tipo de uso que se estudiará en el presente análisis son los siguientes:

Tabla 12. Criterios para el cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria a 60 °C según HE4-CTE

Parámetro	litros/ persona/día	personas/ m ² sup. útil
Viviendas unifamiliares	30	0,0200
Viviendas plurifamiliares	22	0,0400
Oficinas	3	0,0500
Centros comerciales	3	0,0200
Centros sanitarios (referido a cama)	55	0,00342

R2. ESTADO DEL ARTE DE LA CLIMATIZACIÓN SOLAR

1 Estado del arte y mercado sobre la tecnología de climatización solar

1.1 CONTEXTO

En el mismo momento en el que se produce la máxima demanda diaria de refrigeración, en numerosos lugares del territorio español están disponibles grandes cantidades de radiación solar que podrían usarse para procesos generados térmicamente, por ejemplo refrigeración y aire acondicionado. Los procesos son aplicaciones de tecnologías extensamente probadas. La refrigeración generada térmicamente se ha aplicado durante las últimas décadas en nichos de mercado, preferentemente en categorías de gran capacidad, usando el calor residual o el calor procedente de la producción combinada de calor y energía (cogeneración). Sin embargo, la combinación de esta tecnología con calor solar es nueva y complica el proceso. Hasta la fecha, la refrigeración solar y el aire acondicionado solar se han probado en unos pocos centenares de instalaciones.

Las soluciones de climatización solar contribuyen a un sistema de suministro respetuoso con el medio ambiente en edificios, por los siguientes motivos:

- Unos ahorros notables en el consumo de energía primaria y reducción posible de emisiones de CO₂.
- Una disminución de la demanda de la red eléctrica pública, tanto en términos de energía pico como de electricidad, contribuyendo a la estabilización de la red.
- La utilización del calor solar combinado para calentar, refrigerar y obtener agua caliente sanitaria (ACS), permitiendo una alta utilización del sistema térmico solar durante todas las estaciones.
- La no-utilización de refrigerantes peligrosos para el medio ambiente.
- La reducción de ruidos y vibraciones comparado con las tecnologías de compresión clásicas.

1.2 SISTEMAS DE CICLO CERRADO Y SISTEMAS DE CICLO ABIERTO

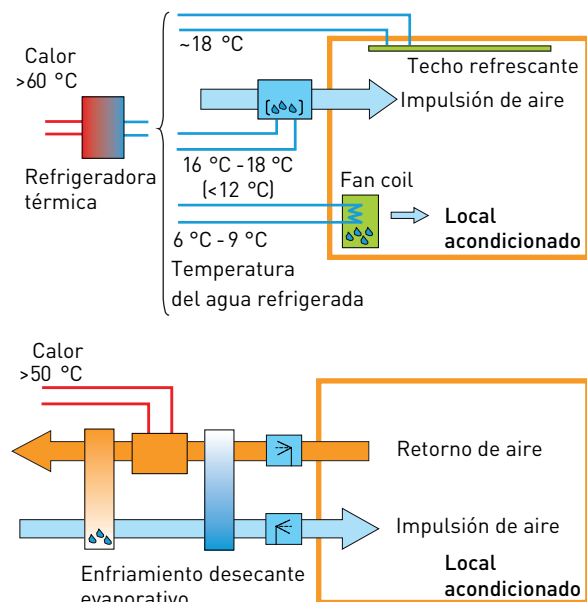
Las actuales tecnologías de refrigeración y acondicionamiento del aire, que se basan en procesos de transformación del calor, pueden ser clasificados según sean **sistemas abiertos** o **cerrados**.

- **Sistemas abiertos:** en este caso, el refrigerante, que es siempre agua, se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Estos sistemas actúan

directamente sobre el aire mediante una unidad de tratamiento de aire (en los sistemas *todo aire*), refrigerándolo y deshumidificándolo según las necesidades de confort. Los sistemas abiertos se basan en una combinación de deshumidificación por sorción y refrigeración evaporativa y se conocen habitualmente como sistemas de desecación y refrigeración evaporativa (DEC). El material sorbente puede ser un sólido o un líquido, aunque esta segunda opción todavía no se encuentra disponible en el mercado. La energía solar térmica es utilizada para regenerar el sistema encargado de deshumidificar el aire.

- **Sistemas cerrados:** el calor de origen solar es suministrado a una enfriadora térmica que se encarga de producir agua fría. Dicha agua puede ser utilizada directamente en el sistema de aire acondicionado mediante *fan-coils* o techos refrescantes o distribuida hacia una unidad de tratamiento de aire (en los sistemas *todo aire*). Actualmente existen en el mercado dos tipos diferentes de estos sistemas: los que utilizan enfriadoras por absorción o por adsorción.

Figura 1. Tipos generales de tecnologías de refrigeración y aire acondicionado impulsadas térmicamente. Arriba, circuito cerrado de agua enfriada. Abajo, ciclo abierto de aire



Fuente: Fraunhofer ISE

1.3 SISTEMAS DE CICLO CERRADO O DE AGUA ENFRIADA

La tecnología dominante en enfriadoras térmicas se basa en la absorción y adsorción.

El proceso físico básico consiste en dos componentes químicos como mínimo, uno de ellos sirviendo como refrigerante y el otro como absorbente/adsorbente.

En el caso de absorción, las máquinas pueden clasificarse según los pares de sustancias que actúan como refrigerante/absorbente. Siguiendo el orden

de esta función según se ha indicado, se presentan los siguientes pares:

- Agua (H₂O) / bromuro de litio (LiBr).
- Agua (H₂O) / cloruro de litio (LiCl).
- Amoníaco (NH₃) / agua (H₂O).

También para las máquinas de absorción, según las etapas del proceso se pueden clasificar en:

- Simple efecto.
- Doble efecto.

Las principales enfriadoras térmicas son máquinas por absorción o por adsorción. En la siguiente tabla se resumen las principales características de las máquinas existentes en el mercado.

Tabla 1. Características principales de las actuales enfriadoras térmicas del mercado¹

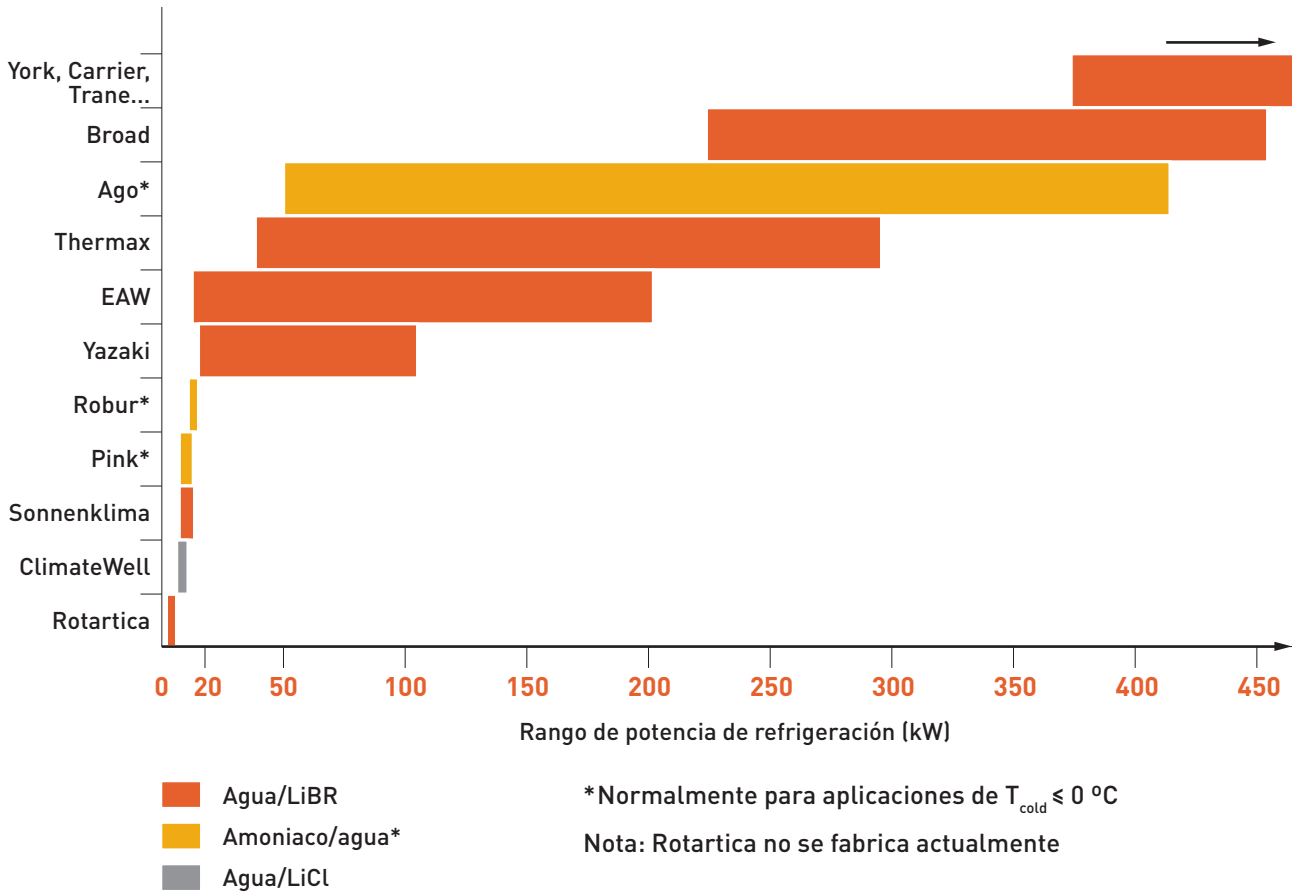
Proceso	Absorción		Adsorción
Etapas	Simple efecto	Doble efecto	Simple efecto
Ad/absorbente	Bromuro de litio*		Gel de sílice
Refrigerante	Agua/amoniaco*		Agua
T. del generador	80 °C - 110 °C	140 °C - 160 °C	60 °C - 95 °C
Alimentación	Agua caliente o sobrecalentada	Agua o vapor sobrecalentado	Agua caliente
COP	0,6 - 0,8	0,9 - 1,2	0,4 - 0,7
Disponibilidad del mercado	< 35 kW mercado incipiente 35 kW - 100 kW algunos fabricantes >100 kW amplio mercado	>100 kW amplio mercado	< 50 kW (Sort.) 50 - 350 kW (May.) 70 - 1.220 kW (Nis.)
Fabricantes	Climatewell, Sonnenklima, Schucö, Yazaki, Broad, EAW, Carrier, Trane, York, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Entropie, Thermax,...		Sortech, Mayekawa, Nishiodo
Colectores solares utilizables	Colectores planos de superficie selectiva Tubos de vacío CPC (con concentrador cilindro-parabólico compuesto)	PTC (colectores cilindro-parabólicos)	Colectores planos de superficie selectiva Tubos de vacío CPC (con concentrador cilindro-parabólico compuesto)

*El absorbente y el refrigerante se encuentran en el orden indicado

¹Fuente: AIGUASOL S.C.C.L.

La Figura 2 muestra un ejemplo de las enfriadoras por absorción disponibles actualmente en el mercado, ordenadas según su capacidad. La presentación no pretende ser exhaustiva.

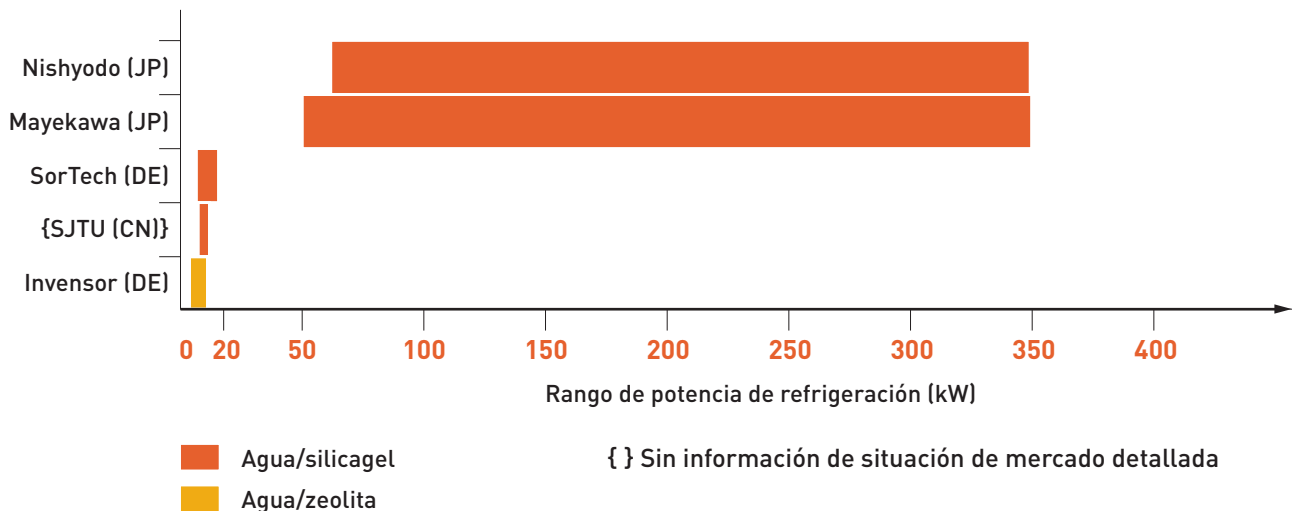
Figura 2. Orden de magnitud de capacidad de enfriadoras de absorción (relación de ejemplos no exhaustiva)



Fuente: SOLAIR

Para el caso de máquinas de adsorción, el rango de equipos disponible en el mercado es menor, se muestra en la figura siguiente.

Figura 3. Orden de magnitud de capacidad de enfriadoras de adsorción. Los productos enumerados están disponibles en el mercado, ya sea en producción de pequeñas series o fabricación según demanda. Esta lista no es exhaustiva



Fuente: SOLAIR

1.3.1 Máquinas de absorción de simple efecto

Los componentes principales de una refrigeradora por absorción se muestran en la Figura 4. Estos son:

- Generador (o desabsorbedor).
- Absorbedor.
- Condensador.
- Evaporador.

Comparada con una máquina de refrigeración por compresión convencional, la unidad de compresión mecánica se reemplaza con una unidad de “compresión térmica” con un absorbedor y un generador. El efecto enfriador se basa en la evaporación del refrigerante (por ejemplo, agua) en el evaporador a baja presión. Gracias a las propiedades del cambio de fase, pueden transferirse grandes cantidades de energía.

Los ciclos de absorción se basan principalmente en el hecho de que el punto de ebullición de una mezcla es superior al de sus correspondientes componentes en estado puro. Además, la evaporación del refrigerante a baja temperatura es posible gracias a que se encuentra a muy baja presión (cerca de 6 mmHg).

El funcionamiento de una máquina de absorción y sus diferentes fases se describe a continuación:

1. El refrigerante (agua en las máquinas de LiBr) se evapora en el evaporador a muy baja presión y temperatura, extrayendo de esta forma el calor del fluido que se quiere enfriar.
2. El vapor de refrigerante fluye hacia el absorbedor, que está conectado directamente con el evaporador, donde es absorbido por la solución concentrada. Durante este proceso es necesario evacuar el calor latente de la condensación y el generado durante el proceso de mezcla mediante un serpentín de refrigeración, procedente de una torre de refrigeración.
3. La solución diluida, producida en el absorbedor, es bombeada hacia el generador, donde es calentada por encima del punto de ebullición mediante un foco caliente (un campo de captadores en los sistemas de refrigeración impulsados por energía solar). En este punto, y a una elevada presión, el refrigerante es nuevamente separado de la solución, que es devuelta al absorbedor, ahora concentrada.

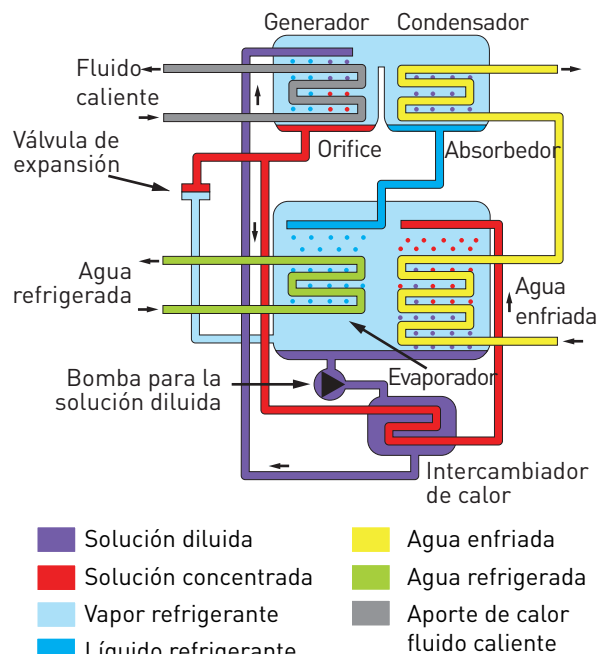
4. El vapor de refrigerante a alta presión fluye hacia el condensador, que se encuentra directamente conectado con el generador. En éste, el vapor es condensado mediante el agua de refrigeración procedente del absorbedor, y que finalmente es conducida a la torre de refrigeración, donde se eliminará todo el calor sobrante de la máquina de absorción.
5. La presión del líquido refrigerante es reducida mediante una válvula de expansión. Finalmente, el refrigerante fluye hasta el evaporador.

La mayoría de las máquinas de absorción comerciales disponibles requieren de una bomba para el transporte de la solución diluida desde el absorbedor hasta el generador. El consumo eléctrico de esta bomba es aproximadamente de un 1-5% de la potencia de refrigeración total.

Como se muestra en la siguiente figura, existe un intercambiador entre la solución diluida y la solución concentrada, que permite precalentar el fluido que se dirige hacia el generador.

El control interno de la máquina de absorción debe evitar la cristalización de la solución. Esto puede ocurrir si la temperatura del agua de refrigeración procedente de la torre de refrigeración es demasiado baja. El límite de esta temperatura depende del fabricante, pero el valor típico es de 24 °C.

Figura 4. Esquema de una enfriadora de absorción



Fuente: YAZAKI

La mayoría de las enfriadoras de absorción utilizan agua como refrigerante y bromuro de litio como absorbente. Sus potencias están comprendidas entre unos cientos de kW y algunos MW. Habitualmente eran alimentadas con calor residual, centralizado o de cogeneración. La temperatura requerida de la fuente de calor suele ser de unos 85°C y los valores típicos de COP están entre 0,6 y 0,8. Hasta hace unos años, la máquina disponible más pequeña era de producción japonesa, con una capacidad enfriadora de 35 kW.

Recientemente, la situación ha cambiado debido a las novedades del mercado en enfriadoras en el segmento de pequeña y mediana capacidad. En general, están diseñadas para funcionar con bajas temperaturas generadoras y por lo tanto aplicables a captadores solares térmicos estacionarios. La

menor capacidad enfriadora disponible actualmente es de 10 kW. Algunos ejemplos de enfriadoras de absorción pequeñas y medianas se representan en la Figura 5. Junto a los fluidos de trabajo H₂O/LiBr, también se aplican H₂O/LiCl y NH₃/H₂O. La aplicación del último fluido con amoníaco como refrigerante es relativamente nueva para la refrigeración de edificios, puesto que este tipo de tecnología se usaba sobre todo para la refrigeración industrial para aplicaciones a temperaturas negativas. Una ventaja de este tipo de enfriadora se nota especialmente en aplicaciones en las que se necesita un gran salto térmico entre la temperatura exterior y la temperatura fría. Es el caso, por ejemplo, de áreas con escasez de agua, cuando debe aplicarse el enfriamiento seco a alta temperatura ambiente.

Figura 5. Ejemplos de pequeñas enfriadoras que usan agua como refrigerante y bromuro de litio como fluido de absorción: Sonnenklima 10 kW (izquierda), EAW-Schucco-15 kW (centro), Yazaki-17 kW (derecha)



Figura 6. Ejemplo de enfriadora que usa como agua refrigerante y cloruro de litio como material de absorción. La fase de cristalización del material de absorción también se usa, efectuando un almacenaje interno de energía ClimateWell 10 kW



Figura 7. Ejemplos de enfriadoras de absorción que usan amoníaco como refrigerante y agua como material de absorción. Pink 12 kW (izquierda); Ago 50 kW (derecha)



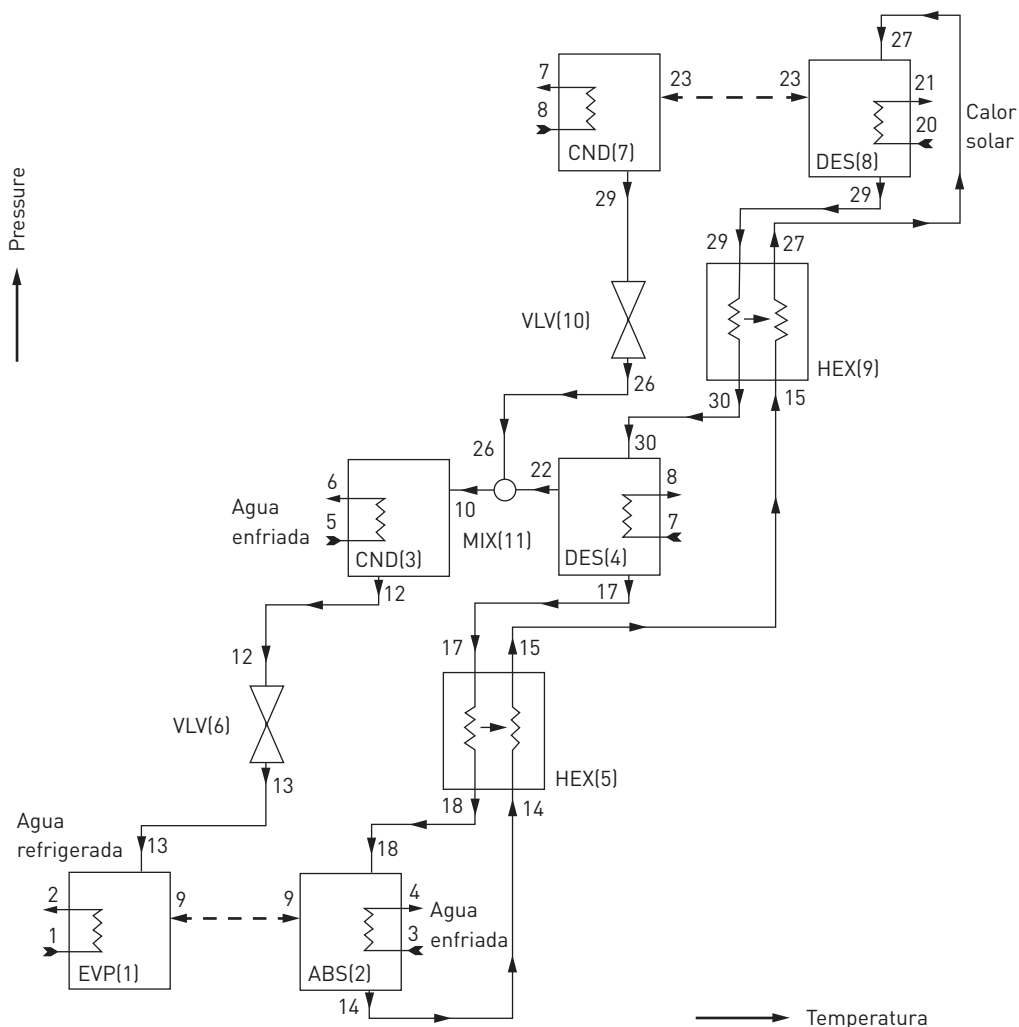
Fuente: SOLAIR

1.3.2 Máquinas de absorción de doble efecto

En las máquinas de absorción multi-efecto, de doble efecto por ejemplo, el principio fundamental consiste en dos generadores y dos condensadores que trabajan para una única combinación de absorbente-evaporador. En comparación con las máquinas de simple efecto, son necesarios los siguientes elementos adicionales: condensador [7], generador [8], intercambiador de calor [9] y válvula de expansión [10]. Los números especificados entre paréntesis corresponden a los elementos de la Figura 8.

El sistema opera a tres niveles distintos de presión y a cuatro de temperatura. La solución pobre (estado 14), que abandona el absorbente [2], es conducida a los dos generadores, conectados en serie, y es regenerada en dos fases por ambos generadores. El calor procedente del campo de captadores es aplicado al generador de alta temperatura (8). Mientras tanto el generador de baja temperatura (4) recibe el calor expulsado por el condensador de alta temperatura (7-8). Los condensados procedentes de ambos condensadores se expanden en el evaporador.

Figura 8. Esquema de un ciclo de doble efecto



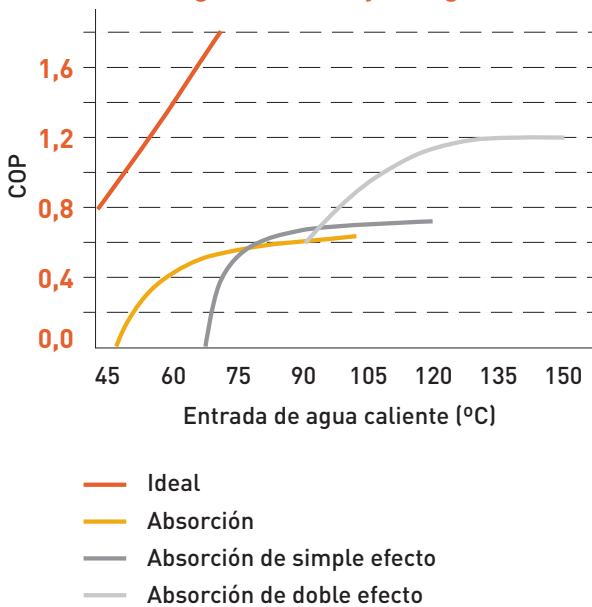
Referencia: [Grossman, 2002]

El mismo principio se puede extrapolar para máquinas de triple efecto con tres generadores y tres condensadores, siempre y cuando se pueda disponer de una fuente de temperatura a suficiente temperatura.

Los sistemas de doble efecto están ampliamente extendidos en Estados Unidos y Japón, principalmente para aplicaciones alimentadas por gas. Los sistemas de triple efecto se encuentran todavía en fase de desarrollo, pero ya muy próximos a su comercialización.

La Figura 9 muestra la relación entre el COP de la máquina y la temperatura de trabajo del generador de varias enfriadoras multi-efecto con un mismo dimensionado y bajo idénticas condiciones de operación (temperatura del agua de refrigeración a 30 °C y temperatura de consigna del agua a enfriar de 7 °C). Hay que destacar que, para cada ciclo de absorción, existe un valor mínimo de la temperatura a suministrar al generador, por debajo de la cual no funciona. Si dicha temperatura se incrementa, el COP aumenta bruscamente, hasta alcanzar un valor asintótico².

Figura 9. Curvas de ejemplo del coeficiente de funcionamiento COP para diferentes tecnologías enfriadoras de sorción y la curva límite para un proceso ideal. Las curvas se muestran en función de la temperatura operativa y para un nivel de temperatura constante de agua enfriada y refrigerante



Temperatura del agua refrigerada: 9 °C
 Temperatura del agua enfriada: 28 °C

Fuente: (Henning, Wiemken, 2006)

La principal ventaja de un doble efecto frente a un ciclo de simple efecto es que el efecto de enfriamiento por unidad de calor puede llegar a ser el doble. Como se muestra en la Figura 9, estos sistemas requieren temperaturas por encima de los 140 °C, pero su COP alcanza valores de 1,0-1,2. Aunque estos sistemas no son los más adecuados para su utilización con colectores solares comunes, puede llegar a ser una opción interesante combi-ándolos con colectores cilindro-parabólicos (ver Capítulo 1.5.7). Su aplicación conjunta ofrece una oportunidad para superar la barrera de la eficiencia de los sistemas de refrigeración existentes, basados en máquinas de simple efecto con colectores planos o de vacío. Sin embargo, hay que destacar la necesidad de mantener la temperatura de trabajo elevada, para evitar una disminución brusca del COP. Esta consideración influirá sobre el diseño del sistema solar en lo referente a las presiones de trabajo, vaso de expansión, etc. Esta aplicación resulta especialmente adecuada para climas con elevada radiación directa.

1.3.3 Máquinas de adsorción

Las máquinas de **adsorción** son enfriadoras térmicas basadas en el principio de adsorción. Este principio consiste básicamente en la unión de las moléculas de un gas con la superficie de un material higroscópico altamente poroso.

El efecto físico de la adsorción se produce debido a que la presión parcial del vapor de agua en la superficie de un material higroscópico (absorbente) es menor que la del vapor de agua en el aire. Consecuentemente, este tipo de materiales son adecuados para atraer el vapor de agua del aire y retenerlo en estado líquido, sin aumentar su volumen ni variar su estructura.

Una vez que la superficie adsorbente alcanza el punto de saturación, se debe regenerar para su posterior utilización, cerrando de este modo el ciclo. Esto se logra mediante el uso de una fuente de calor.

El efecto de secado de estos materiales adsorbentes disminuye con el aumento de humedad en el desecante o con la correspondiente disminución de la presión parcial del vapor de agua en el aire. El incremento de la temperatura también causa la disminución del efecto de secado.

²Documented in Gommed and Grossman, 1990

El proceso de deshumidificación por sorción de los ciclos de desecación y refrigeración evaporativa es un claro ejemplo de un proceso de adsorción. Otra posible aplicación de la adsorción se puede encontrar en la utilización de filtros de carbón activo para la limpieza de aire contaminado por disolventes. Los adsorbentes más utilizados a nivel industrial son el gel de sílice, el carbón activo y la alúmina, ya que todos presentan una gran superficie específica.

El carbón activo se obtiene a partir de materia orgánica que se descompone en gránulos de carbón mediante un proceso térmico. Cáscaras de coco, madera o huesos son utilizados habitualmente como base orgánica. El gel de silicio es una matriz formada por dióxido de silicio hidratado. La alúmina se puede encontrar de forma natural o ser obtenida a partir de dióxido de aluminio e hidróxido.

El ciclo de refrigeración de las máquinas de adsorción se basa principalmente en dos fenómenos físicos:

- El material adsorbente (gel de sílice en las máquinas comerciales) es capaz de adsorber vapor de agua.
- El agua se evapora a bajas temperaturas cuando la presión ambiente también es baja (5-6 mm Hg).

En un sistema cerrado, que se encuentra al vacío, el agua puede evaporarse fuera del gel de silicio mediante la aplicación de calor (agua caliente a baja temperatura). Después de condensarse en el condensador, el agua, que es pulverizada en otra sección, vuelve a evaporarse bajo condiciones de vacío. En este caso, el calor se extrae de un serpentín por donde circula el agua a enfriar.

La estructura principal de una máquina de adsorción consiste en un recipiente a presión de acero, que está subdividido en cuatro cámaras:

- Una cámara superior que actúa como condensador.
- Dos cámaras intermedias adosadas, que se utilizan como generador-receptor.
- Una cámara inferior, que trabaja como evaporador.

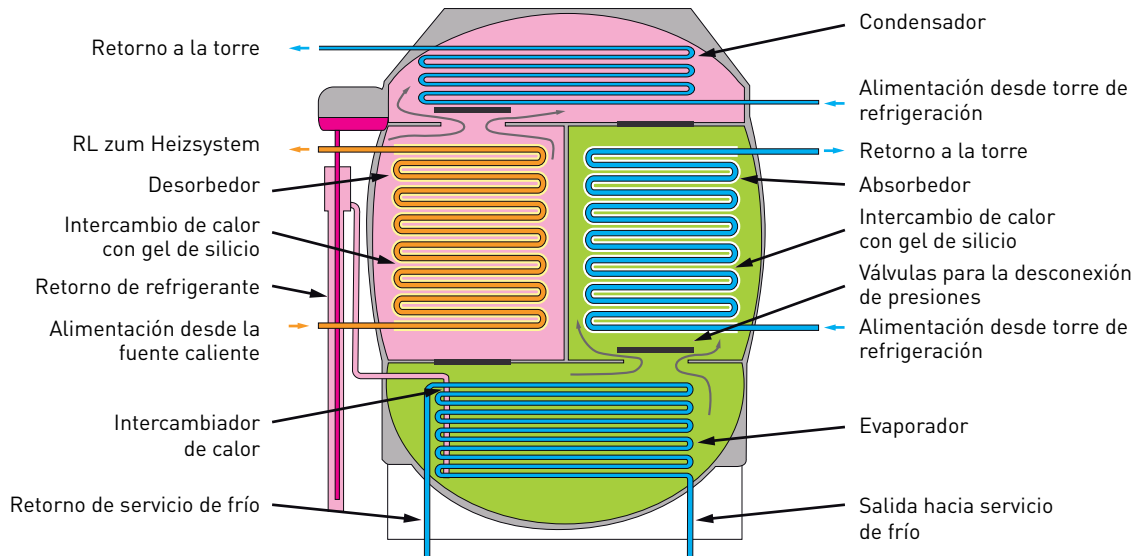
El generador-receptor está conectado con el evaporador y el condensador mediante válvulas de clapeta.

En el interior de cada una de las cámaras hay un intercambiador de cobre. Las dos cámaras intermedias del generador-receptor se encuentran recubiertas con gel de silicio.

El funcionamiento de una máquina de adsorción y sus diferentes fases se describe a continuación:

1. El ciclo empieza generando vacío en el interior de las cámaras mediante la bomba que incorpora la máquina. Después de vaciar el sistema, una pequeña cantidad de agua es introducida en su interior.
2. La máquina opera en ciclos de 10 minutos. En el primer ciclo, se suministra calor al generador, donde se encuentra el gel de silicio saturado de agua. Mientras tanto, la cámara contigua, que contiene gel de silicio seco, actúa como receptor del vapor de agua procedente del evaporador. Durante este proceso, tanto el receptor como el condensador son refrigerados mediante un circuito de agua, normalmente conectado a una torre de refrigeración, que disipa el calor sobrante a la atmósfera.
3. Transcurridos 10 minutos, las válvulas neumáticas permanecen cerradas durante una fase de recirculación de 40 segundos. Período en el cual, el agua de refrigeración y el agua caliente de los intercambiadores, que se encuentran en contacto con el gel de silicio, se mezclan para realizar una recuperación de calor parcial y para evitar el shock térmico.
4. Después de esta corta etapa, la máquina es conmutada mediante las válvulas neumáticas. La cámara que anteriormente había actuado como receptor ahora actúa como generador y es calentada, mientras que la otra cámara ahora opera como receptor y es refrigerada.
5. Durante este proceso periódico, se forma vapor de agua, que vuelve a condensarse otra vez en el condensador (situado encima del generador). Entonces, este refrigerante es bombeado a través de unos pulverizadores en la cámara del evaporador donde se evapora a muy baja presión, extrayendo calor del agua a enfriar y que circula por el intercambiador del evaporador. El vapor resultante es condensado nuevamente y adsorbido por el gel de silicio, que se encuentra en la cámara adyacente (receptor).

Figura 10. Esquema de una enfriadora de adsorción

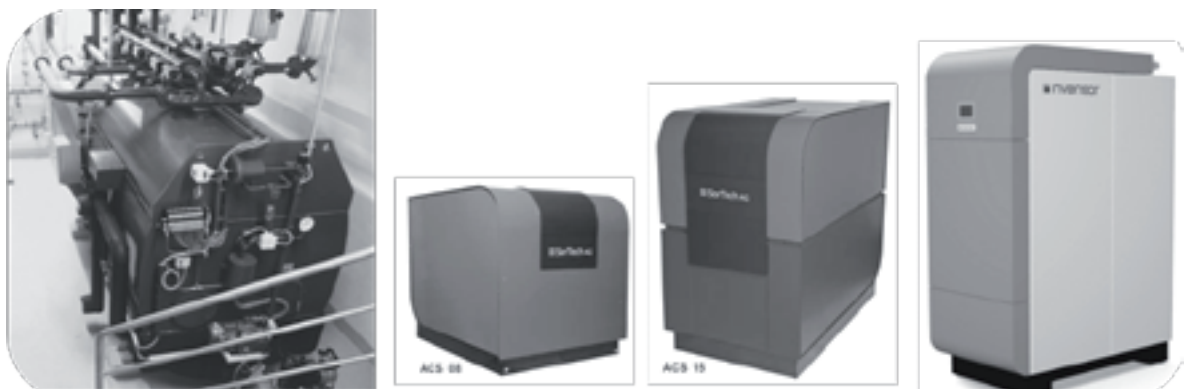


Fuente GbU-SOLAIR

Los sistemas disponibles en el mercado utilizan agua como refrigerante y gel de sílice como adsorbente, pero está en marcha la I+D de sistemas que emplean zeolitas como material de adsorción. Hasta la fecha, sólo producen enfriadoras de adsorción unos pocos fabricantes de Japón, China y Alemania. Las máquinas con mayor penetración en el mercado son las de los fabricantes japoneses Nishiodo y Mayewaka. En 2007 una fábrica alemana lanzó al mercado una pequeña unidad de 5,5 kW de capacidad, aumentándola hasta la versión mejorada de 7,5 kW (modelos de 2008).

Los típicos valores COP de enfriadoras de adsorción son 0,5-0,6. Unas ventajas de estas enfriadoras están en sus bajas temperaturas generadoras, empezando desde 60°C, la ausencia del bombeo de una solución y un funcionamiento relativamente libre de ruido. La imagen 2.9 muestra ejemplos de enfriadoras de adsorción, mientras que la imagen 2.10 muestra las enfriadoras de adsorción actualmente disponibles, ordenadas por capacidad enfriadora. La presentación no pretende ser exhaustiva.

Figura 11. Ejemplos de enfriadoras de adsorción. Nishiodo 70 kW (izquierda); Sortech 7,5 kW y 15 kW; Invensor 10 kW



Fuente: SOLAIR

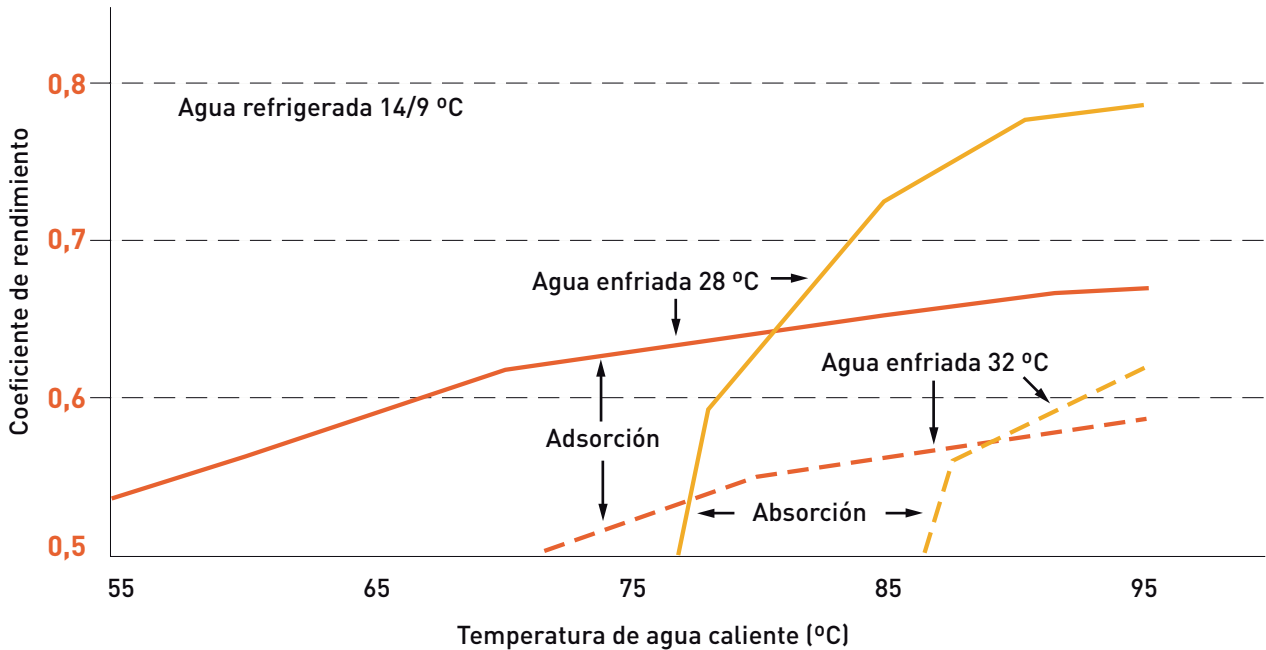
Las principales ventajas de las máquinas de adsorción en comparación con las de absorción son las siguientes:

- Las temperaturas de operación del generador pueden ser más bajas: de 60 °C a 90 °C en adsorción, en comparación con los 90-120 °C de una máquina de simple efecto de absorción.

- No existe ningún límite inferior en la temperatura del agua de refrigeración ya que no hay peligro de cristalización.

- El COP de la máquina no es tan dependiente de la temperatura del agua del generador o del agua de refrigeración, como en las máquinas de absorción (ver la imagen siguiente).

Figura 12. Comparación entre el COP de una máquina de absorción y una de adsorción



Fuente: SAHC

Por otro lado, los principales inconvenientes de las máquinas de adsorción, en comparación con las de absorción son las siguientes:

- El COP promedio de un equipo de adsorción es menor que el de uno de absorción.
- Los actuales equipos son más pesados y de mayor tamaño que sus equivalentes de absorción.
- Son más caros.

1.3.4 Otros equipos auxiliares

1.3.4.1 Sistemas de disipación de calor. Torres de refrigeración

En principio, pueden aplicarse diferentes posibilidades y tecnologías de disipación de calor:

1. Torre húmeda de refrigeración, sea de tipo abierto o cerrado, usando el efecto refrigerante evaporativo.
2. Torre seca de refrigeración sin evaporación.
3. Refrigeración híbrida, permitiendo ambas opciones: seca y húmeda.

4. Disipación de calor geotérmica mediante perforaciones.
5. Disipación de calor mediante agua subterránea, agua marina, fluvial o pluvial.
6. Aplicación de agua refrigerante a baja temperatura para disipar el calor de media temperatura.

En caso de ser aplicables, las opciones preferidas deberían ser la 5 y 6 porque están conectadas con el consumo más bajo de electricidad de las diferentes posibilidades de disipación de calor. Desafortunadamente, raramente se identifican los campos de aplicación del calor de baja temperatura (~ 30°C) y la refrigeración con agua marina está limitada por motivos económicos a áreas costeras y a grandes instalaciones. Además, es difícil obtener el permiso para aumentar la temperatura del agua marina.

La disipación geotérmica (sondas horizontales o verticales en el suelo) es comparativamente nueva y puede ser interesante, especialmente si los tubos también se emplean para bombear el calor en invierno, contribuyendo así a una carga anual equilibrada a nivel anual. En todo caso, el coste de inversión para geotermia es todavía alto.

Todavía hoy, la tecnología de disipación de calor más instalada en combinación con la refrigeración de accionado térmico es mediante torres húmedas de refrigeración de ciclo abierto.

Una **torre de refrigeración** es un dispositivo de disipación de calor. Ésta es capaz de extraer calor residual a la atmósfera, aunque el agua de refrigeración utilizada se encuentre a baja temperatura. El método de extracción del calor utilizado en una torre de refrigeración es el evaporativo. Una pequeña parte del agua que se quiere refrigerar es evaporada mediante un flujo de aire, proporcionando un enfriamiento significativo del resto de agua. El calor del agua transferido a la corriente de aire aumenta la temperatura y la humedad relativa del aire hasta llegar al 100%. Este aire es entonces descargado a la atmósfera.

Los dispositivos de disipación de calor por evaporación, tales como torres de refrigeración, se utilizan normalmente para alcanzar temperaturas de agua significativamente menores que las alcanzables mediante dispositivos por aire o secos. El principal efecto refrigerante se obtiene a través de la evaporación de un pequeño porcentaje del agua refrigerante (habitualmente < 5%) cuya pérdida debe ser compensada mediante el suministro de agua. El proceso es muy eficiente en los climas apropiados en los que la limitación de temperatura del agua refrigerante que regresa no está lejos de la temperatura de húmeda del aire (3°C de 5°C por encima de la temperatura de bulbo húmedo). En climas muy secos y calurosos, la temperatura de bulbo húmedo es muy próxima a la temperatura ambiente y muy elevada limitando así la eficiencia de las torres húmedas de refrigeración.

Las aplicaciones más comunes de las torres de refrigeración son el suministro de agua refrigerada para aire acondicionado, industria y generación de energía eléctrica.

El término genérico, torre de refrigeración, se utiliza tanto para describir equipos directos (circuito abierto), como indirectos (circuito cerrado).

Una **torre de refrigeración directa o de circuito abierto** consiste en una estructura cerrada con un sistema interno que distribuye el agua caliente sobre un material de relleno con estructura de panel de abeja. Dicho relleno proporciona una extensa interfaz aire-agua donde se puede llevar a cabo la evaporación. El agua es refrigerada a medida que desciende por gravedad a través del relleno,

entrando en contacto directo con el flujo de aire ascendente. Finalmente el agua refrigerada es recogida en una pileta situada en la parte inferior, donde es bombeada al inicio del proceso para volver a absorber más calor. El aire saturado es liberado a la atmósfera a suficiente distancia de la zona de admisión para evitar que pueda volver a entrar en la torre.

El relleno puede consistir en múltiples superficies colocadas verticalmente en las que se extiende una fina película de agua (relleno de película) o en varios niveles de elementos horizontales, que dividen el flujo de agua en múltiples cascadas formando pequeñas gotas, aumentando de esta forma la superficie en contacto con el aire.

Una **torre de refrigeración indirecta o de circuito cerrado** evita el contacto directo entre el aire y el fluido que quiere ser refrigerado, habitualmente agua o una mezcla de glicol. A diferencia de las torres de refrigeración abiertas, las indirectas tienen dos circuitos separados. Un circuito externo que recircula alrededor de un segundo, que está formado por haces de tubos conectados, mediante un circuito cerrado, al fluido a refrigerar. El aire es arrastrado a través de la cascada de agua del primer circuito proporcionando refrigeración evaporativa similar a la de una torre de refrigeración abierta. En condiciones de operación normales, el calor transportado por el fluido del circuito interno es transferido, a través de las paredes de los conductos, al agua del circuito externo, que se evapora parcialmente disipando el calor a la atmósfera.

El funcionamiento de un torre de refrigeración indirecta es, por lo tanto, muy similar al de un torre de refrigeración convencional. Con una única excepción: el fluido que se quiere refrigerar está contenido en un circuito cerrado y no está directamente expuesto a la atmósfera o al recirculación (externa) de agua.

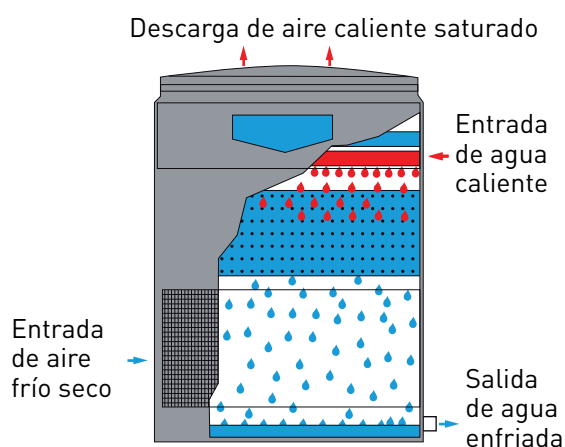
Es interesante destacar que también existen sistemas híbridos capaces de determinar si es posible operar en modo refrigeración sensible con el ambiente o si es necesario utilizar el modo latente con evaporación.

En las instalaciones con máquina de adsorción deben emplearse torres húmedas de refrigeración de tipo cerrado. El motivo es que, durante algunos segundos, el circuito de refrigeración se encuentra conectado con el circuito del generador (durante la fase de recuperación de calor). Las condiciones

de presión hidráulica que se dan habitualmente no permiten un circuito abierto de refrigeración. Una desventaja de tener que recurrir a esta técnica es su baja eficiencia y su alto coste.

En una **torre de refrigeración a contracorriente** el aire se desplaza hacia arriba en dirección contraria al agua. En una torre de **flujo cruzado** el aire se mueve horizontalmente a través del relleno, mientras el agua desciende verticalmente.

Figura 13. Esquema de una torre de refrigeración (circuito abierto)



Fuente: EVAPCO

Las torres de refrigeración también se pueden clasificar por la forma en que se desplaza el aire. Las de tiro mecánico dependen de ventiladores a motor para conducir el aire por su interior. Por otro lado, las de tiro natural utilizan la flotabilidad del aire expulsado mediante altas chimeneas. Las torres de tiro natural asistido emplean un ventilador para aumentar el efecto de la flotación.

Las torres de refrigeración más habituales para la disipación de calor de climatizadoras térmicas son de circuito abierto, flujo contracorriente, entrada de aire en la parte inferior y con un ventilador de succión en la parte superior.

Si el agua enfriada de la torre es reutilizada, se deberá considerar un caudal de reposición igual a la fracción de agua evaporada. Debido a que únicamente se evapora el agua pura, la concentración de minerales disueltos y otros sólidos irá aumentando a menos que exista alguna clase de control.

También se pierde una pequeña cantidad de agua en forma de pequeñas gotas, que son transportadas por la corriente de aire. Estas pérdidas se pueden reducir en gran medida con la instalación de unos

deflectores, que se encargaran de capturarlas. Para poder mantener el nivel agua constante, se deberá añadir una cantidad de reposición igual al total evaporado, transportado por el aire o perdido por otras causas como fugas.

Figura 14. Ejemplo de instalación de una torre húmeda de refrigeración



Fuente: BAC

Para evitar un crecimiento desfavorable de bacterias tipo *Legionella*, puede ser necesario un tratamiento del agua refrigerante. En España, la legislación que se aplica a las torres de refrigeración es el Real Decreto 865/2003. A nivel autonómico, y a veces incluso municipal, existen otras normas, más restrictivas, como por ejemplo el Decret 352/2004 aplicable a Catalunya.

Por este motivo y para mejorar la aceptación visual de los sistemas de disipación de calor, sobre todo en instalaciones a pequeña escala, sigue siendo interesante la torre seca de refrigeración, aunque el nivel de temperatura de enfriamiento y el consumo eléctrico es por lo general superior (consumo más elevado de energía de los ventiladores). En una serie de sistemas de demostración se ha aplicado la disipación de calor seco para probar esta opción. Además, un suministrador de enfriadoras de adsorción de pequeña capacidad ofrece un enfriador seco adaptado con función disipadora en caso de altas temperaturas ambiente.

1.3.4.2 Fan-coils

Los *fan-coils* son los equipos emisores más utilizados en los sistemas de aire acondicionado por agua.

Un *fan-coil* es un intercambiador de calor que incorpora un ventilador. Este ventilador, normalmente controlado por un termostato, extrae el aire de la habitación y lo hace pasar a través del serpentín de tubos de cobre que forman el intercambiador. Este serpentín está alimentado con agua fría (aire acondicionado) o agua caliente (calefacción). El aire, cuando fluye a través del serpentín, es enfriado o calentado antes de entrar en la habitación.

El agua fría o caliente del sistema es producida de forma centralizada. En los sistemas de climatización impulsados por energía solar, una de las tecnologías explicadas anteriormente, se puede utilizar una enfriadora térmica (ver Capítulos 1.2 y 1.3).

El control de los *fan-coils* puede basarse simplemente en un termostato o puede incorporar elementos más sofisticados como pueden ser un control variable de la velocidad del motor, válvulas de tres vías,...

Existen diferentes modelos y pueden estar colocados en el techo, ocultos o empotrados en el suelo. Existen dos tipos diferentes de *fan-coils* en el mercado, en función del sistema utilizado:

- Los sistemas de dos tubos consisten en una impulsión y en un retorno. El intercambiador de calor puede suministrar frío o calor. Este tipo de *fan-coils* se instalan habitualmente en sistemas que operan en modo frío o calor para todas las zonas del edificio. El uso simultáneo de calefacción y refrigeración no es posible.
- Los sistemas de cuatro tubos disponen de dos serpentines independientes, uno para el calor y otro para el frío. Una válvula en cada circuito se encarga de controlar la potencia del serpentín. Este tipo de sistemas se instalan habitualmente en edificios que puedan presentar una demanda simultánea de refrigeración y calefacción.

Algunos *fan-coils* de dos tubos pueden estar equipados con una resistencia eléctrica. Las condiciones de operación más habituales de los *fan-coils* se sitúan entre los 7-2 °C para refrigeración y 45-50 °C para calefacción.

En comparación con los techos refrescantes (ver Capítulo 1.3.4.3) su temperatura de operación es muy baja. Esto es un inconveniente en los sistemas

de aire acondicionado impulsados por energía solar porque cuanto más baja sea la temperatura de refrigeración, menor será el COP de la enfriadora térmica. Los *fan-coils* comerciales tienen potencias que oscilan entre los 0,5kW y los 10kW. En general, su capacidad para calentar es el doble que para refrigerar. El rendimiento de un *fan-coil* puede oscilar entre el 10% y el 100% de su valor nominal en función de su caudal. La mayoría de los *fan-coils* disponibles en el mercado están equipados con un sistema de condensación, que permite controlar la humedad ambiente. La condensación ocurre cuando el aire es enfriado por debajo de la temperatura de rocío y depende de las condiciones interiores.

1.3.4.3 Techos refrescantes

Un techo refrescante consiste en una red de tubos, normalmente de plástico o cobre, en cuyo interior circula agua fría. Esta red de tuberías puede estar fijada al techo y cubierta por un falso techo, directamente sobre el falso techo o mediante unos difusores metálicos.

Los sistemas de aire acondicionado con techo refrescante son capaces de cubrir la mayor parte de carga sensible, pero también necesitan un sistema de ventilación para hacer frente a la carga latente. El reparto de la transferencia de calor entre mecanismos radiativos y convectivos depende de la configuración del techo. Si los tubos están completamente encapsulados en el interior del techo, la transmisión se realizará por radiación. Sin embargo, si los elementos refrigerantes cuelgan de una estructura metálica (o un sistema más abierto), parte de la transferencia se realizará por convección.

El agua es el medio refrigerante utilizado. Su temperatura de entrada al techo refrescante puede variar entre los 15 y los 18 °C y experimenta un salto térmico de 2 a 3 °C. La potencia de refrigeración de un techo refrescante va desde los 70 W/m², para aplicaciones a través del techo, hasta más de 140 W/m², en los diseños colgantes³.

Para evitar la aparición de condensación es necesario proveer a la instalación de sensores de rocío. Cuando se vaya a alcanzar la temperatura de condensación, el caudal se reduce o se aumenta la temperatura de impulsión, reduciendo la potencia de refrigeración.

³Valores válidos para una diferencia promedio de temperaturas entre el aire y el agua de 10 °C

Este tipo de redes de agua fría también pueden instalarse en paredes o suelos. Siendo esta última opción muy interesante para producir frío o calor dependiendo de la época del año. Las redes de conductos en el suelo se realizan enteramente con materiales plásticos, que se colocan sobre una superficie aislante para reducir las pérdidas. Finalmente, el sistema se cubre totalmente con una losa flotante.

Todas las consideraciones realizadas anteriormente referentes a la ventilación, a las cargas latentes y a la calefacción son aplicables indistintamente para techos y suelos refrescantes. Además, también debe considerarse que los suelos refrescantes presentan inercias elevadas. En los casos que solo haya refrigeración, esta inercia se deberá reducir, mientras que, para aplicaciones de calefacción, resultará interesante. Esta diferencia se debe a que la demanda máxima de refrigeración ocurre generalmente durante el mediodía, mientras que la demanda máxima de calefacción es al final del día.

Las consideraciones mencionadas anteriormente en relación con la ventilación y la carga latente de condensación son aplicables para suelos o techos refrescantes. Además, el hecho de que los pisos refrigerados tienen una inercia térmica alta debe ser considerado. En el caso de las aplicaciones sólo de reflexión esta inercia se debe reducir. Sin embargo, en aplicaciones de calefacción de suministro no es de interés.

La utilización de suelos radiantes para calefacción es una tecnología bastante extendida, pero sus aplicaciones en climatización son menos conocidas. Sus principales ventajas son:

- El mismo equipamiento puede suministrar calor y frío.
- Está completamente integrado en los elementos estructurales y no es necesario ocupar espacio interior de la habitación con elementos terminales.

La principal desventaja de los suelos refrescantes es su relativa baja capacidad de refrigeración (con potencias que oscilan entre 35 W/m^2 y 40 W/m^2 ⁴). Esto puede ser suficiente para habitaciones donde no sea necesario alcanzar condiciones de confort estándar. No obstante, en la mayoría de las zonas del edificio, será necesario un sistema de aire acondicionado por agua suplementario, que cubra la parte de la demanda sensible (además de la carga

latente y la ventilación), no cubierta por el techo refrescante. No obstante, estos sistemas también presentan una interesante característica para su integración con sistemas de aire acondicionado impulsados por energía solar. Esta es su alta temperatura, en comparación con la necesaria para un *fan-coil*. Su rango de temperaturas es de $16\text{-}19 \text{ }^\circ\text{C}$, en comparación con el típico rango de un *fan-coil* de $7\text{-}12 \text{ }^\circ\text{C}$. Este hecho conlleva un aumento del COP de la máquina de refrigeración importante.

1.4 SISTEMAS DE CICLO ABIERTO

Mientras las enfriadoras de absorción producen agua refrigerada, que puede alimentar a cualquier tipo de equipo de aire acondicionado, los ciclos abiertos de enfriamiento producen directamente aire acondicionado. Cualquier tipo de ciclo abierto de enfriamiento de generación térmica se basa en una combinación de enfriamiento evaporativo con deshumidificación de aire mediante un desecante, por ejemplo un material higroscópico. De nuevo, para esto se pueden utilizar materiales tanto líquidos como sólidos. El ciclo estándar se aplica sobre todo en ruedas desecantes, equipadas con material de sorción como gel de sílice o cloruro de litio. Todos los componentes necesarios son estándares y se vienen usando desde hace muchos años en aplicaciones de aire acondicionado y de secado de aire para edificios o fábricas. En aire acondicionado mediante energía solar se emplea habitualmente un sistema basado en desecación y enfriamiento evaporativo con regeneración mediante energía solar (DEC, de ahora en adelante).

El circuito estándar con rueda desecante se muestra en la Figura 15. El uso de este ciclo es limitado en climas templados, ya que la posible deshumidificación no es lo suficientemente alta como para permitir la refrigeración evaporativa del aire de suministro en condiciones de valores mucho más altos de humedad que el aire ambiente. Por lo tanto deben usarse otras configuraciones de procesos desecativos para el tipo de clima como el mediterráneo.

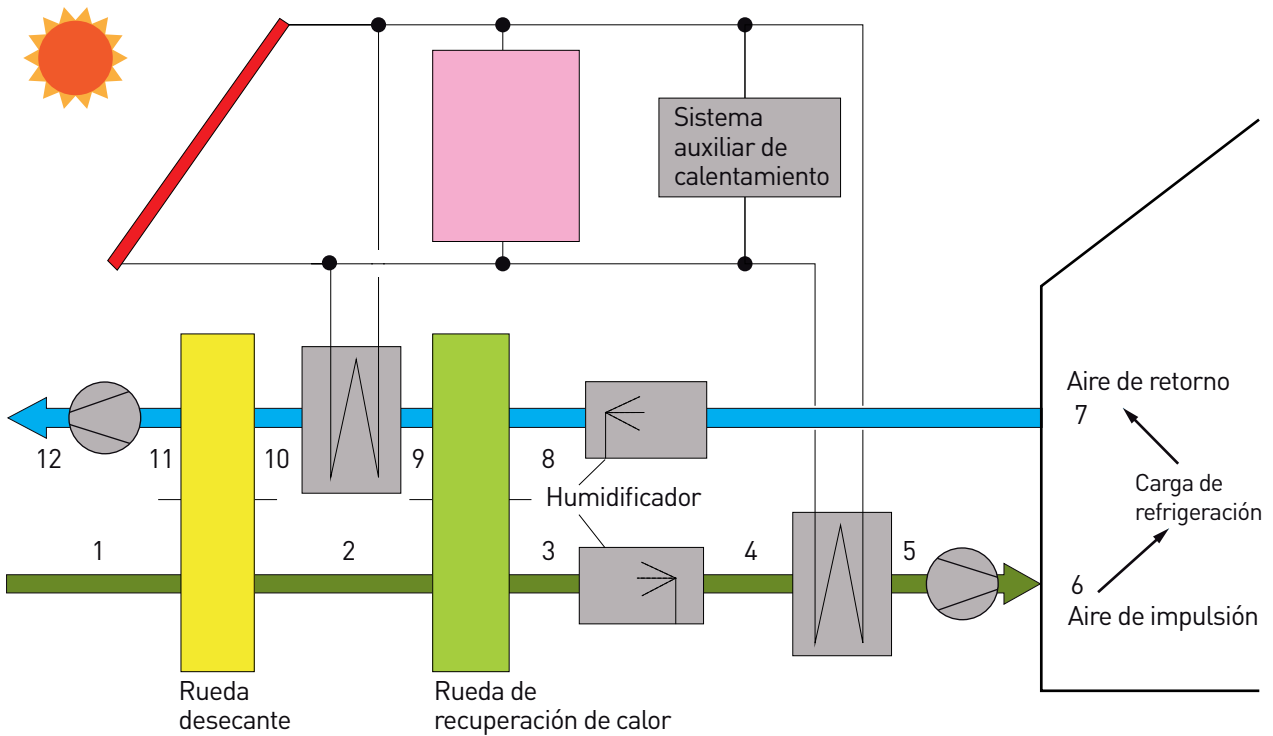
Los sistemas que emplean los materiales de sorción líquida tienen varias ventajas como más

⁴Valores válidos para una temperatura interior de $26 \text{ }^\circ\text{C}$ y una temperatura del suelo de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

deshumidificación del aire en la misma temperatura generadora y la posibilidad de un mayor almacenaje de energía mediante soluciones concentradas higroscópicas, que todavía no están en el mercado pero pronto lo estarán; se están llevando

a cabo varios proyectos demostrativos para probar la aplicabilidad de esta tecnología de aire acondicionado de generación solar. La Figura 15 muestra un posible esquema general de un sistema de enfriamiento evaporativo con rueda desecante.

Figura 15. Esquema de ciclo DEC



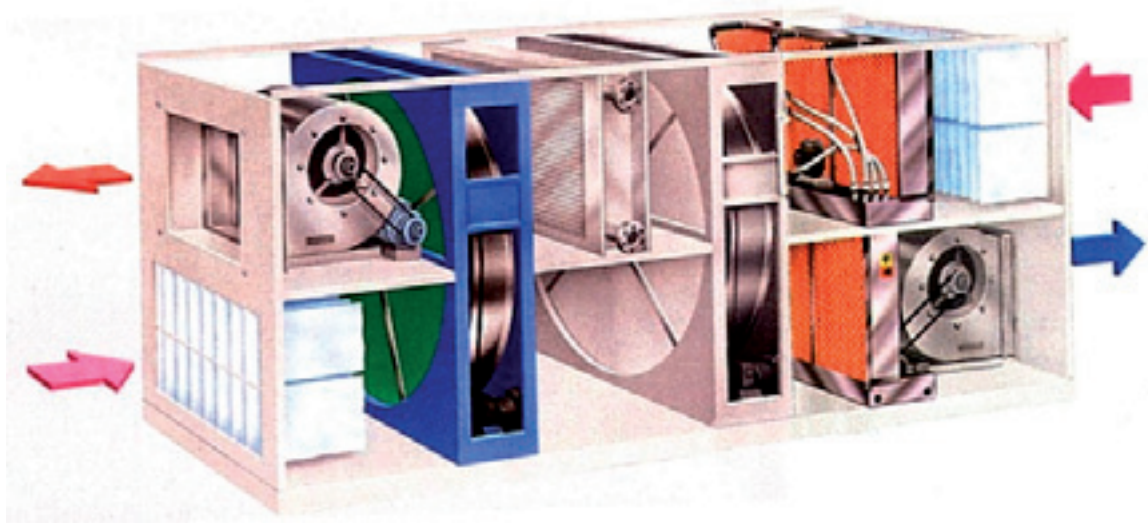
Fuente: Fraunhofer ISE

Los sucesivos procesos del ciclo son los siguientes, de acuerdo con la numeración de la Figura 15:

- 1→2 Deshumidificación por sorción del aire de nuevo; el proceso es casi adiabático y el aire se calienta por acción del calor de la adsorción, liberado en la matriz de la rueda de sorción.
- 2→3 Preenfriamiento del suministro de aire en el contraflujo hasta el aire expulsado del edificio (intercambio sensible).
- 3→4 Refrigeración evaporativa del suministro de aire hasta la humedad deseada mediante un humidificador.
- 4→5 El serpentín de calentamiento es usado sólo en la estación de calentamiento para precalentar el aire.
- 5→6 Pequeño aumento de la temperatura, causado por el ventilador.

- 6→7 Aumento de la temperatura y humedad del suministro de aire, a causa de las cargas internas, ya dentro del edificio a tratar.
- 7→8 El aire disipado del edificio se enfría usando el enfriamiento evaporativo cercano a la línea de saturación.
- 8→9 Se precalienta el aire expulsado en el contraflujo hacia el suministro de aire mediante un intercambiador de calor aire-aire de alta eficiencia, por ejemplo una rueda de recuperación de calor.
- 9→10 Se provee la regeneración de calor, por ejemplo a través de un sistema de captador solar.
- 10→11 El aire caliente desorbe el agua de los poros del material desecante de la rueda deshumidificadora.
- 11→12 El aire de extracción se expulsa hacia el ambiente por medio de ventilador de expulsión de aire.

Figura 16. Unidad DEC



Fuente: Munters

1.5 CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS

1.5.1 Introducción

El rango de temperaturas requerido por el sistema solar en los sistemas de aire acondicionado impulsados por energía solar depende del equipo de refrigeración utilizado: 50 °C o más en los sistemas abiertos de desecación y refrigeración evaporativa, 65 °C o más en las máquinas por adsorción y 85 °C o más en las de absorción. Debido a estas diferencias de temperatura, la elección del colector solar más adecuado variará en función del tipo de equipo de refrigeración.

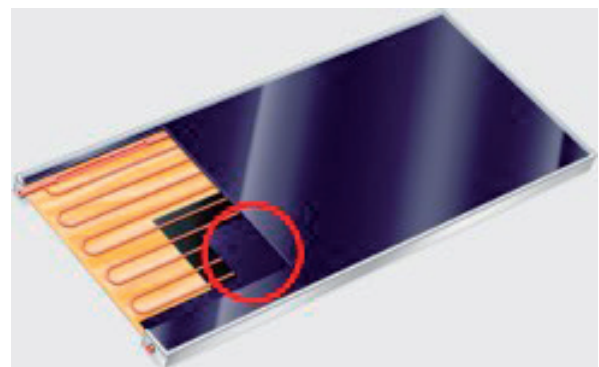
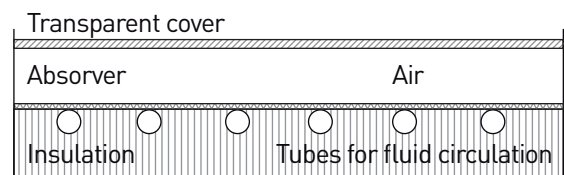
En este capítulo, se realizará una breve descripción de las principales características técnicas de las diferentes tecnologías de captadores solares disponibles.

El colector solar más simple posible consiste en una superficie de color negro con un fluido que circula a su alrededor o por su interior. El fluido se encarga de absorber el calor producido por la radiación del sol para que pueda ser utilizado en alguna aplicación práctica.

Las pérdidas de calor de tal absorción pueden ser importantes, si no se toman las medidas oportunas. Dichas pérdidas pueden ser reducidas colocando el colector en una caja con aislamiento en la parte posterior y una cubierta transparente. Esta sencilla

solución se conoce como colector solar plano de cubierta simple.

Figura 17. Sección lateral de un colector solar plano (arriba). Detalle de un colector solar plano (abajo)



Fuente: VIESSMANN

La correcta elección del tipo de colector depende principalmente de la temperatura de trabajo deseada y de las condiciones climáticas.

El rendimiento de los colectores solares disminuye a medida que la temperatura del fluido aumenta o la radiación disponible disminuye. El rendimiento instantáneo de diferentes tecnologías de captación se puede apreciar en la Figura 18.

Se han desarrollado diferentes tecnologías a fin de lograr mayores rendimientos a temperaturas altas. De éstas, básicamente dos se pueden considerar adecuadas para suministrar energía a la temperatura necesaria en los sistemas cerrados de aire acondicionado impulsados por energía solar:

- **Colectores estacionarios.** Estos colectores no utilizan ningún mecanismo para seguir la trayectoria del sol. Son capaces de captar calor a baja y media temperatura (por encima de los 150 °C). Pertenecen a este grupo los captadores planos, los tubos de vacío y los captadores con concentrador cilindro-parabólico compuesto.
- **Colectores cilindro-parabólicos.** Estos captadores, con seguidores de un eje, son los mismos que se utilizan en las plantas industriales con procesos de alta temperatura o en las grandes plantas termo eléctricas. Son capaces de alcanzar temperaturas de más de 300 °C manteniendo una elevada eficiencia.

Ademas de estos colectores, que destacan por su gran rendimiento a altas temperaturas, también existen los colectores solares de aire, que pueden ofrecer buenos resultados a bajas temperaturas y por lo tanto son aptos para aplicaciones con refrigeración desecante.

Se ha realizado una descripción de los principales tipos de colectores en los siguientes apartados.

1.5.2 Parámetros del rendimiento de un colector solar

El **rendimiento instantáneo** (η) de un colector solar se define como el ratio entre la energía cedida a la carga (fluido caloportador) y la irradiación solar incidente sobre el área de apertura del captador. Habitualmente, el rendimiento se representa como

una función de $\frac{\Delta T}{G_T}$

donde:

ΔT (K) es la diferencia entre la temperatura promedio del fluido (temperatura del fluido utilizado para extraer la energía captada) y la temperatura ambiente.

G_T (W/m²) es la cantidad de radiación solar incidente disponible en el colector.

Por lo tanto, el rendimiento instantáneo η es representado como:

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) * \frac{\Delta T}{G_T}$$

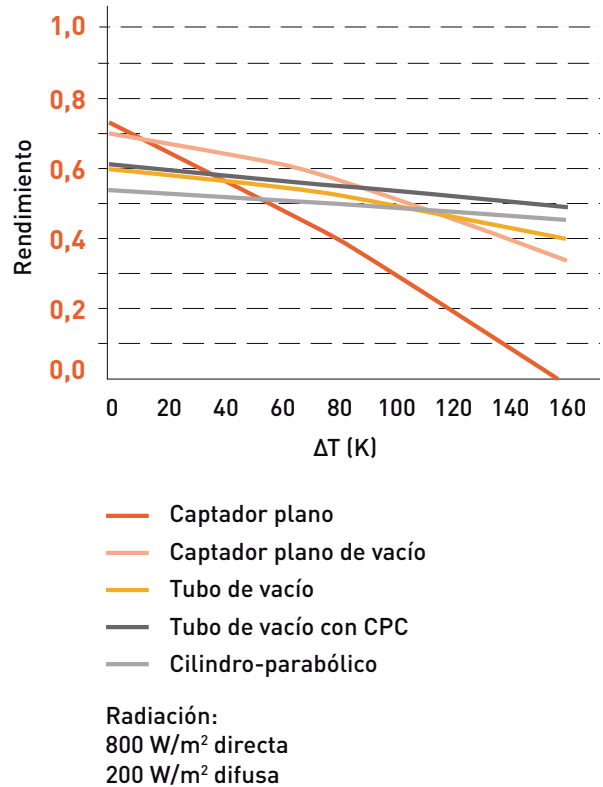
donde:

c_0 es el rendimiento óptico (función de la transmitancia de la cubierta del colector, de la absorptividad del absorbedor y de la reflectividad de los espejos, cuando los haya) (-).

c_1, c_2 son los coeficientes de pérdidas lineal y cuadrático; parámetros que caracterizan las pérdidas de calor entre el colector y la atmosfera (incluyen las perdidas por convección y radiación) (W/K m²) (W/K²m²).

En la siguiente imagen se muestra el rendimiento de diferentes colectores en función de la diferencia de temperatura entre el ambiente y la temperatura promedio en su interior.

Figura 18. Rendimiento instantáneo de diferentes tipos de colectores



El cálculo de la energía anual acumulada será el resultado de la siguiente operación:

$$Q_{solar_útil} = \eta * G_T * A$$

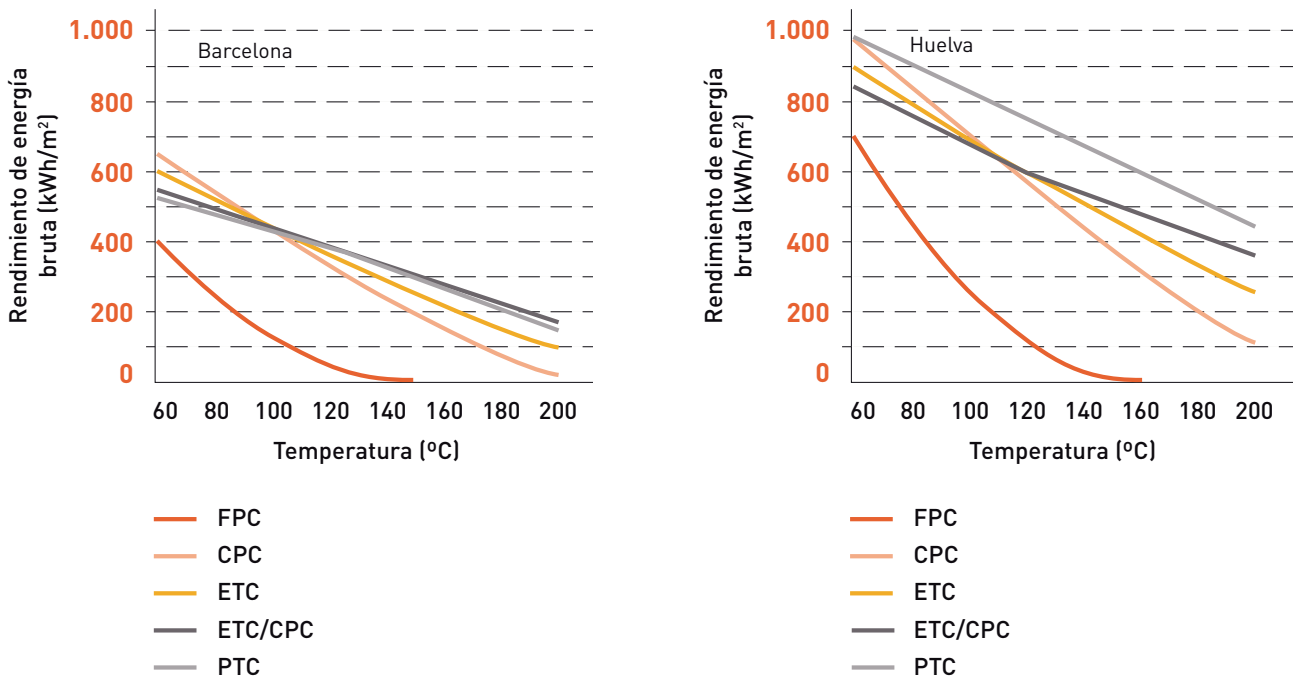
donde:

- η es el rendimiento del captador solar;
- A es el área total de captadores solares referida a la superficie de apertura o del absorbedor;

G_T (W/m²) es la cantidad de radiación incidente disponible por el captador.

En las siguientes figuras se muestra la variabilidad en la producción energética para dos localidades con diferentes niveles de irradiación y para diferentes tipos de captadores solares.

Figura 19. Producción típica de energía bruta para diferentes tecnologías de captador como función de la temperatura de salida, calculada para instalaciones en Barcelona y Huelva, España



FPC: captador plano estándar

CPC: captador plano con captadores parabólicos de concentración (baja proporción de concentración)

ETC: captador con tubo de vacío

ETC/CPC: captador con tubo de vacío con captadores parabólicos de concentración

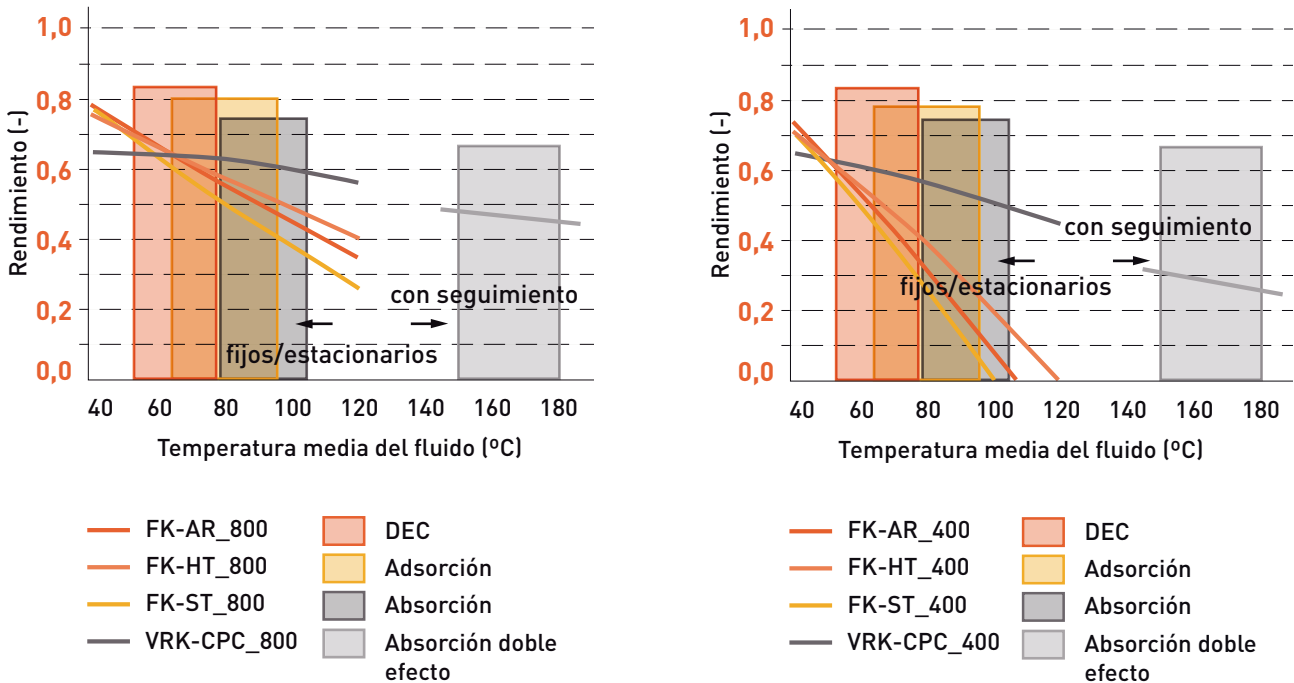
PTC: captador cilindro-parabólico

Fuente: POSHIP

El rendimiento de los captadores solares está estrictamente relacionado con la temperatura de operación del sistema. Para el caso de refrigeración solar vendrá condicionado por la temperatura de operación de la máquina de absorción/adsorción o de regeneración de la rueda desecante. En las siguientes figuras se muestra para diferentes

tipos de captadores las curvas de rendimiento y los rangos de operación de las distintas tecnologías de refrigeración solar.

Figura 20. Curvas típicas de eficiencia de captadores estacionarios, calculadas desde parámetros relativos al área de apertura de los captadores. Las curvas están trazadas para temperatura ambiente de 25°C y nivel de radiación 800 W/m² (izquierda) así como para 400 W/m² (derecha)



FK-ST: captador plano, producto estándar

FK-AR: captador plano, 1 cubierta de vidrio, con capa antirreflectante

FK-HT: captador plano, 1 cubierta de vidrio, película barrera de convección, aislamiento mejorado

VRK-CPC: captador con tubo de vacío, flujo de masa directo, tipo Sydney con reflector externo CPC

1.5.3 Colectores solares planos

Como ya se ha mencionado antes, el colector solar plano es el tipo de colector más sencillo que se utiliza para transformar la energía solar en calor.

El fluido que circula por el interior del absorbente es generalmente agua (a menudo con aditivos anticongelantes), aunque es posible utilizar otros fluidos (e incluso vapor), dependiendo de la aplicación y la temperatura de operación necesaria.

En un intento de controlar al máximo las pérdidas, estos colectores incorporan diferentes tecnologías.

- **Absorbedores de superficie selectiva.** Las pérdidas por radiación son uno de los tres mecanismos causantes de las pérdidas en un colector solar. Estas pueden ser controladas mediante el uso de recubrimientos selectivos aplicados sobre el

absorbedor. Estos recubrimientos están diseñados para tener la absorptividad más alta posible del espectro visible e infrarrojo cercano y la emisividad más baja posible del espectro infrarrojo correspondiente a las temperaturas de operación del colector. Los colectores que utilizan estos recubrimientos se denominan de superficie selectiva y todos los demás, que simplemente están pintados de negro, de superficie no-selectiva.

- **Cubierta simple /doble; barreras de convección.** Otro de los mecanismos causante de pérdidas es la convección. Una forma de reducir dichas pérdidas es el uso de una doble cobertura transparente, que acostumbra a ser una película transparente situada en la parte posterior de la cubierta de cristal. El mejor material para esta aplicación es el teflón, ya que presenta una elevada transmitancia y gran resistencia al calor. La utilización de aislantes transparentes es otra posibilidad para la fabricación de colectores solares planos estacionarios de alta eficiencia.

Figura 21. Captadores planos selectivos con cubierta antirreflectante en instalación de climatización solar. Edificio Peracamps. Barcelona



Fuente: Aiguasol

1.5.4 Colectores solares de aire

Los **colectores solares de aire** funcionan exactamente igual que los colectores solares planos, pero con la única diferencia de que el fluido caloportador utilizado es el aire y en lugar de bombas se utilizan ventiladores para forzar la circulación.

Figura 22. Instalación con colectores solares de aire realizada en Francia



Fuente: GRAMMER

Son adecuados para sistemas abiertos (desecho y refrigeración evaporativa), pero no para sistemas cerrados (basados en enfriadoras térmicas).

Las principales ventajas de esta tecnología en comparación con los colectores solares planos son:

- No presentan problemas de congelación (en invierno) ni de estancamiento (verano).
- Los componentes del sistema son más simples que los de un sistema hidráulico.
- No hay riesgos de fugas.

Sus principales desventajas son:

- No existen sistemas de acumulación estándar en el mercado.
- El consumo eléctrico de los ventiladores, a causa de las pérdidas de carga, es mayor que el de las bombas de un sistema solar convencional equivalente.
- El rendimiento de estos colectores es menor que el de los colectores planos.

1.5.5 Colectores solares de tubo de vacío

Como su nombre indica, los **colectores de tubo de vacío** están formados por hileras de tubos de cristal conectados en paralelo a una tubería de cabecera. En cada uno de estos tubos se ha realizado el vacío a fin de reducir al máximo las pérdidas de calor. Su geometría tubular es necesaria para soportar la diferencia de presión entre la atmósfera y el vacío del interior. Los colectores de tubos de vacío se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Tubos de flujo directo: el fluido caloportador fluye por el interior del absorbedor.
- Tubos tipo *heat pipe*: la transferencia de calor entre el absorbedor y el fluido caloportador se realiza mediante un fluido de trabajo, siguiendo el principio del *heat-pipe*.

Figura 23. Captador de tubo de vacío



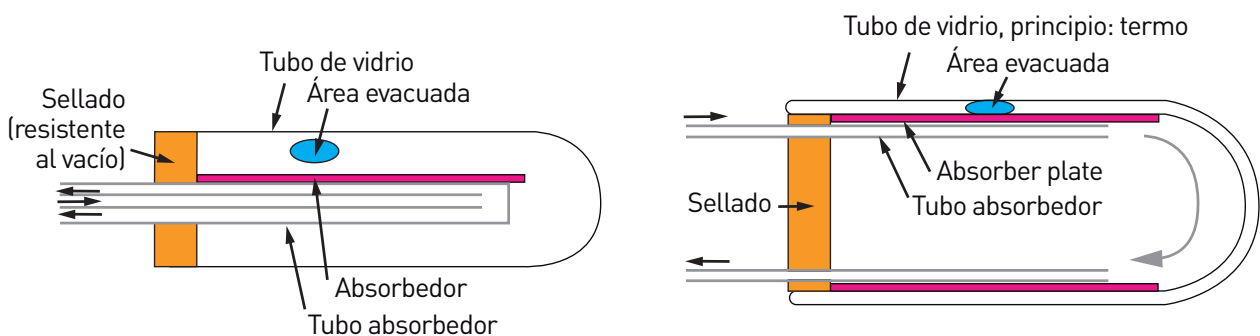
Fuente: APRICUS-SOLAR

Colector de tubo de vacío de flujo directo

Estos colectores básicamente consisten en un conjunto de tubos de cristal. En el interior de cada uno de estos tubos hay una placa plana o curvada de aluminio, que está fijada a un tubo de metal (normalmente cobre) o de cristal, dependiendo de la configuración. La placa de aluminio está normalmente recubierta con una capa de recubrimiento selectivo tipo Tinox. El fluido caloportador es agua y circula por el interior de los tubos. Existen varios tipos de colectores, según la distribución de sus tubos:

- **Captadores con impulsión-retorno concéntricos (vidrio-metal):** esta solución constructiva tiene la ventaja de la simetría rotacional. Cada uno de los tubos puede girar fácilmente, permitiendo ajustar el ángulo de inclinación de la aleta de absorción, mientras el colector permanece en posición horizontal.
- **Captadores con impulsión-retorno separados (vidrio-metal):** este diseño presenta menores problemas de permeabilidad que el precedente. El absorbedor puede ser plano o curvado.

Figura 24. Ejemplos de captador de tubo de vacío con flujo directo vidrio-metal: concéntrico (izquierda) y tubos separados (derecha)



Fuente: Fraunhofer ISE

- **Colectores tipo Sydney (cristal-cristal):** este colector consiste en dos tubos de cristal concéntricos unidos por el extremo. El tubo interior está recubierto por un absorbedor integrado metálico, normalmente hecho de un material selectivo.

Figura 25. Tipos colectores de flujo directo: tubos de vacío vidrio-vidrio (glass-glass pipes)

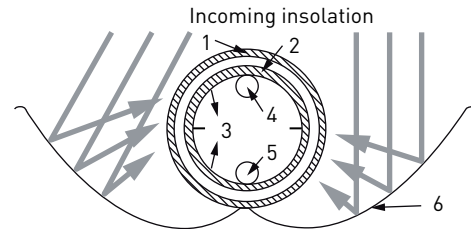


Fuente: APRICUS-SOLAR

Los dos primeros tipos mencionados son muy eficientes a temperaturas de trabajo bajas (aplicaciones con ACS y calefacción), pero pueden sufrir problemas relacionados con la pérdida de vacío. Esto se debe principalmente a que el sellado se realiza entre vidrio y metal. Los niveles de expansión térmica de estos dos materiales son diferentes y, después de algunos años expandiéndose y contrayéndose, el sellado puede fallar, con su consiguiente pérdida de estanqueidad. Los tubos vidrio-vidrio, aunque no son tan eficientes como los vidrio-metal, son generalmente más fiables y mucho más baratos. Sin embargo, para algunas aplicaciones de refrigeración solar a muy alta temperatura, su rendimiento puede llegar a ser incluso mayor que el de los tubos vidrio-metal. Esto depende de las características técnicas del colector, de la temperatura de trabajo y de la temperatura ambiente.

Algunos tubos de vacío incluyen reflectores en la parte posterior de los tubos o en su interior. Los reflectores externos incrementan la radiación recibida por el colector al reconducir hacia el absorbedor la radiación que normalmente pasaría entre las hileras de tubos. Se puede encontrar más información sobre estas aplicaciones en el Capítulo 1.5.7.

Figura 26. Colector tipo Sydney con reflector CPCP (arriba). Colector de tubos concéntricos con reflector en el interior del tubo (abajo)



Vacuum Tube and Reflector, Cross Section

- | | |
|---|----------------------------|
| 1 - Tubo exterior de vidrio | 4 - Salida fluido caliente |
| 2 - Tubo absorbedor interior de cristal | 5 - Entrada fluido frío |
| 3 - Aleta conductora de calor | 6 - Reflector |

Fuente: MICROTHERM Energietechnik GmbH

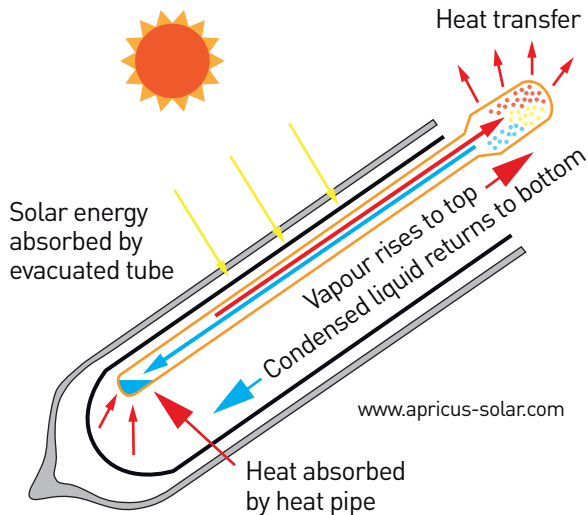


Fuente: SCHOTT

Captadores de tubo de vacío *heat pipe*

Los *heat pipes* están huecos y en su interior se ha realizado el vacío, siendo muy similares a los tubos de flujo directo. En este caso, el objetivo principal de este vacío no es el aislamiento, sino el facilitar el cambio de estado del líquido que hay en su interior. En el interior de cada uno de los tubos hay una pequeña cantidad de agua purificada y algunos aditivos. Gracias a este vacío, el agua es capaz de hervir a bajas temperaturas (típicamente 30 °C). Por lo tanto, cuando el *heat pipe* es calentado por encima de los 30 °C, el agua se vaporiza. Este vapor se eleva rápidamente hasta la parte superior del transfiriendo su calor en el condensador. A medida que es cedido este calor, el vapor condensa y regresa en forma de líquido a la parte inferior del tubo, donde el proceso vuelve a comenzar. La Figura 27 ilustra este proceso.

Figura 27. Colector de tubo de vacío heat pipe



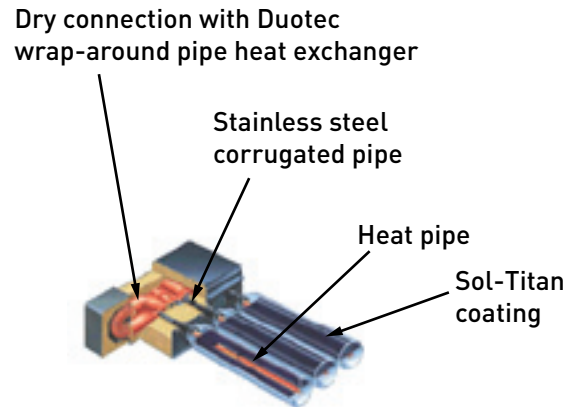
Fuente: APRICUS-SOLAR

La calidad de los materiales y las condiciones de higiene son extremadamente importantes para la fabricación de un *heat pipe* de calidad. La presencia de impurezas en el interior del *heat pipe* afectará negativamente a su rendimiento. La pureza del cobre también deberá ser alta, para evitar que contenga oxígeno y otros elementos. Si el cobre contiene demasiado oxígeno, puede liberarse en el interior del tubo, formando bolsas de aire en la parte superior. Esto desplazaría el punto más caliente del *heat pipe*, alejándolo del condensador y perjudicando el rendimiento del colector.

A menudo, los *heat pipe* tienen un capilar en su interior para facilitar la circulación del fluido. Esto no es necesario si la superficie interior del tubo de cobre es extremadamente pulida, permitiendo que el fluido regrese a la parte inferior del tubo de forma eficiente.

El *heat pipe* tiene dos componentes de cobre, el eje y el condensador. Antes de realizar el vaciado, el eje se suelda al condensador. El condensador tiene un diámetro mucho mayor que el del eje, lo que supone una mayor superficie para realizar la transferencia de calor.

Figura 28. Detalle de la conexión entre el heat pipe y el circuito de agua.



Fuente: VIESSMANN

Una de las ventajas de los tubos tipo *heat pipe* respecto de los tubos de flujo directo, es su conexión "seca" entre el absorbedor y la cabecera. Este hecho facilita el proceso de montaje. Sin embargo, el colector debe montarse siempre con una inclinación mínima de 25°, para permitir que el fluido condensado retorne a la parte inferior del tubo.

Figura 29. Instalación de tubos de vacío



Fuente: SPF

1.5.6 Colectores CPC (Concentrador estacionario)

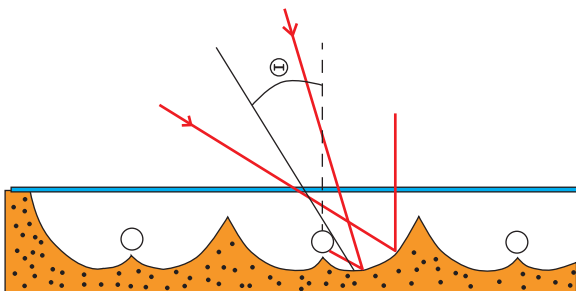
Otra forma de reducir las pérdidas de un colector solar es disminuir el área del absorbedor con respecto del área de captación. Esto es posible gracias a que las pérdidas de calor son proporcionales al área del absorbedor, pero no a la de captación (apertura). Tal concentración se puede obtener mediante el uso de reflectores que, después de una o más reflexiones, fuerzan la radiación incidente dentro de un cierto ángulo (llamado ángulo de aceptación) en la dirección del absorbedor.

La concentración de la radiación se puede realizar mediante una óptica donde la relación entre la concentración y el ángulo de aceptación (θ) sea la máxima físicamente posible. Para una geometría de dos dimensiones, dicha concentración se define como:

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin(\theta)}$$

En los colectores estacionarios θ debe ser grande y por lo tanto la concentración no puede ser muy elevada. Se puede demostrar que, para un concentrador ideal, si el ángulo de aceptación es igual a 30° , la concentración resultante será de 2.

Figura 30. Diseño de un colector CPC con absorbedor tubular sorber



Este tipo de colectores se conocen como concentradores **CPC (Concentrador parabólico compuesto)** (ver Figura 30) y utilizan una combinación de parábolas para operar en los límites mencionados. Su espejos se fabrican con la forma adecuada para reflejar la radiación incidente sobre el absorbedor.

El gran ángulo de aceptación de estos dispositivos les permite aprovechar tanto la radiación directa

como la difusa de la misma forma que un colector solar plano. Ésta es una característica muy interesante de este tipo de concentradores en comparación con los que requieren de un sistema de seguimiento.

1.5.7 Colectores cilindro-parabólicos

Los concentradores solares con seguidor se clasifican en función de cómo realizan el seguimiento del sol:

- *Seguidores de un solo eje con foco lineal, que pueden seguir la trayectoria del sol únicamente a lo largo de su ángulo de elevación sobre el horizonte.*
- En los seguidores de dos ejes con foco puntual (discos parabólicos, heliostatos y hornos solares) los rayos solares son siempre perpendiculares a la superficie del colector. Los sistemas con un foco puntual son utilizados únicamente en aplicaciones que requieran temperaturas superiores a 400°C .

El seguidor de un eje más característico es conocido como **colector cilindro-parabólico** (PTC, ver Figura 31). Los colectores cilindro-parabólicos son actualmente la tecnología de generación de calor a temperaturas superiores a 400°C más madura, y se utilizan en las plantas termoeléctricas o en procesos industriales que requieran calor a alta temperatura. Los reflectores, que tienen una forma parabólica, concentran la radiación solar directa en el receptor situado a lo largo del foco. El receptor consiste en un tubo absorbedor con un área, que es normalmente de 25 a 35 veces más pequeña que la abertura. El fluido a calentar circula por el interior del tubo absorbente. Los fluidos de trabajo más habituales son el agua y los aceites térmicos.

Los colectores cilindro-parabólicos tienen un coeficiente de pérdidas térmicas muy bajo y por esta razón son adecuados para aplicaciones a muy alta temperatura. Aunque no utilizan la radiación difusa, hacen un mayor uso de la directa que un colector estacionario, gracias al uso de seguidor solar.

Existen varias instalaciones en EE.UU. con superficies de captación de 500 a 2.500 m^2 de la década de los 90, que han demostrado la fiabilidad de estos sistemas en comparación a los anteriores. Actualmente son varias las compañías que han empezado a comercializar colectores cilindro-parabólicos para rangos de temperatura entre 50°C y 300°C .

**Figura 31. Colectores cilindro-parabólicos con un eje de orientación este-oeste (izquierda).
Aplicación de colectores cilindro-parabólicos en un proceso industrial (derecha)**



2 Esquemas a modelizar en el estudio

2.1 INTRODUCCIÓN

Las combinaciones de diferentes componentes para producción de climatización solar, entendiéndose como tal, el servicio de aire acondicionado, refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria, son múltiples y diversos. Los diferentes esquemas hidráulicos serán función de factores tan variados como la arquitectura del edificio, el tipo de distribución del aire acondicionado, los elementos difusores, los perfiles de uso del edificio, los condicionantes económicos y medioambientales y la climatología.

Para el estudio objeto de este documento se proponen tres esquemas que pretenden representar las prácticas más extendidas hasta la actualidad en el mercado, así como un esquema de proyección tecnológica futura. También se contempla un caso para suministro de calefacción y agua caliente sanitaria, para los casos en que no exista demanda de refrigeración solar.

En este capítulo se describen los sistemas propuestos.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

Los sistemas que se contemplan en el estudio y sobre los que se ha realizado un análisis del comportamiento energético mediante simulación dinámica y una valoración de los costes económicos y medioambientales del mismo, son los siguientes:

Sistemas existentes en el mercado

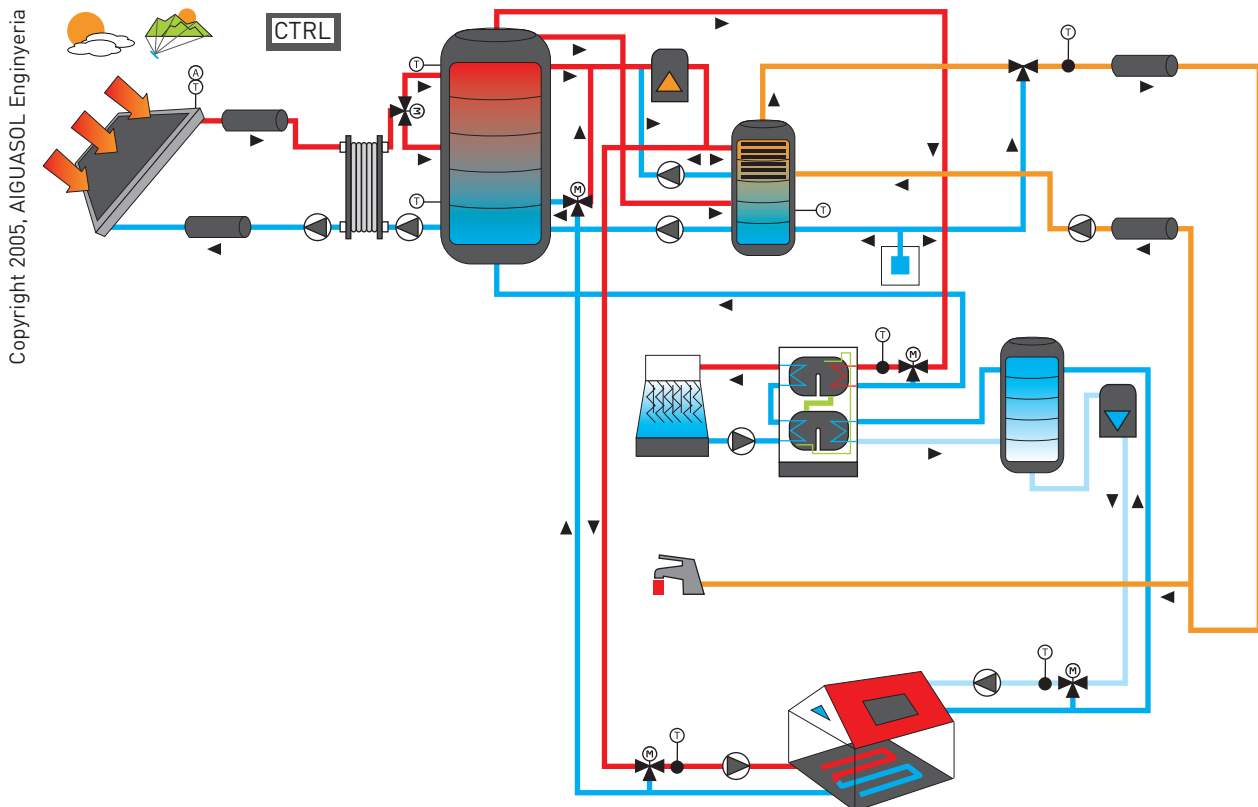
- Ciclo cerrado con máquinas de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos.
- Ciclo cerrado con máquinas de absorción de simple efecto con captadores de tubo de vacío.
- Ciclo abierto con desecante con refrigeración evaporativa.

Sistema de prospección tecnológica

- Ciclo cerrado con máquinas de absorción de doble efecto con captadores cilindro parabólicos de concentración.

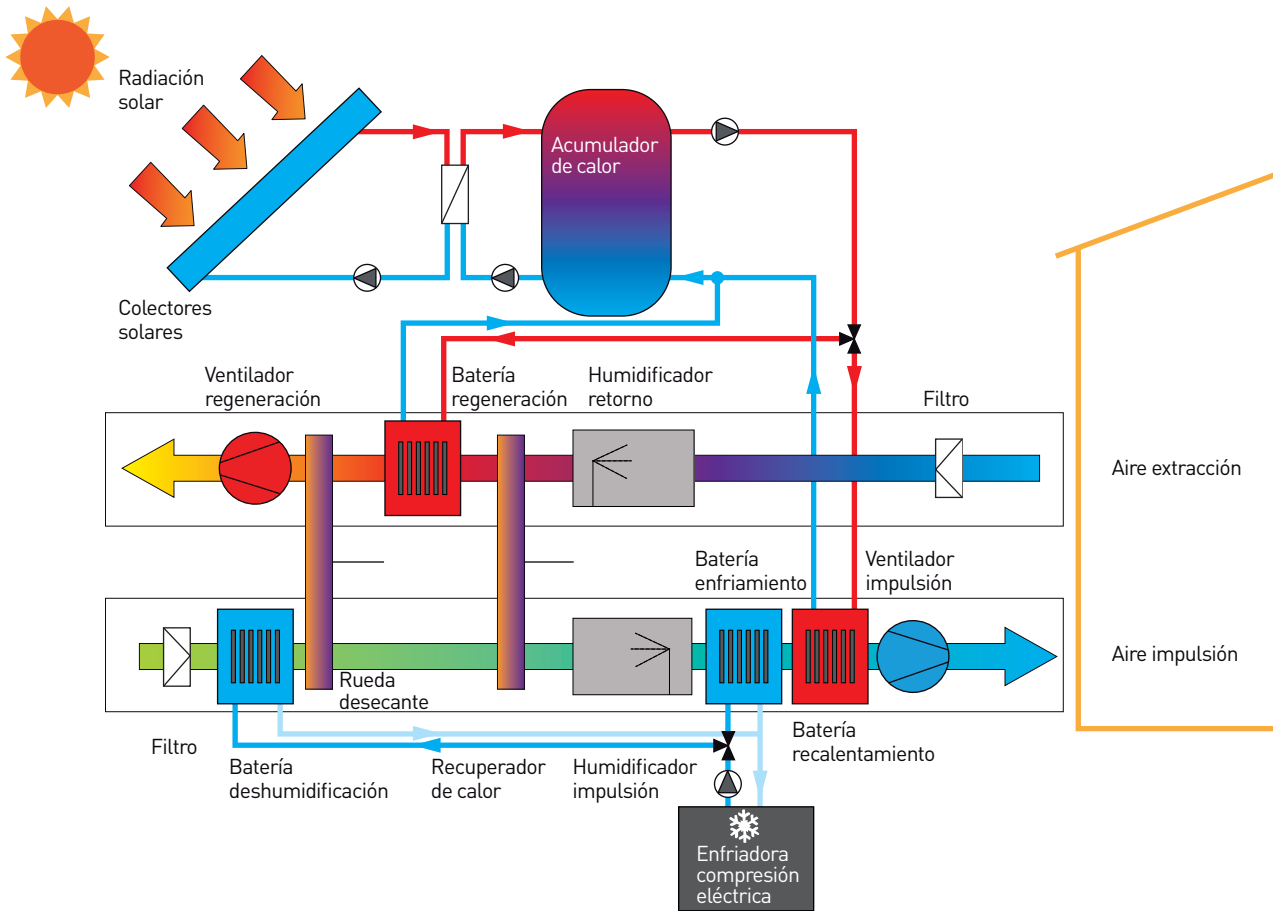
En las siguientes figuras se muestran los componentes de cada uno de ellos. La descripción exhaustiva de cada uno de ellos así como los parámetros empleados en los modelos de simulación dinámica se muestran en el documento R5.

Figura 32. Ciclo cerrado con máquina de absorción (simple o doble efecto) y captadores planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro-parabólicos



Copyright 2005, AIGUASOL Ingeniería

Figura 33. Ciclo abierto con desecante con refrigeración evaporativa



La siguiente tabla resume la terminología utilizada para los distintos sistemas a lo largo del proyecto

Tabla 2. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Refrigeración ciclo cerrado		Refrigeración ciclo abierto
	Absorción simple efecto	Absorción doble efecto	
Captador plano selectivo	AB1FPC	-	DECFPC
Captador tubo de vacío	AB1ETC	-	-
Cilindro-parabólico	-	AB2PTC	-

3 Referencias

3.1 BIBLIOGRAFÍA

[Grossman 2002]

Gershon Grossman. *Solar powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning*. Solar Energy Vol. 72 nº1, 2002.

[Henning 2003]

Hans-Martin Henning (Ed.). *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings. A Handbook for Planners*. SpringerWienNewYork, 2003.

[Henning 2006]

Hans-Martin Henning. *Solar cooling and Air-conditioning – thermodynamic analysis and overview about technical solutions*. Proceedings of the EuroSun 2006, celebrado en Glasgow, Reino Unido, 27-30 de junio de 2006.

[Henning 2007]

Hans-Martin Henning, Edo Wiemken. *Solar Cooling. Proceedings of the ISES Solar World Congress*, Pekín, China, 2007.

[ASHRAE 1988]

ASHRAE handbook. *Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment*; Equipment Volume, Capítulo 13, 1988.

[Henning 2008]

Hans-Martin Henning (Ed.). *Solar-Assisted Air-conditioning in Buildings – A Handbook for Planners*. Springer Viena/Nueva York. 2ª edición revisada 2008; ISBN 3211730958.

[Mugnier 2008]

D. Mugnier, M. Hamdadi, A. Le Denn. *Water Chillers – Closed Systems for Chilled Water Production (Small and Large Capacities)*. Proceedings of the International Seminar Solar Air-conditioning – Experiences and Applications, celebrado en Munich, Alemania, 11 de junio de 2008.

[Beccali 2008]

Marco Beccali. *Open Cycles – Solid- and Liquid-based Desiccant Systems*. Proceedings of the International Seminar Solar Air-conditioning – Experiences and Applications, celebrado en Munich, Alemania, 11 de junio de 2008.

[Zahler 2008]

Chr. Zahler, A. Häberle, F. Luginsland, M. Berger, S. Scherer: *High Temperature System with Fresnel Collector*. Proceedings of the International Seminar Solar Air-conditioning – Experiences and Applications, celebrado en Munich, Alemania, 11 de junio de 2008.

3.2 PROYECTOS INTERNACIONALES

[ROCOCO]

ROCOCO. *Reduction of costs of solar cooling systems* (contract No TREN/05/FP6EN/S07.54855/020094).

[TASK 25]

Task 25. *Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings*. IEA-SHC Programme.

[TASK 38]

Task 38. *Solar Air-Conditioning and Refrigeration*. IEA-SHC Programme.

[POSHIP]

POSHIP. *The Potential of Solar Heat in Industrial Processes*. EC DG Energy and Transport. Coordinator: Aiguasol Ingeniería. (Contract NNE5-1999-0308).

[Climasol]

Climasol. *Solar air conditioning guide*. EC DG Energy and Transport.

[SACE]

SACE. *Solar Air Conditioning in Europe*. EC Research Directorate General. <http://www.ocp.tu-delft.nl/ev/res/sace.htm>

[SOLAIR]

SOLAIR. *Increasing the market implementation of Solar-Air conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings* (contract no EIE/06/034/SI2.446612).

[SHADA]

SHADA Sustainable Habitat Design Adviser. <http://www.sustainable-buildings.org>

Arsenal Research. *Using the sun to create comfortable indoor conditions*. IEA-SHC Task 25.

[MEDISCO]

MEDISCO. *Mediterranean food and agro industry applications of solar cooling technologies*. Contract 032559 (EU-INCO). Coordinación: Politecnico di Milano, Italia. Duración: 01.10.2006 – 30.09.2009. www.medisco.org

[SOLAIR: Review technical solutions, 2008]

Task 2.1. *Review of available technical solutions and successful running systems*. Cross Country Analysis. Documento público accesible en el informe de SOLAIR. www.solair-project.eu

[SOLAIR: Best practice Catalogue, 2008]

Task 2.2. *Best Practice Catalogue*. Documento

público accesible en el informe de SOLAIR. www.solair-project.eu

[Task 33/IV 2008]

Werner Weiss, Matthias Rommel (Ed.). *Process Heat Collectors – State of the Art within Task 33/IV*. Folleto compilado en IEA SHC-Task 33 y Solar-PACES-Task IV: Solar Heat for Industrial Processes. Publicado por AEE INTEC, Gleisdorf, Austria, 2008. www.iea-shc.org/task33

3.3 OTRAS REFERENCIAS

[Albring]

Technical description of the adsorption chiller. Albring Industrial Agency GmbH, Germany. Mycom Adsorption Chiller Technology.

[CTI]

Cooling Technology Institute. <http://www.cti.org/whatis/coolingtowerdetail.shtml>

[Apricus]

AP Solar Collectors. <http://www.apricus-solar.com>

[Absorsistem]

Private communications form ABSORSISTEM S:L: (Distributor of YAZAKI in Spain).

[TRNSYS]

TRNSYS. *Transient System Simulation Program*. SEL, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison (USA). Version 16.0.

R3. PARQUE EDIFICATORIO. ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTADÍSTICOS

1 Análisis de datos estadísticos

1.1 ALCANCE

Se pretende obtener datos que caractericen el parque edificatorio español con el fin de extrapolar los resultados obtenidos de la modelización de edificios tipo con sistemas energéticos de climatización solar determinados al total de la superficie construida en España.

Bajo esta premisa debe haber un paralelismo entre los modelos que se realicen (ver documento *R1*) en la parte del proyecto que trata del cálculo energético de los sistemas y edificios específicos y los datos estadísticos que se presenten en este capítulo.

Las variables determinantes para el análisis son:

- La **superficie útil edificada**, ya que va a determinar la demanda térmica a abastecer mediante calefacción y aire acondicionado, o bien las necesidades de agua caliente sanitaria según ocupantes estimados.
- La **superficie de cubierta**, ya que será el limitante de la disponibilidad de espacio para ubicación de captadores solares térmicos. Siempre considerando la premisa que es en este espacio donde mayoritariamente se pueden emplazar (no se consideran otras opciones como pérgolas en jardines o parques, cubiertas de aparcamientos, etc.).

El alcance de estos datos debe corresponderse con el alcance del estudio. Por tanto, según las hipótesis que se indican en el documento *R6. Informe Final / Capítulo 4. Hipótesis* se deben considerar los siguientes límites:

- Provincias españolas: 52 provincias incluyendo Ceuta y Melilla.
- Tipologías de edificios: en correspondencia con los modelos con mayor potencial previsible para la aplicación de climatización solar se han seleccionado las siguientes tipologías:
 1. Residencial Unifamiliar.
 2. Residencial Plurifamiliar.
 3. Terciario Oficinas.
 4. Terciario Hospitales.
 5. Terciario Centros Comerciales.

Esta división incluye la totalidad de edificio residencial pero no la totalidad del terciario. El resto de edificios del sector terciario que no queden incluidos en la selección se contabilizarán y se distribuirán entre los grupos estudiados según mayor semejanza en tipo de uso y perfil de ocupación.

- Número de plantas: los datos se ordenarán en último término según el número de plantas de los edificios. Este valor es indicativo de la relación entre superficie de cubierta y superficie útil y determinará la capacidad de ubicación de captadores solares en los modelos estudiados. Por tanto, debe ser modelada de una forma lo más aproximada posible a la realidad, según la información que proporcionen los datos estadísticos.
- Antigüedad de las edificaciones: se parte de la hipótesis que los sistemas de climatización solar tienen unos costes elevados, que se justifican por el ahorro energético que ofrecen. Sin embargo, para que esta relación sea óptima, antes de su implementación en un edificio concreto es necesario haber aplicado las medidas de reforma de los edificios y de mejora de la eficiencia energética que garanticen una mínima demanda así como una facilidad en el emplazamiento de las instalaciones en el edificio, con la finalidad de reducir costes. Según este razonamiento se considera que los edificios de oficinas y viviendas con diez años de antigüedad (anteriores al año 2000) no son casos con un potencial significativo para la aplicación de sistemas de climatización solar. Por tanto, los datos con los que se construirá la información del parque edificatorio existente con potencial para la climatización solar se extienden del año 2000 al año 2009 para viviendas y oficinas. En el caso de centros comerciales y hospitalarios se considera que existe una instalación centralizada con mantenimiento que permite alargar la vida de las instalaciones. Además, la distribución de la energía es más fácil al existir ya instalaciones centralizadas. En el caso de centros comerciales se han incluido edificios desde el año 1990 y en el caso de hospitales se han incluido todos los existentes.
- Nivel energético de los edificios: se considerará que los edificios construidos entre el año 2000 y 2006 (ambos incluidos) se acogieron a la norma NBE CT-79, y se tratarán de forma acumulada en el análisis estadístico del parque edificatorio y, los construidos entre el año 2007 y 2009 se construyeron mediante el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), en vigor desde marzo de 2006.

1.2 SECTOR RESIDENCIAL

Se parte de los datos de las siguientes fuentes:

- Licencias municipales de obras del Ministerio de Fomento para los años 2008 y 2009 clasificados según provincia y comunidad autónoma y de donde se extraen los datos de:
 - Número de viviendas según número de plantas sobre rasante: se agrupan según 1 planta, 2 plantas, 3 plantas, 4 o 5 plantas, 6 o más plantas.
 - Número de viviendas según tipo de edificio: aislados, adosados, pareados, plurifamiliar.
 - Superficie media útil por vivienda según tipo de edificio: aislados, adosados, pareados, plurifamiliar.
- Censo de Población y Viviendas del año 2001 del Instituto Nacional de Estadística y de donde se extraen los siguientes datos:
 - Para el período 1995-2001: número de viviendas según número de plantas sobre rasante del edificio, para edificios unifamiliares y para edificios plurifamiliares, siendo 1 planta, 2 plantas,... , hasta 10 o más plantas; todo ello por CCAA y provincias.
 - Para el período 1991-1998: porcentaje de viviendas que se utilizan como vivienda principal, separadamente para edificios de tipo unifamiliar y plurifamiliar y para cada una de las provincias.
- Estadística de visados de dirección de obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos que ofrece el Ministerio de Fomento; concretamente se obtiene información para el período 2000-2009 sobre la distribución porcentual de viviendas unifamiliares y plurifamiliares; también para cada una de las CCAA y provincias españolas.
- Estimación del parque de viviendas finalizadas así como de la distribución porcentual entre viviendas principales y no principales por comunidades autónomas y provincias. Ministerio de Vivienda. 2001-2008.

Tabla 1. Datos de número de viviendas y superficie media útil por vivienda en licencias municipales de obras para viviendas. Año 2008

CCAA y provincias	Total	Número de viviendas en edificios				Superficie media útil por vivienda			
		Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.	Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.
Andalucía	45.912	3.620	8.704	890	32.698	165,3	134,1	137,8	70,5
Almería	5.407	442	562	161	4.242	123,1	138,3	189,1	56,6
Cádiz	5.003	111	521	100	4.271	192,1	126	176	66,1
Córdoba	4.770	475	1.113	140	3.042	184,7	144,6	129,4	77,8
Granada	5.562	830	1.417	155	3.160	153	141	107,6	70,9
Huelva	2.720	162	722	138	1.698	159,2	127,2	98,7	77,7
Jaén	3.722	583	1.047	72	2.020	167	146	128,7	90,7
Málaga	8.204	554	1.451	35	6.164	209,2	120,4	136,1	70,1
Sevilla	10.524	463	1.871	89	8.101	148,6	130,2	136,4	70,9
Aragón	8.567	369	954	166	7.078	194,4	143,2	161,2	74,5
Huesca	1.218	101	149	16	952	185,1	138,4	120,4	70,4
Teruel	1.106	59	315	18	714	171,9	146,7	165,9	75,7

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Número de viviendas en edificios				Superficie media útil por vivienda			
		Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.	Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.
Zaragoza	6.243	209	490	132	5.412	205,3	142,5	165,5	75,1
Principado de Asturias	5.324	1.035	124	45	4.120	166,5	135,5	114,7	64,8
Principado de Asturias	5.324	1.035	124	45	4.120	166,5	135,5	114,7	64,8
Islas Baleares	4.893	869	184	40	3.800	212,9	138,4	134,6	76,6
Baleares, Islas	4.893	869	184	40	3.800	212,9	138,4	134,6	76,6
Canarias	9.259	961	765	211	7.322	161,8	120,5	135,5	73,1
Las Palmas	3.619	600	295	71	2.653	160,4	114,8	108,9	74,2
Sta. Cruz de Tenerife	5.640	361	470	140	4.669	164,1	124,1	149	72,5
Cantabria	4.519	641	428	169	3.281	207,5	117,7	146,7	77,2
Santander	4.519	641	428	169	3.281	207,5	117,7	146,7	77,2
Castilla-La Mancha	27.188	1.785	7.777	1.313	16.313	185,5	144,1	136,2	75,2
Albacete	4.157	354	992	64	2.747	187,3	146,2	244,5	74,9
Ciudad Real	5.949	193	1.284	62	4.410	199,1	159	181,7	75,1
Cuenca	2.262	122	1.283	63	794	175,6	159,1	153	82,2
Guadalajara	4.942	384	796	491	3.271	174,8	128,1	107,9	74,5
Toledo	9.878	732	3.422	633	5.091	188,2	136,1	141	74,7
Castilla y León	11.701	1.795	2.642	184	7.080	146,8	117,3	171,2	73,1
Ávila	633	63	409	27	134	201	101,2	115,3	93
Burgos	2.669	139	143	49	2.338	207,9	131,5	189,1	71,9
León	1.620	497	336	31	756	148,8	166	111,8	74,8
Palencia	348	32	124		192	154,2	111,5		74,4
Salamanca	1.424	315	361	5	743	116,8	111,7	257,6	72,2
Segovia	968	373	314	15	266	121,4	128,6	216,4	78,6

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Número de viviendas en edificios				Superficie media útil por vivienda			
		Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.	Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.
Soria	6		6				158,2		
Valladolid	2.238	114	248	55	1.821	188,5	143,1	198,6	68,2
Zamora	1.795	262	701	2	830	150,4	89,7	102	81,2
Cataluña	44.482	4.753	2.158	71	37.500	163,4	150,1	136,6	67,8
Barcelona	26.846	2.448	952	6	23.440	165,5	169,2	145,7	66,6
Girona	4.615	882	149	4	3.580	176,5	127,4	93	70,7
Lleida	4.703	430	410	61	3.802	152,8	145,8	138,6	70,6
Tarragona	8.318	993	647		6.678	150,9	129,8		68,7
Comunidad Valenciana	27.992	2.011	3.016	561	22.404	175,4	137,4	129,9	74,2
Alicante	10.878	991	1.332	109	8.446	180	112,1	140,4	76,1
Castellón	4.795	336	448	110	3.901	148,9	159	116,4	70,3
Valencia	12.319	684	1.236	342	10.057	181,9	156,9	130,8	74,2
Extremadura	5.393	332	1.401	236	3.424	187,5	144,6	123,4	85,5
Badajoz	3.486	104	806	61	2.515	166,9	133,5	160,6	87,6
Cáceres	1.907	228	595	175	909	196,9	159,7	110,4	79,5
Galicia	23.137	3.455	870	372	18.440	196,6	176,6	178,9	68,8
A Coruña	10.480	1.407	474	232	8.367	197,4	178	174,8	67,4
Lugo	3.655	343	151	2	3.159	188,2	169,8	119	76,1
Ourense	2.529	349	77	41	2.062	233,8	188,7	194,5	75,8
Pontevedra	6.473	1.356	168	97	4.852	188,4	172,9	183,3	63,7
Comunidad de Madrid	24.563	1.143	2.566	959	19.895	241,9	158,3	171,1	66,6
Madrid	24.563	1.143	2.566	959	19.895	241,9	158,3	171,1	66,6
Región de Murcia	11.998	759	757	105	10.377	165,7	124,6	104,3	74
Región de Murcia	11.998	759	757	105	10.377	165,7	124,6	104,3	74

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Número de viviendas en edificios				Superficie media útil por vivienda			
		Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.	Aislados	Adosados	Pareados	Plurifam.
C. Foral de Navarra	6.672	553	791	47	5.281	176,6	136,6	177	89,8
Navarra C. Foral de	6.672	553	791	47	5.281	176,6	136,6	177	89,8
País Vasco	3.126	232	153		2.741	189,9	185,6		75,6
Álava	1.580	163	133		1.284	161	183,4		72,3
Guipúzcoa	1.010	30			980	209,5			74,4
Vizcaya	536	39	20		477	295,3	200,2		87,1
La Rioja	2.037	182	123	11	1.721	178,1	135,2	170	72,7
Rioja, La	2.037	182	123	11	1.721	178,1	135,2	170	72,7
Ceuta, C. Autónoma	418	4	15	2	397	408,3	142,3	204	86,7
Ceuta	418	4	15	2	397	408,3	142,3	204	86,7
Melilla, C. Autónoma	695	2	38	3	652	339	179	277	101,1
Melilla	695	2	38	3	652	339	179	277	101,1
					409.048				
España	267.876	24.501	33.466	5.385	204.524	177,9	139,7	146,4	71,8

Tabla 2. Datos de número de viviendas por plantas sobre y bajo rasante. Licencias municipales de obras de viviendas. 2008

CCAA y provincias	Total	Plantas sobre rasante					Plantas bajo rasante		
		0 y 1	2	3	4 y 5	6 o más	0	1	2 o más
Andalucía	46.303	2.639	17.088	10.562	9.936	6.078	14.406	21.202	10.695
Almería	5.490	415	855	2.079	1.708	433	1.071	3.035	1.384
Cádiz	5.008	184	1.854	1.817	1.153		812	3.461	735
Córdoba	4.783	351	3.184	818	284	146	2.373	1.903	507
Granada	5.610	441	1.924	1.827	851	567	1.709	2.461	1.440

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Plantas sobre rasante					Plantas bajo rasante		
		0 y 1	2	3	4 y 5	6 o más	0	1	2 o más
Huelva	2.727	166	1.454	386	195	526	1.182	1.177	368
Jaén	3.830	307	1.144	864	936	579	1.461	1.754	615
Málaga	8.326	493	2.915	863	2.855	1.200	2.337	3.477	2.512
Sevilla	10.529	282	3.758	1.908	1.954	2.627	3.461	3.934	3.134
Aragón	8.570	165	1.066	1.555	3.362	2.422	1.324	3.858	3.388
Huesca	1.219	44	211	209	545	210	339	687	193
Teruel	1.106	26	245	378	435	22	342	647	117
Zaragoza	6.245	95	610	968	2.382	2.190	643	2.524	3.078
Principado de Asturias	5.333	382	942	226	1.519	2.264	856	2.556	1.921
Principado de Asturias	5.333	382	942	226	1.519	2.264	856	2.556	1.921
Islas Baleares	4.916	350	1.511	1.409	1.519	127	1.845	2.499	572
Baleares, Islas	4.916	350	1.511	1.409	1.519	127	1.845	2.499	572
Canarias	9.260	371	3.627	3.262	1.422	578	1.732	5.400	2.128
Las Palmas	3.619	272	1.465	1.250	446	186	1.033	2.077	509
Sta. Cruz de Tenerife	5.641	99	2.162	2.012	976	392	699	3.323	1.619
Cantabria	4.519	41	1.398	1.058	1.456	566	572	3.258	689
Santander	4.519	41	1.398	1.058	1.456	566	572	3.258	689
Castilla-La Mancha	27.196	2.351	9.362	6.194	5.945	3.344	10.213	12.458	4.525
Albacete	4.157	247	1.197	551	833	1.329	1.116	1.699	1.342
Ciudad Real	5.950	459	1.699	1.319	2.140	333	1.825	3.440	685
Cuenca	2.262	191	914	648	509		1.297	926	39
Guadalajara	4.942	396	1.108	1.086	1.290	1.062	1.578	1.992	1.372
Toledo	9.885	1.058	4.444	2.590	1.173	620	4.397	4.401	1.087

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Plantas sobre rasante					Plantas bajo rasante		
		0 y 1	2	3	4 y 5	6 o más	0	1	2 o más
Castilla y León	11.705	1.268	3.244	1.257	4.017	1.919	3.913	4.451	3.341
Ávila	633	47	338	174	32	42	362	227	44
Burgos	2.669	26	275	229	1.752	387	318	600	1.751
León	1.621	235	594	107	278	407	832	391	398
Palencia	348	11	129	85	123		140	174	34
Salamanca	1.424	475	238	108	537	66	842	536	46
Segovia	969	211	479	100	179		649	200	120
Soria	6			6			6		
Valladolid	2.240	49	287	245	806	853	323	1.274	643
Zamora	1.795	214	904	203	310	164	441	1.049	305
Cataluña	44.521	2.227	6.055	9.127	18.857	8.255	8.614	20.514	15.393
Barcelona	26.854	1.224	3.081	5.035	10.876	6.638	3.808	10.814	12.232
Girona	4.628	377	1.094	1.562	1.402	193	1.290	2.857	481
Lleida	4.703	84	685	911	2.629	394	1.426	2.835	442
Tarragona	8.336	542	1.195	1.619	3.950	1.030	2.090	4.008	2.238
Comunidad Valenciana	27.995	1.261	4.687	5.076	9.171	7.800	6.486	11.499	10.010
Alicante	10.880	795	2.510	1.705	3.942	1.928	2.842	4.857	3.181
Castellón	4.795	44	550	815	1.588	1.798	1.111	1.636	2.048
Valencia	12.320	422	1.627	2.556	3.641	4.074	2.533	5.006	4.781
Extremadura	5.416	309	2.154	1.898	884	171	2.209	2.984	223
Badajoz	3.501	201	1.447	1.255	477	121	1.494	1.998	9
Cáceres	1.915	108	707	643	407	50	715	986	214

(Continuación)

CCAA y provincias	Total	Plantas sobre rasante					Plantas bajo rasante		
		0 y 1	2	3	4 y 5	6 o más	0	1	2 o más
Galicia	23.163	1.172	3.654	2.834	9.267	6.236	3.363	9.535	10.265
A Coruña	10.480	518	1.683	1.351	4.185	2.743	1.610	4.291	4.579
Lugo	3.656	103	469	341	1.513	1.230	604	1.686	1.366
Ourense	2.531	93	344	212	973	909	261	694	1.576
Pontevedra	6.496	458	1.158	930	2.596	1.354	888	2.864	2.744
Comunidad de Madrid	24.564	446	4.393	4.493	7.359	7.873	3.309	9.210	12.045
Madrid	24.564	446	4.393	4.493	7.359	7.873	3.309	9.210	12.045
Región de Murcia	12.026	784	2.682	1.852	5.117	1.591	3.781	5.550	2.695
Región de Murcia	12.026	784	2.682	1.852	5.117	1.591	3.781	5.550	2.695
C. Foral de Navarra	6.672	133	1.257	1.239	3.716	327	1.429	3.491	1.752
Navarra C. Foral de	6.672	133	1.257	1.239	3.716	327	1.429	3.491	1.752
País Vasco	3.126	120	297	194	1.657	858	1.840	749	537
Álava	1.580	107	104	85	1.284		1.497	83	
Guipúzcoa	1.010		47	86	203	674	322	357	331
Vizcaya	536	13	146	23	170	184	21	309	206
La Rioja	2.037	23	344	338	978	354	440	1.280	317
Rioja, La	2.037	23	344	338	978	354	440	1.280	317
Ceuta, C. Autónoma	418		5	18	279	116	111	264	43
Ceuta	418		5	18	279	116	111	264	43
Melilla, C. Autónoma	695		147	102	283	163	397	260	38
Melilla	695		147	102	283	163	397	260	38
España	268.435	14.042	63.913	52.694	86.744	51.042	66.840	121.018	80.577

Tabla 3. Datos del número de viviendas por plantas y vivienda unifamiliar, plurifamiliar sin locales y plurifamiliar con locales del Censo de Viviendas 1995-2001. INE. Parte 1

Provincia de la vivienda	Total	Edificio sólo con una vivienda familiar					
		Nº de plantas sobre rasante					
		1	2	3	4	5	6
Andalucía	189.411	58.228	121.618	9.092	297	115	61
04-Almería	17.194	4.644	11.458	1.061	19	8	4
11-Cádiz	27.959	11.209	15.795	895	39	14	7
14-Córdoba	17.331	5.558	11.183	579	9	2	0
18-Granada	26.602	5.523	19.063	1.978	23	9	6
21-Huelva	13.150	5.626	7.337	140	31	8	8
23-Jaén	13.866	2.847	9.509	1.443	37	26	4
29-Málaga	29.106	9.997	16.973	1.968	104	39	25
41-Sevilla	44.203	12.824	30.300	1.028	35	9	7
Aragón	18.578	4.460	10.160	3.901	39	17	1
22-Huesca	3.937	1.096	2.164	669	7	1	0
44-Teruel	3.071	620	1.750	693	6	1	1
50-Zaragoza	11.570	2.744	6.246	2.539	26	15	0
Principado de Asturias	8.236	3.173	4.391	635	17	14	6
33-Asturias	8.236	3.173	4.391	635	17	14	6
Islas Baleares	13.187	6.975	5.747	427	22	11	5
07-Baleares (Islas)	13.187	6.975	5.747	427	22	11	5
Canarias	32.892	17.680	13.640	1.404	103	36	29
35-Palmas (Las)	17.906	9.010	8.094	766	20	11	5
38-Santa Cruz de Tenerife	14.986	8.670	5.546	638	83	25	24

(Continuación)

		Edificio sólo con una vivienda familiar					
		Nº de plantas sobre rasante					
Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6
Cantabria	8.189	2.557	4.830	779	13	7	3
39-Cantabria	8.189	2.557	4.830	779	13	7	3
Castilla-La Mancha	70.700	22.844	43.755	4.041	43	12	5
02-Albacete	7.149	2.702	4.136	295	9	5	2
13-Ciudad Real	15.340	5.220	9.585	518	12	4	1
16-Cuenca	8.329	3.425	4.329	573	1	1	0
19-Guadalajara	12.435	2.579	8.427	1.420	9	0	0
45-Toledo	27.447	8.918	17.278	1.235	12	2	2
Castilla y León	59.498	17.838	35.661	5.904	58	23	14
05-Ávila	6.217	1.843	3.832	538	4	0	0
09-Burgos	7.677	1.377	4.922	1.361	11	4	2
24-León	8.249	2.623	4.956	665	3	1	1
34-Palencia	3.410	897	2.053	453	5	0	2
37-Salamanca	8.362	2.987	4.743	596	20	12	4
40-Segovia	6.133	2.058	3.608	465	2	0	0
42-Soria	2.020	375	1.376	263	3	2	1
47-Valladolid	12.257	2.857	7.979	1.409	7	3	2
49-Zamora	5.173	2.821	2.192	154	3	1	2

(Continuación)

Edificio sólo con varias viviendas familiares

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Andalucía	171.549	14.929	35.270	39.707	33.212	19.230	13.829	7.724	5.392	555	1.701
04-Almería	14.739	1.223	2.497	2.909	3.224	1.537	1.462	1.281	262	0	344
11-Cádiz	31.463	3.445	7.298	7.721	5.711	3.127	1.701	890	815	247	508
14-Córdoba	12.861	1.671	3.681	4.295	2.164	628	316	98	8	0	0
18-Granada	16.182	1.411	3.052	4.207	3.049	2.038	1.416	787	99	0	123
21-Huelva	15.101	990	3.285	3.713	2.746	1.723	1.632	269	565	68	110
23-Jaén	10.620	574	2.040	3.072	2.366	1.440	636	256	202	16	18
29-Málaga	44.785	3.134	8.037	8.254	7.772	6.986	5.184	2.895	1.870	180	473
41-Sevilla	25.798	2.481	5.380	5.536	6.180	1.751	1.482	1.248	1.571	44	125
Aragón	26.466	1.015	2.482	4.323	5.688	3.309	2.346	2.412	1.559	1.468	1.864
22-Huesca	7.385	188	496	1.575	1.895	1.223	1.047	734	51	54	122
44-Teruel	2.316	150	429	606	648	190	59	21	60	153	0
50-Zaragoza	16.765	677	1.557	2.142	3.145	1.896	1.240	1.657	1.448	1.261	1.742
Principado de Asturias	18.844	601	1.057	2.212	4.087	3.999	3.492	1.838	1.347	189	22
33-Asturias	18.844	601	1.057	2.212	4.087	3.999	3.492	1.838	1.347	189	22
Islas Baleares	20.064	2.035	4.278	4.575	4.816	2.382	1.344	296	294	28	16
07-Baleares (Islas)	20.064	2.035	4.278	4.575	4.816	2.382	1.344	296	294	28	16
Canarias	51.623	6.658	11.379	14.350	7.870	5.230	2.398	1.125	992	269	1.352
35-Palmas (Las)	29.244	3.838	7.260	8.447	4.143	2.768	821	341	503	249	874
38-Santa Cruz de Tenerife	22.379	2.820	4.119	5.903	3.727	2.462	1.577	784	489	20	478

(Continuación)

Edificio sólo con varias viviendas familiares

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Cantabria	20.831	1.059	2.725	3.521	4.197	5.048	2.239	443	715	549	335
39-Cantabria	20.831	1.059	2.725	3.521	4.197	5.048	2.239	443	715	549	335
Castilla-La Mancha	32.740	3.428	6.793	7.058	7.302	4.369	1.808	1.176	723	67	16
02-Albacete	8.098	306	1.074	1.563	1.874	1.567	981	515	153	49	16
13-Ciudad Real	8.164	753	2.197	2.328	1.758	797	148	96	87	0	0
16-Cuenca	3.220	320	679	566	606	357	392	13	287	0	0
19-Guadalajara	4.727	473	813	893	2.001	392	16	139	0	0	0
45-Toledo	8.531	1.576	2.030	1.708	1.063	1.256	271	413	196	18	0
Castilla y León	57.314	2.608	6.637	13.221	14.913	8.535	5.212	2.926	1.532	698	1.032
05-Ávila	5.077	531	1.005	1.366	1.163	466	110	377	18	0	41
09-Burgos	5.280	323	728	761	863	908	623	422	210	189	253
24-León	12.921	479	1.097	3.326	3.026	2.056	1.507	769	281	293	87
34-Palencia	3.659	103	297	417	916	566	402	432	450	0	76
37-Salamanca	9.799	330	1.129	2.904	2.987	1.302	626	437	84	0	0
40-Segovia	4.195	314	898	1.535	1.112	229	91	16	0	0	0
42-Soria	3.018	73	339	499	819	708	389	100	51	40	0
47-Valladolid	10.548	303	845	2.016	3.479	1.626	1.296	225	346	61	351
49-Zamora	2.817	152	299	397	548	674	168	148	92	115	224

(Continuación)

Edificio principalmente con viviendas familiares compartido con locales

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Andalucía	70.950	2.000	6.406	11.181	14.514	11.811	9.301	6.943	5.859	577	2.358
04-Almería	5.650	165	576	878	1.050	1.157	798	389	581	38	18
11-Cádiz	9.184	331	1.033	1.884	1.327	1.613	1.028	828	848	211	81
14-Córdoba	7.976	249	940	1.468	2.495	1.271	1.226	327	0	0	0
18-Granada	9.380	177	588	1.790	2.449	1.419	1.361	595	381	62	558
21-Huelva	5.757	173	698	858	849	876	555	357	1.128	32	231
23-Jaén	5.456	131	315	748	1.349	803	1.030	620	247	20	193
29-Málaga	15.820	303	810	1.512	2.615	2.768	2.616	2.557	1.331	214	1.094
41-Sevilla	11.727	471	1.446	2.043	2.380	1.904	687	1.270	1.343	0	183
Aragón	18.389	197	467	839	1.946	2.961	2.154	1.672	2.617	2.861	2.675
22-Huesca	2.999	42	117	273	523	713	654	387	244	0	46
44-Teruel	1.240	30	91	126	271	389	68	164	54	47	0
50-Zaragoza	14.150	125	259	440	1.152	1.859	1.432	1.121	2.319	2.814	2.629
Principado de Asturias	20.352	68	238	590	2.162	4.015	6.374	4.159	1.455	344	947
33-Asturias	20.352	68	238	590	2.162	4.015	6.374	4.159	1.455	344	947
Islas Baleares	6.073	167	408	775	1.087	904	1.937	426	241	76	52
07-Baleares (Islas)	6.073	167	408	775	1.087	904	1.937	426	241	76	52
Canarias	11.410	371	1.093	2.210	2.826	1.490	1.106	799	920	31	564
35-Palmas (Las)	6.574	235	644	1.219	1.326	709	861	505	672	31	372
38-Santa Cruz de Tenerife	4.836	136	449	991	1.500	781	245	294	248	0	192

(Continuación)

Edificio principalmente con viviendas familiares compartido con locales

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Cantabria	6.482	95	165	559	1.159	2.009	1.152	773	429	0	141
39-Cantabria	6.482	95	165	559	1.159	2.009	1.152	773	429	0	141
Castilla-La Mancha	17.418	676	1.867	2.306	2.699	3.894	3.058	1.696	1.184	14	24
02-Albacete	5.575	104	240	392	859	1.420	1.517	380	649	14	0
13-Ciudad Real	3.656	160	602	611	763	957	314	220	29	0	0
16-Cuenca	1.950	81	254	168	185	151	624	290	197	0	0
19-Guadalajara	2.093	50	181	389	518	631	56	268	0	0	0
45-Toledo	4.144	281	590	746	374	735	547	538	309	0	24
Castilla y León	33.847	577	1.311	2.477	6.493	5.939	6.238	4.207	3.875	1.330	1.400
05-Ávila	1.571	109	155	206	389	313	179	220	0	0	0
09-Burgos	7.323	81	143	197	962	965	1.838	1.465	1.058	183	431
24-León	7.457	81	241	658	1.469	1.519	1.383	678	665	505	258
34-Palencia	2.323	35	94	127	528	249	598	165	422	29	76
37-Salamanca	3.800	80	149	373	1.222	567	885	396	128	0	0
40-Segovia	1.229	36	148	365	438	224	18	0	0	0	0
42-Soria	1.221	24	69	63	213	252	209	217	123	37	14
47-Valladolid	7.146	76	206	397	1.089	1.665	755	815	1.198	477	468
49-Zamora	1.777	55	106	91	183	185	373	251	281	99	153

Tabla 4. Datos del número de viviendas por plantas y vivienda unifamiliar, plurifamiliar sin locales y plurifamiliar con locales del Censo de Viviendas 1995-2001. INE. Parte 2

		Edificio sólo con una vivienda familiar					
		Nº de plantas sobre rasante					
Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6
Cataluña	60.082	22.594	27.394	9.658	260	116	60
08-Barcelona	45.698	17.133	20.040	8.173	210	89	53
17-Girona	13.069	4.660	6.921	1.430	39	14	5
25-Lleida	6.827	2.613	3.256	937	15	3	3
43-Tarragona	14.384	5.461	7.354	1.485	50	27	7
Comunidad Valenciana	57.521	26.789	25.213	5.310	128	52	29
03-Alicante/Alacant	30.425	18.707	10.298	1.288	85	31	16
12-Castellón/Castelló	9.058	3.221	4.056	1.748	23	6	4
46-Valencia/València	27.096	8.082	14.915	4.022	43	21	13
Extremadura	36.172	17.602	16.672	1.858	21	10	9
06-Badajoz	21.902	11.235	9.613	1.030	15	6	3
10-Cáceres	14.270	6.367	7.059	828	6	4	6
Galicia	30.547	12.218	16.307	1.925	63	27	7
15-Coruña (A)	16.314	5.762	9.240	1.258	32	20	2
27-Lugo	6.147	3.274	2.628	230	9	5	1
32-Ourense	6.122	4.158	1.827	122	10	4	1
36-Pontevedra	14.233	6.456	7.067	667	31	7	5
Comunidad de Madrid	64.545	13.388	38.358	12.618	106	56	19
28-Madrid	64.545	13.388	38.358	12.618	106	56	19
Región de Murcia	32.855	13.067	18.002	1.696	59	25	6
30-Murcia	32.855	13.067	18.002	1.696	59	25	6

(Continuación)

Edificio sólo con una vivienda familiar							
Nº de plantas sobre rasante							
Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6
C. Foral de Navarra	9.378	2.175	5.649	1.539	9	3	3
31-Navarra	9.378	2.175	5.649	1.539	9	3	3
País Vasco	5.943	869	3.599	1.463	7	5	0
01-Álava	2.222	399	1.505	311	2	5	0
20-Guipúzcoa	2.989	881	1.455	578	41	24	10
48-Vizcaya	3.721	470	2.094	1.152	5	0	0
La Rioja	2.868	959	1.541	360	5	3	0
26-Rioja (La)	2.868	959	1.541	360	5	3	0
Ceuta, Ciudad Autónoma de							
Ceuta							
Melilla, Ciudad Autónoma de							
Melilla							
España	745.850	262.610	413.143	67.821	1.395	597	284

Edificio sólo con varias viviendas familiares											
Nº de plantas sobre rasante											
Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Cataluña	116.269	6.905	12.882	25.055	27.418	22.776	12.472	3.967	2.605	606	1.583
08-Barcelona	90.010	4.430	9.364	21.097	21.620	17.408	9.111	2.813	2.249	573	1.345
17-Girona	21.468	1.501	3.715	6.104	4.635	3.158	1.144	768	272	17	154
25-Lleida	7.442	401	1.203	1.675	1.676	1.421	621	218	168	0	59

(Continuación)

Edificio sólo con varias viviendas familiares

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
43-Tarragona	26.259	2.475	3.518	3.958	5.798	5.368	3.361	1.154	356	33	238
Comunidad Valenciana	107.935	7.172	14.103	12.633	16.789	19.602	15.557	6.375	6.447	1.441	7.816
03-Alicante/ Alacant	57.677	4.902	9.148	7.301	9.014	9.335	8.728	2.498	2.349	810	3.592
12-Castellón/ Castelló	18.410	840	1.699	2.395	3.069	2.917	2.042	1.023	1.519	620	2.286
46-Valencia/ València	50.258	2.270	4.955	5.332	7.775	10.267	6.829	3.877	4.098	631	4.224
Extremadura	22.821	1.820	5.000	5.691	5.129	3.149	847	881	233	0	71
06-Badajoz	13.057	947	3.025	2.839	3.506	2.030	525	107	78	0	0
10-Cáceres	9.764	873	1.975	2.852	1.623	1.119	322	774	155	0	71
Galicia	35.274	1.584	2.517	4.611	8.626	7.856	4.387	2.662	1.686	643	702
15-Coruña (A)	21.884	825	1.304	3.153	6.141	5.057	2.817	1.228	950	296	113
27-Lugo	6.265	257	458	605	1.344	1.325	1.473	508	276	19	0
32-Ourense	4.857	398	411	834	1.292	874	455	374	203	16	0
36-Pontevedra	13.390	759	1.213	1.458	2.485	2.799	1.570	1.434	736	347	589
Comunidad de Madrid	146.512	4.603	12.481	20.886	32.268	34.854	18.106	10.730	8.183	2.005	2.396
28-Madrid	146.512	4.603	12.481	20.886	32.268	34.854	18.106	10.730	8.183	2.005	2.396
Región de Murcia	25.852	2.311	6.471	5.462	5.029	2.895	1.450	476	861	143	754
30-Murcia	25.852	2.311	6.471	5.462	5.029	2.895	1.450	476	861	143	754
C. Foral de Navarra	11.871	356	1.807	2.494	3.575	1.688	956	564	340	0	91
31-Navarra	11.871	356	1.807	2.494	3.575	1.688	956	564	340	0	91
País Vasco	16.087	388	1.548	2.265	3.509	3.394	3.168	961	552	84	218
01-Álava	5.562	139	463	593	999	1.775	934	225	225	84	125

(Continuación)

Edificio sólo con varias viviendas familiares

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
20-Guipúzcoa	10.600	606	1.081	2.646	3.237	1.849	862	215	56	0	48
48-Vizcaya	10.525	249	1.085	1.672	2.510	1.619	2.234	736	327	0	93
La Rioja	7.324	271	1.136	1.481	1.534	1.471	594	716	121	0	0
26-Rioja (La)	7.324	271	1.136	1.481	1.534	1.471	594	716	121	0	0
Ceuta, Ciudad Autónoma de											
Ceuta											
Melilla, Ciudad Autónoma de											
Melilla											
España	962.504	61.926	137.391	184.417	202.348	161.998	97.483	48.615	36.263	9.516	22.547

Edificio principalmente con viviendas familiares compartido con locales

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Cataluña	59.381	496	1.656	6.039	11.662	14.646	11.724	7.120	3.263	227	2.548
08-Barcelona	45.553	305	1.170	5.147	9.783	11.347	9.023	4.712	2.195	82	1.789
17-Girona	6.051	86	353	740	1.703	1.607	842	322	285	31	82
25-Lleida	5.608	63	168	445	1.354	1.457	866	764	317	52	122
43-Tarragona	13.828	191	486	892	1.879	3.299	2.701	2.408	1.068	145	759
Comunidad Valenciana	58.540	734	2.024	3.210	6.990	13.040	12.579	7.281	6.672	1.050	4.960
03-Alicante/Alacant	24.451	460	928	1.598	3.778	6.480	4.540	2.748	1.920	325	1.674

(Continuación)

Edificio principalmente con viviendas familiares compartido con locales

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
12-Castellón/ Castelló	8.189	112	280	345	924	1.646	1.152	1.001	1.112	264	1.353
46-Valencia/ València	34.089	274	1.096	1.612	3.212	6.560	8.039	4.533	4.752	725	3.286
Extremadura	9.824	433	1.030	1.359	1.685	1.857	1.941	538	674	38	269
06-Badajoz	5.386	239	657	568	1.035	1.261	642	267	549	0	168
10-Cáceres	4.438	194	373	791	650	596	1.299	271	125	38	101
Galicia	36.906	270	689	1.293	5.762	7.397	6.968	4.530	4.606	1.484	3.907
15-Coruña (A)	20.731	141	380	787	4.102	4.266	3.651	2.422	2.387	1.004	1.591
27-Lugo	7.156	87	178	250	697	1.510	1.598	1.273	1.163	117	283
32-Ourense	5.285	110	131	232	689	1.871	858	716	642	0	36
36-Pontevedra	16.175	129	309	506	1.660	3.131	3.317	2.108	2.219	480	2.316
Comunidad de Madrid	53.472	340	1.436	4.467	8.085	12.590	8.779	6.269	7.173	556	4.047
28-Madrid	53.472	340	1.436	4.467	8.085	12.590	8.779	6.269	7.173	556	4.047
Región de Murcia	16.509	363	1.237	1.703	3.836	4.405	2.533	336	1.231	118	747
30-Murcia	16.509	363	1.237	1.703	3.836	4.405	2.533	336	1.231	118	747
C. Foral de Navarra	9.929	49	246	580	851	1.997	2.660	1.944	1.336	36	230
31-Navarra	9.929	49	246	580	851	1.997	2.660	1.944	1.336	36	230
País Vasco	16.676	55	132	555	2.927	3.028	4.614	2.732	2.000	140	493
01-Álava	3.320	18	51	113	328	534	1.194	327	575	0	180
20-Guipúzcoa	9.616	27	112	406	1.799	2.781	1.920	2.248	323	0	0
48-Vizcaya	13.356	37	81	442	2.599	2.494	3.420	2.405	1.425	140	313

(Continuación)

Edificio principalmente con viviendas familiares compartido con locales

Nº de plantas sobre rasante

Provincia de la vivienda	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
La Rioja	6.758	25	79	338	745	1.942	1.762	1.538	298	13	18
26-Rioja (La)	6.758	25	79	338	745	1.942	1.762	1.538	298	13	18
Ceuta, Ciudad Autónoma de											
Ceuta											
Melilla, Ciudad Autónoma de											
Melilla											
España	496.293	7.430	21.721	43.032	82.712	105.006	92.188	59.351	48.003	9.387	27.463

Con estos datos se estima la superficie útil y la superficie de cubierta por tipo de edificio y número de plantas. Para ello, se toman los datos de la superficie media útil por vivienda y se distribuyen según el siguiente proceso:

1. A partir de los datos de la Estadística de Licencias Municipales de Obra y del Censo de Población y Viviendas (INE 2001) se estima la distribución porcentual del potencial de viviendas principales¹ según tipo de edificio y número de plantas, de modo que se obtiene para cada una de las provincias y cada una de las tipologías de edificios (unifamiliares y plurifamiliares) el porcentaje de viviendas de 1, 2, 3... hasta 10 o más plantas que se han construido en los dos últimos años (2008 y 2009) y que se prevé que en el medio plazo pueden acabar teniendo uso de vivienda principal.
2. Se aplica la distribución porcentual anterior al número de viviendas finalizadas tanto de tipo unifamiliar como plurifamiliar en cada uno de los períodos temporales de interés (2000-2006 y 2007-2009) obteniéndose la distribución del

número de viviendas principales según tipo de edificación y número de plantas sobre rasante.

3. Se calcula la superficie útil construida para el total de la provincia y comunidad autónoma (según tipo de vivienda y número de plantas sobre rasante) a partir de aplicar a la tabla anterior la superficie media por vivienda.
4. Finalmente se estima la superficie de cubierta mediante el siguiente proceso: dado que disponemos del dato de superficie útil total construida distribuida en bloques según el número de plantas de los edificios, procedemos a calcular la superficie de cubierta dividiendo para cada uno de los bloques la superficie útil total por el número de plantas del bloque correspondiente y multiplicando el resultado por un factor corrector de 1,1. es decir, en el caso por ejemplo de edificios de 3 plantas dividiremos la superficie útil total que se ubica en este tipo de edificios entre 3 y multiplicaremos el resultado por 1,1. El factor corrector de 1,1. corresponde a la ganancia estimada de superficie de cubierta respecto a útil asociada al espacio de tabiques interiores o zonas no útiles.

¹Se entiende como vivienda principal aquella que es susceptible de convertirse en principal en los años siguientes al que ha obtenido la licencia de obra, bajo el supuesto de que el uso final de las viviendas evolucionará en el medio plazo de forma similar a como lo hizo en el período 1991-1998

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos para residencial unifamiliar y plurifamiliar por CCAA. Para más detalle puede consultarse el Anexo 3.1.

Figura 1. Distribución de la superficie útil (m²) en el sector residencial por CCAA. Años 2000 a 2006

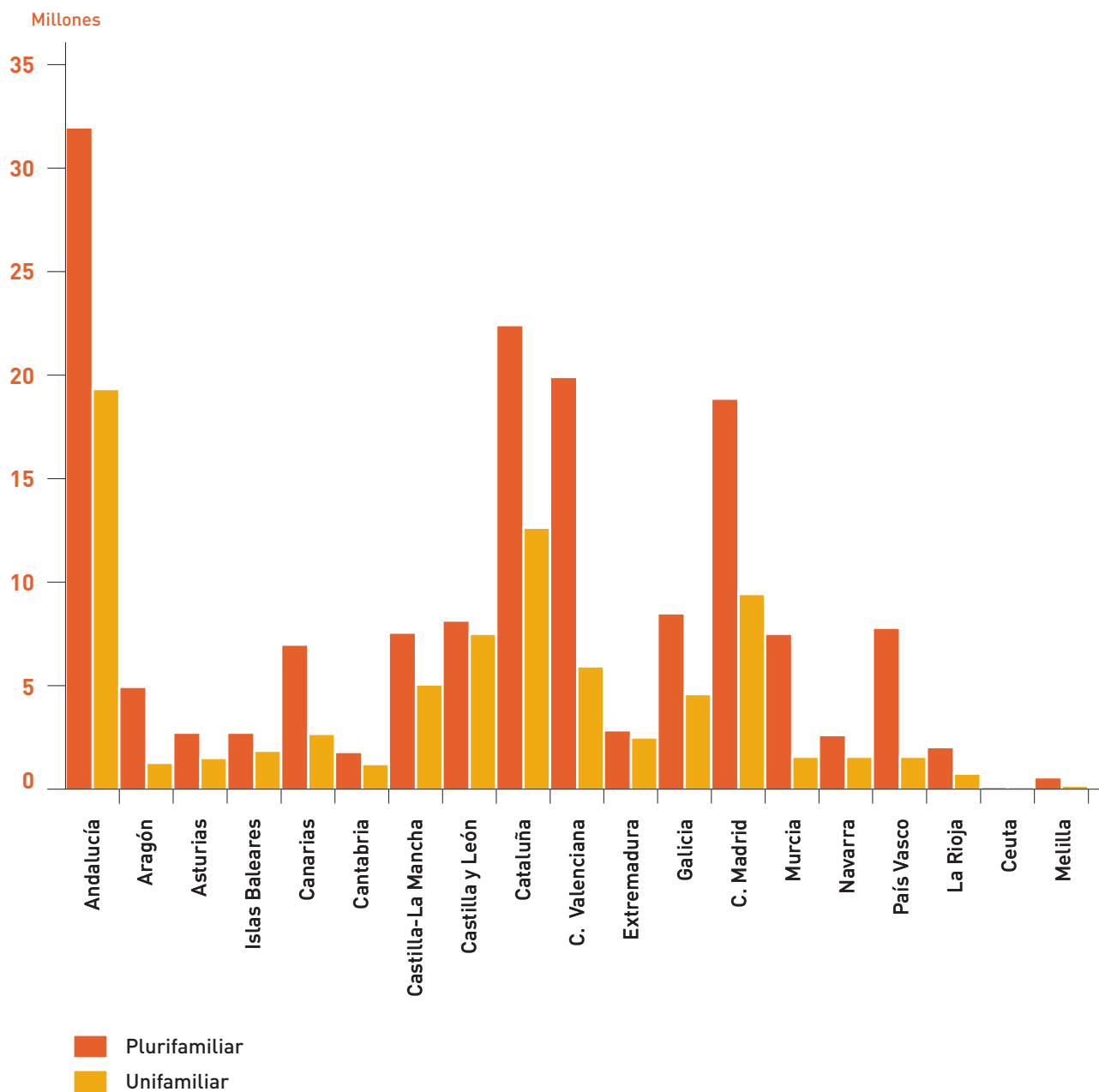
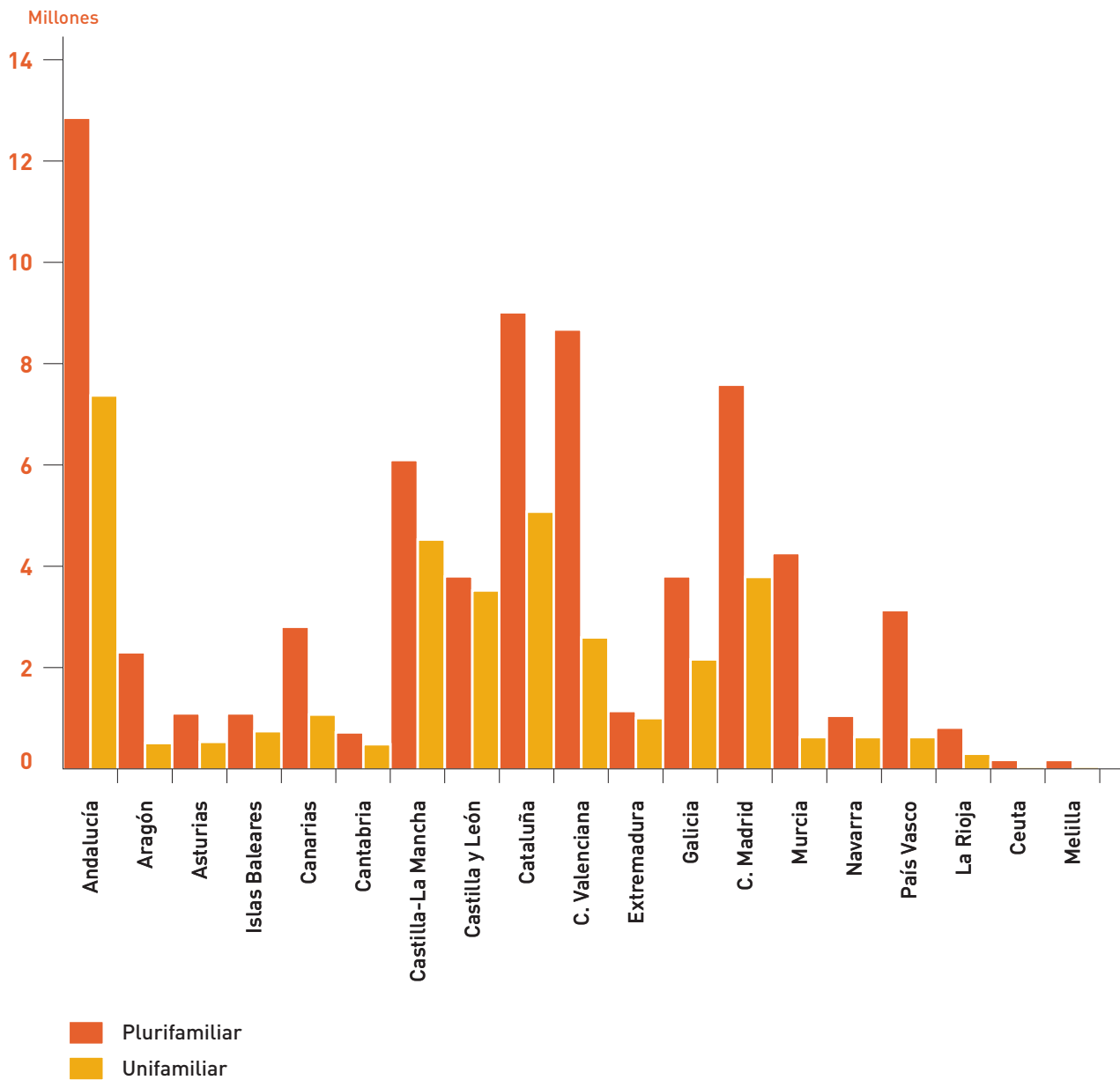


Figura 2. Distribución de la superficie útil (m²) en el sector residencial por CCAA. Años 2007 a 2009



1.3 SECTOR TERCIARIO

1.3.1 Oficinas

Se parte de los siguientes datos obtenidos a partir de las estadísticas de construcción del Ministerio de Fomento:

- Estadística de Licencias Municipales de Obra (número de edificios y superficie construida) para los años 2007 y 2008 clasificados según provincia y comunidad autónoma.
- Estadística de Visados de Dirección de Obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos (superficie construida) también según provincia y comunidad autónoma.

Se utiliza también el Censo de Población y Viviendas del año 2001 del Instituto Nacional de Estadística. Para la estimación de la superficie útil y de cubierta del parque de edificios de oficinas construido en los últimos 10 años en España se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. A partir de los datos de la Estadística de Licencias Municipales de Obra y del Censo de Población y Viviendas (INE 2001) se estima la distribución porcentual del conjunto de edificios de oficinas según el número de plantas, de modo que se obtiene para cada una de las provincias y CCAA el porcentaje de superficie construida en edificios de oficinas de 1, 2, 3...hasta 10 o más plantas que se han construido en los dos últimos años (2008 y 2009).
2. Se aplica la distribución porcentual anterior al total de superficie construida en edificios de oficinas en cada uno de los períodos temporales de interés (2000-2006 y 2007-2009) obteniéndose la distribución de dicha superficie para cada una de las tipologías de edificios (según número de plantas).
3. Aplicando un factor corrector (1,15) a los datos anteriores se obtiene la superficie útil.
4. Finalmente se estima la superficie de cubierta siguiendo el mismo procedimiento descrito en el apartado de residencial.

1.3.2 Centros comerciales

La inmensa mayoría de los edificios de uso comercial construidos en los últimos años en España corresponden a alguna de estas tres categorías:

- Centros comerciales.
- Hipermercados o supermercados.
- Grandes superficies de bricolaje.

Por ello para la estimación de los datos de superficie se parte de las siguientes fuentes:

- Directorio de centros comerciales (CC.CC.) de la Asociación Española de Centros Comerciales: dato de Superficie Bruta Alquilable (SBA).
- Censo de Distribución alimentaria de Alimarket (superficie de sala de ventas).
- Censo de Tiendas de bricolaje de Alimarket (superficie de sala de ventas).

A partir de la SBA (en el caso de CC.CC.) y del dato de superficie de sala de ventas (en el caso de Distribución alimentaria y Bricolaje) y aplicando un factor corrector se ha estimado la superficie útil construida en tres tipologías de edificios: hasta 25.000 m², de 25.000 a 75.000 m² y más de 75 000 m². Todo ello de forma separada para cada una de las CCAA y provincias españolas.

La superficie de cubierta se ha estimado a partir de dividir la superficie útil estimada por el número de plantas promedio y aplicando posteriormente un factor corrector.

En el modelo se incluirán los centros comerciales desde el año 1990.

1.3.3 Centros sanitarios

Se han distinguido dos grandes grupos de edificios de uso sanitario que recogen la mayor parte de la superficie construida en este sector:

- Hospitales.
- Centros de Atención Primaria (CAP).

Las estimaciones se han realizado a partir del censo de Hospitales y de Centros de Atención Primaria del Ministerio de Sanidad. Dado que dicho Censo sólo facilita datos de número de camas (y solamente en el caso de los hospitales) la estimación de la superficie útil se ha realizado de forma indirecta de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a) Hospitales:

Se ha obtenido en primer lugar la Ratio media entre superficie útil y número de camas en una pequeña muestra de hospitales construidos en los últimos años en la Comunidad de Madrid. Posteriormente se ha aplicado dicha ratio (296 m²/cama) al conjunto de hospitales de España

obteniéndose una estimación de la superficie construida de uso hospitalario para cada una de las CCAA y provincias. La superficie útil ha sido estimada posteriormente aplicando un factor corrector.

b) Centros de Atención Primaria:

Se ha asumido una superficie útil media de 2.500 m² para cada uno de los Centros.

Finalmente se ha estimado la superficie de cubierta a partir de dividir la superficie útil por el número de plantas promedio (7 en el caso de hospitales y 3 para los CAPs).

Estos edificios se han considerado en un grupo independientemente del año de construcción, incluyendo todos los existentes.

1.3.4 Otros servicios

Dentro de la distribución del sector terciario se incluye la categoría "Otros servicios" donde se engloban:

- Centros sanitarios, correspondiendo a los CAPs contabilizados también en el apartado anterior.
- Centros culturales y recreativos.
- Centros educativos.
- Iglesias.
- Otros.

Para este grupo no se ha establecido ningún modelo específico según el documento R1. Debe considerarse que los centros educativos, culturales, recreativos o iglesias no son susceptibles de aplicaciones de refrigeración solar por el corto periodo de utilización de este uso. Sólo podrían serlo los centros sanitarios (contabilizados también de forma separada como centros sanitarios). Por tanto, este grupo quedará excluido del análisis.

1.3.5 Hoteles

Se incluyen en la categoría de residencias colectivas los hoteles, hostales, apartahoteles, paradores, hospederías, albergues, etc. Estas se clasifican en el sector residencial.

Debido a que representan un porcentaje promedio del 0,5% del número de viviendas (ver Tabla 5, se desprecia esta categoría entre los modelos realizados.

Tabla 5. Distribución de las edificaciones denominadas residencias colectivas respecto al total residencial (superficie construida en m²)

	Total residencial	Residencias colectivas	% colectivas
2008	45.110.756	195.403	0,4
2007	103.751.945	362.987	0,3
2006	138.565.703	405.921	0,3
2005	119.046.336	450.656	0,4
2004	113.802.584	684.849	0,6
2003	103.879.916	912.109	0,9
2002	86.534.429	625.153	0,7
2001	83.114.042	556.569	0,7
2000	87.845.605	528.155	0,6
Total	881.651.316	4.721.802	0,5

1.3.6 Resultados sector terciario

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos para el sector terciario por CCAA. Para más detalle puede consultarse el Anexo 3.2.

Figura 3. Distribución de la superficie útil (m²) en el sector terciario por CCAA. Años 2000 a 2006 para oficinas y otros; 1990 a 2006 para centros comerciales y todos los existentes (*) para hospitales y centros de asistencia primaria

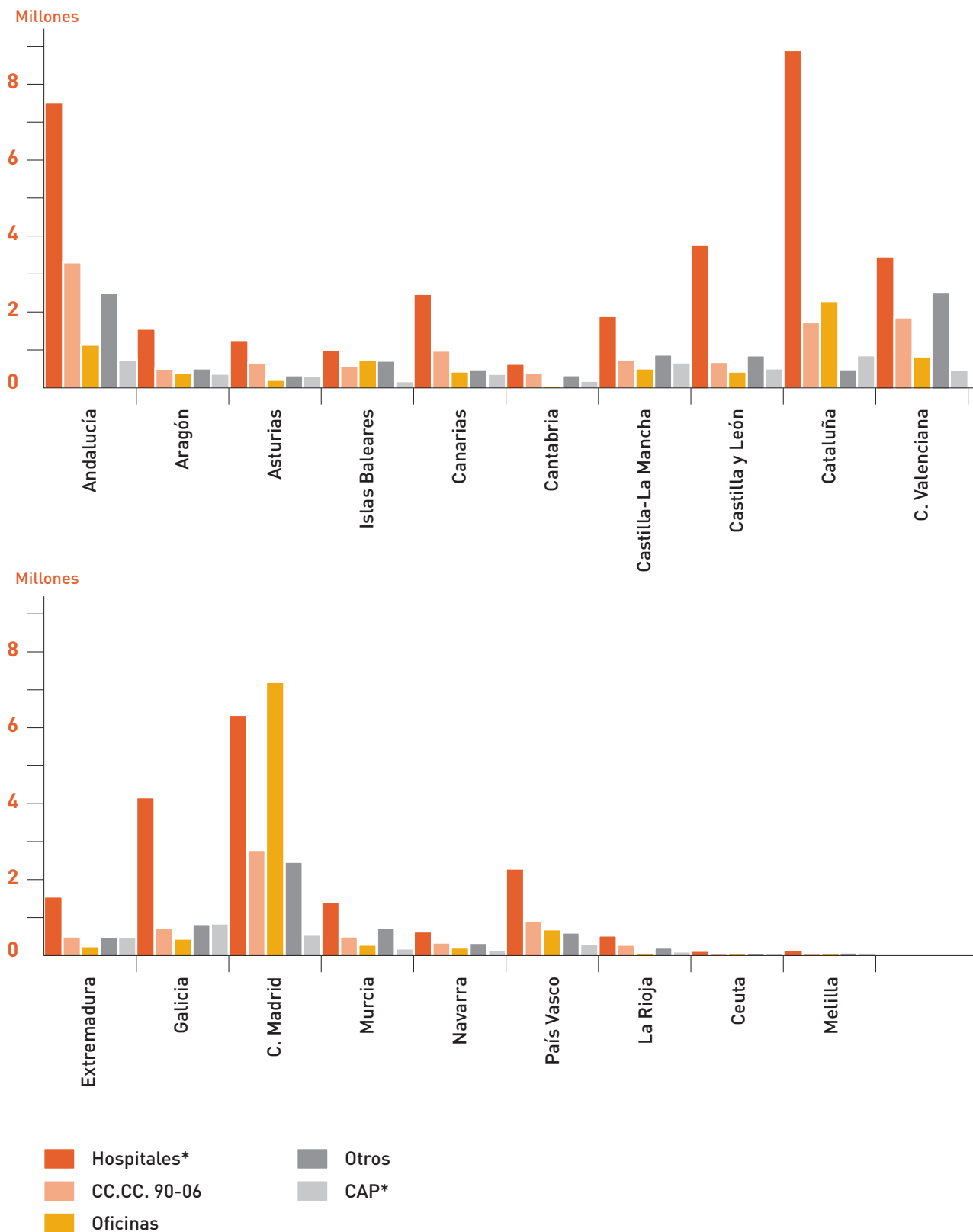
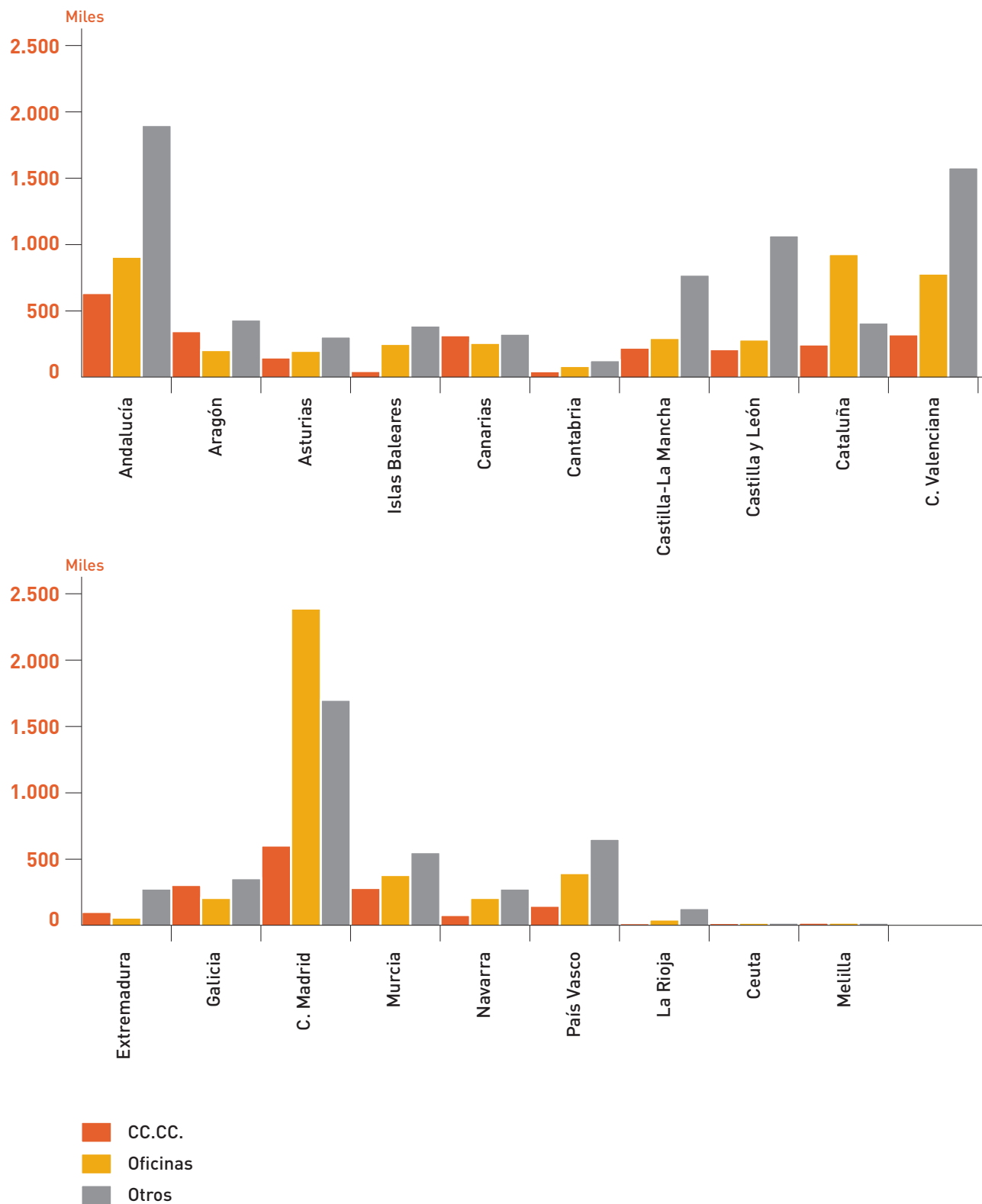


Figura 4. Distribución de la superficie útil (m²) en el sector terciario por CCAA. Años 2007 a 2009. Se excluyen hospitales y centros de asistencia primaria por estar todos integrados en el gráfico anterior



1.4 CRECIMIENTO ESTIMADO DEL PARQUE EDIFICATORIO EN EL PERIODO 2010-2020

Las hipótesis de crecimiento realizadas se basan en el crecimiento del parque residencial mayoritariamente. Sobre el modelo realizado para este grupo, se aplica una reducción relativa del factor obtenido para el caso de los edificios del sector terciario.

1.4.1 Estimación del parque de viviendas de uso principal para el periodo 2010-2020

La oferta de vivienda en el medio y largo plazo tiende a adaptarse a la demanda existente. Dado que la demanda se relaciona sobre todo con las necesidades de vivienda principal, el volumen de vivienda que se construye en un período determinado tiende a relacionarse de forma muy directa con el incremento en el número de hogares. En los últimos años se observa un importante desfase entre el volumen de viviendas construidas y el número de hogares que se han creado. Dicho desfase también es importante con el número de transacciones inmobiliarias en vivienda nueva (desfase cifrado en 2 millones de viviendas en el período entre 2000 y 2009). Algunos autores concluyen a partir de estos datos que se ha iniciado un proceso de ajuste con una caída en picado del volumen de viviendas construidas que puede durar entre 2 y 3 años. Este efecto se observa en las siguientes figuras.

Figura 5. Evolución de la superficie construida en sector residencial unifamiliar entre los años 2000 y 2009-I

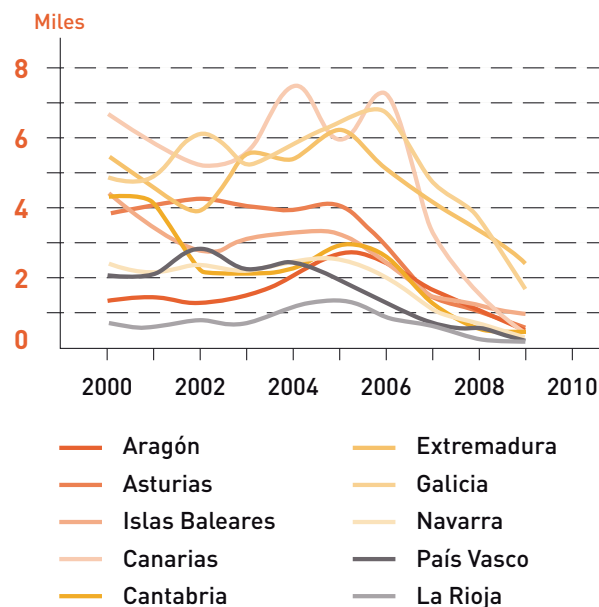


Figura 6. Evolución de la superficie construida en sector residencial unifamiliar entre los años 2000 y 2009-II

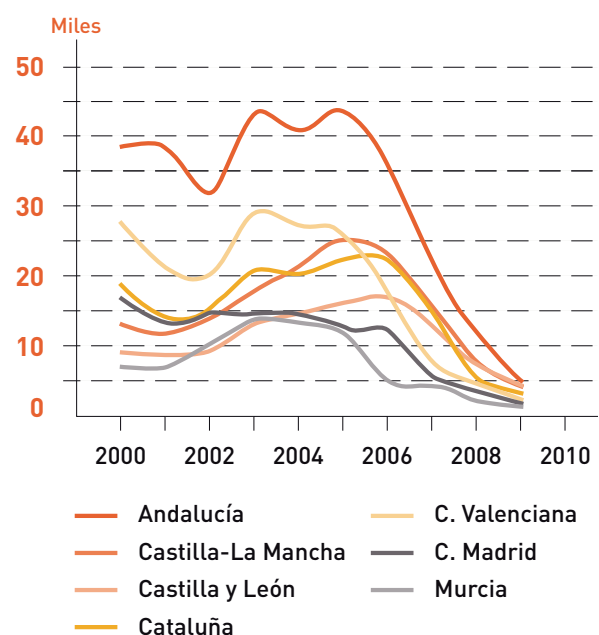


Figura 7. Evolución de la superficie construida en sector residencial plurifamiliar entre los años 2000 y 2009-I

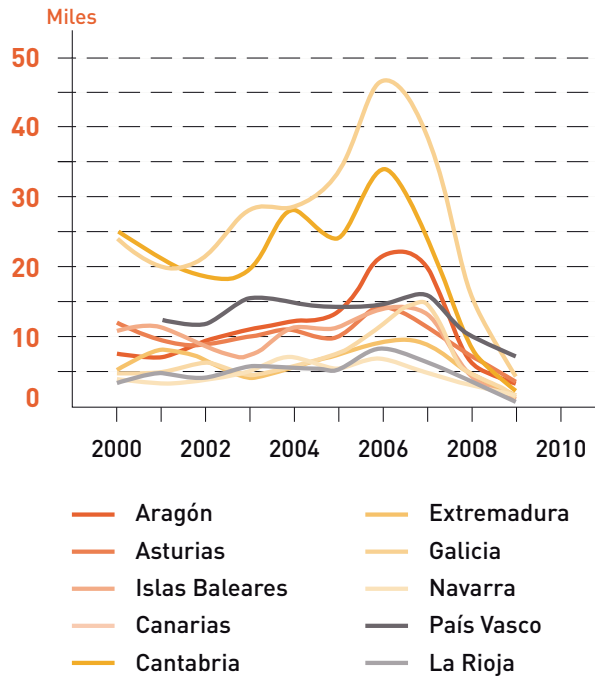
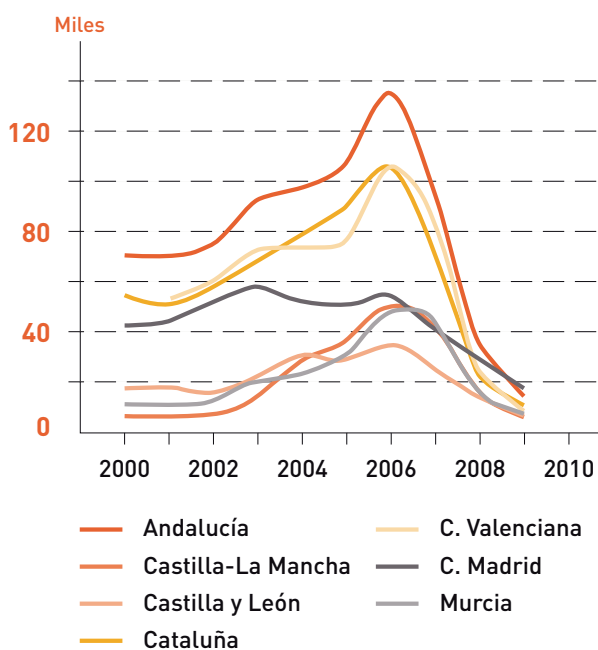


Figura 8. Evolución de la superficie construida en sector residencial plurifamiliar entre los años 2000 y 2009-II

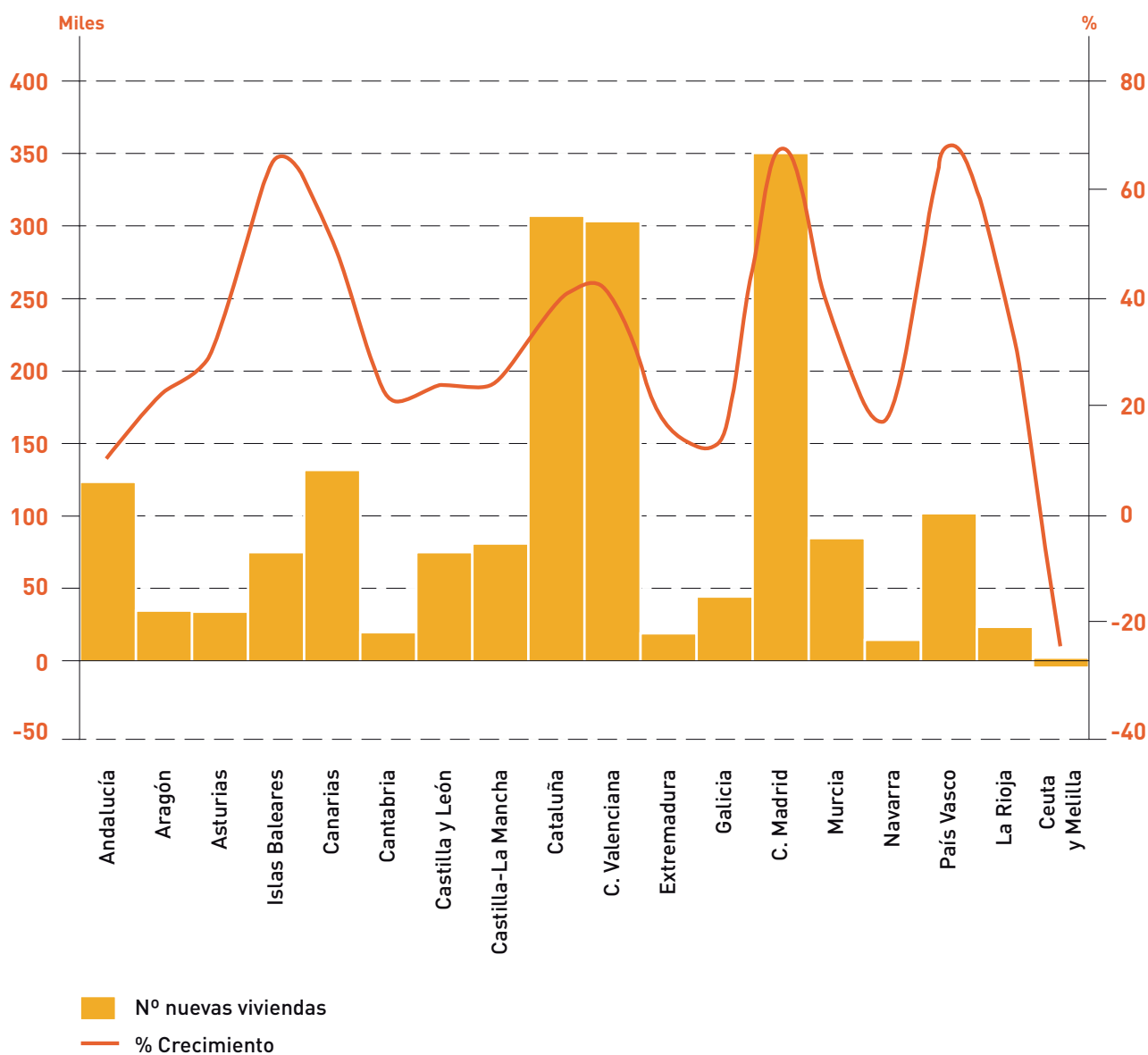


Hay que tener en cuenta no obstante que un porcentaje relevante de nuevas viviendas acaba teniendo un uso distinto del de vivienda habitual. De hecho, según el Censo de viviendas del INE, el porcentaje de viviendas construidas en el período 1991-1998 que estaban siendo usadas como segundas residencias o permanecían vacías (vivienda como inversión) en 2001 era del 28,6%.

Teniendo en cuenta lo anterior se ha procedido a estimar el volumen de viviendas que se construirán hasta el año 2020 y acabarán teniendo uso de primera residencia del siguiente modo:

1. Se considera que el volumen de viviendas construidas para uso principal será igual al número de nuevos hogares que se creen menos el número de viviendas (potencialmente de uso principal) y actualmente en stock.
2. El cálculo de dicho stock se realiza a partir de la diferencia entre el número de viviendas construidas en los últimos 10 años (y que se estima que tienen uso de vivienda principal) y el número de transacciones inmobiliarias realizado en el mismo período (datos del Ministerio de vivienda). El porcentaje de viviendas que se estima tendrán uso de primera residencia se calcula a partir del Censo de población y viviendas del INE (2001) para el período 1991-1998.
3. El cálculo del número de nuevos hogares en el período 2010-2020 se ha estimado a partir del documento "Hogares en España. Proyecciones 2001-212" de Julio Rodríguez López y colaboradores. Dado que dicho documento es previo al inicio de la actual crisis se han ponderado o corregido a la baja las previsiones para los años 2010-2012.

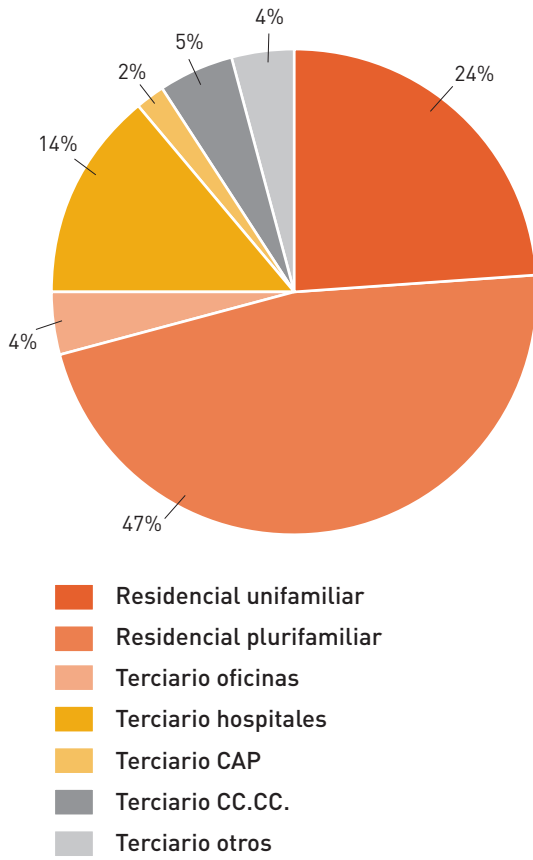
Figura 9. Tendencia de crecimiento del número de viviendas entre 2010 y 2020 por CCAA



Los resultados se muestran en la Figura 9. En ella se indica el número de viviendas que se espera incrementar en el año 2020, por cada CCAA, y se muestra el porcentaje relativo a la situación del año 2009.

Para el caso del sector terciario se mantendrá la misma proporción respecto al sector residencial que en la situación 2000-2006, y que se muestra en la figura adjunta.

Figura 10. Proporción de superficie útil en los distintos tipos de edificios. Años 2000-2006



2 Anexos

2.1 ANEXO 1. RESULTADOS ESTADÍSTICOS SECTOR RESIDENCIAL

En las tablas adjuntas se muestran los resultados obtenidos, para superficie útil de vivienda y superficie de cubierta para los dos grupos de años propuestos, 2000-2006 y 2007-2009.

Tabla 6. Estimación de la superficie útil para viviendas unifamiliares y plurifamiliares por plantas, para el período 2000 a 2006

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Andalucía	19.313.153	17.839.146	10.992.466	2.502.990	283.075	50.930.829
Almería	1.050.663	1.379.243	1.269.135	292.113	36.368	4.027.522
Cádiz	2.573.192	2.938.403	1.124.808	0	0	6.636.404
Córdoba	1.365.350	1.724.820	321.036	7.765	0	3.418.971
Granada	1.365.045	1.128.597	597.098	34.402	11.900	3.137.043
Huelva	1.491.606	1.248.121	421.279	176.450	24.661	3.362.118
Jaén	1.564.393	698.948	968.667	56.768	8.587	3.297.364
Málaga	8.080.456	5.634.049	4.838.847	783.972	137.693	19.475.017
Sevilla	1.822.447	3.086.966	1.451.594	1.151.520	63.865	7.576.392
Aragón	1.428.742	1.190.972	2.585.535	1.027.030	391.192	6.623.472
Huesca	435.316	280.705	581.172	46.402	4.792	1.348.387
Teruel	155.269	129.488	215.896	22.621	0	523.274
Zaragoza	838.156	780.780	1.788.466	958.007	386.400	4.751.810
Principado de Asturias	1.601.706	369.527	2.050.129	777.651	81.662	4.880.676
Principado de Asturias	1.601.706	369.527	2.050.129	777.651	81.662	4.880.676
Islas Baleares	2.043.558	1.825.871	1.413.505	33.142	1.679	5.317.755
Baleares, Islas	2.043.558	1.825.871	1.413.505	33.142	1.679	5.317.755
Canarias	3.456.670	4.872.724	1.702.130	244.148	110.656	10.386.328
Las Palmas	1.969.061	2.437.258	919.617	138.079	72.420	5.536.435

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Sta. Cruz de Tenerife	1.487.609	2.435.466	782.513	106.069	38.236	4.849.893
Cantabria	1.094.385	543.895	1.085.301	175.543	26.904	2.926.029
Santander	1.094.385	543.895	1.085.301	175.543	26.904	2.926.029
Castilla-La Mancha	5.142.863	3.825.397	2.801.232	479.150	3.088	12.251.729
Albacete	642.033	544.628	722.262	218.900	1.835	2.129.658
Ciudad Real	996.929	854.966	773.408	44.015	0	2.669.319
Cuenca	473.967	151.794	279.535	39.391	0	944.686
Guadalajara	819.869	476.110	535.526	101.765	0	1.933.269
Toledo	2.210.066	1.797.900	490.500	75.079	1.253	4.574.797
Castilla y León	7.184.760	1.432.889	4.585.905	1.624.748	313.414	15.141.715
Ávila	453.765	138.877	262.640	61.854	3.751	920.889
Burgos	1.292.530	80.162	993.227	257.648	47.378	2.670.945
León	732.091	323.923	1.022.121	514.259	55.160	2.647.554
Palencia	715.884	193.180	236.834	50.049	5.041	1.200.987
Salamanca	1.097.401	143.295	584.463	20.341	0	1.845.500
Segovia	784.662	150.178	213.362	234	0	1.148.436
Soria	268.479	0	0	0	0	268.479
Valladolid	1.313.681	298.219	1.020.787	503.944	124.542	3.261.172
Zamora	526.266	105.056	252.471	216.418	77.542	1.177.754
Cataluña	12.342.793	7.040.611	13.664.503	1.610.629	361.696	35.020.231
Barcelona	5.963.959	4.279.948	9.741.123	1.285.534	310.211	21.580.774
Girona	2.972.923	1.174.471	1.121.736	85.071	11.531	5.365.733
Lleida	764.291	529.241	1.036.385	73.498	8.325	2.411.741

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Tarragona	2.641.620	1.056.951	1.765.259	166.526	31.629	5.661.984
Comunidad Valenciana	6.500.117	5.382.251	10.927.870	2.647.682	1.218.811	26.676.730
Alicante	2.632.122	2.887.007	4.800.319	832.330	368.848	11.520.626
Castellón	689.301	448.088	1.672.560	632.858	398.495	3.841.302
Valencia	3.178.694	2.047.156	4.454.991	1.182.494	451.468	11.314.803
Extremadura	2.714.455	1.470.232	1.427.529	144.215	21.615	5.778.047
Badajoz	1.292.077	1.142.818	948.059	90.826	14.858	3.488.639
Cáceres	1.422.378	327.414	479.470	53.389	6.757	2.289.408
Galicia	4.839.180	1.605.856	5.276.391	1.244.856	253.452	13.219.734
A Coruña	1.992.613	925.511	2.637.197	528.047	107.442	6.190.810
Lugo	263.469	121.745	667.478	237.859	19.728	1.310.280
Ourense	388.440	67.826	467.528	163.724	3.064	1.090.582
Pontevedra	2.194.657	490.775	1.504.188	315.225	123.218	4.628.062
Comunidad de Madrid	8.779.106	5.014.104	9.880.027	2.962.985	548.464	27.184.685
Madrid	8.779.106	5.014.104	9.880.027	2.962.985	548.464	27.184.685
Región de Murcia	1.363.609	2.872.685	3.651.286	346.416	158.624	8.392.621
Región de Murcia	1.363.609	2.872.685	3.651.286	346.416	158.624	8.392.621
C. Foral de Navarra	1.305.147	670.699	1.712.214	156.889	11.375	3.856.324
Navarra C. Foral de	1.305.147	670.699	1.712.214	156.889	11.375	3.856.324
País Vasco	1.429.333	403.957	4.814.055	2.003.711	112.580	8.763.635
Álava	318.572	0	1.345.425	0	0	1.663.997
Guipúzcoa	391.318	143.057	1.596.823	669.126	9.516	2.809.841
Vizcaya	719.443	260.900	1.871.808	1.334.585	103.063	4.289.798

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
La Rioja	285.483	317.809	1.206.658	126.876	867	1.937.693
Rioja, La	285.483	317.809	1.206.658	126.876	867	1.937.693
Ceuta, C. Autónoma	29.668	1.402	113.853	71.298	13.496	229.717
Ceuta	29.668	1.402	113.853	71.298	13.496	229.717
Melilla, C. Autónoma	54.303	89.263	301.963	39.820	16.541	501.891
Melilla	54.303	89.263	301.963	39.820	16.541	501.891
España	80.909.030	56.769.291	80.192.552	18.219.780	3.929.190	240.019.843

Tabla 7. Estimación de la superficie útil para viviendas unifamiliares y plurifamiliares por plantas, para el período 2007 a 2009

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Andalucía	7.368.585	7.242.068	4.184.859	1.028.382	106.071	19.929.965
Almería	602.779	791.289	728.119	167.589	20.865	2.310.641
Cádiz	876.979	1.001.447	383.350	0	0	2.261.776
Córdoba	722.273	912.434	169.829	4.108	0	1.808.644
Granada	1.193.848	987.054	522.213	30.087	10.408	2.743.610
Huelva	593.085	496.271	167.507	70.159	9.806	1.336.828
Jaén	738.621	330.005	457.352	26.803	4.055	1.556.835
Málaga	1.755.857	1.224.260	1.051.466	170.355	29.920	4.231.857
Sevilla	885.143	1.499.307	705.024	559.281	31.019	3.679.774
Aragón	672.782	561.285	1.208.441	471.137	178.174	3.091.819
Huesca	195.876	126.307	261.506	20.879	2.156	606.723

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Teruel	95.099	79.308	132.232	13.855	0	320.494
Zaragoza	381.807	355.670	814.704	436.403	176.018	2.164.602
Principado de Asturias	673.005	155.268	861.424	326.754	34.313	2.050.763
Principado de Asturias	673.005	155.268	861.424	326.754	34.313	2.050.763
Islas Baleares	891.325	796.377	616.518	14.455	733	2.319.408
Baleares, Islas	891.325	796.377	616.518	14.455	733	2.319.408
Canarias	1.371.438	1.932.269	675.176	96.863	43.930	4.119.677
Las Palmas	783.707	970.054	366.017	54.957	28.824	2.203.560
Sta. Cruz de Tenerife	587.731	962.215	309.159	41.906	15.106	1.916.117
Cantabria	521.771	259.313	517.440	83.694	12.827	1.395.044
Santander	521.771	259.313	517.440	83.694	12.827	1.395.044
Castilla-La Mancha	4.694.365	3.553.623	2.249.658	369.382	2.654	10.869.682
Albacete	426.600	361.879	479.908	145.449	1.219	1.415.055
Ciudad Real	786.306	674.335	610.009	34.716	0	2.105.366
Cuenca	359.146	115.021	211.817	29.848	0	715.832
Guadalajara	591.219	343.330	386.176	73.384	0	1.394.109
Toledo	2.531.094	2.059.058	561.749	85.985	1.435	5.239.320
Castilla y León	3.350.690	698.109	2.134.492	738.619	136.010	7.057.920
Ávila	332.811	101.859	192.631	45.367	2.751	675.419
Burgos	508.931	31.563	391.081	101.448	18.655	1.051.678
León	352.822	156.110	492.598	247.840	26.584	1.275.953
Palencia	278.144	75.056	92.017	19.446	1.959	466.622
Salamanca	491.787	64.216	261.920	9.115	0	827.038

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Segovia	473.049	90.538	128.630	141	0	692.358
Soria	104.160	0	0	0	0	104.160
Valladolid	630.708	143.177	490.087	241.947	59.793	1.565.713
Zamora	178.279	35.589	85.528	73.314	26.268	398.978
Cataluña	5.090.593	2.864.897	5.466.312	626.712	137.875	14.186.391
Barcelona	2.196.523	1.576.302	3.587.650	473.461	114.251	7.948.187
Girona	1.299.581	513.407	490.355	37.188	5.041	2.345.572
Lleida	469.338	324.998	636.427	45.134	5.112	1.481.009
Tarragona	1.125.151	450.190	751.881	70.929	13.472	2.411.622
Comunidad Valenciana	2.868.837	2.220.012	4.832.535	1.270.575	604.659	11.796.618
Alicante	816.364	895.418	1.488.840	258.151	114.400	3.573.172
Castellón	455.753	296.268	1.105.866	418.434	263.478	2.539.799
Valencia	1.596.720	1.028.326	2.237.829	593.990	226.781	5.683.647
Extremadura	1.463.010	830.315	792.374	79.625	12.041	3.177.365
Badajoz	754.321	667.183	553.482	53.025	8.674	2.036.686
Cáceres	708.688	163.132	238.892	26.600	3.367	1.140.679
Galicia	2.122.102	722.134	2.464.226	608.898	112.593	6.029.953
A Coruña	866.390	402.413	1.146.655	229.595	46.716	2.691.769
Lugo	198.745	91.837	503.504	179.426	14.882	988.393
Ourense	172.969	30.202	208.186	72.905	1.364	485.626
Pontevedra	883.999	197.682	605.881	126.972	49.632	1.864.165
Comunidad de Madrid	3.597.506	2.054.681	4.048.641	1.214.173	224.750	11.139.751
Madrid	3.597.506	2.054.681	4.048.641	1.214.173	224.750	11.139.751

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Región de Murcia	858.248	1.808.052	2.298.099	218.033	99.837	5.282.269
Región de Murcia	858.248	1.808.052	2.298.099	218.033	99.837	5.282.269
C. Foral de Navarra	652.337	335.228	855.798	78.416	5.685	1.927.465
Navarra C. Foral de	652.337	335.228	855.798	78.416	5.685	1.927.465
País Vasco	571.438	139.942	2.008.095	692.184	37.533	3.449.191
Álava	186.738	0	788.652	0	0	975.390
Guipúzcoa	147.783	54.026	603.046	252.698	3.594	1.061.146
Vizcaya	236.917	85.916	616.397	439.486	33.939	1.412.655
La Rioja	170.429	189.728	720.359	75.743	518	1.156.777
Rioja, La	170.429	189.728	720.359	75.743	518	1.156.777
Ceuta, C. Autónoma	8.362	395	32.090	20.096	3.804	64.747
Ceuta	8.362	395	32.090	20.096	3.804	64.747
Melilla, C. Autónoma	10.431	17.146	58.002	7.649	3.177	96.404
Melilla	10.431	17.146	58.002	7.649	3.177	96.404
España	36.957.254	26.380.842	36.024.538	8.021.389	1.757.185	109.141.208

Tabla 8. Estimación de la superficie de cubierta para viviendas unifamiliares y plurifamiliares por plantas, para el período 2000 a 2006

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Andalucía	11.144.736	7.892.017	2.654.546	368.946	28.307	22.088.552
Almería	599.779	582.825	302.949	43.646	3.637	1.532.836
Cádiz	1.487.562	1.255.190	283.948	0	0	3.026.700
Córdoba	806.584	830.270	81.048	1.218	0	1.719.119
Granada	761.219	484.057	148.229	5.197	1.190	1.399.892
Huelva	887.735	610.602	96.897	25.050	2.466	1.622.750
Jaén	904.413	302.399	241.616	8.508	859	1.457.795
Málaga	4.653.255	2.443.716	1.158.941	116.626	13.769	8.386.307
Sevilla	1.044.189	1.382.957	340.918	168.701	6.387	2.943.153
Aragón	703.957	488.359	624.505	141.104	39.119	1.997.044
Huesca	240.272	116.224	141.478	7.028	479	505.480
Teruel	75.900	54.255	54.098	3.163	0	187.417
Zaragoza	387.785	317.880	428.929	130.913	38.640	1.304.147
Principado de Asturias	1.112.660	183.961	448.910	116.231	8.166	1.869.928
Principado de Asturias	1.112.660	183.961	448.910	116.231	8.166	1.869.928
Islas Baleares	1.302.217	823.269	354.660	4.869	168	2.485.183
Baleares, Islas	1.302.217	823.269	354.660	4.869	168	2.485.183
Canarias	2.044.205	2.199.131	417.596	35.544	11.066	4.707.540
Las Palmas	1.216.691	1.147.946	226.253	19.748	7.242	2.617.880
Sta. Cruz de Tenerife	827.513	1.051.185	191.343	15.795	3.824	2.089.661
Cantabria	603.721	246.930	252.157	25.285	2.690	1.130.783
Santander	603.721	246.930	252.157	25.285	2.690	1.130.783

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Castilla-La Mancha	3.004.658	1.657.041	669.962	71.824	309	5.421.793
Albacete	381.439	257.171	157.690	32.137	183	828.620
Ciudad Real	644.929	377.202	191.755	6.691	0	1.220.577
Cuenca	275.558	72.155	67.204	5.739	0	420.656
Guadalajara	446.072	211.127	136.747	15.992	0	809.937
Toledo	1.256.661	757.386	116.565	11.265	125	2.142.002
Castilla y León	4.960.229	732.977	1.075.570	233.273	31.341	7.033.391
Ávila	259.723	66.102	65.002	9.688	375	400.889
Burgos	897.401	42.054	234.142	37.769	4.738	1.216.103
León	534.931	189.129	224.562	73.303	5.516	1.027.440
Palencia	446.474	102.211	57.991	7.250	504	614.431
Salamanca	922.835	62.941	148.697	3.115	0	1.137.588
Segovia	598.644	80.716	55.769	37	0	735.166
Soria	182.502	0	0	0	0	182.502
Valladolid	797.748	138.173	235.089	71.307	12.454	1.254.772
Zamora	319.970	51.652	54.318	30.805	7.754	464.501
Cataluña	7.445.978	3.022.514	3.250.441	239.977	36.170	13.995.080
Barcelona	3.525.057	1.809.105	2.301.044	191.200	31.021	7.857.427
Girona	1.872.374	521.918	274.972	12.715	1.153	2.683.131
Lleida	392.625	209.089	252.844	11.012	833	866.402
Tarragona	1.655.922	482.402	421.581	25.051	3.163	2.588.119
Comunidad Valenciana	3.704.427	2.409.896	2.518.568	383.728	121.881	9.138.500
Alicante	1.701.532	1.350.559	1.111.450	121.598	36.885	4.322.024

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Castellón	335.699	187.786	387.551	90.255	39.850	1.041.140
Valencia	1.667.196	871.551	1.019.566	171.875	45.147	3.775.335
Extremadura	1.643.777	643.014	347.261	21.272	2.162	2.657.486
Badajoz	781.836	499.110	231.423	13.155	1.486	1.527.010
Cáceres	861.941	143.904	115.839	8.117	676	1.130.476
Galicia	3.032.029	676.990	1.237.348	181.078	25.345	5.152.791
A Coruña	1.205.335	383.316	629.463	75.942	10.744	2.304.801
Lugo	161.342	50.695	149.258	35.044	1.973	398.313
Ourense	252.490	30.031	106.595	24.289	306	413.710
Pontevedra	1.412.862	212.947	352.032	45.803	12.322	2.035.967
Comunidad de Madrid	4.633.367	2.170.676	2.281.565	432.536	54.846	9.572.990
Madrid	4.633.367	2.170.676	2.281.565	432.536	54.846	9.572.990
Región de Murcia	847.886	1.331.728	880.791	48.905	15.862	3.125.172
Región de Murcia	847.886	1.331.728	880.791	48.905	15.862	3.125.172
C. Foral de Navarra	699.784	289.325	417.409	23.393	1.137	1.431.048
Navarra C. Foral de	699.784	289.325	417.409	23.393	1.137	1.431.048
País Vasco	867.193	191.511	1.047.264	302.772	11.258	2.419.998
Álava	259.205	0	323.409	0	0	582.615
Guipúzcoa	212.727	60.448	354.470	103.439	952	732.036
Vizcaya	395.260	131.063	369.385	199.333	10.306	1.105.347
La Rioja	160.906	134.244	284.447	19.529	87	599.213
Rioja, La	160.906	134.244	284.447	19.529	87	599.213

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Ceuta, C. Autónoma	12.574	585	26.174	10.166	1.350	50.849
Ceuta	12.574	585	26.174	10.166	1.350	50.849
Melilla, C. Autónoma	26.129	37.163	71.011	5.524	1.654	141.481
Melilla	26.129	37.163	71.011	5.524	1.654	141.481
España	47.950.432	25.149.331	18.860.186	2.665.956	392.919	95.018.823

Tabla 9. Estimación de la superficie de cubierta (m²) para viviendas unifamiliares y plurifamiliares por plantas, para el período 2007 a 2009

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Andalucía	4.241.797	3.212.984	1.013.112	151.486	10.607	8.629.987
Almería	344.101	334.374	173.806	25.040	2.086	879.408
Cádiz	506.981	427.786	96.773	0	0	1.031.540
Córdoba	426.685	439.215	42.874	644	0	909.418
Granada	665.750	423.349	129.639	4.546	1.041	1.224.325
Huelva	352.977	242.784	38.528	9.960	981	645.230
Jaén	427.014	142.776	114.078	4.017	405	688.291
Málaga	1.011.137	531.012	251.834	25.342	2.992	1.822.317
Sevilla	507.152	671.688	165.580	81.936	3.102	1.429.458
Aragón	331.249	230.331	292.184	64.735	17.817	936.316
Huesca	108.113	52.296	63.660	3.162	216	227.447
Teruel	46.487	33.230	33.134	1.937	0	114.789
Zaragoza	176.648	144.804	195.391	59.635	17.602	594.081

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Principado de Asturias	467.517	77.297	188.623	48.838	3.431	785.707
Principado de Asturias	467.517	77.297	188.623	48.838	3.431	785.707
Islas Baleares	567.979	359.080	154.690	2.124	73	1.083.945
Baleares, Islas	567.979	359.080	154.690	2.124	73	1.083.945
Canarias	811.194	872.201	165.648	14.101	4.393	1.867.536
Las Palmas	484.256	456.895	90.051	7.860	2.882	1.041.944
Sta. Cruz de Tenerife	326.938	415.307	75.597	6.240	1.511	825.592
Cantabria	287.836	117.729	120.221	12.055	1.283	539.124
Santander	287.836	117.729	120.221	12.055	1.283	539.124
Castilla-La Mancha	2.731.793	1.542.712	539.051	55.413	265	4.869.234
Albacete	253.448	170.878	104.778	21.353	122	550.578
Ciudad Real	508.674	297.510	151.243	5.278	0	962.704
Cuenca	208.803	54.675	50.923	4.349	0	318.750
Guadalajara	321.669	152.247	98.610	11.532	0	584.058
Toledo	1.439.200	867.402	133.497	12.901	144	2.453.144
Castilla y León	2.311.779	356.604	502.151	106.210	13.601	3.290.344
Ávila	190.492	48.482	47.675	7.105	275	294.029
Burgos	353.350	16.559	92.193	14.871	1.866	478.838
León	257.803	91.148	108.225	35.327	2.658	495.161
Palencia	173.469	39.712	22.532	2.817	196	238.726
Salamanca	413.557	28.206	66.637	1.396	0	509.796
Segovia	360.905	48.661	33.621	22	0	443.210
Soria	70.804	0	0	0	0	70.804

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
Valladolid	383.005	66.338	112.868	34.235	5.979	602.425
Zamora	108.394	17.498	18.401	10.436	2.627	157.355
Cataluña	3.063.179	1.228.312	1.302.506	93.409	13.788	5.701.194
Barcelona	1.298.277	666.292	847.473	70.419	11.425	2.893.886
Girona	818.488	228.151	120.201	5.558	504	1.172.902
Lleida	241.104	128.398	155.267	6.762	511	532.043
Tarragona	705.311	205.471	179.565	10.670	1.347	1.102.364
Comunidad Valenciana	1.587.161	980.839	1.113.111	183.725	60.466	3.925.302
Alicante	527.737	418.882	344.721	37.714	11.440	1.340.494
Castellón	221.958	124.161	256.242	59.675	26.348	688.383
Valencia	837.465	437.797	512.148	86.336	22.678	1.896.425
Extremadura	885.895	363.082	192.821	11.724	1.204	1.454.727
Badajoz	456.440	291.383	135.106	7.680	867	891.476
Cáceres	429.455	71.699	57.716	4.044	337	563.251
Galicia	1.327.314	304.055	575.545	88.720	11.259	2.306.892
A Coruña	524.081	166.666	273.691	33.020	4.672	1.002.129
Lugo	121.706	38.241	112.591	26.435	1.488	300.462
Ourense	112.432	13.373	47.466	10.815	136	184.221
Pontevedra	569.095	85.774	141.797	18.449	4.963	820.079
Comunidad de Madrid	1.898.663	889.500	934.941	177.245	22.475	3.922.824
Madrid	1.898.663	889.500	934.941	177.245	22.475	3.922.824
Región de Murcia	533.655	838.182	554.365	30.780	9.984	1.966.966
Región de Murcia	533.655	838.182	554.365	30.780	9.984	1.966.966

(Continuación)

CCAA y provincias	Unifamiliar	Plurifamiliar				Total
		1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	
C. Foral de Navarra	349.766	144.610	208.629	11.692	569	715.266
Navarra C. Foral de	349.766	144.610	208.629	11.692	569	715.266
País Vasco	362.438	65.988	445.081	104.705	3.753	981.966
Álava	151.939	0	189.574	0	0	341.513
Guipúzcoa	80.337	22.829	133.867	39.064	359	276.456
Vizcaya	130.161	43.160	121.641	65.641	3.394	363.997
La Rioja	96.059	80.142	169.811	11.659	52	357.722
Rioja, La	96.059	80.142	169.811	11.659	52	357.722
Ceuta, C. Autónoma	3.544	165	7.377	2.865	380	14.332
Ceuta	3.544	165	7.377	2.865	380	14.332
Melilla, C. Autónoma	5.019	7.138	13.640	1.061	318	27.176
Melilla	5.019	7.138	13.640	1.061	318	27.176
España	21.863.836	11.670.950	8.493.509	1.172.547	175.718	43.376.560

2.2 ANEXO 2. RESULTADOS ESTADÍSTICOS SECTOR TERCIARIO

En las tablas adjuntas se muestran los resultados obtenidos, para superficie útil de edificación y superficie de cubierta para los dos grupos de años propuestos, 2000-2006 y 2007-2009.

Tabla 10. Estimación de la superficie útil y de la superficie de cubierta (m²) para oficinas por plantas, para el período 2000 a 2006

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Andalucía	251.810	633.466	279.634	60.710	1.225.620	109.729	146.385	40.097	5.137	301.348
Almería	16.070	42.026	16.093	4.028	78.218	7.003	9.635	2.326	341	19.305
Cádiz	20.085	49.695	23.046	4.932	97.757	8.752	11.523	3.299	417	23.992
Córdoba	16.938	55.380	7.869	2.255	82.441	7.381	12.188	1.144	191	20.904
Granada	14.664	40.579	10.750	5.381	71.373	6.390	9.201	1.551	455	17.598
Huelva	4.916	12.433	5.233	1.347	23.929	2.142	2.870	721	114	5.847
Jaén	14.526	40.159	12.341	3.675	70.701	6.330	9.107	1.778	311	17.527
Málaga	56.549	145.606	56.244	16.839	275.237	24.642	33.487	8.094	1.425	67.648
Sevilla	108.062	247.589	148.058	22.253	525.963	47.089	58.373	21.183	1.883	128.527
Aragón	57.882	129.628	66.869	27.347	281.726	25.223	30.718	9.091	2.314	67.346
Huesca	13.890	38.153	12.504	3.058	67.605	6.053	8.663	1.824	259	16.799
Teruel	4.081	8.851	6.387	543	19.862	1.778	2.113	875	46	4.812
Zaragoza	39.912	82.624	47.978	23.745	194.259	17.392	19.942	6.391	2.009	45.734
Principado de Asturias	25.020	67.995	23.152	5.612	121.778	10.903	15.471	3.338	475	30.187
Principado de Asturias	25.020	67.995	23.152	5.612	121.778	10.903	15.471	3.338	475	30.187
Islas Baleares	55.173	171.829	32.697	8.841	268.540	24.042	38.130	4.543	748	67.463
Baleares, Islas	55.173	171.829	32.697	8.841	268.540	24.042	38.130	4.543	748	67.463
Canarias	55.456	137.805	48.727	27.928	269.916	24.165	31.926	6.840	2.363	65.294
Las Palmas	30.013	72.046	26.844	17.176	146.079	13.078	16.814	3.704	1.453	35.050

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Sta. Cruz de Tenerife	25.443	65.759	21.883	defcc	113.085	11.087	15.112	3.136	910	30.245
Cantabria	5.109	13.923	4.509	1.326	24.867	2.226	3.166	626	112	6.131
Santander	5.109	13.923	4.509	1.326	24.867	2.226	3.166	626	112	6.131
Castilla-La Mancha	78.247	192.437	98.868	11.293	380.845	34.097	44.680	14.653	956	94.385
Albacete	4.564	13.238	3.776	637	22.215	1.989	2.975	533	54	5.551
Ciudad Real	12.289	34.063	11.824	1.636	59.811	5.355	7.721	1.736	138	14.950
Cuenca	1.416	4.048	1.241	189	6.894	617	912	174	16	1.720
Guadalajara	17.307	35.874	28.751	2.304	84.236	7.542	8.656	4.426	195	20.819
Toledo	42.671	105.213	53.277	6.528	207.688	18.594	24.415	7.784	552	51.346
Castilla y León	56.258	143.801	57.239	16.523	273.821	24.515	33.122	8.018	1.398	67.052
Ávila	1.774	4.246	2.248	366	8.634	773	991	343	31	2.138
Burgos	11.895	29.650	12.578	3.771	57.893	5.183	6.865	1.788	319	14.155
León	14.255	37.566	14.224	3.336	69.381	6.212	8.600	1.964	282	17.057
Palencia	1.169	2.946	1.294	279	5.689	509	681	182	24	1.396
Salamanca	4.978	14.509	4.081	663	24.231	2.169	3.258	600	56	6.083
Segovia	1.350	4.652	388	180	6.570	588	1.015	54	15	1.672
Soria	609	1.501	760	93	2.963	265	348	111	8	733
Valladolid	19.561	47.169	20.970	7.510	95.210	8.524	10.998	2.881	635	23.038
Zamora	668	1.561	696	325	3.250	291	366	96	27	781
Cataluña	446.993	1.247.053	346.939	134.638	2.175.622	194.782	282.323	49.488	11.392	537.985
Barcelona	405.729	1.135.665	310.128	123.256	1.974.778	176.800	256.945	44.165	10.429	488.340
Girona	13.602	37.491	11.807	3.306	66.206	5.927	8.507	1.698	280	16.413

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Lleida	793	2.110	769	188	3.859	346	482	111	16	955
Tarragona	26.869	71.787	24.235	7.888	130.779	11.709	16.389	3.513	667	32.278
Comunidad Valenciana	183.732	459.469	162.382	88.685	894.268	80.063	106.307	22.731	7.504	216.606
Alicante	48.919	128.693	38.260	22.229	238.101	21.317	29.470	5.360	1.881	58.029
Castellón	18.962	43.042	17.454	12.833	92.290	8.263	10.169	2.404	1.086	21.922
Valencia	115.851	287.734	106.668	53.622	563.877	50.483	66.668	14.967	4.537	136.656
Extremadura	24.978	68.813	21.485	6.296	121.572	10.884	15.616	3.057	533	30.090
Badajoz	14.291	38.947	12.505	3.814	69.557	6.227	8.857	1.745	323	17.152
Cáceres	10.687	29.866	8.981	2.482	52.015	4.657	6.759	1.312	210	12.938
Galicia	75.340	188.325	76.324	26.711	366.700	32.830	43.577	10.706	2.260	89.373
A Coruña	43.872	110.859	44.434	14.371	213.537	19.118	25.595	6.191	1.216	52.119
Lugo	4.178	11.035	4.233	887	20.333	1.820	2.525	604	75	5.024
Ourense	5.734	14.564	6.727	883	27.907	2.499	3.359	970	75	6.902
Pontevedra	21.557	51.866	20.929	10.570	104.922	9.394	12.098	2.941	894	25.327
Comunidad de Madrid	1.472.595	3.719.718	1.514.379	460.780	7.167.472	641.698	858.849	214.184	38.989	1.753.720
Madrid	1.472.595	3.719.718	1.514.379	460.780	7.167.472	641.698	858.849	214.184	38.989	1.753.720
Región de Murcia	53.615	144.101	39.444	23.798	260.958	23.363	32.859	5.333	2.014	63.569
Región de Murcia	53.615	144.101	39.444	23.798	260.958	23.363	32.859	5.333	2.014	63.569
C. Foral de Navarra	45.278	119.070	46.798	9.232	220.379	19.730	27.269	6.758	781	54.538
Navarra C. Foral de	45.278	119.070	46.798	9.232	220.379	19.730	27.269	6.758	781	54.538
País Vasco	141.578	385.878	136.274	25.366	689.096	61.694	87.752	19.945	2.146	171.537
Álava	65.155	177.714	62.401	11.855	317.124	28.392	40.408	9.115	1.003	78.918

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Guipúzcoa	33.505	90.533	34.123	4.918	163.079	14.600	20.623	5.102	416	40.741
Vizcaya	42.918	117.631	39.750	8.593	208.893	18.702	26.721	5.728	727	51.879
La Rioja	7.985	21.397	8.364	1.117	38.863	3.479	4.882	1.246	95	9.702
Rioja, La	7.985	21.397	8.364	1.117	38.863	3.479	4.882	1.246	95	9.702
Ceuta, C. Autónoma										
Ceuta										
Melilla, C. Autónoma										
Melilla										
España	3.037.050	7.844.705	2.964.086	936.203	14.782.043	1.323.425	1.803.032	420.654	79.217	3.626.329

Tabla 11. Estimación de la superficie útil y de la superficie de cubierta (m²) para oficinas por plantas, para el período 2007 a 2009

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Andalucía	182.914	462.048	200.292	45.033	890.288	79.707	106.682	28.706	3.810	218.905
Almería	9.952	26.027	9.967	2.495	48.441	4.337	5.967	1.441	211	11.956
Cádiz	17.463	43.208	20.038	4.288	84.998	7.610	10.019	2.869	363	20.861
Córdoba	13.054	42.681	6.064	1.738	63.537	5.688	9.393	882	147	16.110
Granada	26.811	74.193	19.654	9.838	130.497	11.683	16.823	2.836	832	32.175
Huelva	5.374	13.590	5.720	1.472	26.156	2.342	3.137	788	125	6.391
Jaén	6.141	16.979	5.218	1.554	29.891	2.676	3.850	752	131	7.410
Málaga	24.030	61.873	23.900	7.155	116.958	10.471	14.230	3.439	605	28.746
Sevilla	80.088	183.497	109.731	16.493	389.809	34.899	43.262	15.699	1.396	95.256

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Aragón	42.162	90.292	50.249	22.509	205.211	18.372	21.618	6.754	1.905	48.649
Huesca	4.123	11.325	3.711	908	20.067	1.797	2.572	542	77	4.986
Teruel	2.231	4.839	3.492	297	10.859	972	1.155	479	25	2.631
Zaragoza	35.808	74.129	43.045	21.304	174.285	15.604	17.892	5.734	1.803	41.032
Principado de Asturias	20.195	54.883	18.688	4.530	98.296	8.800	12.488	2.695	383	24.366
Principado de Asturias	20.195	54.883	18.688	4.530	98.296	8.800	12.488	2.695	383	24.366
Islas Baleares	32.585	101.481	19.311	5.222	158.599	14.199	22.519	2.683	442	39.843
Baleares, Islas	32.585	101.481	19.311	5.222	158.599	14.199	22.519	2.683	442	39.843
Canarias	42.771	104.401	37.933	23.071	208.177	18.638	24.278	5.277	1.952	50.145
Las Palmas	33.378	80.124	29.854	19.102	162.458	14.545	18.699	4.119	1.616	38.980
Sta. Cruz de Tenerife	9.393	24.277	8.079	3.969	45.718	4.093	5.579	1.158	336	11.166
Cantabria	13.558	36.946	11.965	3.520	65.989	5.908	8.402	1.662	298	16.269
Santander	13.558	36.946	11.965	3.520	65.989	5.908	8.402	1.662	298	16.269
Castilla-La Mancha	60.045	145.088	78.757	8.362	292.251	26.165	33.812	11.802	708	72.487
Albacete	9.814	28.464	8.118	1.370	47.766	4.276	6.397	1.146	116	11.935
Ciudad Real	8.261	22.900	7.949	1.100	40.210	3.600	5.191	1.167	93	10.051
Cuenca	850	2.429	745	113	4.137	370	548	105	10	1.032
Guadalajara	25.695	53.262	42.687	3.420	125.064	11.197	12.851	6.571	289	30.909
Toledo	15.424	38.031	19.258	2.360	75.073	6.721	8.825	2.814	200	18.560
Castilla y León	41.805	106.994	42.683	11.993	203.474	18.217	24.637	5.983	1.015	49.852
Ávila	529	1.266	670	109	2.575	231	296	102	9	638
Burgos	5.509	13.732	5.825	1.747	26.812	2.400	3.179	828	148	6.555

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
León	8.507	22.419	8.489	1.991	41.406	3.707	5.132	1.172	168	10.180
Palencia	933	2.352	1.033	223	4.542	407	543	145	19	1.114
Salamanca	5.460	15.913	4.476	727	26.577	2.379	3.573	658	61	6.672
Segovia	829	2.858	238	110	4.037	361	624	33	9	1.027
Soria	2.688	6.629	3.357	411	13.085	1.172	1.538	490	35	3.235
Valladolid	17.212	41.503	18.451	6.608	83.773	7.500	9.676	2.535	559	20.270
Zamora	137	321	143	67	668	60	75	20	6	160
Cataluña	202.523	564.834	157.251	61.121	985.730	88.252	127.882	22.433	5.172	243.738
Barcelona	184.226	515.662	140.817	55.966	896.671	80.278	116.669	20.054	4.736	221.737
Girona	3.483	9.600	3.023	846	16.953	1.518	2.178	435	72	4.203
Lleida	714	1.901	693	169	3.477	311	434	100	14	860
Tarragona	14.100	37.671	12.717	4.139	68.628	6.144	8.600	1.844	350	16.938
Comunidad Valenciana	170.250	421.740	154.989	81.668	828.647	74.188	97.771	21.712	6.910	200.581
Alicante	12.712	33.443	9.942	5.777	61.874	5.540	7.658	1.393	489	15.080
Castellón	13.901	31.554	12.795	9.408	67.657	6.057	7.455	1.762	796	16.071
Valencia	143.637	356.744	132.252	66.483	699.116	62.591	82.658	18.556	5.626	169.431
Extremadura	5.754	15.791	4.981	1.482	28.008	2.508	3.586	704	125	6.923
Badajoz	4.194	11.431	3.670	1.120	20.415	1.828	2.600	512	95	5.034
Cáceres	1.560	4.360	1.311	362	7.593	680	987	191	31	1.889
Galicia	32.278	79.377	32.064	13.384	157.103	14.065	18.430	4.494	1.133	38.121
A Coruña	13.205	33.366	13.374	4.326	64.270	5.754	7.703	1.863	366	15.687
Lugo	30	78	30	6	144	13	18	4	1	36

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil en edificios de oficinas					Superficie cubierta en edificios de oficinas				
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	10 o más plantas	Total
Ourense	847	2.151	994	130	4.123	369	496	143	11	1.020
Pontevedra	18.196	43.781	17.667	8.922	88.566	7.929	10.212	2.483	755	21.379
Comunidad de Madrid	484.267	1.223.240	498.008	151.529	2.357.043	211.024	282.435	70.435	12.822	576.716
Madrid	484.267	1.223.240	498.008	151.529	2.357.043	211.024	282.435	70.435	12.822	576.716
Región de Murcia	82.198	220.921	60.472	36.484	400.076	35.818	50.377	8.175	3.087	97.457
Región de Murcia	82.198	220.921	60.472	36.484	400.076	35.818	50.377	8.175	3.087	97.457
C. Foral de Navarra	33.596	88.349	34.724	6.850	163.519	14.640	20.233	5.014	580	40.467
Navarra C. Foral de	33.596	88.349	34.724	6.850	163.519	14.640	20.233	5.014	580	40.467
País Vasco	83.767	228.565	80.025	15.358	407.715	36.502	51.966	11.678	1.300	101.446
Álava	8.482	23.135	8.123	1.543	41.283	3.696	5.260	1.187	131	10.274
Guipúzcoa	23.557	63.651	23.991	3.458	114.657	10.265	14.499	3.587	293	28.644
Vizcaya	51.728	141.779	47.910	10.357	251.775	22.541	32.207	6.904	876	62.528
La Rioja	1.991	5.334	2.085	278	9.689	867	1.217	311	24	2.419
Rioja, La	1.991	5.334	2.085	278	9.689	867	1.217	311	24	2.419
Ceuta, C. Autónoma										
Ceuta										
Melilla, C. Autónoma										
Melilla										
España	1.532.659	3.950.285	1.484.476	492.394	7.459.814	667.872	908.335	210.516	41.664	1.828.387

Tabla 12. Estimación de la superficie útil (m²) para centros comerciales, por grupos de superficie, para los períodos 2000 a 2006 y 2007 a 2009

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Andalucía	1.907.923	1.027.506	253.500	3.188.929	362.317	133.440	90.000	585.757
Almería	74.431	154.124	0	228.556	35.944	0	0	35.944
Cádiz	352.934	106.172	0	459.107	51.253	91.440	90.000	232.693
Córdoba	176.133	39.389	0	215.522	31.770	0	0	31.770
Granada	116.177	102.619	0	218.796	44.688	0	0	44.688
Huelva	127.062	30.960	0	158.022	71.435	0	0	71.435
Jaén	100.959	33.530	0	134.489	14.835	0	0	14.835
Málaga	412.416	356.654	253.500	1.022.570	81.400	0	0	81.400
Sevilla	566.335	204.056	0	770.391	58.105	42.000	0	100.105
Aragón	244.552	74.936	92.813	412.301	33.394	36.000	253.548	322.942
Huesca	49.734	0	0	49.734	5.058	0	0	5.058
Teruel	95.714	74.936	92.813	263.464	7.275	0	253.548	260.823
Zaragoza	102.646	0	0	102.646	65.916	253.548	289.548	609.012
Principado de Asturias	209.526	118.352	235.850	563.729	34.746	48.000	0	82.746
Principado de Asturias	209.526	118.352	235.850	563.729	34.746	48.000	0	82.746
Islas Baleares	123.909	138.965	0	262.874	9.462	0	0	9.462
Baleares, Islas	123.909	138.965	0	262.874	9.462	0	0	9.462
Canarias	483.421	540.140	0	1.023.561	112.728	0	108.000	220.728
Las Palmas	269.324	337.108	0	606.432	58.686	0	108.000	166.686
Sta. Cruz de Tenerife	218.547	203.033	0	421.580	65.167	0	0	65.167
Cantabria	88.449	87.800	0	176.250	13.976	0	0	13.976
Santander	88.449	87.800	0	176.250	13.976	0	0	13.976

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Castilla-La Mancha	334.362	268.836	0	603.198	96.985	79.200	0	176.185
Albacete	58.483	89.028	0	147.511	10.571	0	0	10.571
Ciudad Real	110.788	0	0	110.788	13.090	0	0	13.090
Cuenca	21.397	39.246	0	60.643	10.886	0	0	10.886
Guadalajara	47.547	0	0	47.547	16.859	39.600	0	56.459
Toledo	99.526	140.562	0	240.088	54.029	39.600	0	93.629
Castilla y León	564.242	179.230	0	743.472	95.897	59.400	0	155.297
Ávila	38.144	0	0	38.144	10.791	0	0	10.791
Burgos	106.199	0	0	106.199	14.105	0	0	14.105
León	84.052	43.200	0	127.252	44.885	59.400	0	104.285
Palencia	15.987	0	0	15.987	8.550	0	0	8.550
Salamanca	116.192	0	0	116.192	20.064	0	0	20.064
Segovia	40.224	30.070	0	70.293	9.279	0	0	9.279
Soria	14.733	0	0	14.733	7.000	0	0	7.000
Valladolid	118.355	105.960	0	224.315	33.698	0	0	33.698
Zamora	54.667	0	0	54.667	8.301	0	0	8.301
Cataluña	822.301	700.630	195.942	1.718.873	106.215	85.972	0	192.187
Barcelona	563.326	621.218	195.942	1.380.486	56.246	85.972	0	142.217
Girona	117.479	48.000	0	165.479	20.408	0	0	20.408
Lleida	33.212	0	0	33.212	14.935	0	0	14.935
Tarragona	113.317	31.411	0	144.728	27.206	0	0	27.206
Comunidad Valenciana	946.688	730.870	294.000	1.971.558	234.022	87.856	0	321.877
Alicante	390.650	338.514	0	729.164	105.002	48.736	0	153.738

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Castellón	152.963	81.809	0	234.772	41.065	0	0	41.065
Valencia	414.057	310.547	294.000	1.018.604	115.410	39.120	0	154.530
Extremadura	250.741	0	0	250.741	41.287	0	0	41.287
Badajoz	163.109	0	0	163.109	32.744	0	0	32.744
Cáceres	89.148	0	0	89.148	12.335	0	0	12.335
Galicia	506.858	205.831	0	712.689	103.152	123.600	0	226.752
A Coruña	172.025	103.231	0	275.256	26.043	123.600	0	149.643
Lugo	60.019	53.400	0	113.419	25.174	0	0	25.174
Ourense	70.955	0	0	70.955	13.503	0	0	13.503
Pontevedra	213.374	49.200	0	262.574	62.220	0	0	62.220
Comunidad de Madrid	1.066.488	1.207.100	576.624	2.850.213	173.493	330.724	108.840	613.056
Madrid	1.066.488	1.207.100	576.624	2.850.213	173.493	330.724	108.840	613.056
Región de Murcia	277.611	202.152	141.792	621.555	95.966	138.756	0	234.722
Región de Murcia	277.611	202.152	141.792	621.555	95.966	138.756	0	234.722
C. Foral de Navarra	134.847	149.141	0	283.988	32.183	0	0	32.183
Navarra C. Foral de	134.847	149.141	0	283.988	32.183	0	0	32.183
País Vasco	363.417	364.570	226.708	954.694	61.226	63.175	0	124.401
Álava	63.881	71.728	96.148	231.756	28.541	0	0	28.541
Guipúzcoa	138.024	127.400	0	265.425	17.233	0	0	17.233
Vizcaya	174.143	165.442	130.560	470.145	47.031	63.175	0	110.206
La Rioja	53.426	54.853	0	108.279	6.982	0	0	6.982
Rioja, La	53.426	54.853	0	108.279	6.982	0	0	6.982

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Ceuta, C. Autónoma	20.717	0	0	20.717	3.750	0	0	3.750
Ceuta	20.717	0	0	20.717	3.750	0	0	3.750
Melilla, C. Autónoma	6.875	0	0	6.875	4.500	0	0	4.500
Melilla	6.875	0	0	6.875	4.500	0	0	4.500
España	8.369.187	6.050.912	2.017.229	16.437.328	1.529.361	1.186.122	560.388	3.275.871

Tabla 13. Estimación de la superficie de cubierta (m²) para centros comerciales, por grupos de superficie, para los períodos 2000 a 2006 y 2007 a 2009

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Andalucía	1.512.668	503.679	124.265	2.140.612	65.904	65.412	44.118	175.434
Almería	74.431	75.551	0	149.983	18.000	0	0	18.000
Cádiz	275.435	52.045	0	327.480	15.750	44.824	44.118	104.691
Córdoba	134.043	19.308	0	153.351	3.824	0	0	3.824
Granada	99.174	50.304	0	149.477	10.588	0	0	10.588
Huelva	107.236	15.176	0	122.412	35.523	0	0	35.523
Jaén	85.848	16.436	0	102.285	0	0	0	0
Málaga	344.562	174.831	124.265	643.657	15.000	0	0	15.000
Sevilla	410.463	100.028	0	510.491	4.118	20.588	0	24.706
Aragón	186.963	36.734	45.496	269.193	14.101	17.647	124.288	156.037
Huesca	34.055	0	0	34.055	0	0	0	0
Teruel	53.804	36.734	45.496	136.034	0	0	124.288	124.288
Zaragoza	102.646	0	0	102.646	31.748	124.288	141.935	297.972

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Principado de Asturias	167.948	58.016	115.613	341.577	9.750	23.529	0	33.279
Principado de Asturias	167.948	58.016	115.613	341.577	9.750	23.529	0	33.279
Islas Baleares	103.655	68.120	0	171.775	5.000	0	0	5.000
Baleares, Islas	103.655	68.120	0	171.775	5.000	0	0	5.000
Canarias	412.385	264.775	0	677.160	39.950	0	52.941	92.891
Las Palmas	220.379	165.249	0	385.627	19.299	0	52.941	72.240
Sta. Cruz de Tenerife	196.457	99.526	0	295.982	31.776	0	0	31.776
Cantabria	79.546	43.039	0	122.585	4.125	0	0	4.125
Santander	79.546	43.039	0	122.585	4.125	0	0	4.125
Castilla-La Mancha	268.852	131.782	0	400.634	32.839	38.824	0	71.663
Albacete	46.417	43.641	0	90.058	0	0	0	0
Ciudad Real	78.198	0	0	78.198	0	0	0	0
Cuenca	17.849	19.238	0	37.087	6.000	0	0	6.000
Guadalajara	36.482	0	0	36.482	4.880	19.412	0	24.292
Toledo	93.286	68.903	0	162.189	24.959	19.412	0	44.371
Castilla y León	399.333	87.858	0	487.191	32.103	29.118	0	61.221
Ávila	27.839	0	0	27.839	5.500	0	0	5.500
Burgos	67.102	0	0	67.102	5.375	0	0	5.375
León	68.607	21.176	0	89.784	16.838	29.118	0	45.956
Palencia	15.987	0	0	15.987	5.000	0	0	5.000
Salamanca	73.967	0	0	73.967	12.500	0	0	12.500
Segovia	26.704	14.740	0	41.444	5.750	0	0	5.750

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Soria	14.733	0	0	14.733	0	0	0	0
Valladolid	95.496	51.941	0	147.437	16.563	0	0	16.563
Zamora	33.208	0	0	33.208	3.593	0	0	3.593
Cataluña	684.993	343.446	96.050	1.124.489	12.417	42.143	0	54.560
Barcelona	448.738	304.519	96.050	849.307	6.934	42.143	0	49.077
Girona	112.288	23.529	0	135.817	2.500	0	0	2.500
Lleida	33.212	0	0	33.212	5.000	0	0	5.000
Tarragona	95.786	15.398	0	111.184	5.294	0	0	5.294
Comunidad Valenciana	743.394	358.269	144.118	1.245.781	68.576	43.066	0	111.643
Alicante	304.951	165.938	0	470.889	40.148	23.890	0	64.038
Castellón	118.027	40.102	0	158.130	17.500	0	0	17.500
Valencia	331.398	152.229	144.118	627.744	38.382	19.176	0	57.559
Extremadura	182.765	0	0	182.765	11.330	0	0	11.330
Badajoz	120.468	0	0	120.468	9.747	0	0	9.747
Cáceres	63.814	0	0	63.814	5.375	0	0	5.375
Galicia	384.310	100.898	0	485.207	33.927	60.588	0	94.515
A Coruña	144.629	50.604	0	195.232	7.262	60.588	0	67.850
Lugo	54.446	26.176	0	80.622	11.766	0	0	11.766
Ourense	51.669	0	0	51.669	4.875	0	0	4.875
Pontevedra	143.081	24.118	0	167.198	27.679	0	0	27.679
Comunidad de Madrid	722.524	591.716	282.659	1.596.899	59.521	162.119	53.353	274.994
Madrid	722.524	591.716	282.659	1.596.899	59.521	162.119	53.353	274.994

(Continuación)

CCAA y provincias	1990-2006				2007-2009			
	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 1990-2006	<25 mil	25 a 74 mil	75 mil o más	Total 2007-2009
Región de Murcia	221.097	99.094	69.506	389.697	30.768	68.018	0	98.786
Región de Murcia	221.097	99.094	69.506	389.697	30.768	68.018	0	98.786
C. Foral de Navarra	100.353	73.108	0	173.461	18.331	0	0	18.331
Navarra C. Foral de	100.353	73.108	0	173.461	18.331	0	0	18.331
País Vasco	259.834	178.711	111.131	549.676	26.952	30.968	0	57.920
Álava	53.175	35.161	47.131	135.466	16.000	0	0	16.000
Guipúzcoa	95.481	62.451	0	157.933	8.750	0	0	8.750
Vizcaya	123.810	81.099	64.000	268.909	25.390	30.968	0	56.358
La Rioja	38.621	26.889	0	65.510	0	0	0	0
Rioja, La	38.621	26.889	0	65.510	0	0	0	0
Ceuta, C. Autónoma	12.571	0	0	12.571	0	0	0	0
Ceuta	12.571	0	0	12.571	0	0	0	0
Melilla, C. Autónoma	6.875	0	0	6.875	0	0	0	0
Melilla	6.875	0	0	6.875	0	0	0	0
España	6.451.520	2.966.134	988.838	10.406.491	385.657	581.432	274.700	1.241.789

Tabla 14. Estimación de la superficie útil y de la superficie de cubierta (m²) para hospitales por grupos de superficie. Todos los existentes

CCAA y provincias	Superficie útil			Superficie cubierta		
	Tamaño del hospital			Tamaño del hospital		
	<65 mil	65 mil o más	Total	<65 mil	65 mil o más	Total
Andalucía	2.055.012	5.451.548	7.506.560	322.930	856.672	1.179.602
Almería	100.640	477.976	578.616	15.815	75.110	90.925

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil			Superficie cubierta		
	Tamaño del hospital			Tamaño del hospital		
	<65 mil	65 mil o más	Total	<65 mil	65 mil o más	Total
Cádiz	145.426	974.483	1.119.910	22.853	153.133	175.986
Córdoba	89.315	704.223	793.537	14.035	110.664	124.699
Granada	181.718	667.673	849.391	28.556	104.920	133.476
Huelva	194.588	225.990	420.577	30.578	35.513	66.091
Jaén	318.650	270.003	588.654	50.074	42.429	92.503
Málaga	696.243	788.647	1.484.890	109.410	123.930	233.340
Sevilla	328.431	1.342.553	1.670.984	51.611	210.973	262.583
Aragón	643.993	761.878	1.405.871	101.199	119.724	220.923
Huesca	115.569	79.534	195.103	18.161	12.498	30.659
Teruel	143.110	0	143.110	22.489	0	22.489
Zaragoza	385.315	682.344	1.067.659	60.549	107.226	167.775
Principado de Asturias	539.750	698.045	1.237.795	84.818	109.693	194.511
Principado de Asturias	539.750	698.045	1.237.795	84.818	109.693	194.511
Islas Baleares	666.643	360.348	1.026.991	104.758	56.626	161.384
Baleares, Islas	666.643	360.348	1.026.991	104.758	56.626	161.384
Canarias	1.277.176	1.151.054	2.428.230	200.699	180.880	381.579
Las Palmas	666.129	587.110	1.253.238	104.677	92.260	196.937
Sta. Cruz de Tenerife	611.047	563.944	1.174.991	96.022	88.620	184.641
Cantabria	136.675	421.092	557.767	21.477	66.172	87.649
Santander	136.675	421.092	557.767	21.477	66.172	87.649
Castilla-La Mancha	654.803	1.128.146	1.782.950	102.898	177.280	280.178
Albacete	262.282	193.043	455.325	41.216	30.335	71.551

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil			Superficie cubierta		
	Tamaño del hospital			Tamaño del hospital		
	<65 mil	65 mil o más	Total	<65 mil	65 mil o más	Total
Ciudad Real	186.094	204.369	390.463	29.243	32.115	61.358
Cuenca	15.443	105.788	121.231	2.427	16.624	19.051
Guadalajara	109.906	106.560	216.466	17.271	16.745	34.016
Toledo	81.078	518.386	599.464	12.741	81.461	94.202
Castilla y León	999.708	2.934.776	3.934.483	157.097	461.179	618.276
Ávila	8.494	223.930	232.424	1.335	35.189	36.524
Burgos	372.445	233.454	605.899	58.527	36.686	95.213
León	294.456	414.400	708.856	46.272	65.120	111.392
Palencia	35.777	325.600	361.377	5.622	51.166	56.788
Salamanca	30.372	702.936	733.308	4.773	110.461	115.234
Segovia	110.421	96.522	206.943	17.352	15.168	32.520
Soria	0	274.122	274.122	0	43.076	43.076
Valladolid	129.210	336.410	465.621	20.304	52.864	73.169
Zamora	18.532	327.402	345.934	2.912	51.449	54.361
Cataluña	3.857.009	4.840.243	8.697.252	606.101	760.610	1.366.711
Barcelona	2.707.499	3.895.875	6.603.374	425.464	612.209	1.037.673
Girona	463.304	259.450	722.755	72.805	40.771	113.576
Lleida	297.802	112.480	410.282	46.797	17.675	64.473
Tarragona	388.403	572.438	960.842	61.035	89.955	150.989
Comunidad Valenciana	833.948	2.506.219	3.340.167	131.049	393.834	524.883
Alicante	336.153	930.984	1.267.137	52.824	146.298	199.122
Castellón	101.412	277.210	378.623	15.936	43.562	59.498

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil			Superficie cubierta		
	Tamaño del hospital			Tamaño del hospital		
	<65 mil	65 mil o más	Total	<65 mil	65 mil o más	Total
Valencia	396.383	1.298.024	1.694.407	62.289	203.975	266.264
Extremadura	544.640	880.793	1.425.433	85.586	138.410	223.997
Badajoz	373.475	596.633	970.108	58.689	93.757	152.446
Cáceres	171.165	284.160	455.325	26.897	44.654	71.551
Galicia	1.346.671	2.819.464	4.166.136	211.620	443.059	654.678
A Coruña	302.692	1.592.480	1.895.172	47.566	250.247	297.813
Lugo	151.603	360.863	512.466	23.823	56.707	80.530
Ourense	286.477	236.543	523.019	45.018	37.171	82.189
Pontevedra	605.899	629.579	1.235.478	95.213	98.934	194.147
Comunidad de Madrid	1.554.643	4.743.464	6.298.108	244.301	745.402	989.703
Madrid	1.554.643	4.743.464	6.298.108	244.301	745.402	989.703
Región de Murcia	610.275	638.330	1.248.605	95.900	100.309	196.209
Región de Murcia	610.275	638.330	1.248.605	95.900	100.309	196.209
C. Foral de Navarra	259.450	359.576	619.026	40.771	56.505	97.276
Navarra C. Foral de	259.450	359.576	619.026	40.771	56.505	97.276
País Vasco	777.837	1.373.697	2.151.534	122.231	215.867	338.098
Álava	68.981	256.104	325.085	10.840	40.245	51.085
Guipúzcoa	313.503	504.487	817.990	49.265	79.277	128.541
Vizcaya	395.353	613.106	1.008.459	62.127	96.345	158.472
La Rioja	199.993	151.603	351.597	31.427	23.823	55.251
Rioja, La	199.993	151.603	351.597	31.427	23.823	55.251

(Continuación)

CCAA y provincias	Superficie útil			Superficie cubierta		
	Tamaño del hospital			Tamaño del hospital		
	<65 mil	65 mil o más	Total	<65 mil	65 mil o más	Total
Ceuta, C. Autónoma	54.824	0	54.824	8.615	0	8.615
Ceuta	54.824	0	54.824	8.615	0	8.615
Melilla, C. Autónoma	44.271	0	44.271	6.957	0	6.957
Melilla	44.271	0	44.271	6.957	0	6.957
España	17.057.322	31.220.278	48.277.600	2.680.436	4.906.044	7.586.480

Tabla 15. Estimación de la superficie útil y de la superficie de cubierta (m²) para centros de asistencia primaria. Todos los existentes

CCAA y provincias	Superficie útil (m ²)	Superficie cubierta (m ²)
	Centro de salud	Centro de salud
Andalucía	832.609	305.290
Almería	71.739	26.304
Cádiz	110.870	40.652
Córdoba	84.783	31.087
Granada	106.522	39.058
Huelva	65.217	23.913
Jaén	84.783	31.087
Málaga	132.609	48.623
Sevilla	176.087	64.565
Aragón	269.565	98.841
Huesca	60.870	22.319
Teruel	60.870	22.319

(Continuación)

	Superficie útil (m ²)	Superficie cubierta (m ²)
CCAA y provincias	Centro de salud	Centro de salud
Zaragoza	147.826	54.203
Principado de Asturias	154.348	56.594
Principado de Asturias	154.348	56.594
Islas Baleares	121.739	44.638
Baleares, Islas	121.739	44.638
Canarias	236.957	86.884
Las Palmas	115.217	42.246
Sta. Cruz de Tenerife	121.739	44.638
Cantabria	78.261	28.696
Santander	78.261	28.696
Castilla-La Mancha	432.609	158.623
Albacete	78.261	28.696
Ciudad Real	104.348	38.261
Cuenca	80.435	29.493
Guadalajara	63.043	23.116
Toledo	106.522	39.058
Castilla y León	536.957	196.884
Ávila	47.826	17.536
Burgos	80.435	29.493
León	84.783	31.087
Palencia	43.478	15.942
Salamanca	78.261	28.696
Segovia	34.783	12.754

(Continuación)

	Superficie útil (m ²)	Superficie cubierta (m ²)
CCAA y provincias	Centro de salud	Centro de salud
Soria	30.435	11.159
Valladolid	89.130	32.681
Zamora	47.826	17.536
Cataluña	858.696	314.855
Barcelona	573.913	210.435
Girona	97.826	35.870
Lleida	69.565	25.507
Tarragona	117.391	43.043
Comunidad Valenciana	563.043	206.449
Alicante	186.957	68.551
Castellón	91.304	33.478
Valencia	284.783	104.420
Extremadura	226.087	82.899
Badajoz	117.391	43.043
Cáceres	108.696	39.855
Galicia	854.348	313.261
A Coruña	276.087	101.232
Lugo	158.696	58.188
Ourense	215.217	78.913
Pontevedra	204.348	74.928
Comunidad de Madrid	558.696	204.855
Madrid	558.696	204.855

(Continuación)

	Superficie útil (m ²)	Superficie cubierta (m ²)
CCAA y provincias	Centro de salud	Centro de salud
Región de Murcia	167.391	61.377
Región de Murcia	167.391	61.377
C. Foral de Navarra	121.739	44.638
Navarra C. Foral de	121.739	44.638
País Vasco	297.826	109.203
Álava	36.957	13.551
Guipúzcoa	113.043	41.449
Vizcaya	147.826	54.203
La Rioja	41.304	15.145
Rioja, La	41.304	15.145
Ceuta, C. Autónoma	6.522	2.391
Ceuta	6.522	2.391
Melilla, C. Autónoma	8.696	3.188
Melilla	8.696	3.188
España	6.367.391	2.334.710

R4. RESULTADOS DEMANDA ENERGÉTICA

1 Resultados demanda energética

(Continuación)

1.1 NOMENCLATURA

En las tablas del documento se identifican las siglas siguientes:

ACS: demanda de agua caliente sanitaria.

CAL: demanda de calefacción.

REF: demanda de refrigeración (sensible y latente) para producción de aire acondicionado.

Se expresan los resultados en kWh por unidad de superficie útil edificada, en m².

1.2 SECTOR RESIDENCIAL

1.2.1 Vivienda unifamiliar

Tabla 1. Resultados de la demanda energética para viviendas unifamiliares RU021

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	18,80	30,90	37,39
Cádiz	18,82	27,02	28,25
Córdoba	18,85	64,40	41,99
Granada	19,03	82,57	29,44
Huelva	18,79	37,53	32,52
Jaén	18,89	60,33	47,68
Málaga	18,83	38,25	29,32
Sevilla	18,81	46,58	45,26
Huesca	19,08	108,93	17,86
Teruel	19,20	129,58	9,08
Zaragoza	18,99	92,10	22,87
Oviedo	19,08	99,25	4,12
Palma de Mallorca	18,84	40,36	34,39

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Las Palmas de G. C.	18,67	0,85	24,21
Santa Cruz de Tenerife	18,63	0,33	29,28
Santander	18,94	73,01	4,23
Albacete	19,08	106,01	20,84
Ciudad Real	19,03	101,09	27,22
Cuenca	19,16	123,58	13,50
Guadalajara	19,02	110,43	17,23
Toledo	18,95	89,56	39,53
Ávila	19,30	143,21	4,32
Burgos	19,22	158,22	2,57
León	19,25	137,95	5,15
Palencia	19,16	126,79	7,91
Salamanca	19,22	128,48	8,77
Segovia	19,15	134,15	10,16
Soria	19,24	150,98	5,44
Valladolid	19,09	124,79	12,05
Zamora	19,14	125,04	13,11
Barcelona	18,99	64,49	17,41
Girona	19,07	92,39	14,60
Lleida	19,01	95,89	25,44
Tarragona	18,87	58,82	29,24
Alicante	18,84	37,25	34,39
Castellón	18,92	56,95	24,66
Valencia	18,90	58,27	22,91

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Badajoz	18,91	63,80	36,92
Cáceres	18,90	72,68	38,13
A Coruña	19,00	73,40	6,77
Lugo	19,12	120,40	2,36
Ourense	18,91	105,23	14,78
Pontevedra	18,97	62,34	8,81
Madrid	19,01	97,90	20,77
Región de Murcia	18,90	53,77	27,89
Navarra C. Foral de	19,11	120,02	5,99
Gasteiz	19,14	131,35	1,69
Bilbao	18,89	89,11	4,42
Donostia	19,02	97,56	6,17
Logroño	19,05	110,94	13,48
Ceuta	18,94	48,95	32,60
Melilla	18,79	27,37	27,75
Mínimo	18,63	0,33	1,69
Máximo	19,30	158,22	47,68
Promedio	18,99	85,21	20,05

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Cádiz	25,64	27,28	21,94
Córdoba	25,30	60,43	32,95
Granada	25,39	79,30	21,81
Huelva	25,38	36,32	24,64
Jaén	25,34	59,42	36,64
Málaga	25,53	36,82	22,26
Sevilla	25,39	45,02	35,44
Huesca	25,24	103,17	12,08
Teruel	25,27	121,64	5,61
Zaragoza	25,14	87,65	16,57
Oviedo	24,81	91,53	4,98
Palma de Mallorca	25,34	39,42	27,68
Las Palmas de G. C.	25,93	1,24	18,87
Santa Cruz de Tenerife	25,92	0,57	22,01
Santander	24,96	68,18	3,92
Albacete	25,34	100,91	15,09
Ciudad Real	25,17	96,16	20,42
Cuenca	25,25	115,81	9,23
Guadalajara	25,05	103,40	12,40
Toledo	25,19	84,52	30,16
Ávila	25,36	136,01	2,21
Burgos	25,07	147,76	1,47
León	25,24	130,89	3,23
Palencia	25,26	118,49	4,65

1.2.2 Bloques de viviendas

Tabla 2. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP022

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	25,57	30,41	29,68

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Salamanca	25,31	120,54	5,30
Segovia	25,15	124,76	6,58
Soria	25,22	141,82	3,27
Valladolid	25,26	115,91	7,72
Zamora	25,24	111,21	8,23
Barcelona	25,26	62,27	12,55
Girona	25,15	86,84	10,49
Lleida	25,26	91,45	18,31
Tarragona	25,27	55,51	22,25
Alicante	25,53	36,85	27,05
Castellón	25,32	54,11	19,25
Valencia	25,36	55,09	17,61
Badajoz	25,29	61,71	27,72
Cáceres	25,12	69,29	28,91
A Coruña	24,98	62,36	4,32
Lugo	24,99	111,30	2,53
Ourense	24,93	90,09	9,07
Pontevedra	25,21	59,52	5,34
Madrid	25,10	92,89	14,99
Región de Murcia	25,30	50,96	23,40
Navarra C. Foral de	25,12	111,74	3,38
Gasteiz	25,06	121,19	1,06
Bilbao	24,58	81,54	3,64
Donostia	24,68	89,96	7,30

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Logroño	25,12	97,84	8,52
Ceuta	25,20	47,08	31,49
Melilla	25,43	26,94	22,60
Mínimo	24,58	0,57	1,06
Máximo	25,93	147,76	36,64
Promedio	25,24	79,87	15,17

Tabla 3. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP024

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	23,43	29,41	24,47
Cádiz	23,48	26,89	17,85
Córdoba	23,25	56,55	26,78
Granada	23,31	75,82	16,72
Huelva	23,34	34,71	19,27
Jaén	23,27	57,83	28,96
Málaga	23,40	35,13	17,45
Sevilla	23,31	43,03	28,64
Huesca	23,22	97,55	8,45
Teruel	23,25	114,38	3,48
Zaragoza	23,17	83,05	12,44
Oviedo	22,94	84,60	6,41
Palma de Mallorca	23,31	37,89	23,13
Las Palmas de G. C.	23,67	1,45	15,39

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Santa Cruz de Tenerife	23,66	0,67	17,02
Santander	23,05	63,45	4,60
Albacete	23,,28	95,81	11,31
Ciudad Real	23,18	91,11	16,05
Cuenca	23,23	108,69	6,50
Guadalajara	23,11	96,80	9,34
Toledo	23,17	79,70	23,72
Ávila	23,27	126,45	1,13
Burgos	23,11	135,52	1,13
León	23,22	121,59	2,09
Palencia	23,21	110,94	2,71
Salamanca	23,24	113,28	3,27
Segovia	23,16	116,38	4,32
Soria	23,20	130,71	2,06
Valladolid	23,22	107,99	5,02
Zamora	23,21	104,51	5,56
Barcelona	23,24	59,62	9,65
Girona	23,18	81,69	7,97
Lleida	23,22	86,84	13,63
Tarragona	23,23	52,16	17,49
Alicante	23,41	35,82	22,19
Castellón	23,29	51,07	15,69
Valencia	23,30	51,78	14,18
Badajoz	23,26	59,19	21,50

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Cáceres	23,14	65,80	22,63
A Coruña	23,05	58,41	5,61
Lugo	23,07	103,14	3,21
Ourense	23,05	82,74	6,21
Pontevedra	23,19	56,31	3,40
Madrid	23,13	87,78	11,15
Región de Murcia	23,26	47,94	20,66
Navarra C. Foral de	23,15	104,23	1,94
Gasteiz	23,11	112,28	1,02
Bilbao	22,85	74,68	3,58
Donostia	22,86	83,07	9,17
Logroño	23,15	91,91	5,86
Ceuta	23,19	44,73	31,64
Melilla	23,37	26,06	19,27
Mínimo	22,85	0,67	1,02
Máximo	23,67	135,52	31,64
Promedio	23,22	74,98	12,17

Tabla 4. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP052

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	22,75	24,79	34,51
Cádiz	22,78	22,04	25,94
Córdoba	22,59	52,86	37,73

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Granada	22,67	69,85	25,89
Huelva	22,67	30,73	29,60
Jaén	22,58	51,25	43,09
Málaga	22,74	30,87	26,87
Sevilla	22,64	38,38	40,83
Huesca	22,60	93,66	15,28
Teruel	22,65	111,28	7,40
Zaragoza	22,53	78,98	20,13
Oviedo	22,39	83,02	2,85
Palma de Mallorca	22,56	33,35	31,61
Las Palmas de G. C.	23,07	0,47	22,45
Santa Cruz de Tenerife	23,08	0,21	27,46
Santander	22,46	61,06	2,65
Albacete	22,66	91,29	18,15
Ciudad Real	22,56	86,87	23,99
Cuenca	22,59	105,82	11,49
Guadalajara	22,49	94,34	14,88
Toledo	22,58	75,42	35,58
Ávila	22,76	126,25	3,22
Burgos	22,64	138,43	1,76
León	22,68	121,43	4,05
Palencia	22,67	108,62	6,31
Salamanca	22,70	110,34	7,02

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Segovia	22,55	114,77	8,58
Soria	22,68	132,25	4,21
Valladolid	22,65	106,36	9,91
Zamora	22,63	101,58	10,45
Barcelona	22,58	54,41	15,13
Girona	22,50	77,64	12,57
Lleida	22,62	82,38	22,39
Tarragona	22,57	48,28	26,40
Alicante	22,72	30,70	31,07
Castellón	22,58	46,87	22,09
Valencia	22,63	47,77	20,49
Badajoz	22,60	53,75	32,83
Cáceres	22,53	61,18	34,28
A Coruña	22,51	55,47	2,62
Lugo	22,51	102,42	1,71
Ourense	22,39	81,85	11,39
Pontevedra	22,62	52,30	7,19
Madrid	22,51	83,94	18,42
Región de Murcia	22,64	44,18	25,40
Navarra C. Foral de	22,57	102,35	4,66
Gasteiz	22,58	111,77	1,05
Bilbao	22,22	74,10	3,10
Donostia	22,31	81,65	4,70

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Logroño	22,52	88,91	10,81
Ceuta	22,49	40,73	29,53
Melilla	22,67	22,14	25,56
Mínimo	22,22	0,21	1,05
Máximo	23,08	138,43	43,09
Promedio	22,61	71,95	17,64

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Santa Cruz de Tenerife	22,20	0,26	21,50
Santander	21,75	56,27	2,54
Albacete	21,86	86,15	13,68
Ciudad Real	21,77	81,79	18,73
Cuenca	21,83	98,60	8,21
Guadalajara	21,75	87,67	11,18
Toledo	21,78	70,56	28,07
Ávila	21,98	116,46	1,71
Burgos	21,88	125,83	1,13
León	21,92	111,86	2,62
Palencia	21,93	100,97	3,79
Salamanca	21,93	102,99	4,42
Segovia	21,83	106,27	5,79
Soria	21,92	120,83	2,68
Valladolid	21,89	98,32	6,57
Zamora	21,87	94,78	7,18
Barcelona	21,81	51,78	11,26
Girona	21,75	72,44	9,29
Lleida	21,83	77,71	16,76
Tarragona	21,78	44,89	20,82
Alicante	21,90	29,63	25,24
Castellón	21,78	43,83	17,80
Valencia	21,82	44,46	16,31
Badajoz	21,78	51,22	25,53

Tabla 5. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP054

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	21,91	23,77	28,24
Cádiz	21,95	21,58	20,67
Córdoba	21,77	48,96	30,65
Granada	21,85	66,44	19,93
Huelva	21,84	29,03	23,26
Jaén	21,77	49,66	34,14
Málaga	21,91	29,08	21,12
Sevilla	21,81	36,38	33,08
Huesca	21,84	87,98	10,84
Teruel	21,89	103,89	4,75
Zaragoza	21,77	74,29	15,19
Oviedo	21,65	76,00	3,96
Palma de Mallorca	21,75	31,82	26,18
Las Palmas de G. C.	22,21	0,59	18,07

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Cáceres	21,75	57,63	26,89
A Coruña	21,75	51,51	3,13
Lugo	21,77	94,11	2,04
Ourense	21,70	74,40	7,95
Pontevedra	21,87	49,10	4,47
Madrid	21,75	78,76	13,90
Región de Murcia	21,82	41,16	21,84
Navarra C. Foral de	21,85	94,72	2,72
Gasteiz	21,85	102,67	0,72
Bilbao	21,55	67,12	2,60
Donostia	21,58	74,68	6,11
Logroño	21,78	82,88	7,59
Ceuta	21,66	38,36	29,06
Melilla	21,85	21,16	21,41
Mínimo	21,55	0,26	0,72
Máximo	22,21	125,83	34,14
Promedio	21,83	66,99	13,91

Tabla 6. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP058

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	21,44	23,47	23,63
Cádiz	21,48	21,66	16,94
Córdoba	21,32	46,52	25,42

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Granada	21,39	64,46	15,58
Huelva	21,39	28,20	18,61
Jaén	21,,33	49,08	27,50
Málaga	21,46	28,25	16,85
Sevilla	21,34	35,36	27,27
Huesca	21,41	84,15	7,83
Teruel	21,47	98,94	3,01
Zaragoza	21,34	71,24	11,69
Oviedo	21,21	71,23	5,58
Palma de Mallorca	21,32	31,03	22,18
Las Palmas de G. C.	21,73	0,71	14,98
Santa Cruz de Tenerife	21,71	0,31	17,04
Santander	21,31	53,,12	3,36
Albacete	21,42	82,78	10,49
Ciudad Real	21,35	78,42	15,07
Cuenca	21,42	93,70	5,90
Guadalajara	21,34	83,08	8,59
Toledo	21,34	67,50	22,50
Ávila	21,52	109,64	0,93
Burgos	21,44	116,95	0,98
León	21,47	105,21	1,75
Palencia	21,49	95,69	2,17
Salamanca	21,49	97,97	2,73

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Segovia	21,42	100,35	3,85
Soria	21,47	112,81	1,75
Valladolid	21,47	92,77	4,40
Zamora	21,45	90,15	4,88
Barcelona	21,37	50,25	8,73
Girona	21,34	69,09	7,10
Lleida	21,39	74,69	12,78
Tarragona	21,34	42,83	16,71
Alicante	21,42	29,29	21,10
Castellón	21,34	42,04	14,71
Valencia	21,39	42,49	13,36
Badajoz	21,34	49,90	20,22
Cáceres	21,32	55,49	21,53
A Coruña	21,29	48,95	4,63
Lugo	21,33	88,33	2,89
Ourense	21,32	69,34	5,51
Pontevedra	21,44	47,16	2,77
Madrid	21,33	75,36	10,63
Región de Murcia	21,36	39,38	19,53
Navarra C. Foral de	21,43	89,46	1,53
Gasteiz	21,41	96,33	0,71
Bilbao	21,17	62,33	2,59
Donostia	21,15	69,91	8,21

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Logroño	21,38	78,82	5,33
Ceuta	21,21	37,01	29,62
Melilla	21,38	20,85	18,50
Mínimo	21,15	0,31	0,71
Máximo	21,73	116,95	29,62
Promedio	21,39	63,73	11,39

Tabla 7. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP084

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	21,34	22,36	29,41
Cádiz	21,38	20,62	20,78
Córdoba	21,28	47,05	31,79
Granada	21,34	64,05	20,87
Huelva	21,32	27,59	24,47
Jaén	21,24	47,60	35,64
Málaga	21,37	27,97	21,25
Sevilla	21,27	34,72	34,35
Huesca	21,34	85,53	11,58
Teruel	21,40	101,23	5,17
Zaragoza	21,26	72,08	16,03
Oviedo	21,12	73,82	3,38
Palma de Mallorca	21,22	30,25	27,18
Las Palmas de G. C.	21,67	0,42	18,19

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Santa Cruz de Tenerife	21,68	0,24	21,71
Santander	21,21	54,45	2,21
Albacete	21,38	83,66	14,40
Ciudad Real	21,32	79,40	19,55
Cuenca	21,34	96,01	8,76
Guadalajara	21,24	85,31	11,75
Toledo	21,32	68,24	29,32
Ávila	21,49	113,84	1,91
Burgos	21,45	123,34	1,16
León	21,45	109,35	2,80
Palencia	21,41	98,39	4,17
Salamanca	21,45	100,34	4,81
Segovia	21,32	103,63	6,26
Soria	21,44	118,30	2,88
Valladolid	21,39	95,82	7,08
Zamora	21,41	92,29	7,70
Barcelona	21,28	49,78	11,88
Girona	21,22	70,07	9,81
Lleida	21,34	75,39	17,71
Tarragona	21,26	43,06	21,86
Alicante	21,33	28,06	26,24
Castellón	21,28	42,04	18,53
Valencia	21,30	42,64	17,03
Badajoz	21,27	49,20	26,72

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Cáceres	21,27	55,58	28,14
A Coruña	21,25	49,75	2,61
Lugo	21,27	91,81	1,80
Ourense	21,16	72,29	8,54
Pontevedra	21,37	47,27	4,90
Madrid	21,29	76,50	14,71
Región de Murcia	21,30	39,48	22,34
Navarra C. Foral de	21,33	92,27	3,01
Gasteiz	21,36	100,21	0,71
Bilbao	21,08	65,20	2,49
Donostia	21,10	72,53	5,38
Logroño	21,26	80,58	8,14
Ceuta	21,16	36,73	28,46
Melilla	21,28	20,31	21,53
Mínimo	21,08	0,24	0,71
Máximo	21,68	123,34	35,64
Promedio	21,32	64,97	14,41

Tabla 8. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP088

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	21,06	21,99	24,68
Cádiz	21,09	20,25	17,77
Córdoba	21,00	44,63	26,48

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Granada	21,06	64,08	16,44
Huelva	21,04	26,70	19,71
Jaén	21,97	46,96	28,87
Málaga	21,09	26,70	17,88
Sevilla	20,99	33,68	28,48
Huesca	21,06	81,71	8,47
Teruel	21,13	96,26	3,35
Zaragoza	21,01	69,04	12,44
Oviedo	20,85	69,07	4,87
Palma de Mallorca	20,94	29,49	23,06
Las Palmas de G. C.	21,35	0,49	15,78
Santa Cruz de Tenerife	21,35	0,28	18,28
Santander	20,95	51,33	2,75
Albacete	21,10	80,30	11,13
Ciudad Real	21,03	76,01	15,79
Cuenca	21,06	91,13	6,38
Guadalajara	21,98	80,74	9,10
Toledo	21,03	65,18	23,64
Ávila	21,20	107,10	1,07
Burgos	21,13	114,48	0,96
León	21,14	102,75	1,89
Palencia	21,15	93,15	2,46
Salamanca	21,15	95,34	3,03

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Segovia	21,06	97,76	4,25
Soria	21,13	110,31	1,91
Valladolid	21,11	90,32	4,81
Zamora	21,13	87,67	5,32
Barcelona	21,02	48,29	9,20
Girona	20,96	66,77	7,51
Lleida	21,07	72,35	13,62
Tarragona	21,00	41,00	17,66
Alicante	21,05	27,69	21,96
Castellón	21,00	40,20	15,35
Valencia	21,03	40,65	13,99
Badajoz	21,01	47,87	21,30
Cáceres	21,00	53,42	22,66
A Coruña	20,96	47,20	3,88
Lugo	20,98	86,04	2,55
Ourense	20,94	67,22	6,02
Pontevedra	21,09	45,34	3,05
Madrid	21,01	73,09	11,37
Región de Murcia	21,02	37,64	19,88
Navarra C. Foral de	21,07	87,05	1,73
Gasteiz	21,06	93,88	0,63
Bilbao	20,84	60,43	2,35
Donostia	20,84	67,81	7,31

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Logroño	21,01	76,53	5,81
Ceuta	2089	35,38	28,84
Melilla	21,00	19,60	19,15
Mínimo	20,84	0,28	0,63
Máximo	21,35	114,48	28,87
Promedio	21,04	61,70	11,86

Tabla 9. Resultados de la demanda energética para viviendas plurifamiliares RP128

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	20,77	21,22	25,24
Cádiz	20,79	19,51	18,25
Córdoba	20,74	43,63	27,03
Granada	20,81	60,81	16,89
Huelva	20,77	25,91	20,29
Jaén	20,71	45,85	29,58
Málaga	20,78	25,86	18,44
Sevilla	20,74	32,79	29,11
Huesca	20,80	80,36	8,81
Teruel	20,84	94,80	3,53
Zaragoza	20,72	67,85	12,83
Oviedo	20,56	67,88	4,52
Palma de Mallorca	20,70	28,65	23,55
Las Palmas de G. C.	20,97	0,39	16,23

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Santa Cruz de Tenerife	21,01	0,24	18,95
Santander	20,65	50,31	2,47
Albacete	20,82	78,97	11,47
Ciudad Real	20,80	74,71	16,17
Cuenca	20,79	89,71	6,63
Guadalajara	20,71	79,47	9,36
Toledo	20,77	63,94	24,23
Ávila	20,91	105,69	1,14
Burgos	20,88	113,08	0,96
León	20,86	101,38	1,96
Palencia	20,85	91,74	2,62
Salamanca	20,89	93,93	3,19
Segovia	20,77	96,31	4,47
Soria	20,85	108,91	1,99
Valladolid	20,83	88,95	5,03
Zamora	20,86	86,31	5,55
Barcelona	20,73	47,22	9,46
Girona	20,66	65,51	7,73
Lleida	20,81	71,08	14,06
Tarragona	20,77	40,05	18,17
Alicante	20,78	26,86	22,42
Castellón	20,73	39,24	15,70
Valencia	20,74	39,66	14,34
Badajoz	20,75	46,79	21,86

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Cáceres	20,76	52,34	23,24
A Coruña	20,67	46,24	3,51
Lugo	20,71	84,76	2,38
Ourense	20,63	66,04	6,29
Pontevedra	20,78	44,35	3,21
Madrid	20,75	71,83	11,76
Región de Murcia	20,72	36,76	20,09
Navarra C. Foral de	20,78	85,71	1,85
Gasteiz	20,77	92,52	0,60
Bilbao	20,57	59,36	2,26
Donostia	20,58	66,63	6,86
Logroño	20,71	75,27	6,07
Ceuta	20,65	34,51	28,44
Melilla	20,70	18,88	19,53
Mínimo	20,56	0,24	0,60
Máximo	21,01	113,08	29,58
Promedio	20,76	60,59	12,12

1.3 SECTOR TERCIARIO

1.3.1 OFICINAS

Tabla 10. Resultados de la demanda energética para oficinas OF052

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	5,84	5,78	67,42
Cádiz	5,86	3,76	59,06
Córdoba	5,77	12,69	69,50
Granada	5,83	13,34	60,45
Huelva	5,81	5,06	65,58
Jaén	5,81	8,27	77,17
Málaga	5,80	7,89	56,96
Sevilla	5,79	7,46	74,58
Huesca	5,67	25,27	54,00
Teruel	5,67	32,89	35,19
Zaragoza	5,65	20,47	55,92
Oviedo	5,51	15,10	17,99
Palma de Mallorca	5,80	3,26	72,72
Las Palmas de G. C.	5,82	0,00	57,88
Santa Cruz de Tenerife	5,83	0,01	63,65
Santander	5,56	7,95	31,65
Albacete	5,75	25,48	49,80
Ciudad Real	5,68	22,99	59,61
Cuenca	5,68	30,84	43,54
Guadalajara	5,57	28,00	45,11

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Toledo	5,71	18,49	67,34
Ávila	5,74	33,18	34,18
Burgos	5,58	43,07	28,36
León	5,69	32,47	34,87
Palencia	5,67	29,52	43,84
Salamanca	5,70	32,61	37,57
Segovia	5,61	36,02	37,25
Soria	5,63	39,12	34,81
Valladolid	5,63	33,54	41,32
Zamora	5,68	28,95	43,64
Barcelona	5,77	6,43	57,83
Girona	5,66	14,03	46,75
Lleida	5,68	22,63	61,31
Tarragona	5,75	8,36	65,92
Alicante	5,83	4,62	67,23
Castellón	5,77	7,84	59,06
Valencia	5,78	7,93	58,39
Badajoz	5,74	9,86	67,76
Cáceres	5,69	12,57	67,48
A Coruña	5,60	5,73	30,17
Lugo	5,54	27,96	18,87
Ourense	5,49	18,47	44,84
Pontevedra	5,61	5,29	51,21
Madrid	5,62	21,89	52,28

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Región de Murcia	5,76	6,94	61,70
Navarra C. Foral de	5,61	27,81	39,24
Gasteiz	5,53	33,49	24,60
Bilbao	5,36	13,09	29,42
Donostia	5,46	14,58	24,50
Logroño	5,61	23,55	43,63
Ceuta	5,80	4,66	48,74
Melilla	5,79	4,29	56,66
Mínimo	5,36	0,00	17,99
Máximo	5,86	43,07	77,17
Promedio	5,69	17,41	49,97

Tabla 11. Resultados de la demanda energética para oficinas OF054

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	6,65	4,45	66,08
Cádiz	6,67	1,93	62,39
Córdoba	6,61	8,95	75,94
Granada	6,64	10,66	61,16
Huelva	6,64	3,21	68,17
Jaén	6,63	6,13	83,53
Málaga	6,62	4,79	60,71
Sevilla	6,62	5,00	81,41
Huesca	6,55	20,70	52,76
Teruel	6,56	27,39	31,16

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Zaragoza	6,55	16,14	55,74
Oviedo	6,49	11,45	10,22
Palma de Mallorca	6,64	1,75	78,47
Las Palmas de G. C.	6,66	0,00	58,98
Santa Cruz de Tenerife	6,67	0,00	66,10
Santander	6,52	5,20	22,89
Albacete	6,58	20,78	49,07
Ciudad Real	6,55	18,45	60,70
Cuenca	6,55	25,47	40,92
Guadalajara	6,51	22,38	43,22
Toledo	6,58	14,51	71,11
Ávila	6,60	28,29	28,74
Burgos	6,53	35,95	21,63
León	6,56	27,49	29,03
Palencia	6,55	24,47	38,62
Salamanca	6,56	27,11	32,46
Segovia	6,52	29,62	33,58
Soria	6,55	32,87	29,67
Valladolid	6,54	27,28	37,88
Zamora	6,55	23,71	39,83
Barcelona	6,60	4,73	55,08
Girona	6,56	11,11	43,25
Lleida	6,55	18,12	61,30
Tarragona	6,61	5,58	68,86

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Alicante	6,65	2,88	70,59
Castellón	6,61	5,35	60,33
Valencia	6,61	5,28	59,30
Badajoz	6,60	7,26	70,17
Cáceres	6,56	9,46	70,70
A Coruña	6,53	3,69	20,69
Lugo	6,52	22,34	11,39
Ourense	6,47	13,99	41,13
Pontevedra	6,54	3,51	44,48
Madrid	6,52	17,27	51,48
Región de Murcia	6,61	4,47	64,72
Navarra C. Foral de	6,53	22,55	33,90
Gasteiz	6,50	27,27	17,65
Bilbao	6,41	9,34	21,49
Donostia	6,46	10,85	15,20
Logroño	6,52	18,68	40,61
Ceuta	6,62	2,68	52,23
Melilla	6,64	2,22	60,84
Mínimo	6,41	0,00	10,22
Máximo	6,67	35,95	83,53
Promedio	6,57	13,75	48,61

(Continuación)

Tabla 12. Resultados de la demanda energética para oficinas OF058

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,34	2,54	54,64
Cádiz	4,33	0,95	52,76
Córdoba	4,31	6,40	58,10
Granada	4,33	8,86	47,88
Huelva	4,33	2,03	55,47
Jaén	4,32	4,70	62,37
Málaga	4,33	2,73	50,08
Sevilla	4,31	3,37	62,29
Huesca	4,27	17,49	41,80
Teruel	4,28	23,50	27,39
Zaragoza	4,27	13,07	44,90
Oviedo	4,23	8,96	14,20
Palma de Mallorca	4,33	0,90	61,50
Las Palmas de G. C.	4,30	0,00	53,36
Santa Cruz de Tenerife	4,30	0,00	56,95
Santander	4,25	3,41	24,27
Albacete	4,30	17,54	39,83
Ciudad Real	4,29	15,25	47,63
Cuenca	4,28	21,68	33,81
Guadalajara	4,24	18,36	36,45
Toledo	4,28	11,72	54,25
Ávila	4,31	24,92	24,66
Burgos	4,25	30,84	20,12

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
León	4,29	24,01	25,11
Palencia	4,27	20,93	31,71
Salamanca	4,29	23,22	28,59
Segovia	4,25	25,02	28,96
Soria	4,26	28,43	25,24
Valladolid	4,26	22,79	31,69
Zamora	4,28	20,02	33,43
Barcelona	4,31	3,63	45,46
Girona	4,27	9,16	37,00
Lleida	4,26	14,95	48,62
Tarragona	4,30	3,74	54,85
Alicante	4,33	1,85	57,64
Castellón	4,32	3,77	49,71
Valencia	4,32	3,55	49,38
Badajoz	4,30	5,48	54,71
Cáceres	4,29	7,30	54,53
A Coruña	4,28	2,38	22,09
Lugo	4,24	18,33	13,78
Ourense	4,20	10,84	35,23
Pontevedra	4,27	2,38	37,43
Madrid	4,25	14,02	42,07
Región de Murcia	4,31	2,88	53,27
Navarra C. Foral de	4,26	18,84	29,12
Gasteiz	4,23	22,80	18,21

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Bilbao	4,17	6,78	23,88
Donostia	4,21	8,29	18,96
Logroño	4,25	15,23	34,29
Ceuta	4,34	1,45	42,74
Melilla	4,32	0,97	51,33
Mínimo	4,17	0,00	13,78
Máximo	4,34	30,84	62,37
Promedio	4,28	11,20	40,46

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Las Palmas de G. C.	4,40	0,00	57,28
Santa Cruz de Tenerife	4,41	0,00	62,09
Santander	4,31	4,39	29,75
Albacete	4,39	19,50	46,18
Ciudad Real	4,36	17,23	54,98
Cuenca	4,36	24,12	39,95
Guadalajara	4,31	21,18	42,15
Toledo	4,37	13,42	62,24
Ávila	4,39	26,83	30,60
Burgos	4,31	34,54	25,40
León	4,36	26,12	31,19
Palencia	4,35	23,12	39,21
Salamanca	4,37	25,68	34,44
Segovia	4,32	28,17	34,43
Soria	4,33	31,47	31,16
Valladolid	4,33	25,98	37,77
Zamora	4,35	22,41	39,96
Barcelona	4,41	3,99	53,34
Girona	4,36	10,00	43,47
Lleida	4,35	17,02	56,52
Tarragona	4,39	4,91	61,85
Alicante	4,43	2,47	63,88
Castellón	4,40	4,73	55,78
Valencia	4,41	4,62	55,33

Tabla 13. Resultados de la demanda energética para oficinas OF084

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,43	3,98	58,87
Cádiz	4,44	1,61	57,41
Córdoba	4,40	8,19	65,04
Granada	4,42	9,64	55,66
Huelva	4,42	2,83	62,08
Jaén	4,42	5,38	71,25
Málaga	4,42	4,24	54,87
Sevilla	4,41	4,45	69,80
Huesca	4,36	19,50	49,31
Teruel	4,35	25,97	32,54
Zaragoza	4,34	15,05	51,92
Oviedo	4,29	10,33	17,41
Palma de Mallorca	4,42	1,38	68,54

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Badajoz	4,38	6,49	62,85
Cáceres	4,37	8,61	62,51
A Coruña	4,34	3,06	27,93
Lugo	4,30	21,05	17,51
Ourense	4,27	12,97	41,63
Pontevedra	4,33	2,88	46,28
Madrid	4,33	16,12	48,66
Región de Murcia	4,40	3,84	58,81
Navarra C. Foral de	4,32	21,25	35,60
Gasteiz	4,29	25,91	22,66
Bilbao	4,21	8,37	28,30
Donostia	4,26	9,77	23,36
Logroño	4,32	17,50	40,40
Ceuta	4,42	2,19	46,55
Melilla	4,41	1,86	55,21
Mínimo	4,21	0,00	17,41
Máximo	4,44	34,54	71,25
Promedio	4,36	12,81	46,57

Tabla 14. Resultados de la demanda energética para oficinas OF088

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,16	2,14	56,73
Cádiz	4,16	0,74	55,05
Córdoba	4,13	5,66	60,43
Granada	4,14	7,82	50,31
Huelva	4,14	1,68	58,04
Jaén	4,14	3,95	64,99
Málaga	4,15	2,23	52,30
Sevilla	4,12	2,86	64,81
Huesca	4,09	16,23	44,08
Teruel	4,09	21,98	29,23
Zaragoza	4,08	11,93	47,28
Oviedo	4,05	7,83	15,91
Palma de Mallorca	4,15	0,64	63,92
Las Palmas de G. C.	4,12	0,00	55,82
Santa Cruz de Tenerife	4,13	0,00	59,59
Santander	4,06	2,65	26,61
Albacete	4,11	16,20	41,97
Ciudad Real	4,09	13,97	49,90
Cuenca	4,09	20,24	35,80
Guadalajara	4,05	17,08	38,56
Toledo	4,10	10,59	56,71
Ávila	4,11	23,36	26,49
Burgos	4,06	29,30	21,85

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
León	4,10	22,55	26,97
Palencia	4,09	19,49	33,96
Salamanca	4,10	21,69	30,60
Segovia	4,07	23,45	30,91
Soria	4,07	26,92	27,02
Valladolid	4,08	21,39	33,66
Zamora	4,09	18,62	35,58
Barcelona	4,13	2,92	48,06
Girona	4,10	8,05	39,36
Lleida	4,09	13,79	51,13
Tarragona	4,12	3,10	57,31
Alicante	4,15	1,53	60,05
Castellón	4,13	3,22	52,00
Valencia	4,14	2,93	51,71
Badajoz	4,11	4,75	57,34
Cáceres	4,10	6,42	57,04
A Coruña	4,08	1,82	24,49
Lugo	4,04	16,95	15,36
Ourense	4,02	9,77	37,59
Pontevedra	4,08	1,79	40,34
Madrid	4,06	12,80	44,37
Región de Murcia	4,13	2,32	55,50
Navarra C. Foral de	4,07	17,46	31,25
Gasteiz	4,04	21,32	19,95

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Bilbao	3,98	5,83	26,04
Donostia	4,03	7,18	21,07
Logroño	4,07	13,98	36,45
Ceuta	4,15	1,06	44,48
Melilla	4,14	0,71	53,36
Mínimo	3,98	0,00	15,36
Máximo	4,16	29,30	64,99
Promedio	4,10	10,25	42,68

Tabla 15. Resultados de la demanda energética para oficinas OF128

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,02	1,93	57,94
Cádiz	4,03	0,65	56,38
Córdoba	3,99	5,27	61,79
Granada	4,01	7,26	51,74
Huelva	4,00	1,50	59,53
Jaén	4,00	3,55	66,52
Málaga	4,01	1,97	53,59
Sevilla	3,99	2,59	66,27
Huesca	3,96	15,52	45,41
Teruel	3,95	21,13	30,32
Zaragoza	3,94	11,30	48,67
Oviedo	3,91	7,23	16,95
Palma de Mallorca	4,01	0,52	65,34

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Las Palmas de G. C.	4,01	0,00	57,24
Santa Cruz de Tenerife	4,01	0,00	61,11
Santander	3,92	2,27	27,99
Albacete	3,97	15,45	43,22
Ciudad Real	3,95	13,26	51,22
Cuenca	3,96	19,43	36,97
Guadalajara	3,92	16,36	39,81
Toledo	3,96	9,97	58,16
Ávila	3,98	22,48	27,57
Burgos	3,93	28,43	22,87
León	3,97	21,73	28,08
Palencia	3,96	18,68	35,28
Salamanca	3,97	20,83	31,79
Segovia	3,92	22,56	32,07
Soria	3,95	26,06	28,08
Valladolid	3,95	20,60	34,82
Zamora	3,96	17,85	36,85
Barcelona	4,00	2,55	49,60
Girona	3,96	7,44	40,73
Lleida	3,95	13,14	52,61
Tarragona	3,99	2,77	58,74
Alicante	4,02	1,36	61,46
Castellón	4,00	2,94	53,34
Valencia	4,00	2,61	53,08

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Badajoz	3,98	4,36	58,88
Cáceres	3,96	5,95	58,51
A Coruña	3,94	1,54	25,91
Lugo	3,91	16,18	16,32
Ourense	3,89	9,18	38,98
Pontevedra	3,94	1,49	42,05
Madrid	3,93	12,13	45,73
Región de Murcia	4,00	2,04	56,81
Navarra C. Foral de	3,93	16,69	32,52
Gasteiz	3,91	20,49	21,00
Bilbao	3,84	5,30	27,31
Donostia	3,89	6,57	22,33
Logroño	3,93	13,29	37,73
Ceuta	4,02	0,88	45,57
Melilla	4,02	0,58	54,55
Mínimo	3,84	0,00	16,32
Máximo	4,03	28,43	66,52
Promedio	3,96	9,73	43,99

(Continuación)

1.3.2 Hospitales

Tabla 16. Resultados de la demanda energética para hospitales H0033

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,89	2,07	77,43
Cádiz	4,89	1,03	67,94
Córdoba	4,88	10,00	73,81
Granada	4,89	18,66	54,88
Huelva	4,89	3,57	68,58
Jaén	4,88	9,93	78,27
Málaga	4,90	2,78	64,79
Sevilla	4,88	5,63	79,34
Huesca	4,86	30,35	42,39
Teruel	4,87	40,80	26,40
Zaragoza	4,85	21,97	49,69
Oviedo	4,85	20,58	8,76
Palma de Mallorca	4,90	2,58	74,36
Las Palmas de G. C.	4,87	0,03	69,28
Santa Cruz de Tenerife	4,86	0,03	73,29
Santander	4,86	10,07	16,49
Albacete	4,88	29,97	44,23
Ciudad Real	4,87	25,99	53,96
Cuenca	4,86	37,52	33,71
Guadalajara	4,84	29,76	39,70
Toledo	4,85	20,89	67,13
Ávila	4,90	49,19	17,69

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Burgos	4,87	55,02	12,85
León	4,89	46,43	18,13
Palencia	4,87	38,23	24,86
Salamanca	4,88	40,07	26,47
Segovia	4,85	41,38	27,98
Soria	4,87	52,10	18,73
Valladolid	4,85	37,11	30,84
Zamora	4,87	34,27	32,18
Barcelona	4,89	10,37	44,93
Girona	4,86	20,85	36,70
Lleida	4,85	24,71	53,60
Tarragona	4,87	7,66	63,05
Alicante	4,89	3,30	72,44
Castellón	4,90	7,59	56,51
Valencia	4,89	7,41	56,15
Badajoz	4,86	10,91	66,42
Cáceres	4,85	13,75	67,00
A Coruña	4,90	7,52	13,44
Lugo	4,86	32,28	7,99
Ourense	4,81	20,91	34,35
Pontevedra	4,87	8,15	29,17
Madrid	4,85	23,58	46,36
Región de Murcia	4,89	6,16	64,00
Navarra C. Foral de	4,86	34,04	23,27

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Gasteiz	4,85	38,97	12,23
Bilbao	4,81	15,35	18,53
Donostia	4,85	19,17	11,86
Logroño	4,85	26,42	33,90
Ceuta	4,91	3,80	52,09
Melilla	4,89	2,07	77,43
Mínimo	4,81	0,03	7,99
Máximo	4,91	55,02	79,34
Promedio	4,87	20,42	44,33

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Palma de Mallorca	4,46	0,30	73,37
Las Palmas de G. C.	4,45	0,03	72,22
Santa Cruz de Tenerife	4,45	0,03	73,91
Santander	4,44	2,65	19,45
Albacete	4,44	18,93	42,35
Ciudad Real	4,44	15,26	51,06
Cuenca	4,44	23,82	32,79
Guadalajara	4,43	17,46	38,96
Toledo	4,43	11,25	61,61
Ávila	4,45	32,30	18,10
Burgos	4,44	35,30	13,57
León	4,45	30,03	18,57
Palencia	4,44	24,00	24,44
Salamanca	4,44	25,86	25,92
Segovia	4,43	26,00	27,68
Soria	4,44	33,70	18,98
Valladolid	4,44	22,71	29,79
Zamora	4,44	21,21	31,17
Barcelona	4,45	4,26	43,89
Girona	4,44	11,00	36,87
Lleida	4,44	14,58	50,84
Tarragona	4,45	2,01	62,24
Alicante	4,46	0,82	70,97
Castellón	4,46	2,65	56,77

Tabla 17. Resultados de la demanda energética para hospitales H0075

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,46	0,26	75,63
Cádiz	4,46	0,12	68,11
Córdoba	4,45	3,62	70,41
Granada	4,45	10,33	51,06
Huelva	4,45	0,74	67,15
Jaén	4,45	4,41	71,62
Málaga	4,46	0,24	64,41
Sevilla	4,45	1,51	75,52
Huesca	4,44	18,68	40,63
Teruel	4,44	26,53	26,33
Zaragoza	4,43	12,26	47,87
Oviedo	4,44	9,32	11,85

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Valencia	4,46	1,93	56,71
Badajoz	4,44	4,69	61,61
Cáceres	4,44	6,42	62,01
A Coruña	4,45	1,59	15,72
Lugo	4,44	18,24	9,62
Ourense	4,42	9,57	34,55
Pontevedra	4,44	2,19	29,38
Madrid	4,43	13,19	44,99
Región de Murcia	4,46	1,34	65,28
Navarra C. Foral de	4,44	20,37	23,87
Gasteiz	4,44	23,45	13,73
Bilbao	4,41	5,61	22,31
Donostia	4,43	8,06	15,13
Logroño	4,43	14,84	33,59
Ceuta	4,47	0,39	53,37
Melilla	4,46	0,09	68,94
Mínimo	4,41	0,03	9,62
Máximo	4,47	35,30	75,63
Promedio	4,44	11,46	43,79

Tabla 18. Resultados de la demanda energética para hospitales H0078

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	4,42	0,20	74,47
Cádiz	4,42	0,10	67,09
Córdoba	4,41	3,27	69,18
Granada	4,41	9,94	49,84
Huelva	4,41	0,61	66,02
Jaén	4,41	4,15	69,91
Málaga	4,42	0,20	63,42
Sevilla	4,41	1,32	74,17
Huesca	4,40	18,01	39,73
Teruel	4,40	25,68	25,81
Zaragoza	4,39	11,70	46,91
Oviedo	4,40	8,63	11,81
Palma de Mallorca	4,42	0,26	72,39
Las Palmas de G. C.	4,41	0,03	71,55
Santa Cruz de Tenerife	4,41	0,03	72,89
Santander	4,40	2,29	19,16
Albacete	4,40	18,34	41,48
Ciudad Real	4,40	14,68	50,00
Cuenca	4,40	23,00	32,10
Guadalajara	4,39	16,70	38,23
Toledo	4,39	10,72	60,15
Ávila	4,41	31,16	17,72
Burgos	4,40	33,83	13,29

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
León	4,40	28,91	18,20
Palencia	4,40	23,11	23,83
Salamanca	4,40	25,02	25,30
Segovia	4,39	25,02	27,10
Soria	4,40	32,37	18,60
Valladolid	4,40	21,78	29,10
Zamora	4,40	20,44	30,43
Barcelona	4,41	3,95	42,99
Girona	4,40	10,47	36,18
Lleida	4,40	14,01	49,73
Tarragona	4,41	1,74	61,29
Alicante	4,42	0,72	69,91
Castellón	4,42	2,40	56,04
Valencia	4,42	1,68	56,00
Badajoz	4,40	4,37	60,16
Cáceres	4,40	6,02	60,59
A Coruña	4,40	1,32	15,42
Lugo	4,40	17,32	9,47
Ourense	4,38	8,81	33,90
Pontevedra	4,40	1,89	28,65
Madrid	4,39	12,59	44,13
Región de Murcia	4,42	1,13	64,66
Navarra C. Foral de	4,40	19,50	23,40
Gasteiz	4,40	22,41	13,49

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Bilbao	4,37	5,02	22,18
Donostia	4,39	7,36	15,01
Logroño	4,39	14,13	32,94
Ceuta	4,43	0,30	53,04
Melilla	4,42	0,09	68,25
Mínimo	4,37	0,03	9,47
Máximo	4,43	33,83	74,47
Promedio	4,40	10,94	43,03

1.3.3 Centros comerciales

Tabla 19. Resultados de la demanda energética para centros comerciales CC010

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	1,44	11,08	31,83
Cádiz	1,44	10,54	25,32
Córdoba	1,44	22,41	34,25
Granada	1,44	35,29	22,08
Huelva	1,45	12,42	23,73
Jaén	1,44	28,46	32,05
Málaga	1,45	13,06	22,55
Sevilla	1,44	16,77	34,91
Huesca	1,44	51,98	12,31
Teruel	1,44	59,16	7,41
Zaragoza	1,44	41,74	16,99

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Oviedo	1,44	38,96	6,13
Palma de Mallorca	1,44	14,87	33,07
Las Palmas de G. C.	1,44	0,26	23,65
Santa Cruz de Tenerife	1,44	0,05	21,37
Santander	1,44	28,73	6,06
Albacete	1,44	49,26	16,53
Ciudad Real	1,44	45,26	22,12
Cuenca	1,44	55,91	10,88
Guadalajara	1,44	48,43	14,31
Toledo	1,44	38,36	27,13
Ávila	1,44	66,63	2,74
Burgos	1,43	67,84	1,88
León	1,44	62,51	3,72
Palencia	1,43	59,83	4,49
Salamanca	1,44	59,94	6,31
Segovia	1,43	62,26	6,99
Soria	1,43	65,96	4,18
Valladolid	1,44	54,85	8,97
Zamora	1,43	55,02	8,90
Barcelona	1,44	28,32	14,33
Girona	1,44	37,63	10,93
Lleida	1,44	44,91	17,98
Tarragona	1,44	20,86	23,36
Alicante	1,44	13,04	31,29

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Castellón	1,44	20,15	22,22
Valencia	1,44	19,42	21,01
Badajoz	1,44	26,48	26,69
Cáceres	1,44	31,72	25,62
A Coruña	1,44	25,61	7,79
Lugo	1,43	50,61	3,28
Ourense	1,43	35,61	10,38
Pontevedra	1,44	24,63	4,46
Madrid	1,43	45,21	15,52
Región de Murcia	1,44	17,88	31,96
Navarra C. Foral de	1,44	53,14	4,39
Gasteiz	1,43	57,71	1,46
Bilbao	1,43	30,76	5,30
Donostia	1,43	40,01	11,06
Logroño	1,43	46,95	9,57
Ceuta	1,44	17,78	49,74
Melilla	1,44	9,12	28,95
Mínimo	1,43	0,05	1,46
Máximo	1,45	67,84	49,74
Promedio	1,44	36,07	16,73

(Continuación)

Tabla 20. Resultados de la demanda energética para centros comerciales CC015

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	1,33	10,71	31,53
Cádiz	1,33	10,17	25,13
Córdoba	1,32	21,72	33,81
Granada	1,33	34,61	21,81
Huelva	1,33	12,01	23,38
Jaén	1,32	27,92	31,54
Málaga	1,33	12,62	22,32
Sevilla	1,32	16,25	34,44
Huesca	1,32	51,04	12,10
Teruel	1,33	58,06	7,34
Zaragoza	1,32	40,92	16,73
Oviedo	1,32	38,04	6,07
Palma de Mallorca	1,32	14,37	32,83
Las Palmas de G. C.	1,33	0,25	23,51
Santa Cruz de Tenerife	1,33	0,05	21,11
Santander	1,32	28,03	6,06
Albacete	1,33	48,36	16,30
Ciudad Real	1,32	44,40	21,79
Cuenca	1,33	54,86	10,74
Guadalajara	1,32	47,46	14,13
Toledo	1,32	37,58	26,71
Ávila	1,33	69,49	2,38
Burgos	1,33	70,66	1,61

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
León	1,33	65,31	3,34
Palencia	1,33	58,74	4,41
Salamanca	1,33	58,85	6,23
Segovia	1,33	61,10	6,89
Soria	1,31	68,81	3,76
Valladolid	1,33	53,75	8,85
Zamora	1,33	53,99	8,77
Barcelona	1,32	27,79	14,27
Girona	1,32	36,90	10,86
Lleida	1,32	44,07	17,68
Tarragona	1,32	20,20	23,09
Alicante	1,33	12,64	31,03
Castellón	1,32	19,52	22,03
Valencia	1,32	18,79	20,87
Badajoz	1,32	25,92	26,33
Cáceres	1,32	31,06	25,22
A Coruña	1,32	24,96	7,79
Lugo	1,33	49,53	3,26
Ourense	1,32	34,80	10,33
Pontevedra	1,33	24,04	4,39
Madrid	1,32	44,32	15,28
Región de Murcia	1,33	17,28	31,79
Navarra C. Foral de	1,33	52,09	4,34
Gasteiz	1,33	56,56	1,45

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Bilbao	1,32	29,93	5,29
Donostia	1,31	39,10	11,01
Logroño	1,32	46,01	9,44
Ceuta	1,31	17,17	49,49
Melilla	1,33	8,78	28,75
Mínimo	1,31	0,05	1,45
Máximo	1,33	70,66	49,49
Promedio	1,32	35,61	16,53

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Palma de Mallorca	0,00	0,00	0,00
Las Palmas de G. C.	1,30	0,12	21,11
Santa Cruz de Tenerife	0,00	0,00	0,00
Santander	0,00	0,00	0,00
Albacete	0,00	0,00	0,00
Ciudad Real	0,00	0,00	0,00
Cuenca	0,00	0,00	0,00
Guadalajara	0,00	0,00	0,00
Toledo	0,00	0,00	0,00
Ávila	0,00	0,00	0,00
Burgos	0,00	0,00	0,00
León	0,00	0,00	0,00
Palencia	0,00	0,00	0,00
Salamanca	0,00	0,00	0,00
Segovia	0,00	0,00	0,00
Soria	0,00	0,00	0,00
Valladolid	0,00	0,00	0,00
Zamora	0,00	0,00	0,00
Barcelona	0,00	0,00	0,00
Girona	0,00	0,00	0,00
Lleida	0,00	0,00	0,00
Tarragona	0,00	0,00	0,00
Alicante	0,00	0,00	0,00
Castellón	0,00	0,00	0,00

Tabla 21. Resultados de la demanda energética para centros comerciales CC019 (únicamente aquellas provincias en que existen centros comerciales de superficie útil superior a 100.000 m²)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Almería	0,00	0,00	0,00
Cádiz	1,29	5,09	22,56
Córdoba	0,00	0,00	0,00
Granada	0,00	0,00	0,00
Huelva	0,00	0,00	0,00
Jaén	0,00	0,00	0,00
Málaga	0,00	0,00	0,00
Sevilla	0,00	0,00	0,00
Huesca	0,00	0,00	0,00
Teruel	1,29	29,03	6,57
Zaragoza	1,29	20,46	14,96
Oviedo	0,00	0,00	0,00

(Continuación)

Provincia	ACS kWh/m ²	CAL kWh/m ²	REF kWh/m ²
Valencia	0,00	0,00	0,00
Badajoz	0,00	0,00	0,00
Cáceres	0,00	0,00	0,00
A Coruña	0,00	0,00	0,00
Lugo	0,00	0,00	0,00
Ourense	0,00	0,00	0,00
Pontevedra	0,00	0,00	0,00
Madrid	1,29	22,6	13,66
Región de Murcia	0,00	0,00	0,00
Navarra C. Foral de	0,00	0,00	0,00
Gasteiz	0,00	0,00	0,00
Bilbao	0,00	0,00	0,00
Donostia	0,00	0,00	0,00
Logroño	0,00	0,00	0,00
Ceuta	0,00	0,00	0,00
Melilla	0,00	0,00	0,00
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Máximo	1,30	29,03	22,56
Promedio	0,12	1,48	1,52

R5. MODELIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN SOLAR

1 Sistemas de climatización solar modelizados

Con el fin de realizar los cálculos de simulación dinámica del comportamiento energético de los sistemas de climatización solar debe realizarse un modelo que contemple los elementos del sistema y los flujos de masa y energía entre ellos.

Los sistemas que se contemplan son los siguientes:

Sistemas existentes en el mercado

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos de alto rendimiento.
- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores de tubo de vacío.

Sistemas de prospección tecnológica

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de doble efecto con captadores cilindro-parabólicos de concentración.
- Ciclo abierto con desecante y refrigeración evaporativa.

La siguiente tabla resume la terminología utilizada para los distintos sistemas a lo largo del proyecto.

Tabla 1. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Refrigeración ciclo cerrado		Refrigeración ciclo abierto
	Absorción simple efecto	Absorción doble efecto	
Captador plano selectivo	AB1FPC	-	DECFPC
Captador tubo de vacío	AB1ETC	-	-
Cilindro-parabólico	-	AB2PTC	-

En las siguientes figuras se muestran los componentes de cada uno de ellos.

Figura 1. Ciclo cerrado con máquina de absorción (simple o doble efecto) y captadores planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro-parabólicos

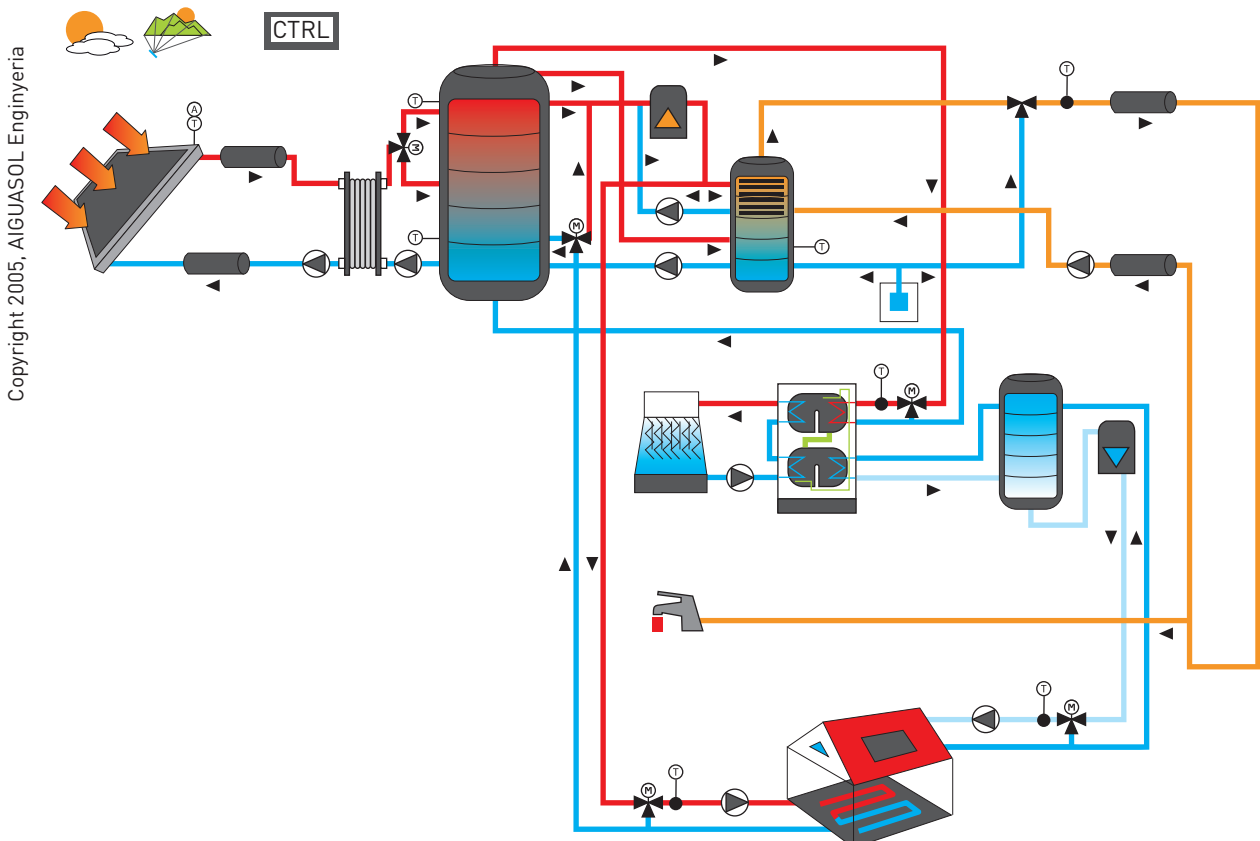
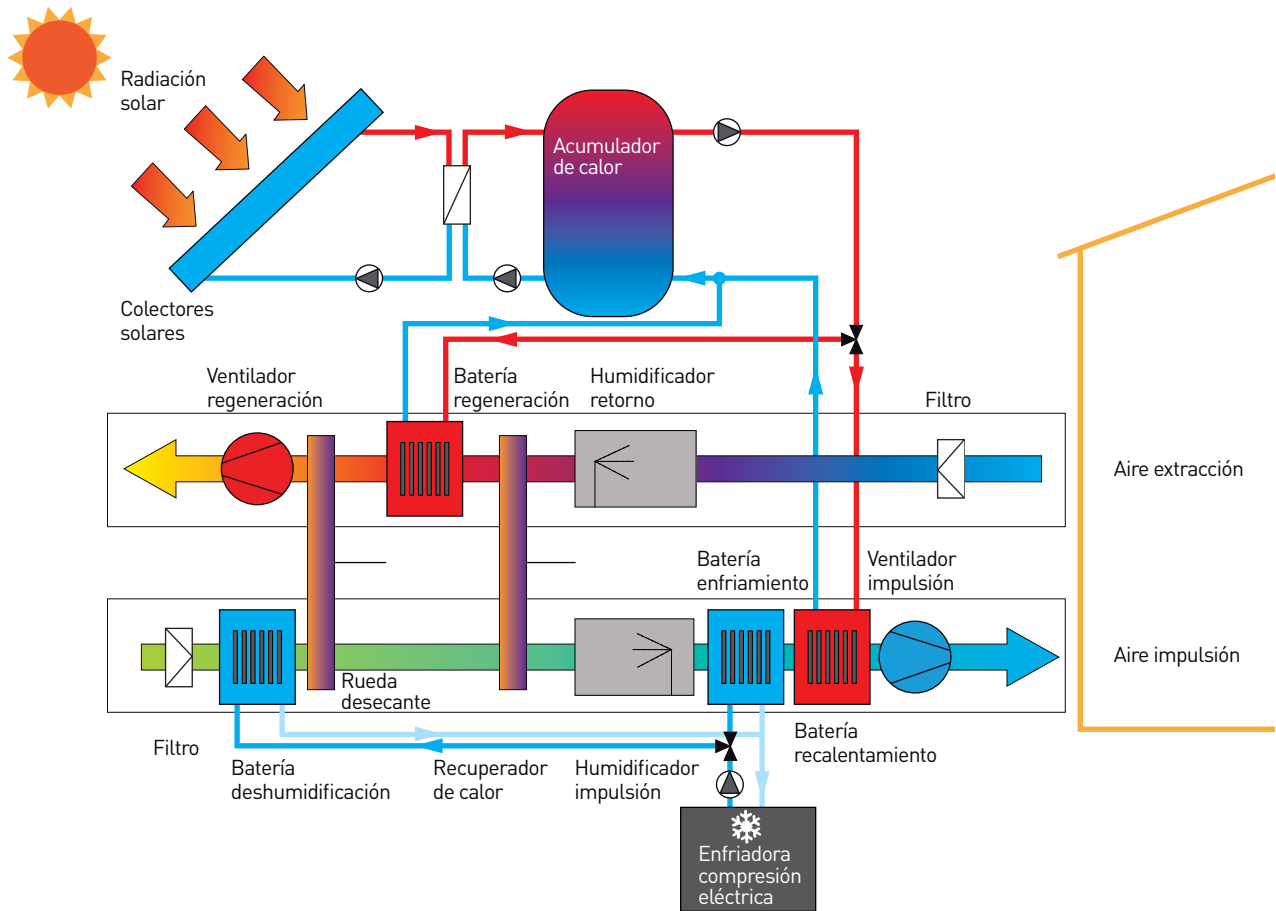


Figura 2. Ciclo abierto con desecante con refrigeración evaporativa



Los casos de DECFPC y AB2PTC se estudiarán sólo para el período temporal 2015-2020 y para el sector terciario. Aunque estos sistemas presentan algunas aplicaciones de plantas piloto alrededor del mundo, el estado del mercado para ellos está más inmaduro que en el caso de absorción de simple efecto. Por tanto, se considerarán casos de prospección tecnológica, de aplicación en la segunda mitad de la década de análisis. Además, por los requisitos del sistema (grandes espacios o unidades de tratamiento de aire centralizadas en el edificio)

se realizará el estudio únicamente para el sector terciario.

El documento se estructura con una explicación para cada sistema de:

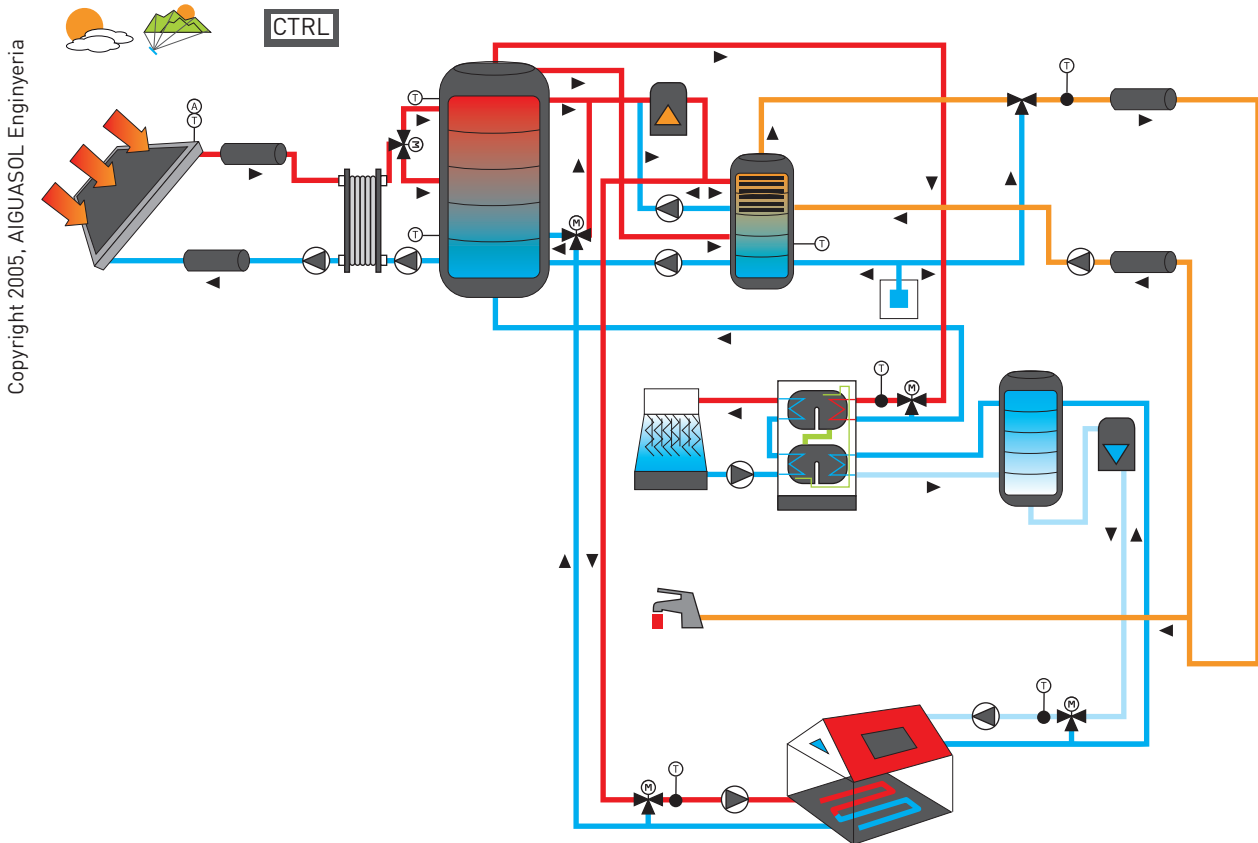
- Listado de elementos principales.
- Descripción de las conexiones hidráulicas.
- Descripción del funcionamiento y estrategia de control.
- Descripción de los parámetros resultantes.
- Valores y correlaciones de diseño.

2 Modelos de ciclo cerrado-absorción

2.1 ELEMENTOS PRINCIPALES

El esquema de principio para los sistemas de ciclo cerrado basados en enfriadora térmica de absorción de bromuro de litio alimentada por energía solar obtenida mediante captadores solares térmicos de agua, es el siguiente.

Figura 3. Ciclo cerrado con máquina de absorción (simple o doble efecto) y captadores planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro-parabólicos



Los elementos principales que componen el sistema son los siguientes:

- Captadores solares térmicos.
- Intercambiador de calor.
- Acumulador de calor solar.
- Acumulador de calor para agua caliente sanitaria.
- Caldera de apoyo de gas natural.
- Máquina de absorción.
- Torre de refrigeración.
- Tanque de acumulación de agua fría.
- Enfriadora de compresión eléctrica de apoyo.
- Equipos de bombeo:
 - Equipo de bombeo del circuito primario solar.
 - Equipo de bombeo del circuito secundario.
 - Equipo de bombeo entre la caldera y el tanque

ACS.

- Equipo de bombeo entre el tanque solar y el tanque ACS.
- Equipo de bombeo entre el tanque de acumulación solar y el generador de la máquina de absorción.
- Equipo de bombeo entre la máquina de absorción y la torre de refrigeración.
- Equipo de bombeo entre la máquina de absorción y el tanque de acumulación de frío.
- Equipo de bombeo de la distribución de ACS.
- Equipo de bombeo de la distribución de calefacción.
- Equipo de bombeo de la distribución de refrigeración.

- Válvulas de tres vías:
 - Mezcladora del circuito de refrigeración.
 - Mezcladora del circuito de calefacción.
 - Tuberías de conexión entre equipos.
- Otros equipos auxiliares de valvulería y regulación y control.

En base a esta configuración se plantean tres opciones diferentes, aunque para todas ellas el planteamiento respecto a las conexiones hidráulicas y la regulación y el control es el mismo. Estas opciones se basan en las diferencias entre:

- Captadores solares térmicos: se analizan tres tipologías:
 - Captadores planos selectivos.
 - Captadores de tubo de vacío.
 - Captadores cilindro-parabólicos de seguimiento.
- Máquina de absorción de bromuro de litio:
 - Simple efecto.
 - Doble efecto.

De las combinaciones entre estos elementos resultan los tres casos de análisis:

Sistemas existentes en el mercado

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos de alto rendimiento (AB1FPC).
- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores de tubo de vacío (AB1ETC).

Sistemas de prospección tecnológica

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de doble efecto con captadores cilindro-parabólicos de concentración (AB2PTC).

La descripción de las características técnicas y el funcionamiento de cada elemento del sistema se excluyen de este documento y se presentan en el documento *R2. Estado del arte de la climatización solar*.

2.2 CONEXIONES HIDRÁULICAS

Esta configuración está diseñada para cubrir las demandas térmicas de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y refrigeración.

El calor captado de la radiación solar en el campo de captadores se transfiere al tanque de

acumulación mediante un intercambiador. La máquina de absorción o el sub-sistema de calefacción y agua caliente sanitaria son alimentados con energía solar térmica procedente del tanque de acumulación solar.

La máquina de absorción está conectada al tanque de acumulación de agua fría. Una enfriadora eléctrica de compresión se conecta en serie con la máquina de absorción y actúa como apoyo a la producción de refrigeración. La máquina de absorción es activada exclusivamente con energía solar.

Existe también una caldera de gas natural como sistema de apoyo para la calefacción y el agua caliente sanitaria de origen solar.

El sistema solar abastece de calor (calefacción/ACS) o de frío (refrigeración para aire acondicionado) dependiendo de la época del año. Los periodos del año en que el sistema opera bajo uno u otro modo son determinados como condición de diseño y dependen de las características del perfil de demanda.

2.2.1 Circuito primario solar

El campo solar contiene el campo de captadores solares (planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro-parabólicos de seguimiento) unidos mediante un circuito de tuberías de ida y retorno. Un equipo de bombeo de caudal fijo permite la circulación del agua entre el campo de captadores y el intercambiador de calor. Éste es a contracorriente y de rendimiento variable.

En el modelo no se incluyen elementos de sombra externos, y se estima nula entre captadores.

El caudal en el circuito primario se define como una función de la configuración elegida y del caudal en el campo de captadores solares.

El modelo TRNSYS utilizado para el captador solar es:

- TYPE 539, para captadores planos selectivos;
- TYPE 538, para captadores de tubo de vacío, y
- TYPE 536, para cilindro-parabólicos.

El modelo TRNSYS utilizado para el intercambiador de calor es el TYPE 5.

2.2.2 Circuito secundario

El elemento principal de este circuito es el tanque de acumulación de agua caliente solar. Incluye las

conexiones al generador¹ de la máquina de absorción y al circuito de calefacción y ACS.

Existe un tanque de menores dimensiones de acumulación de agua caliente solar para producción de ACS y calefacción y donde se conecta la caldera de apoyo.

Un equipo de bombeo permite la circulación de agua entre el intercambiador de calor y el tanque. Otro equipo de bombeo permite la circulación entre el tanque de acumulación solar y el pequeño tanque de la caldera. Un tercer equipo de bombeo impulsa el agua entre este tanque y la caldera.

El tanque de acumulación solar está estratificado y cuenta con diversos nodos de medida de temperatura y de entrada y salida de agua;

- Impulsión/retorno desde el intercambiador de calor solar.
- Impulsión/retorno hacia la caldera y retorno del circuito de calefacción solar.
- Impulsión/retorno con el tanque de acumulación de la caldera.
- Impulsión/retorno con el generador de la máquina de absorción.

El producto caudal por capacidad calorífica en el circuito secundario es igual al del circuito primario con el fin de optimizar la efectividad en el intercambiador de calor existente entre los dos circuitos.

El modelo TRNSYS utilizado para el tanque de acumulación solar es el TYPE 340.

2.2.3 El circuito de la máquina de absorción

Este circuito consiste en la máquina de absorción y sus conexiones con:

- El tanque de acumulación solar a nivel de generador.
- La torre de refrigeración, a nivel de absorbedor-condensador.
- El tanque de agua fría, a nivel de evaporador.

En todos estos circuitos el caudal es constante y existen los respectivos equipos de bombeo. Éstos estarán en marcha siempre que lo esté la máquina de absorción.

El modelo TRNSYS para la máquina de absorción es el TYPE 807 (Type107 optimizado). Este modelo consiste en una curva basada en los parámetros de operación de equipos comerciales YAZAKI.

El modelo TRNSYS para la máquina de absorción es el TYPE 807 (Type107 optimizado). Este modelo consiste en una curva basada en los parámetros de operación genéricos incorporado en las librerías TRNSYS por falta de información comercial detallada.

2.2.4 Circuito de disipación de calor de la máquina de absorción

Este circuito consiste básicamente en el modelo TRNSYS de la torre de refrigeración TYPE 51b de la librería estándar de componentes. La temperatura del agua de renovación es igual a la temperatura de agua de red para la provincia en cuestión según la normativa.

2.2.5 Circuito de apoyo al frío solar

El sistema de apoyo a la producción de refrigeración mediante energía solar (máquina de absorción) es una enfriadora de compresión eléctrica conectada en serie con la máquina de absorción. Opera con caudal constante y una temperatura de consigna para el agua fría producida de 7 °C.

El modelo TRNSYS utilizado es el TYPE 92.

2.2.6 Circuito de distribución de frío

El circuito de distribución del frío generado mediante el sistema descrito está compuesto por un tanque de acumulación de agua fría, una válvula de distribución del caudal de agua fría y la enfriadora eléctrica de compresión.

Con el propósito de no romper la estratificación en el tanque de acumulación de agua fría se ha implementado una válvula de tres vías a su entrada.

¹Ver documento R2 para detalles sobre la terminología referente a los componentes de los distintos equipos del sistema

Esta válvula determina si el caudal de agua de retorno circula a través del tanque o directamente hacia la máquina enfriadora de compresión eléctrica, dependiendo del valor de la temperatura de retorno y del valor de la temperatura en la parte inferior del tanque.

La enfriadora eléctrica de compresión extrae del agua de distribución de la refrigeración la energía excedente para alcanzar la temperatura de consigna (fijada a 7 °C como condición de diseño).

El caudal de distribución de la refrigeración también es constante y es función de la carga máxima de refrigeración. Por lo tanto, la temperatura de retorno del circuito de refrigeración varía en función de la carga de refrigeración a cada instante de tiempo.

La acumulación de agua fría permite producir agua fría si, aunque no haya demanda, existe energía solar disponible. Además permite separar el circuito de distribución de agua fría del circuito del evaporador de la máquina de absorción, disponiendo de este modo de dos caudales diferentes que garantizan el adecuado equilibrado hidráulico en cada uno de ellos.

El modelo TRNSYS para el tanque de acumulación de agua fría es el TYPE 340.

2.2.7 Circuito de calefacción/ ACS

Ambos circuitos tienen una estructura análoga (tuberías, intercambiador de calor y válvula termostática) y comparten un único sistema de apoyo, la caldera.

El acumulador solar transfiere energía a ambos circuitos cuando dispone de energía suficiente; al circuito de ACS, a través de un intercambiador que opera contra un acumulador auxiliar de ACS, y al circuito de calefacción, mediante una válvula que, en función de la temperatura en el acumulador solar, determina si la demanda de calefacción se alimenta desde el acumulador solar o la caldera. Por tanto, el sistema solar se halla en serie con el circuito de ACS y en paralelo con el circuito de calefacción. Una válvula termostática fija los valores de la temperatura de distribución para el ACS a 55°, y para la calefacción, de 45°. El sistema de calefacción funciona a caudal variable y se supone unas temperaturas de operación de 40° para la impulsión y 35° para el retorno (suelo radiante).

Para generar los perfiles de ACS en base horaria se han utilizado los perfiles en base diaria y mensual especificados en el DTIE, representados gráficamente a continuación:

Figura 4. Perfil diario de generación de las cargas de ACS

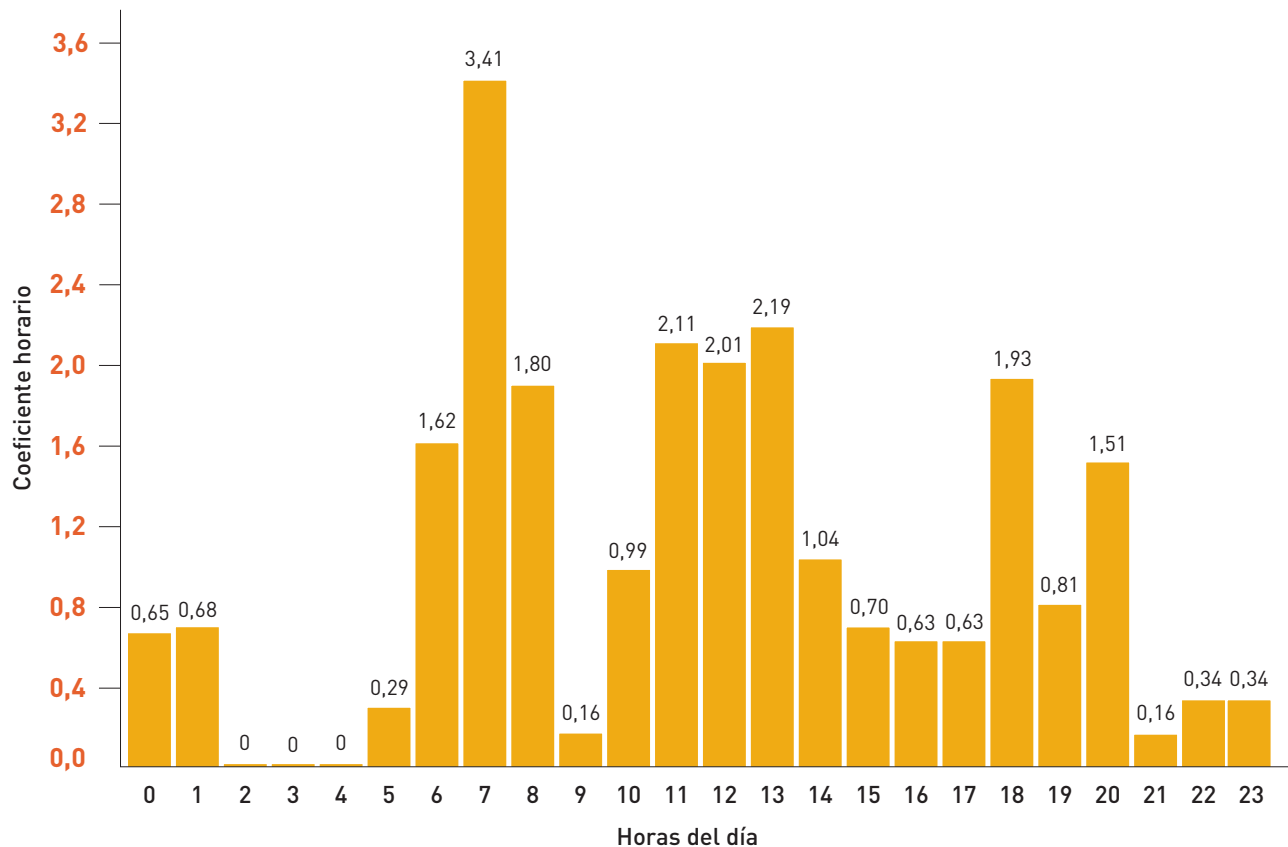
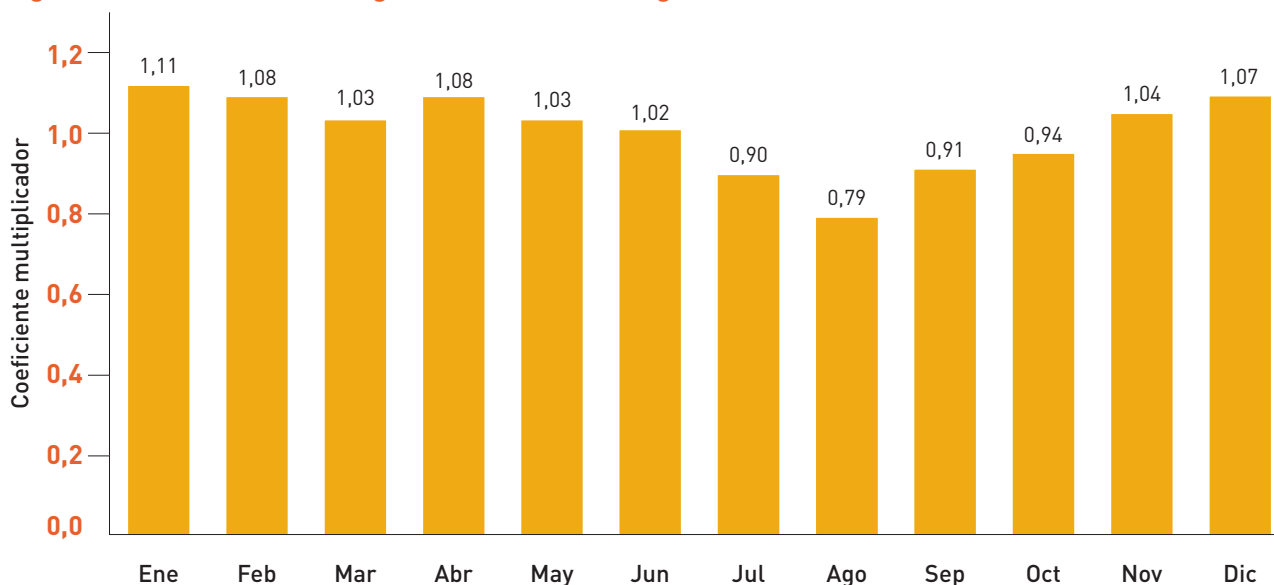


Figura 5. Perfil mensual de generación de las cargas de ACS



El consumo de ACS en litros para cada tipo de edificio modelado de acuerdo con el CTE-HE4 se muestra en el documento *R1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación*.

Para todos los casos la temperatura de servicio de ACS es 45 °C, y la temperatura de agua de la red es la que establece la norma UNE 94002 para cada una de las provincias españolas.

2.3 ESTRATEGIA DE CONTROL

El **control del circuito primario solar** actúa sobre el equipo de bombeo del circuito primario solar con dos condiciones que se deben alcanzar simultáneamente:

- Un control de radiación que activa la bomba a partir de 300 W/m² y la detiene a 250 W/m².
- Un control de temperatura basado en que la diferencia de temperatura entre la salida del campo solar y la parte baja del tanque de acumulación solar sea superior a 11 °C.

El **control del circuito secundario** actúa sobre la bomba del circuito secundario. Esta se activa cuando se alcanzan simultáneamente las condiciones siguientes:

- El circuito primario solar está activado.
- La diferencia de temperatura entre la salida del campo de captadores y la parte baja del tanque de

acumulación solar es superior a 11 °C. El equipo de bombeo se detiene cuando esta diferencia de temperatura desciende a 7 °C.

Un **control estacional** concede prioridad a alimentar el ACS y la calefacción frente a la refrigeración.

Un control horario activa el “modo verano” entre dos horas determinadas del año (por ejemplo, entre las 00:00 h del 1 de abril y las 23:59 h del 31 de octubre) y el resto del año el modo de operación se activa el “modo invierno”. Durante el “modo verano” la prioridad es suministrar refrigeración frente a ACS. Durante el “modo invierno” únicamente es posible suministrar calefacción y ACS, mediante el sistema de climatización solar.

El **control de la máquina de absorción** activa las bombas de los tres circuitos (generador, evaporador y absorbedor-condensador). La condición para poner en marcha la máquina de absorción y estas tres bombas es que la temperatura disponible en la parte superior del tanque de acumulación de calor sea de 85 °C (simple efecto) o 180 °C (doble efecto) y, para detener los equipos, sea de 75 °C (simple efecto) o 170 °C (doble efecto).

El **control de la enfriadora eléctrica de compresión** se pone en marcha para alcanzar la temperatura de consigna para la distribución de agua fría al edificio (7 °C). Ésta se mantendrá parada si ha sido posible obtener el enfriamiento mediante el calor solar únicamente.

2.4 RESULTADOS

Parámetros de caracterización del caso simulado

(incluyendo parámetros del sistema DEC)

Nombre	[]	Nombre del edificio
Tipo de SRS	[]	Tipo de sistema de refrigeración solar
Número	[]	Número de la simulación
Tipo de captador	[]	Tipo de captador
Coll.Area	m ²	Área de captación
Ab/adcoolmax	kW	Potencia del chiller de absorción
Decflowsup	m ³ /h	Valor máximo del caudal de impulsión del sistema desecante
Decflowreg	m ³ /h	Valor máximo del caudal de regeneración del sistema desecante
HeatStor.vol	m ³	Volumen de acumulación solar
ColdStor.vol	m ³	Volumen de acumulación agua enfriada
Pbackheatmax	kW	Potencia de la caldera auxiliar
CChcoolmax	kW	Potencia de la enfriadora eléctrica
CTrecoolmax	kW	Potencia de la torre de refrigeración
Pelmax	kW	Potencia eléctrica pico del sistema

Energías y consumo de agua

Qirr	kWh	Radiación total en la superficie de los captadores
Qsolar	kWh	Producción solar (entre la entrada y la salida del campo de captadores)
Qs_gen	kWh	Energía solar suministrada al generador de la máquina de absorción o al regenerador de la rueda desecante
Qs_heat	kWh	Energía solar aportada a la calefacción
Qs_dhw	kWh	Energía solar aportada al ACS
Qabd_gen	kWh	Energía consumida por el generador de la máquina de absorción
Qabd_ch	kWh	Producción de frío en la máquina de absorción
Qabd_rec	kWh	Energía disipada por la torre de refrigeración

(Continuación)

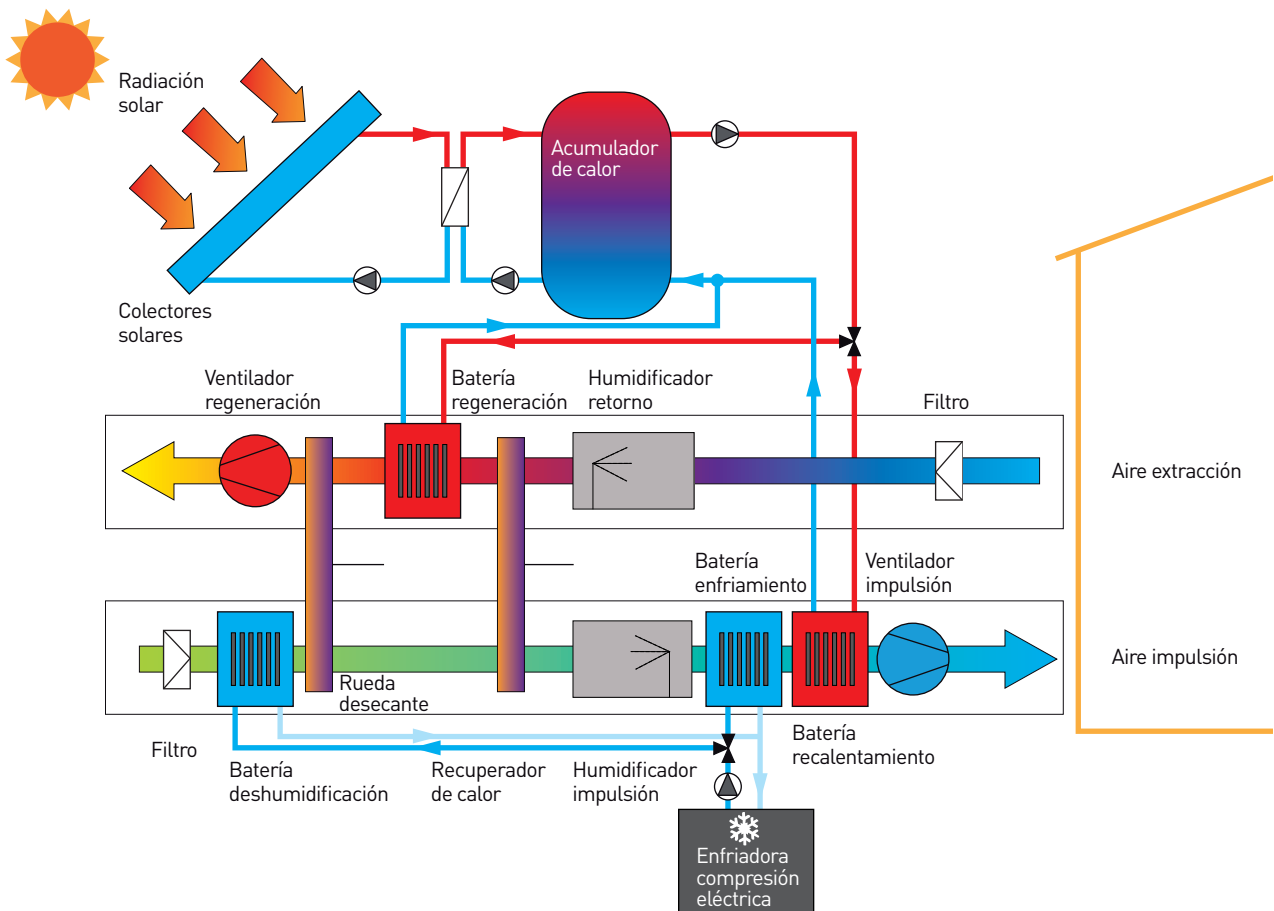
Qdec_cold	kWh	Diferencia entre entalpía ambiente y entalpía del aire de impulsión
Qdec_cool	kWh	Diferencia entre entalpía del aire de retorno e impulsión
Qthbkup_heatdhw	kWh	Producción térmica de la caldera para ACS y calefacción
Qcom_ch	kWh	Producción de frío en la compresora eléctrica
SFch	%	Fracción solar de frío
SFheat	%	Fracción solar de calefacción
SFdhw	%	Fracción solar de ACS
G	kWh	Consumo de gas
E_ps	kWh	Consumo eléctrico en las bombas de circulación
E_ct	kWh	Consumo eléctrico de los ventiladores de la torre de refrigeración
E_ch	kWh	Consumo eléctrico de la enfriadora eléctrica
E_vent	kWh	Consumo eléctrico de los ventiladores
E_total	kWh	Consumo eléctrico total
PE	kWh	Consumo de energía primaria
W_rec	m ³	Consumo de agua en la torre de refrigeración
W_hum	m ³	Consumo de agua en los humidificadores del sistema desecante
W_total	m ³	Consumo total de agua
PHEAT	kWh	Demanda de calefacción
PCOOL	kWh	Demanda de refrigeración
WWD	kWh	Demanda de ACS

3 Modelos de ciclo abierto-deseccación

3.1 ELEMENTOS PRINCIPALES

El esquema de principio para los sistemas de ciclo abierto basados en rueda desecante con enfriamiento evaporativo y recuperación de calor es el siguiente.

Figura 6. Ciclo abierto con rueda desecante, captadores planos selectivos, recuperación de calor sensible y enfriamiento evaporativo directo e indirecto



Los elementos principales que componen el sistema son los siguientes:

- Captadores solares térmicos.
- Intercambiador de calor.
- Tanque de acumulación de calor solar.
- Tanque de acumulación de calor para agua caliente sanitaria.
- Caldera de apoyo de gas natural.
- Enfriadora de compresión eléctrica de apoyo.
- Ventiladores de impulsión y retorno.
- Humidificadores de impulsión y retorno.
- Intercambiador entálpico rotatorio aire-aire (rueda desecante).
- Intercambiador sensible rotatorio aire-aire.
- Baterías de frío y calor.
- Batería de regeneración.

- Equipos de bombeo:
 - Equipo de bombeo del circuito primario solar.
 - Equipo de bombeo del circuito secundario.
 - Equipo de bombeo entre la caldera y el tanque ACS.
 - Equipo de bombeo entre el tanque solar y el tanque ACS.
 - Equipo de bombeo entre el tanque de acumulación solar y el regenerador de la unidad de tratamiento de aire.
 - Equipo de bombeo entre el tanque de acumulación solar y la batería de calor de la unidad de tratamiento de aire.
 - Equipo de bombeo entre la máquina de absorción y el tanque de acumulación Equipo de bombeo de la distribución de ACS.

- Válvulas de tres vías:
 - Mezcladora de la batería de frío.
 - Mezcladora de la batería de calor.
 - Mezcladora de la batería de regeneración.
 - Tuberías de conexión entre equipos.
- Otros equipos auxiliares de valvulería y regulación y control.

La descripción de las características técnicas y el funcionamiento de cada elemento del sistema se excluyen de este documento y se presentan en el documento R2. Estado del arte de la climatización solar.

3.2 CONEXIONES HIDRÁULICAS

Esta configuración está diseñada para cubrir las demandas térmicas de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y refrigeración, las dos últimas, mediante pretratamiento del aire de ventilación establecido por la normativa.

El calor captado de la radiación solar en el campo de captadores se transfiere al tanque de acumulación mediante un intercambiador. Las baterías de regeneración y calefacción, así como el acumulador de preparación del agua caliente sanitaria son alimentadas con energía solar térmica procedente del tanque de acumulación solar.

Existe también una caldera de gas natural como sistema de apoyo para la calefacción y el agua caliente sanitaria de origen solar, y una enfriadora eléctrica como sistema de apoyo a la refrigeración.

3.2.1 Circuito primario solar

El campo solar contiene el campo de captadores solares planos selectivos unidos mediante un circuito de tuberías de ida y retorno. Un equipo de bombeo de caudal fijo permite la circulación del agua entre el campo de captadores y el intercambiador de calor. Éste es a contracorriente y de rendimiento variable.

En el modelo no se incluyen elementos de sombra externos, y se estima nula entre captadores.

El caudal en el circuito primario se define como una función de la configuración elegida y del caudal en el campo de captadores solares.

El modelo TRNSYS utilizado para el captador solar es el 539.

El modelo TRNSYS utilizado para el intercambiador de calor es el TYPE 5.

3.2.2 Circuito secundario

El elemento principal de este circuito es el tanque de acumulación de agua caliente solar. Incluye las conexiones a las baterías de regeneración y de calefacción y al circuito de ACS.

Existe un tanque de menores dimensiones de acumulación de agua caliente solar para producción de ACS donde se conecta la caldera de apoyo.

Un equipo de bombeo permite la circulación de agua entre el intercambiador de calor y el tanque. Otro equipo de bombeo permite la circulación entre el tanque de acumulación solar y el pequeño tanque de la caldera. Un tercer equipo de bombeo impulsa el agua entre este tanque y la batería de regeneración.

El tanque de acumulación solar está estratificado y cuenta con diversos nodos de medida de temperatura y de entrada y salida de agua;

- Impulsión/retorno desde el intercambiador de calor solar.
- Impulsión/retorno hacia la caldera y retorno del circuito de calefacción solar.
- Impulsión/retorno con el tanque de acumulación de ACS.
- Impulsión/retorno con la batería de calefacción.

El producto caudal por capacidad calorífica en el circuito secundario es igual al del circuito primario con el fin de optimizar la efectividad en el intercambiador de calor existente entre los dos circuitos.

El modelo TRNSYS utilizado para el tanque de acumulación solar es el TYPE 340.

3.2.3 El sistema de ventilación

Este circuito consiste en:

- Ventiladores de impulsión y retorno, que fijan el caudal de renovación del edificio según lo descrito en el documento R1-tipologías edificatorias.
- Intercambiador de calor entálpico.
- Intercambiador de calor sensible (recuperador de calor).
- Baterías de calefacción, refrigeración y regeneración.
- Humidificadores de impulsión y retorno.

3.2.4 Circuito de calefacción/ ACS

Ambos circuitos tienen una estructura análoga (tuberías, intercambiador de calor y válvula termostática) y comparten un único sistema de apoyo, la caldera.

El acumulador solar transfiere energía a ambos circuitos cuando dispone de energía suficiente; al circuito de ACS, a través de un intercambiador que opera contra un acumulador auxiliar de ACS, y al circuito de calefacción, mediante una válvula que, en función de la temperatura en el acumulador solar, determina si la demanda de calefacción

se alimenta desde el acumulador solar o la caldera. Por tanto, el sistema solar se halla en serie con el circuito de ACS y en paralelo con el circuito de calefacción.

Una válvula termostática fija los valores de la temperatura de distribución para el ACS a 55 °C, y para la calefacción, a 45 °C. El sistema de calefacción funciona a caudal variable y se supone unas temperaturas de operación de 40 °C para la impulsión y 35 °C para el retorno (suelo radiante).

Para generar los perfiles de ACS en base horaria se han utilizado los perfiles en base diaria y mensual especificados en el DTIE, representados gráficamente a continuación:

Figura 7. Perfil diario de generación de las cargas de ACS

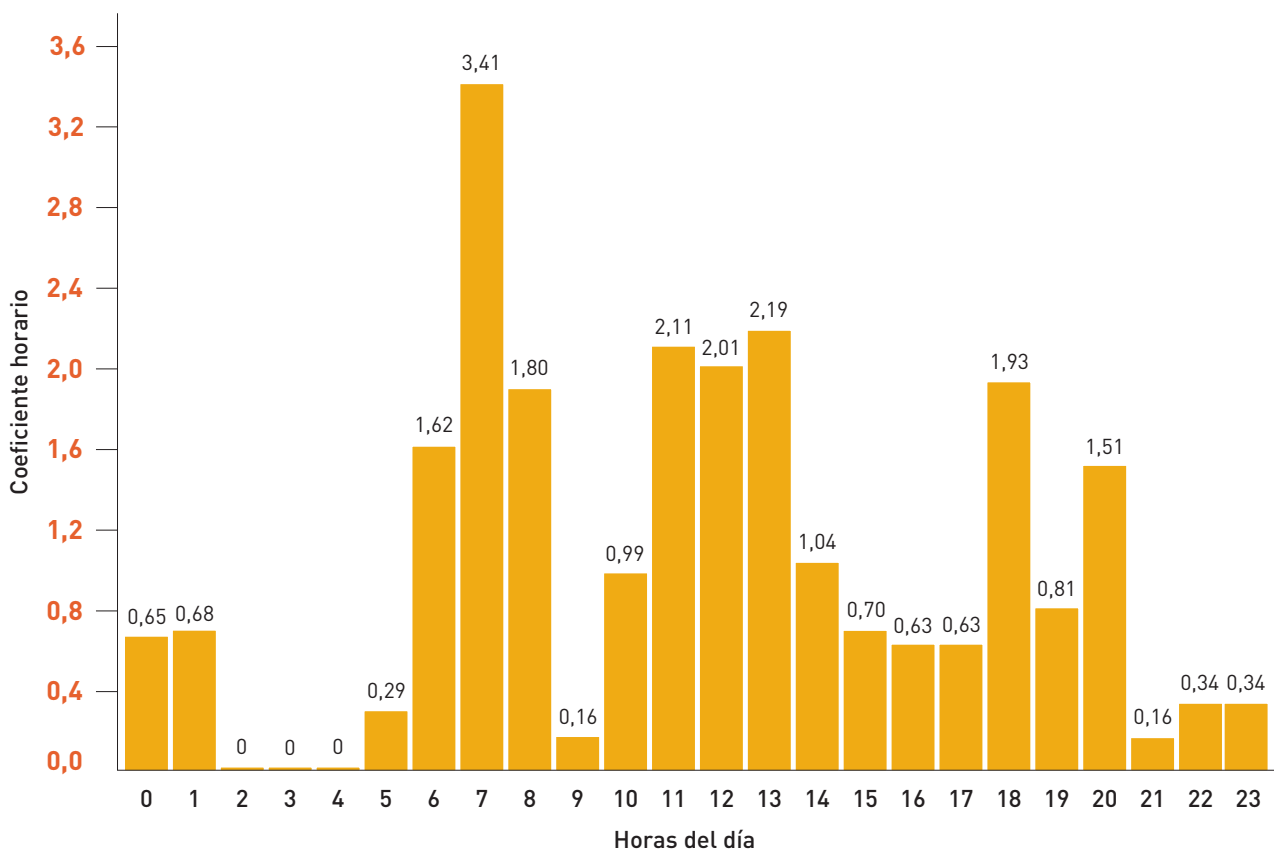
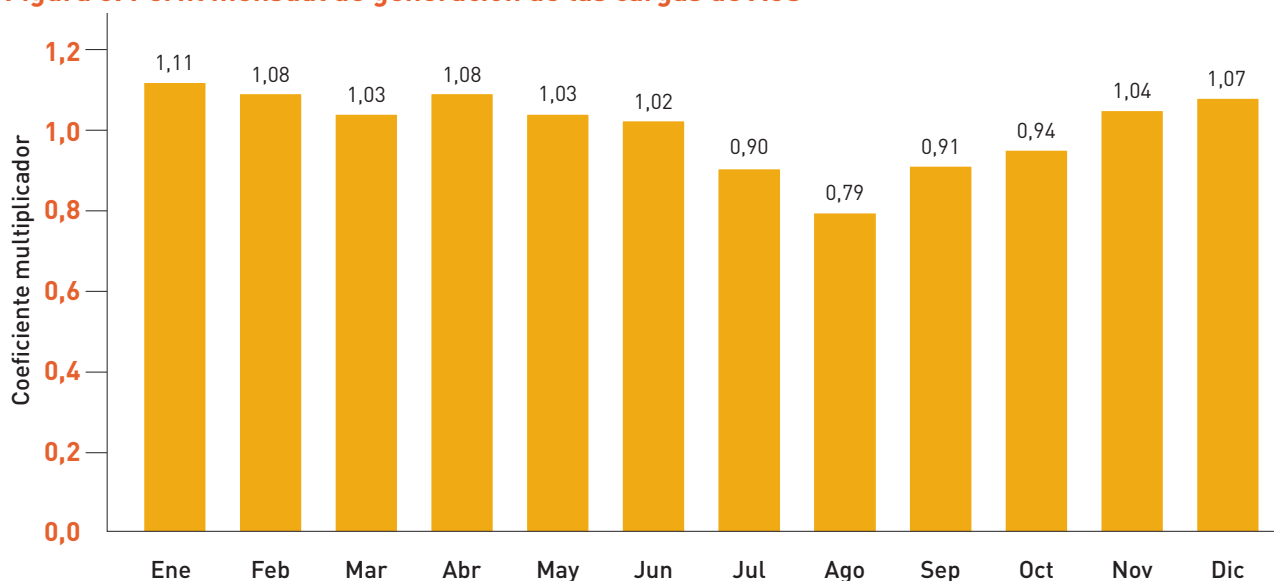


Figura 8. Perfil mensual de generación de las cargas de ACS



El consumo de ACS en litros para cada tipo de edificio modelado de acuerdo con el CTE-HE4 se muestra en el documento *R1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación*.

Para todos los casos la temperatura de servicio de ACS es 45 °C, y la temperatura de agua de la red es la que establece la norma UNE 94002 para cada una de las provincias españolas.

3.3 ESTRATEGIA DE CONTROL

El **control del circuito primario solar** actúa sobre el equipo de bombeo del circuito primario solar con dos condiciones que se deben alcanzar simultáneamente:

- Un control de radiación que activa la bomba a partir de 300 W/m² y la detiene a 250 W/m².
- Un control de temperatura basado en que la diferencia de temperatura entre la salida del campo solar y la parte baja del tanque de acumulación solar sea superior a 11 °C.

El **control del circuito secundario** actúa sobre la bomba del circuito secundario. Esta se activa cuando se alcanzan simultáneamente las condiciones siguientes:

- El circuito primario solar está activado.
- La diferencia de temperatura entre la salida del campo de captadores y la parte baja del tanque de

acumulación solar es superior a 11 °C. El equipo de bombeo se detiene cuando esta diferencia de temperatura desciende a 7 °C.

El control de los elementos del sistema de ventilación se realiza según el siguiente esquema:

Los ventiladores operan a un caudal de aire en función de la ocupación, que determina el caudal de renovación a considerar.

Para los elementos de clima del sistema, se diferencian dos modos, invierno y verano:

En modo **invierno** los elementos activos son únicamente la recuperación de calor y la batería de calefacción. El primero, actúa siempre y cuando exista ocupación y la temperatura en el interior del edificio sea inferior a 21 °C y mayor que la temperatura ambiente. El segundo, opera siempre que la temperatura en el acumulador solar sea mayor que 50 °C y la temperatura en el edificio sea menor que 20 °C.

En modo **verano** todos los elementos son activos excepto la batería de calefacción. Existen simultáneamente dos lazos de control, uno por temperatura y otro por humedad absoluta; el primero tiene prioridad sobre el segundo. Para mantener el edificio en condiciones de confort se activan escalonadamente y por este orden los elementos:

- Recuperador de calor.
- Humidificador de retorno y recuperador de calor (enfriamiento evaporativo indirecto).
- Humidificadores de retorno e impulsión, recuperador de calor y rueda desecante.

R6. INFORME FINAL

1 Resumen ejecutivo del proyecto

1.1 PLANTEAMIENTO

En el presente estudio se ha analizado el potencial de implantación de sistemas de refrigeración solar en distintos sectores de demanda para todas las provincias del estado. Para ello se ha trabajado con **12 zonas climáticas, 52 provincias, 21 tipologías edificatorias, 3 niveles de demanda energética y 3 tecnologías distintas**, en lo que sólo a nivel de escenario base comportan 9.828 casos, sobre los que se han analizado cuatro escenarios económicos

para identificar el potencial real. Respecto a los escenarios base de rendimiento de los sistemas en las distintas casuísticas, hay que destacar la utilización de **herramientas de simulación dinámica** que aportan un nivel de calidad de los resultados muy superior a la que se puede conseguir asumiendo rendimientos promedios en base a bibliografía general. Las **21 tipologías edificatorias seleccionadas** para representar el parque del conjunto del estado especialmente susceptible de acoger estos sistemas o interesantes por su volumen son las siguientes:

Tabla 1. Resumen de tipologías edificatorias

Tipo	Planta o total ¹ (m ²)	1p ²	2 p	3p	5p	7p	8p	12p
Residencial unifamiliar	100	-	RU021	-	-	-	-	-
Residencial plurifamiliar	200	-	RP022	-	RP052	-	-	-
	400	-	RP024	-	RP054	-	RP084	-
	800	-	-	-	RP058	-	RP088	RP128
Terciario oficinas	200	-	-	-	OF052	-	-	-
	400	-	-	-	OF054	-	OF084	-
	800	-	-	-	OF058	-	OF088	OF128
Terciario hospitales	2.500	-	-	HO033	-	-	-	-
	50.000	-	-	-	-	HO075	-	-
	80.000	-	-	-	-	HO078	-	-
Terciario c. comercial	15.000	CC010	-	-	-	-	-	-
	50.000	CC015	-	-	-	-	-	-
	100.000	CC019	-	-	-	-	-	-

¹Superficie total en hospitales y centros comerciales

²p: plantas

Las 3 tecnologías, objeto principal de este estudio, se resumen también a continuación:

Tabla 2. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Refrigeración ciclo cerrado		Refrigeración ciclo abierto
	Absorción simple efecto	Absorción doble efecto	
Captador plano selectivo	AB1FPC	-	DECFC
Captador tubo de vacío	AB1ETC	-	-
Cilindro-parabólico	-	AB2PTC	-

En las siguientes figuras se muestran los componentes de cada uno de ellos.

Figura 1. Ciclo cerrado con máquina de absorción (simple o doble efecto) y captadores planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro parabólicos

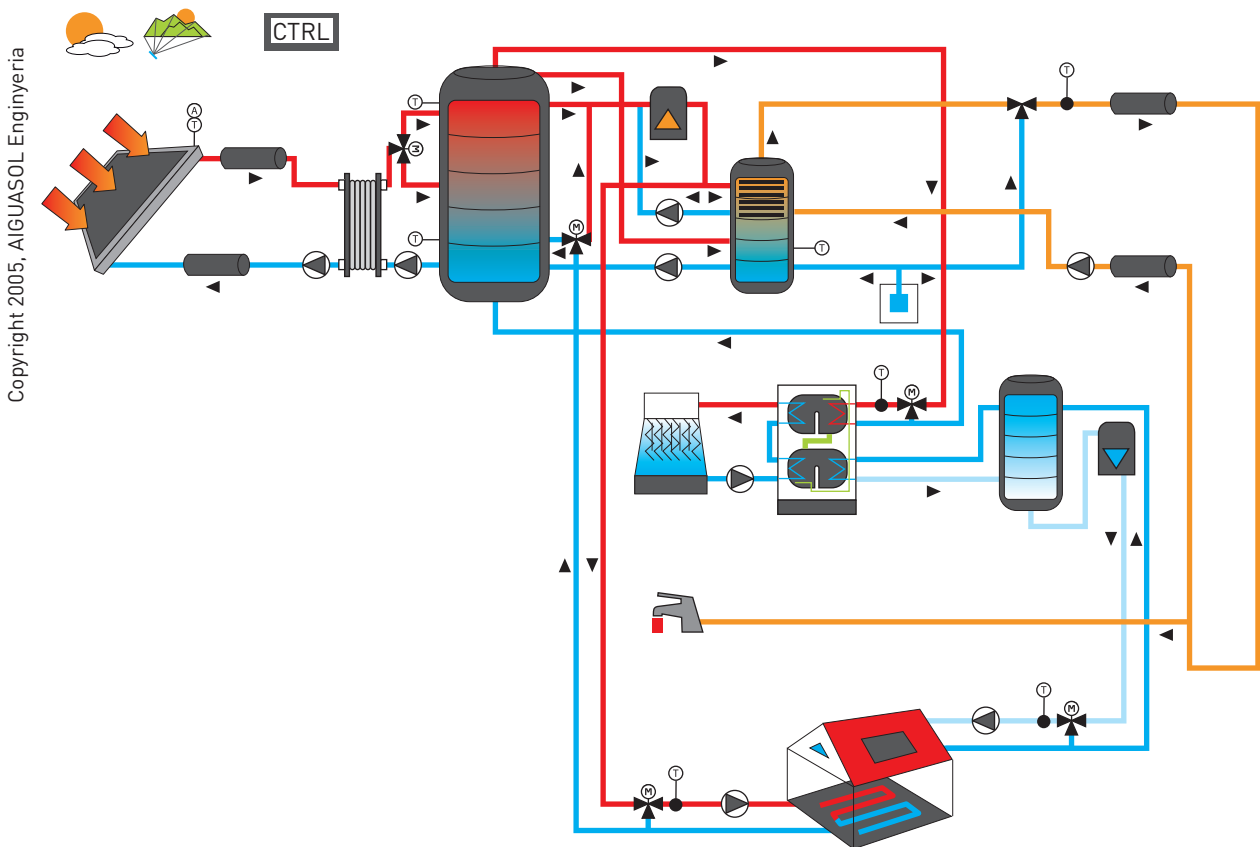
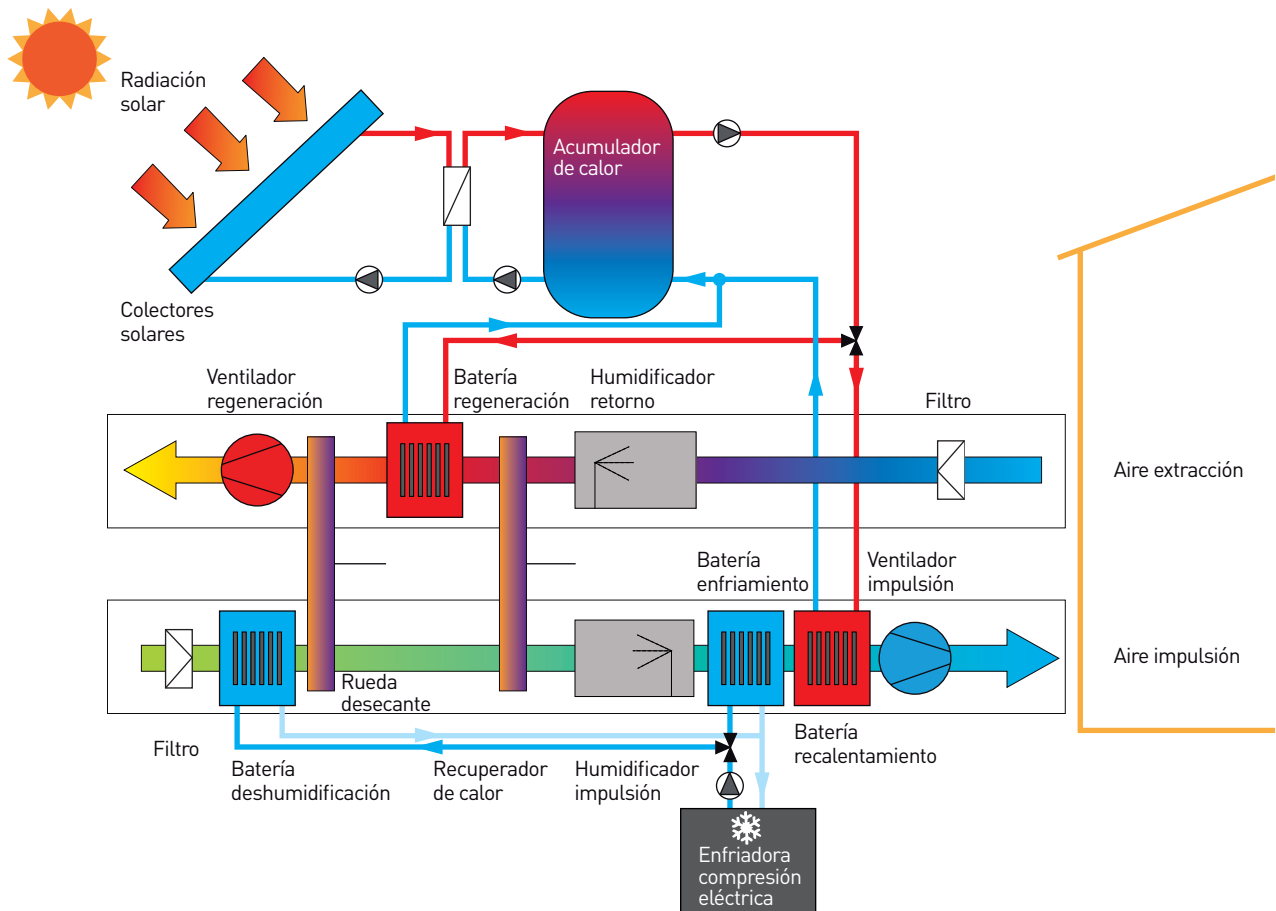


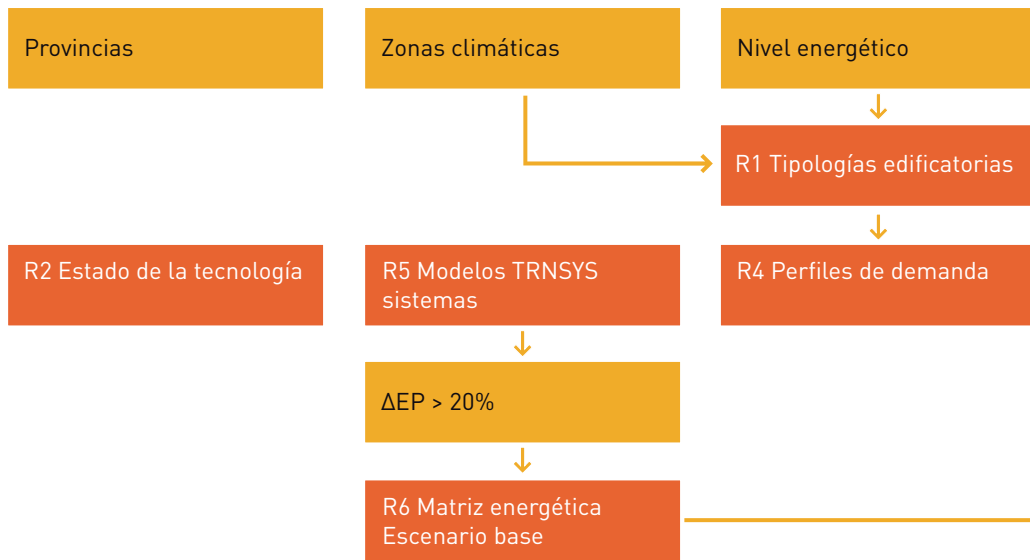
Figura 2. Ciclo abierto con desecante con refrigeración evaporativa



Sobre la elección de las mismas hay que destacar que, como se verá, la inclusión de los ciclos de doble efecto y los sistemas evaporativos ha sido un importante acierto de planteamiento, pues a medio plazo son los que presentan mayor potencial.

La metodología utilizada para el estudio se refleja en el esquema siguiente:

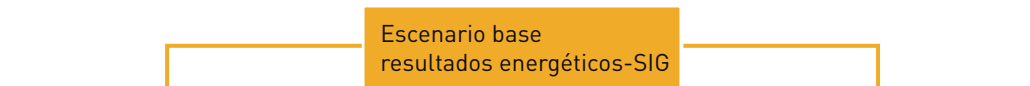
FASE 1: Resultados del escenario base (análisis energético) para un año de referencia y tres niveles energéticos



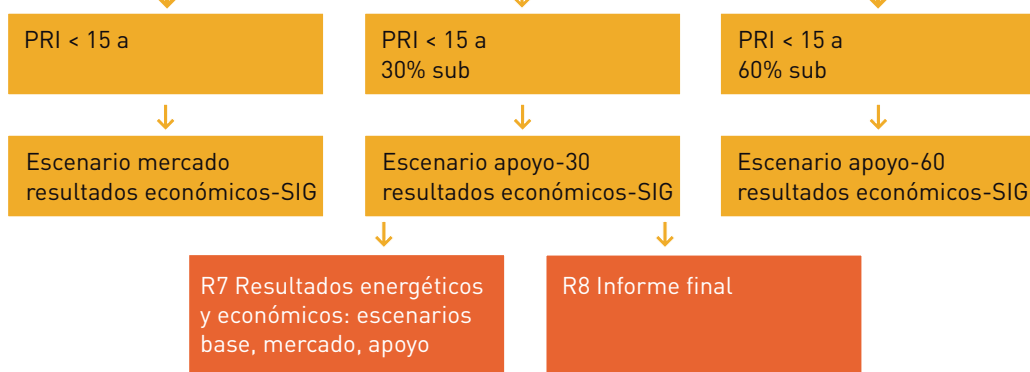
FASE 2: Datos del parque edificatorio



FASE 3: Resultados del escenario base. Representación SIG



FASE 4: Resultados energéticos y económicos globales. Escenario base, mercado y apoyo. Representación SIG



1.2 RESULTADOS

Los resultados del estudio para las soluciones analizadas se ajustan a lo esperado para una tecnología que todavía se encuentra en un estado de desarrollo incipiente y que intenta asentar un nicho de mercado en un sector con soluciones bien establecidas desde hace décadas y con acceso a escalas de producción de dimensiones mundiales.

A pesar de existir un enorme potencial de aplicación tecnológico, las rentabilidades de los sistemas distan mucho de las tecnologías de referencia, incluso con niveles de subvención elevados. Queda patente que el mercado potencial para este tipo de soluciones es enorme, si bien a día de hoy no resulta una tecnología con capacidad de implementación masiva y queda relegada, en tanto recorre su curva de desarrollo, a aplicaciones puntuales con características muy concretas.

Se presentan a continuación tablas resumen por tecnología, aplicación y escenario económico, así como gráficos explicativos.

Tabla 3. Resumen de potencial en miles de metros cuadrados y en porcentaje del potencial base para el conjunto del terciario y el residencial, según tecnologías a lo largo de los años

		Residencial					Terciario				
		Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado	Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado
ETC/ FPC+AB1	2010	91.521	0	0	94	5.381	12.408	0	0	3.802	5.010
	2015	106.772	0	0	111	6.212	14.716	0	0	4.484	5.786
	2020	122.319	0	0	166	7.664	17.039	0	0	5.219	6.773
PTC+AB2	2010	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	2015	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	2020	-	-	-	-	-	681	8,9	17	294	389
FPC/DEC	2010	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	2015	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	2020	-	-	-	-	-	181	0	19	177	135

		Residencial					Terciario				
		Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado	Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado
ETC/ FPC+AB1	2010	-	0,0%	0,0%	0,1%	5,9%	-	0,0%	0,0%	30,6%	40,4%
	2015	-	0,0%	0,0%	0,1%	5,8%	-	0,0%	0,0%	30,5%	39,3%
	2020	-	0,0%	0,0%	0,1%	6,3%	-	0,0%	0,0%	30,6%	39,8%

(Continuación)

		Residencial					Terciario				
		Base	Pb<15a sin ap	Pb<15a ap-30%	Pb<15a ap-60%	Mercado	Base	Pb<15a sin ap	Pb<15a ap-30%	Pb<15a ap-60%	Mercado
PTC+AB2	2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2020	-	-	-	-	-	-	1,3%	2,4%	43,1%	57,2%
FPC/DEC	2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2020	-	-	-	-	-	-	0,0%	10,7%	97,8%	74,5%

Los escenarios de penetración según criterios económicos responden a:

- **Base**, para el total de potencial tecnológico.
- **Pb-15a sin ap**, casos con período de retorno inferior a 15 años sin apoyo.
- **Pb-15a ap 30%**, casos con período de retorno inferior a 15 años con apoyo del 30%.
- **Pb-15a ap 60%**, casos con período de retorno inferior a 15 años con apoyo del 60%.
- **Mercado**, casos en que el coste por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP}) sea menor a $10c \text{ €/kWh}_{EP}$, siendo este valor el promedio para los casos estudiados relativo al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

Como podemos observar, el potencial tecnológico o base para la **tecnología de simple efecto, con tubo de vacío o captador plano**, indistintamente (ETC/FPC+AB1) en el sector residencial es muy importante, 122 millones de metros cuadrados, pero éste se ve reducido a 166.000, un 0,1%, si solo contemplamos los casos con una amortización inferior a 15 años con una subvención del 60%. **Para cualquier caso de subvención inferior a este nivel, no existen casos viables.** Por contrapartida, desde el punto de vista del coste por unidad de energía primaria ahorrada, el potencial sube a los 7,6 millones de metros cuadrados.

Figura 3. Potenciales, según escenario de incentivo, para las tres tecnologías para el sector residencial

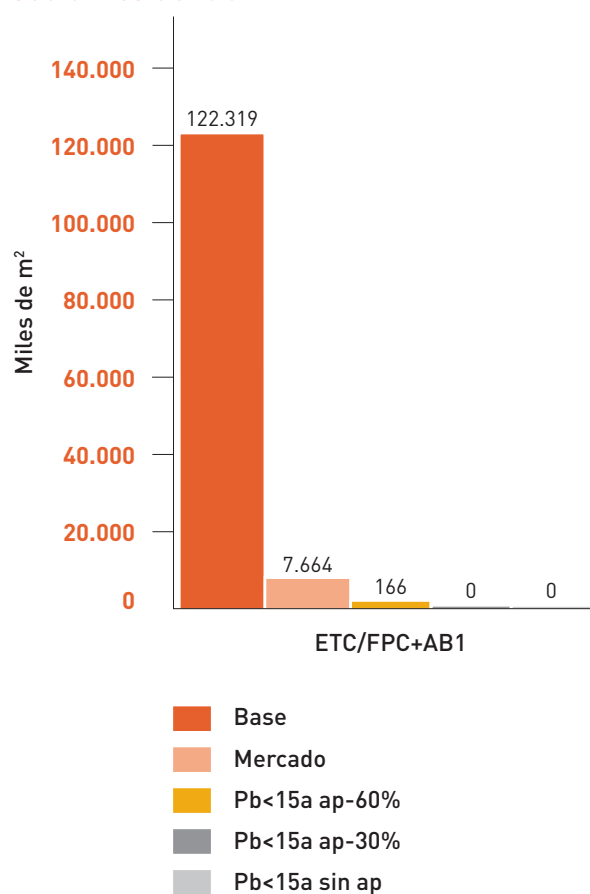


Figura 4. Potenciales, según escenario de incentivo, para las tres tecnologías para el sector terciario

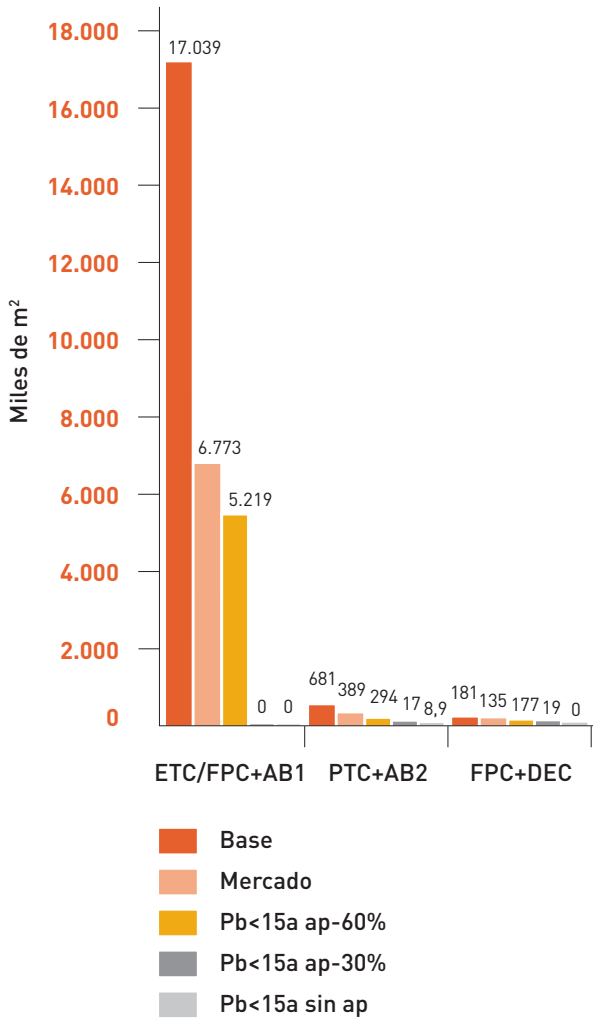
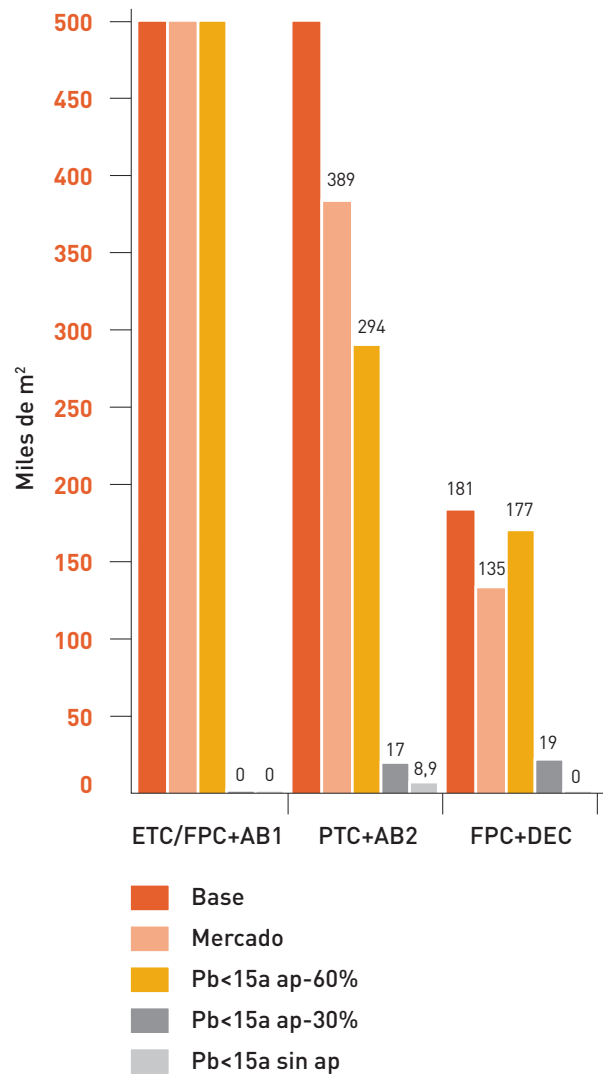


Figura 5. Detalle zona baja de Figura 4



Para el **sector terciario** la situación es parecida. Los escenarios viables exigen una subvención del 60%, pero éstos **representan un 31% del potencial tecnológico y un total de 5,2 millones de metros cuadrados.**

Las **tecnologías no estándar** (DEC y absorción de doble efecto), actualmente en desarrollo, son, en cambio, mucho **más prometedoras**, pues a pesar de encontrarse en un estadio de desarrollo tanto tecnológico como de mercado que afectan a prestaciones y costes, **aportan casos viables para nivel de subvención inferior**, incluso nula, en el caso de los sistemas de doble efecto. Lamentablemente su potencial base es mucho menor, dado que están afectados de consideraciones climáticas como la

humedad ambiente o la radiación directa, así como de tamaños mínimos, para el caso del doble efecto, o de sistemas de distribución en base a aire, en el caso del DEC. Por todo ello y por las perspectivas tardías de desarrollo, que solo los contemplan sobre 2014, hace que **el potencial de ambos en terciario sea inferior al millón de metros cuadrados.** Así mismo hay que decir que no se contemplan para residencial.

A continuación se presentan los resultados de potencial por tecnologías, según tipología detallada de uso.

Tabla 4. Resumen de potencial de sistemas de simple efecto en miles de metros cuadrados para todos los sectores

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	ETC/FPC+AB1				
			Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado
Residencial unifamiliar			63.508,0	-	-	-	-
RU021	100	2	63.508,0	-	-	-	-
Residencial plurifamiliar			58.811,2	-	-	165,7	7.663,8
RP022	200	2	16.350,5	-	-	-	-
RP052	200	5	7.415,8	-	-	-	-
RP024	400	2	16.455,9	-	-	-	-
RP054	400	5	7.724,4	-	-	-	847,6
RP084	400	8	1.278,3	-	-	8,5	544,6
RP058	800	5	7.808,7	-	-	-	4.674,9
RP088	800	8	1.383,1	-	-	-	1.202,0
RP128	800	12	394,7	-	-	157,2	394,7
Terciario oficinas			3.468,3	-	-	-	0,2
OF052	200	5	900,5	-	-	-	-
OF054	400	5	920,6	-	-	-	-
OF084	400	8	315,8	-	-	-	-
OF058	800	5	920,6	-	-	-	-
OF088	800	8	322,3	-	-	-	-
OF128	800	12	88,6	-	-	-	0,2
Terciario hospitales			8.072,8	-	-	4.819,2	5.387,3
H0033	2.500	3	2.214,6	-	-	-	-
H0075	50.000	7	2.337,6	-	-	1.854,7	2.064,9
H0078	80.000	7	3.520,6	-	-	2.964,5	3.322,4

(Continuación)

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	ETC/FPC+AB1				
			Base	Pb<15a sin ap	Pb<15a ap-30%	Pb<15a ap-60%	Mercado
Terciario c. comercial			5.498,2	-	-	399,4	1.385,9
CC010	15.000	1	4.417,7	-	-	1,0	910,5
CC015	50.000	1	963,1	-	-	397,0	428,1
CC019	100.000	1	117,4	-	-	1,4	47,2

Figura 6. Potenciales de sistemas de simple efecto en miles de metros cuadrados para todos los sectores

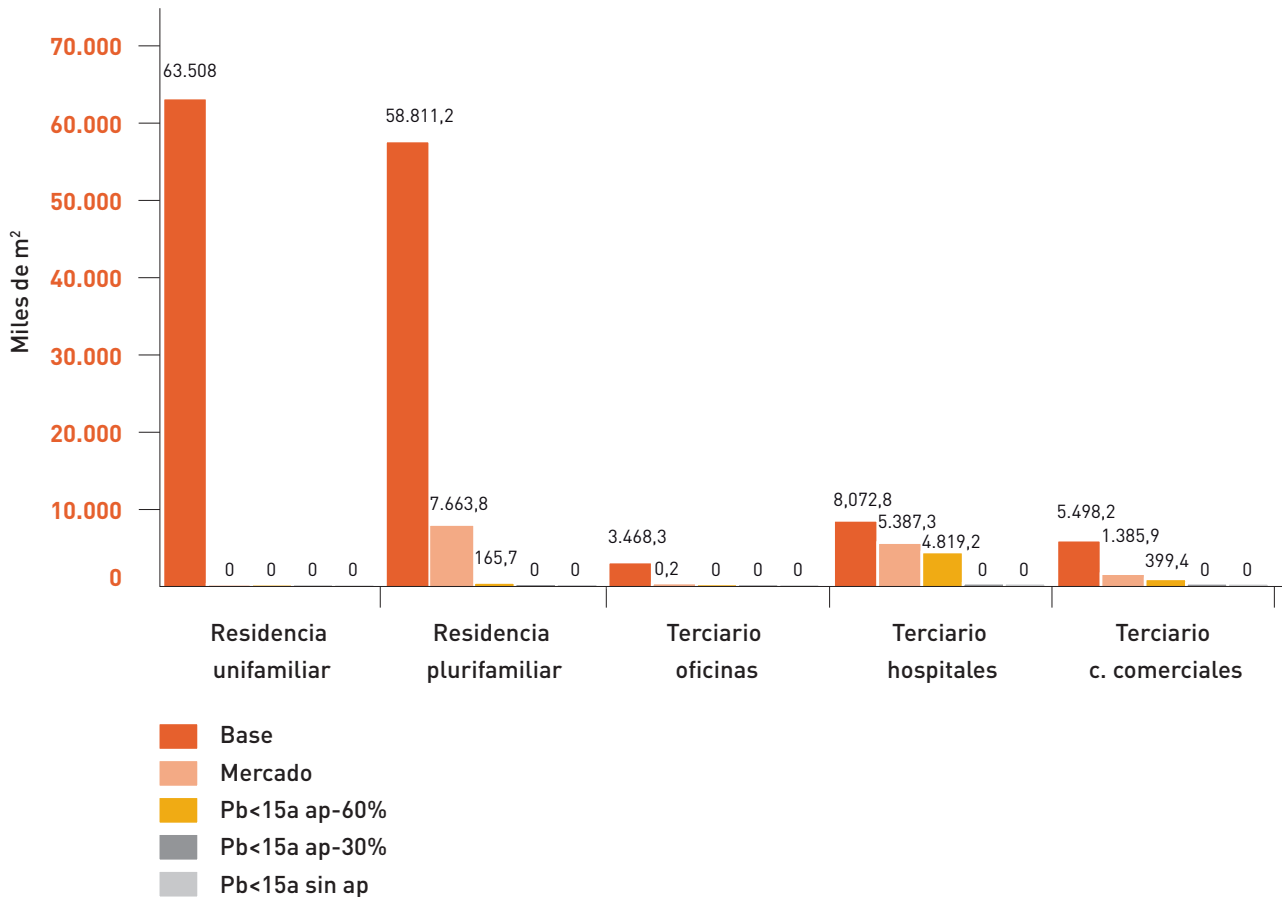


Figura 7. Detalle zona baja Figura 6

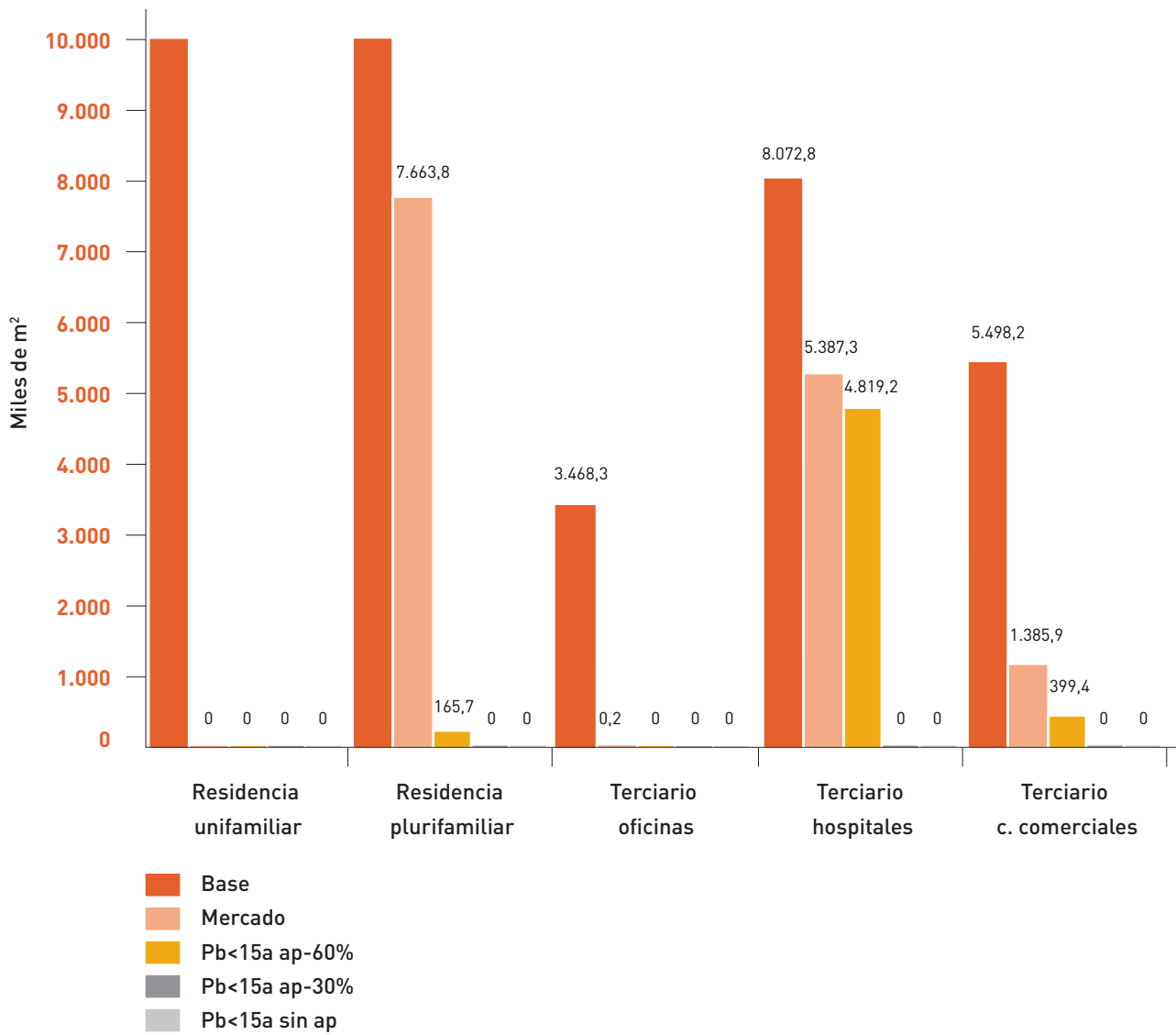


Tabla 5. Resumen de potencial de sistemas de doble efecto en miles de metros cuadrados para todos los sectores

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	PTC+AB2				
			Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado
Residencial unifamiliar							
RU021	100	2					
Residencial plurifamiliar							
RP022	200	2					
RP052	200	5					
RP024	400	2					
RP054	400	5					
RP084	400	8					
RP058	800	5					
RP088	800	8					
RP128	800	12					
Terciario oficinas			154,7	-	-	0,7	0,4
OF052	200	5	39,9	-	-	-	-
OF054	400	5	42,3	-	-	-	-
OF084	400	8	13,1	-	-	-	-
OF058	800	5	43,9	-	-	-	-
OF088	800	8	15,4	-	-	0,6	0,4
OF128	800	12	0,1	-	-	0,0	0,0
Terciario hospitales			265,9	-	4,5	187,7	189,2
H0033	2.500	3	78,1	-	-	-	1,5
H0075	50.000	7	100,9	-	0,9	100,9	100,9
H0078	80.000	7	86,9	-	3,6	86,9	86,9

(Continuación)

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	PTC+AB2				
			Base	Pb<15a sin ap	Pb<15a ap-30%	Pb<15a ap-60%	Mercado
Terciario c. comerciales			260,3	8,9	12,1	105,5	199,7
CC010	15.000	1	177,2	-	-	23,6	130,0
CC015	50.000	1	67,6	-	-	66,1	66,3
CC019	100.000	1	15,5	8,9	12,1	15,5	3,5

Figura 8. Potenciales de sistemas de doble efecto en miles de metros cuadrados y en porcentaje del potencial base para todos los sectores

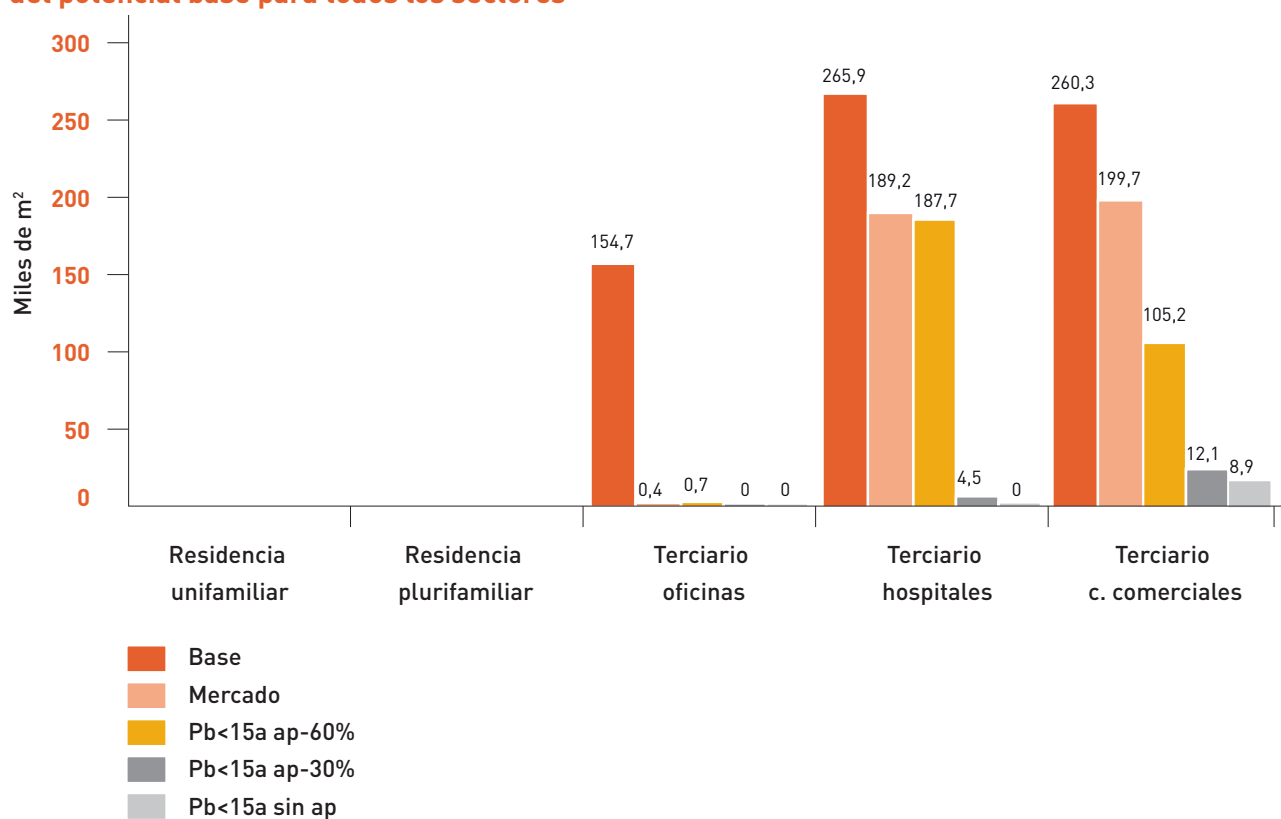


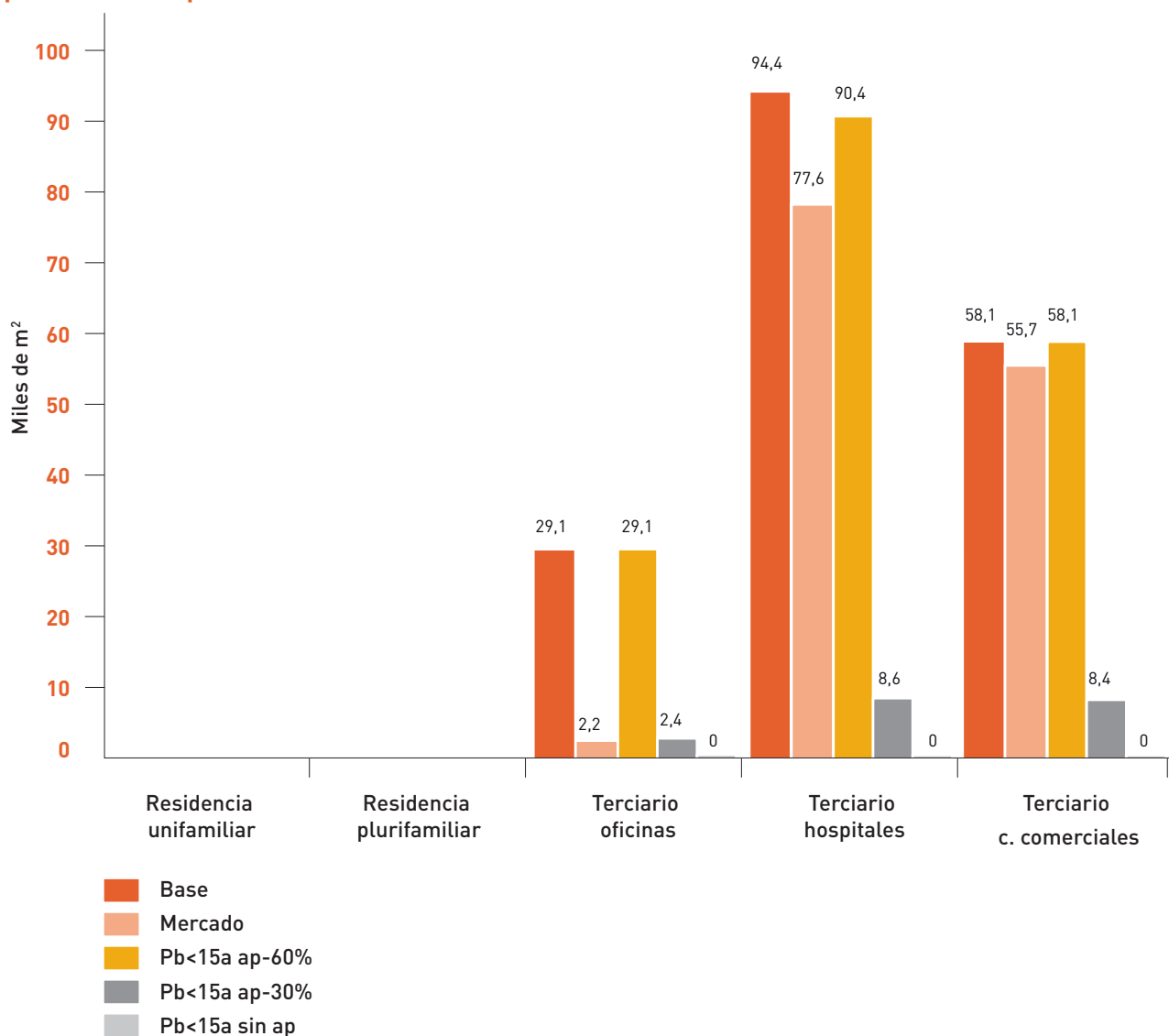
Tabla 6. Resumen de potencial de sistemas DEC en miles de metros cuadrados para todos los sectores

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	FPC+DEC				
			Base	pb<15a sin ap	pb<15a ap-30%	pb<15a ap-60%	Mercado
Residencial unifamiliar							
RU021	100	2					
Residencial plurifamiliar							
RP022	200	2					
RP052	200	5					
RP024	400	2					
RP054	400	5					
RP084	400	8					
RP058	800	5					
RP088	800	8					
RP128	800	12					
Terciario oficinas			29,1	-	2,4	29,1	2,2
OF052	200	5	6,4	-	-	6,4	-
OF054	400	5	8,0	-	2,4	8,0	2,2
OF084	400	8	3,2	-	-	3,2	-
OF058	800	5	6,4	-	-	6,4	-
OF088	800	8	2,9	-	-	2,9	-
OF128	800	12	2,1	-	-	2,1	-
Terciario hospitales			94,4	-	8,6	90,4	77,6
H0033	2.500	3	17,4	-	-	13,4	0,6
H0075	50.000	7	35,2	-	-	35,2	35,2
H0078	80.000	7	41,8	-	8,6	41,8	41,8

(Continuación)

	Superficie (m ²)	Núm. de plantas	FPC+DEC				
			Base	Pb<15a sin ap	Pb<15a ap-30%	Pb<15a ap-60%	Mercado
Terciario c. comerciales			58,1	-	8,4	58,1	55,7
CC010	15.000	1	32,7	-	-	32,7	30,4
CC015	50.000	1	25,3	-	-	25,3	25,3
CC019	100.000	1	0,1	-	8,4	0,1	-

Figura 9. Potenciales de sistemas DEC en miles de metros cuadrados y en porcentaje del potencial base para todos los sectores



En estos resultados parciales para **tecnología de simple efecto** observamos un gran potencial en aplicaciones hospitalarias, 4,8 millones, en centros comerciales de tamaño medio, 0,4 millones y en residencial de gran altura, 0,16 millones. Todos ellos con subvenciones del 60%.

Para el caso de sistemas de doble efecto con captadores de concentración solar, los resultados aportan una información realmente interesante: **existe un potencial rentable con subvenciones del 60% e inferiores de más de 300.000 m²**, especialmente en centros comerciales y hoteles. Sobre ello hay que destacar que la tecnología de concentración de pequeña escala en media temperatura se encuentra todavía en un estadio de desarrollo tecnológico y de mercado, por lo que **su evolución solo puede ser a positivo mejorando los números aquí vistos.**

Algo similar se observa para la **tecnología DEC que con rentabilidades similares apunta un potencial cercano a los 150.000 m²** a pesar de su limitación geográfica.

2 Introducción

2.1 CONTEXTO

En el marco de la Directiva Europea 2009/28/EC del 23 de abril los distintos países de los estados miembros deben impulsar en sus políticas la promoción de las energías renovables con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, esta estrategia debe contribuir a garantizar la seguridad en el suministro energético, promover el desarrollo tecnológico y la innovación, así como el desarrollo regional y el empleo.

Uno de los objetivos que se plantea en esta directiva es conseguir una contribución del 20% sobre el total de consumo energético proveniente de fuentes renovables para el año 2020.

Según la comunicación de la Comisión Europea del 10 de enero de 2007 "*Renewable Energy Road Map: Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future*" se afirma que los usos de calefacción y aire acondicionado cuentan con el 50% del total de consumo de energía final de la UE, pero la contribución mediante energías renovables significa menos del 10%. Por tanto, la aplicación de renovables (biomasa, geotérmica y solar térmica) en este sector está todavía muy lejos de alcanzar su potencial máximo.

En particular, en el uso de energía final de calor y frío en los sectores residencial y terciario, la **climatización mediante energía solar térmica** constituye una tecnología potencial por los siguientes factores:

- Diversifica el uso de fuentes energéticas, tanto a nivel de usuario final como de política energética nacional, contribuyendo a garantizar el suministro energético.
- Contribuye a reducir la carga sobre las redes eléctricas al producir aire acondicionado mediante otras tecnologías no eléctricas, especialmente en horas punta, cuando la producción solar es máxima.
- Reduce las pérdidas por transporte al realizar la producción en el mismo punto de consumo.
- Permite la extensión de la tecnología solar térmica, habitualmente aplicada para usos de calefacción, a aplicaciones durante los meses del año en que no se daría este uso, según la climatología de nuestro país, permitiendo así el incremento en capacidad instalable.

- En comparación con las tecnologías energéticas convencionales³, las energías renovables han experimentado una reducción de costes creciente, por lo que se espera la misma tendencia para el próximo decenio.

Debe considerarse que estos sistemas, están en una fase de mercado incipiente. Esto significa que se han realizado experiencias demostrativas alrededor del mundo y se ha experimentado una aceleración del mercado en la última década. Se constata que existen tan solo alrededor de algunas centenas de plantas de climatización solar alrededor del mundo⁴. Sin embargo, para el establecimiento de la tecnología es necesario:

- Promover la investigación con el fin de conocer ampliamente el funcionamiento de la tecnología, difundir este conocimiento y generar confianza en los usuarios finales.
- Potenciar la realización de instalaciones mediante fondos públicos para que los actores del mercado puedan impulsar las aplicaciones con un menor esfuerzo económico.
- Generar una red económica de mercado entre fabricantes, distribuidores, ingenierías y promotores para reducir costes y desarrollar productos.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo la determinación del potencial de aplicación de la energía solar térmica para la producción de frío y calor utilizables en sistemas de climatización en edificios del sector residencial y del sector servicios en España, tanto en instalaciones individuales (viviendas unifamiliares) como en usos colectivos (viviendas plurifamiliares, hospitales, edificios comerciales y de oficinas, etc.) ya sea en edificios de nueva construcción como en los edificios existentes, para el periodo entre 2011 y 2020. Los resultados se expresarán en forma de metros cuadrados de captadores solares instalables y en el porcentaje de demanda que resultará cubierto por los mismos. Éstos se mostrarán por provincia, comunidad autónoma (CCAA), tipología de edificios y tecnologías.

³[COM 2006: 10.1.2007]

⁴[SPARBER2007]

Los resultados obtenidos serán integrados en los estudios sobre prospectivas destinados a establecer los objetivos de esta área en el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.

El estudio ha sido contratado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, a la empresa AIGUASOL.

El proyecto se ha estructurado en cuatro fases que ofrecen como resultado ocho documentos que contienen la descripción detallada de la metodología, cálculos, análisis y resultados del estudio. Estos documentos son los siguientes:

- R1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación.
- R2. Estado del arte de la climatización solar.
- R3. Parque edificatorio. Análisis de los datos estadísticos.
- R4. Resultados de demanda energética.
- R5. Modelización de los sistemas de climatización solar.
- R6. Informe final.

En el apartado de metodología se detalla el contenido de cada una de las fases y los documentos relacionados. A lo largo de todo el documento se referencian los distintos documentos mediante la nomenclatura (RXX).

A continuación se presenta un resumen de los resultados globales del proyecto.

3 Metodología

3.1 CONCEPTO DE POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN SOLAR MÁXIMO

Antes de definir una metodología de análisis se define el concepto de potencial de climatización solar.

La climatización solar comprende la producción de frío y calor para usos de aire acondicionado, calefacción y agua caliente sanitaria mediante tecnologías que aprovechan la energía solar térmica. Estas tecnologías se extienden en un amplio abanico de opciones tanto en cuanto a elementos de los sistemas como a configuraciones hidráulicas de los mismos (ver R2).

Se entiende como **potencial de climatización solar máximo** para el sector residencial y terciario la máxima capacidad instalable de esta tecnología sobre las cubiertas de los edificios de uso residencial y terciario, siempre y cuando los sistemas ofrezcan un **ahorro en energía primaria superior al 20%**. Se escoge este criterio por coincidir con el objetivo de la Directiva Europea 2009/28/EC del 23 de abril.

Se excluye del estudio la consideración de posibles ubicaciones de los captadores solares sobre otras superficies que no sean la cubierta.

A partir de los datos del parque edificatorio español se han desarrollado unos modelos representativos de las tipologías más frecuentes de edificios del sector residencial (unifamiliar y plurifamiliar) y terciario (oficinas, centros comerciales y centros sanitarios, como los más representativos) (ver R1). En estos modelos se consideran superficies medias y mayoritariamente frecuentes, para los distintos usos de los edificios. Los parámetros referentes al edificio, que ejercerán una mayor influencia para la determinación de potencial de aplicación de sistemas de climatización solar que ofrecerán un ahorro energético significativo serán:

- El perfil de demanda, que vendrá determinado por los perfiles de uso que se definen para cada modelo edificatorio (ver R1 para detalle de las hipótesis consideradas).
- El número de plantas, que relacionará la superficie disponible en cubierta de los edificios para ubicación de captadores solares con la demanda.

3.2 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Una vez obtenido el potencial máximo, deben aplicarse criterios de viabilidad económica para analizar cuántos sistemas de climatización solar pueden llegar a instalarse únicamente por la evolución natural del mercado.

Por la experiencia actual, en que el mercado de esta tecnología todavía está en una fase incipiente, son muy pocos los sistemas que ofrecen una viabilidad económica atractiva para los usuarios de los edificios.

Bajo la premisa que la vida útil de un sistema de climatización solar puede extenderse hasta un máximo de 20 años, se valora como razonable el criterio de un **periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años**, para aceptar la viabilidad de un sistema.

La situación actual es que estos sistemas todavía no ofrecen un periodo de retorno lineal de la inversión (PRI de ahora en adelante) atractivo, es decir, inferior a la vida útil de la instalación. Además, en muchos casos, el incremento en costes de inversión y mantenimiento no se ve amortizado por los ahorros en la factura energética, cuando se compara el sistema de climatización solar con un sistema basado en tecnologías convencionales (sistema de referencia).

Por tanto, en el estudio se ha considerado un indicador de los costes de la instalación, que incluya simultáneamente los beneficios medioambientales. Éste se define como el coste diferencial por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP} de ahora en adelante) y corresponde al incremento en los costes anualizados entre el sistema de climatización solar y el sistema de referencia repercutidos por la energía primaria ahorrada mediante el sistema de climatización solar.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar aquellas instalaciones que pueden considerarse dentro de un **escenario potencial de mercado aquellas en que el CC_{EP} sea menor a 10 €/kWh_{EP}**, siendo este valor el promedio para los casos estudiados relativa al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

Esta situación del mercado se espera mejorable en el transcurso de los diez años en que se realiza el estudio, gracias a la reducción de costes de los sistemas de climatización solar. En el estudio (ROCO) se estudió la sensibilidad de la viabilidad técnica y económica de los sistemas de climatización solar bajo distintas condiciones climáticas y tipologías edificatorias, frente a diferentes variables que afectan a la misma.

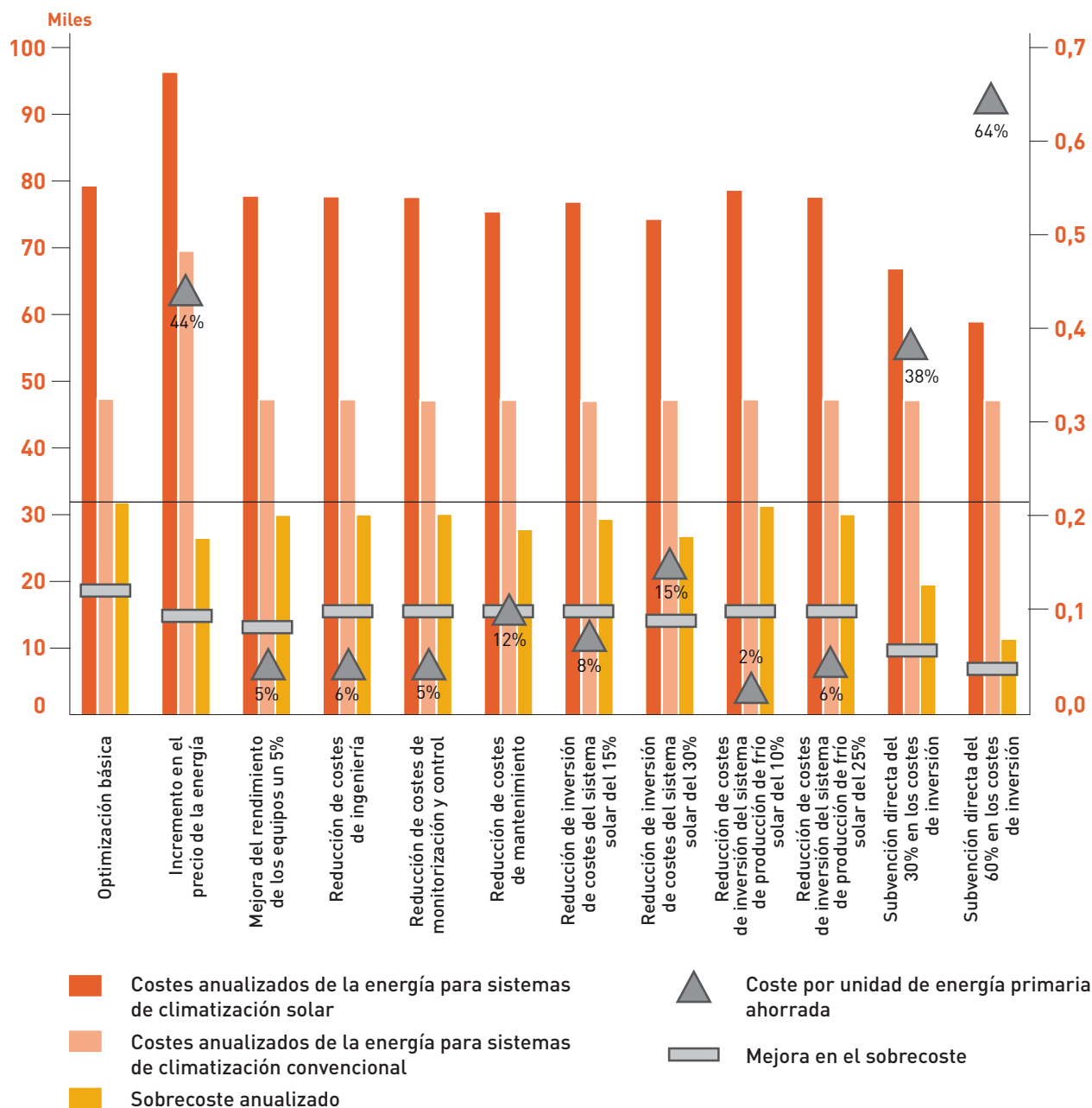
Las variables analizadas fueron:

- Aumento del precio de la energía.
- Mejora esperada de la eficiencia energética de los equipos.
- Reducción de costes en actividades de diseño e ingeniería.
- Reducción de costes en equipos de control y monitorización.
- Reducción de costes de mantenimiento.
- Reducción de costes del sub-sistema de captadores solares térmicos.

- Reducción de costes del sub-sistema de enfriadora accionada térmicamente.
- Subvenciones.

Ante los resultados obtenidos se valoraron como factores determinantes para mejorar la rentabilidad económica de los sistemas de climatización solar, la reducción directa de los costes de inversión mediante subvenciones y el incremento en el precio de la energía (ver Figura 10).

Figura 10. Influencia de distintas medidas de reducción de costes en un sistema de climatización solar (ROCOCO). Unidades eje izquierda: Euros/año; unidades eje derecha: %. Los factores con mayor valor del factor "Improvement of overcost" (% - eje derecha) son los que influyen más significativamente en la reducción de costes de los sistemas de climatización solar



Los distintos escenarios se construirán considerando el factor de reducción de la inversión mediante subvenciones. Se plantean los siguientes:

- ESCENARIO BASE: ahorro de energía primaria superior al 20%.
- ESCENARIO MERCADO: sobre los casos del escenario base, cumplimiento de $CC_{EP} < 10 \text{ c€/kWh}$.

- ESCENARIO APOYO-30: sobre los casos del escenario base, cumplimiento de PRI inferior a 15 años, mediante subvención del 30% de la inversión.
- ESCENARIO APOYO-60: sobre los casos del escenario base, cumplimiento del PRI inferior a 15 años, mediante subvención del 60% de la inversión.

3.3 INDICADORES

Los indicadores de los resultados del estudio se expresarán mediante los valores de los parámetros siguientes:

Tabla 7. Indicadores del potencial de climatización solar

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
S_s	Superficie captación solar	m ²	Superficie de absorbedor de los captadores solares térmicos que producirán la energía necesaria para el sistema de climatización solar.
Q_{sol_u}	Producción solar útil	kWh/a	Energía producida mediante los captadores solares térmicos utilizada para producción de refrigeración, calefacción y/o agua caliente sanitaria.
Q_{sol_u}/S_s	Producción solar útil por unidad de captación solar	kWh/m ² /a	Energía producida mediante los captadores solares térmicos utilizada para producción de refrigeración, calefacción y/o agua caliente sanitaria, por unidad de superficie de absorbedor de los captadores solares térmicos.
ΔEP	Ahorro energía primaria	kWh/a	Comparativa entre la energía primaria consumida en el sistema de climatización solar y la que se consumiría en el sistema de referencia.
ΔEM	Ahorro emisiones CO ₂	t/a	Comparativa entre las toneladas de emisiones de CO ₂ emitidas por el sistema de climatización solar y las emitidas por el sistema de referencia.
C_o	Costes de inversión	€	Costes de inversión de los sistemas de climatización solar.
PRI:	Periodo de retorno de la inversión	años	Periodo temporal en que la diferencia de inversión entre el sistema de climatización de referencia y un sistema convencional debe recuperarse a través de los ahorros económicos anuales en los costes de operación y mantenimiento.

(Continuación)

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
CC _{EP}	Coste diferencial por unidad de energía primaria	€/kWh	Incremento en los costes anualizados entre el sistema de climatización solar y el sistema de referencia repercutidos por la energía primaria ahorrada mediante el sistema de climatización solar.

3.4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En este apartado se explica cómo se ha realizado el procedimiento de cálculo para realizar el análisis de potencial de climatización solar considerando todas las variables que afectan a dicho valor.

3.4.1 Herramientas de cálculo

El presente estudio ha utilizado las siguientes herramientas:

- TRNSYS 16.0: empleado para el cálculo mediante simulación dinámica de los sistemas energéticos de climatización solar. (Ver más información en Anexo 7.2.1).

Figura 11. Logotipo TRNSYS 16



- GEOMEDIA: empleado para la representación gráfica de los resultados en formato SIG.
- MICROSOFT EXCEL 7.0: empleado para el análisis estadístico de datos del parque edificatorio, cálculos económicos y elaboración global de los cálculos del proyecto.

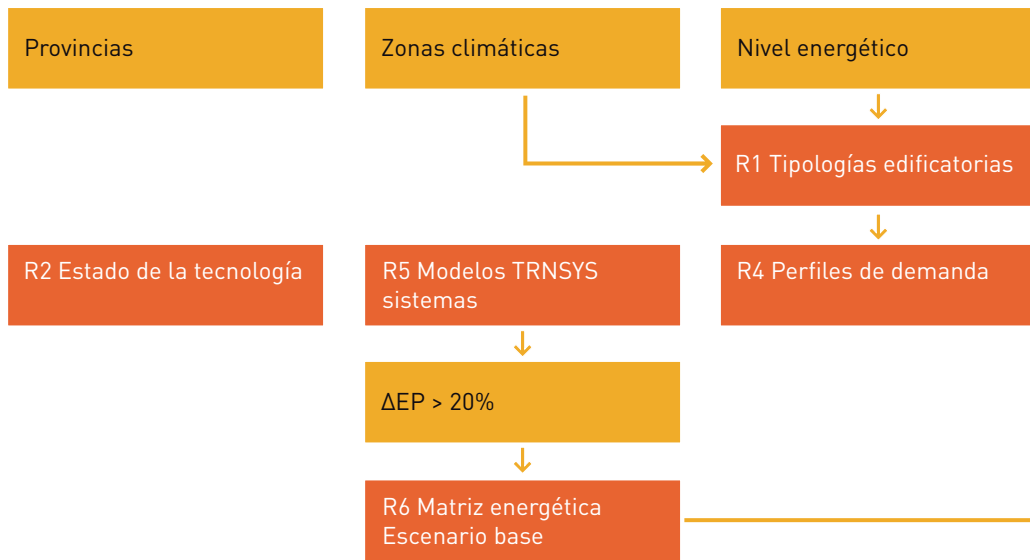
3.4.2 Etapas de cálculo

La estructura de los cálculos se plantea en las siguientes fases:

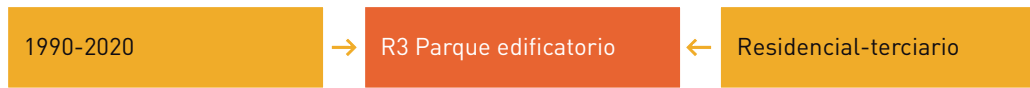
- Fase 1: Resultados del escenario base (análisis energético) para un año de referencia y tres niveles energéticos.
- Fase 2: Ratos del parque edificatorio.
- Fase 3: Resultados del escenario base. Representación SIG.
- Fase 4: Resultados energéticos y económicos globales. Escenario base, mercado y apoyo. Representación SIG.

El siguiente esquema muestra las etapas de cálculo. En cada una de ellas se indican los parámetros definitorios del análisis.

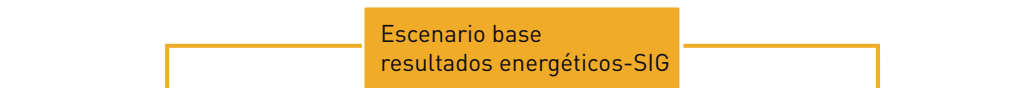
FASE 1: Resultados del escenario base (análisis energético) para un año de referencia y tres niveles energéticos



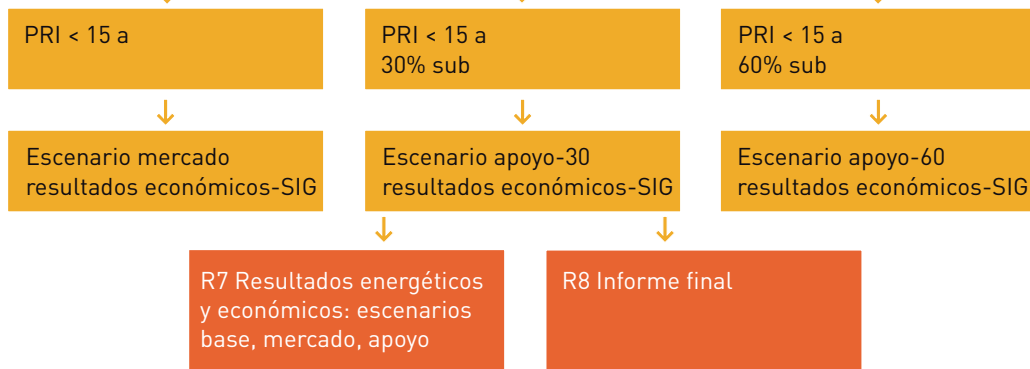
FASE 2: Datos del parque edificatorio



FASE 3: Resultados del escenario base. Representación SIG



FASE 4: Resultados energéticos y económicos globales. Escenario base, mercado y apoyo. Representación SIG



3.4.3 Fase 1. Obtención de resultados del escenario base para un año de referencia y tres niveles energéticos

3.4.3.1 Fase 1.1. Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación

Debido a que uno de los factores determinantes en la viabilidad de los sistemas de climatización solar es la simultaneidad entre el perfil de demanda y la disponibilidad solar, se ha considerado de relevante importancia distinguir entre diferentes usos edificatorios. En este apartado, se definen las características de los edificios que se modelizarán en el estudio para el cálculo de la demanda energética. Las características de los mismos se han definido en base a los resultados que se obtienen del análisis

estadístico del parque edificatorio y considerando a su vez las características de edificios más susceptibles de aplicación de climatización solar.

Se han seleccionado los siguientes:

1. Residencial unifamiliar.
2. Residencial plurifamiliar.
3. Terciario oficinas.
4. Terciario centros sanitarios.
5. Terciario centros comerciales.

La variabilidad climática afecta a la variabilidad en la construcción. Según las 12 zonas climáticas que se definen en el Código Técnico de la Edificación las características constructivas del edificio serán diferentes. La siguiente tabla resume las dimensiones básicas y la nomenclatura a utilizar a lo largo del estudio de las tipologías edificatorias seleccionadas:

Tabla 8. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Sup. planta o total* (m ²)	1p**	2 p	3p	5p	7p	8p	12p
Residencial unifamiliar	100	-	RU021	-	-	-	-	-
Residencial plurifamiliar	200	-	RP022	-	RP052	-	-	-
	400	-	RP024	-	RP054	-	RP084	-
	800	-	-	-	RP058	-	RP088	RP128
Terciario oficinas	200	-	-	-	OF052	-	-	-
	400	-	-	-	OF054	-	OF084	-
	800	-	-	-	OF058	-	OF088	OF128
Terciario hospitales	2.500	-	-	H0033	-	-	-	-
	50.000	-	-	-	-	H0075	-	-
	80.000	-	-	-	-	H0078	-	-
Terciario c. comercial	15.000	CC010	-	-	-	-	-	-
	50.000	CC015	-	-	-	-	-	-
	100.000	CC019	-	-	-	-	-	-

*superficie total en hospitales y centros comerciales

**p: plantas

Para cada modelo se han contemplado diferentes casos, con diferentes números de plantas y superficies. En total se obtienen 21 modelos. El total de casos asciende a 252.

Tipologías edificatorias	
Tipos edificatorios	21
Zonas climáticas	12
Total modelos	252

El entorno geográfico del estudio se limita a las 52 provincias españolas. Para la realización de las simulaciones dinámicas, en los cálculos energéticos, debe considerarse el clima del emplazamiento, que corresponde a la capital de provincia para cada caso. Además este marco servirá para la representación gráfica de los resultados.

Para más detalle sobre la metodología e hipótesis de esta fase puede consultarse el documento **R1 Tipologías edificatorias. Modelado e hipótesis básicas de simulación.**

3.4.3.2 Fase 1.2. Estado del arte de la climatización solar

En este paquete de trabajo se hará un compendio del estado de las tecnologías implicadas y del mercado, así como una proyección tecnológica y económica de las mismas. Esto incluye un trabajo en captadores solares de baja y media temperatura, máquinas de absorción, sistemas de disipación y ciclos de desecación y refrigeración evaporativa. Los resultados aportarán capacidad de caracterización tanto tecnológica como económica.

El trabajo estará basado en los resultados de los proyectos [ROCOCO] (<http://www.aiguasol.com/files/file219-3.pdf>), y [SOLAIR] (<http://www.solair-project.eu/148.0.html>) recientemente finalizados y actualizados con la situación presente del mercado.

Los resultados de este análisis de la tecnología y el mercado se incluirán en el documento **R2. Estado del arte de la climatización solar.**

3.4.3.3 Fase 1.3. Perfiles de demanda

La simulación dinámica de los modelos de edificios planteados en la Fase 1.1 ofrecerá como resultados la demanda energética (kWh/año) y la carga máxima (kW) para los usos de refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria. Asimismo se obtendrán los perfiles horarios para los tres usos.

Se considerarán tres niveles energéticos según el periodo de construcción de los edificios:

- Edificaciones construidas entre 1990 y 2006: pre-CTE, se considera un nivel de consumo un 25% superior al obtenido mediante la modelización de los casos de edificios según las características de cerramientos y aislamientos que se exigen en el Código Técnico de la Edificación⁵.
- Edificaciones construidas entre 2007 y 2015: CTE, se considera que los edificios se construyen según las condiciones CTE.
- Edificaciones construidas entre 2016 y 2020: post-CTE; se considera que los códigos habrán evolucionado ofreciendo una mejora en eficiencia energética respecto a las condiciones de CTE del 10%.

El caso CTE se calcula mediante simulación dinámica y para los siguientes se realiza una corrección mediante el factor de proporcionalidad.

Estos datos servirán de base para realizar los cálculos energéticos mediante simulación dinámica de los sistemas de climatización solar.

Se obtendrán las simulaciones de la demanda para 52 provincias españolas, para las 21 tipologías edificatorias y para 3 niveles energéticos.

Perfiles de demanda	
Tipos edificatorios	21
Provincias	52
Niveles energéticos	3
Total modelos	3.276

⁵Valor indicado en la web del Código Técnico de la Edificación: <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=516>

Se asociará a cada una de las provincias y para cada tipo edificatorio un modelo en que se incluirán las características constructivas variables en función de la zona climática (en total 252 modelos).

Se muestran las conclusiones de estos cálculos en el documento **R4. Resultados de demanda energética**.

3.4.3.4 Fase 1.4. Modelización de los sistemas de climatización solar

Con el fin de realizar los cálculos de simulación dinámica del comportamiento energético de los sistemas de climatización solar debe realizarse un modelo que contemple los elementos del sistema y los flujos de masa y energía entre ellos.

Los sistemas que se contemplan son los siguientes:

Sistemas existentes en el mercado

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos de alto rendimiento.
- Ciclo cerrado con máquina de absorción de simple efecto con captadores de tubo de vacío.

Sistemas de prospección tecnológica

- Ciclo cerrado con máquina de absorción de doble efecto con captadores cilindro-parabólicos de concentración.
- Ciclo abierto con desecante y refrigeración evaporativa.

La siguiente tabla resume la terminología utilizada para los distintos sistemas a lo largo del proyecto.

Tabla 9. Resumen de casos modelados para las distintas tipologías edificatorias

Tipo	Refrigeración ciclo cerrado		Refrigeración ciclo abierto
	Absorción simple efecto	Absorción doble efecto	
Captador plano selectivo	AB1FPC	-	DECFPC
Captador tubo de vacío	AB1ETC	-	-
Cilindro-parabólico	-	AB2PTC	-

Los sistemas existentes en el mercado (AB1FPC, AB1ETC) se han analizado para:

- Sector residencial y terciario.
- Aplicación según tres niveles de demanda diferentes: edificios previos a CTE (hasta 2006), edificios posteriores a CTE (2007-2014) y edificios bajo previsión de evolución de CTE hacia mayor exigencia en la obligatoriedad de reducción de demanda (2015-2020).

Los sistemas de prospección tecnológica (AB2PTC, DECFPC) se han analizado para:

- Sector terciario.
- Aplicación a partir de 2015, por tanto sólo edificios bajo previsión de evolución de CTE hacia mayor exigencia en la obligatoriedad de reducción de demanda (2015-2020).
- Además, en el caso de sistemas DECFPC se ha realizado un filtrado de las localidades de trabajo para preseleccionar aquellas donde no tiene

sentido su implementación, dado que estos sistemas necesitan de unas determinadas condiciones de humedad ambiental para operar correctamente. Este filtrado se ha realizado en base al número de horas anuales en que la humedad absoluta se encuentra por encima de 10 g/kg, (el mínimo para operar correctamente una rueda desecante), exigiendo, al menos, 1.000 horas anuales por encima de este valor.

En las siguientes figuras se muestran los componentes de cada uno de ellos.

Figura 12. Ciclo cerrado con máquina de absorción (simple o doble efecto) y captadores planos selectivos, de tubo de vacío o cilindro-parabólicos

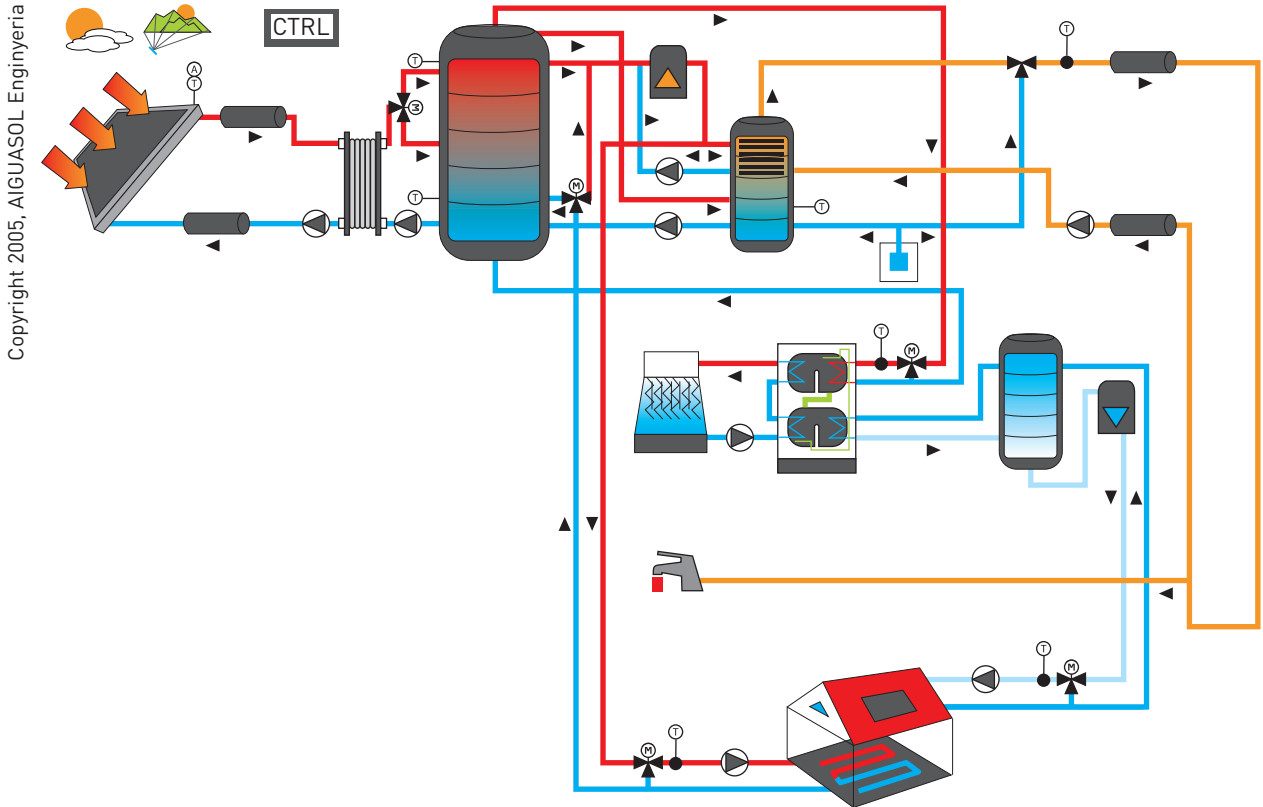
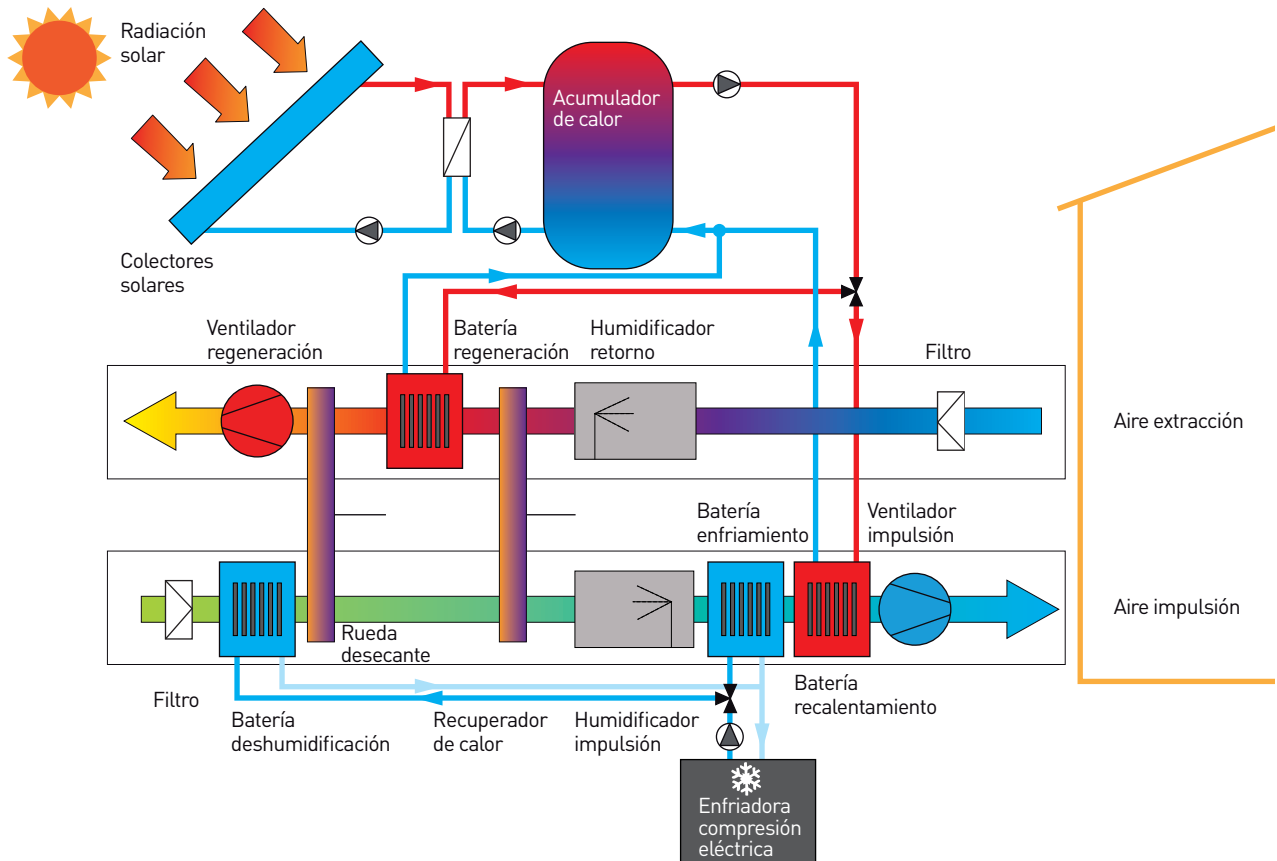


Figura 13. Ciclo abierto con desecante con refrigeración evaporativa



Los casos de DECFPC y AB2PTC se estudiarán sólo para el período temporal 2015-2020 y para el sector terciario. Aunque estos sistemas presentan algunas aplicaciones de plantas piloto alrededor del mundo, el estado del mercado para ellos está más inmaduro que en el caso de absorción de simple efecto. Por tanto, se considerarán casos de proyección tecnológica, de aplicación en la segunda mitad de la década de análisis. Además, por los requisitos del sistema (grandes espacios o unidades de tratamiento de aire centralizadas en el edificio) se realizará el estudio únicamente para el sector terciario.

Los parámetros que definen las características de los distintos sistemas están correlacionados entre sí a partir de un valor que define la capacidad del sistema. Este valor puede ser la superficie de captadores solares (S_s [m²]) o la potencia de refrigeración solar (P_{RS} [kW]).

Se establece el siguiente criterio para dimensionar los sistemas: *valor mínimo para los captadores solares entre, la superficie necesaria para abastecer una máquina de potencia de refrigeración producida mediante energía solar equivalente al 50% de la carga máxima de refrigeración y, la máxima superficie de captadores solares que puedan ubicarse en la cubierta.*

$$P_{REF} = 0,1 * S_U$$

$$P_{RS} = 0,5 * P_{REF}$$

$$S_s (P_{RS}) = f_{S_s} * P_{RS}$$

$$S_{S_{MAX_{FPC}}} = \frac{0,8 * S_C}{1,7}$$

$$S_{S_{MAX_{ETC}}} = \frac{0,8 * S_C}{1,7}$$

$$S_{S_{MAX_{PTC}}} = \frac{0,8 * S_C}{3}$$

$$S_s = \min (S_s (P_{RS}); S_{S_{MAX}})$$

Donde:

P_{RS} (kW): Capacidad del equipo de refrigeración accionado mediante energía solar térmica (Potencia de refrigeración solar).

P_{REF} (kW): Valor máximo instantáneo que presenta el perfil de demanda de refrigeración.

$S_s (P_{RS})$ (m²): Superficie de absorbedor de los captadores solares térmicos que producirán la energía necesaria para el sistema de climatización solar, calculada en función de la potencia de refrigeración solar.

f_{S_s} (m²): Factor de correlación entre la potencia de refrigeración solar y la superficie del campo solar.

- Captadores planos selectivos:

$$f_{S_s} = 3,0 \frac{m^2}{kW}$$

- Captadores de tubo de vacío:

$$f_{S_s} = 2,6 \frac{m^2}{kW}$$

S_U (m²): Superficie útil del edificio a climatizar.

$S_{S_{MAX}}$ (m²): Superficie máxima del campo solar por limitaciones de la superficie disponible de cubierta.

S_C (m²): Superficie del edificio horizontal exterior superior.

La descripción exhaustiva de los sistemas modelizados así como los parámetros empleados se muestran en el informe **R5. Modelización de los sistemas de climatización solar.**

3.4.3.5 Fase 1.5. Obtención de resultados del escenario base para un año de referencia y tres niveles energéticos

Esta etapa consiste propiamente en la realización de la simulación dinámica de todos los casos planteados y la obtención de los parámetros energéticos y técnicos característicos de cada caso.

En total se realizarán el número de simulaciones que se indican a continuación. Para los casos de ciclo cerrado de absorción de simple efecto y de ciclo abierto con desecación y refrigeración evaporativa, se simularán todos los casos posibles:

Simulaciones escenario base	
Tipos edificatorios	21
Provincias	52
Niveles energéticos	3
Modelos sistemas	3
Total modelos	9.828

Para el caso de ciclo cerrado con absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos se realizará la simulación en emplazamientos con elevada radiación directa, ya que ésta es una condición propia de la tecnología.

En este apartado se obtendrán los valores de los indicadores energéticos que se han descrito en el Capítulo 3.3, **específicos por unidad de superficie útil** y que se resumen a continuación:

- S_s^* : superficie captación solar (m^2/m^2)
- $Q_{SOL,U}^*$: producción solar útil ($kWh/a/m^2$)
- ΔEP^* : ahorro energía primaria ($kWh/a/m^2$)
- ΔEM^* : ahorro emisiones de CO_2 (kg/a)
- I_s^* : inversión ($€/m^2$)

El número de simulaciones podrá ser simplificado a lo largo del desarrollo del proyecto en relación al nivel energético. Una vez realizada la primera batería de simulaciones para el nivel energético CTE, (ver Capítulo 3.4.3.3 para detalles sobre este concepto) se planteará la posibilidad de simplificar el número de simulaciones. Es decir, se valorará la incidencia real de variación de la demanda sobre los resultados de los indicadores objetivo del estudio. Si estos no son significativamente sensibles a una reducción/aumento del nivel energético no se realizarán las simulaciones correspondientes.

En este estadio del proyecto se determinarán los casos **potenciales máximos de aplicación de climatización solar**. Para ello se valorará que,

$$\Delta EP \left(\frac{kWh}{a} \right) > 20\%$$

El valor de ahorro de energía primaria se refiere a una comparativa con una instalación convencional que ofrezca los mismos servicios de refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria para cada uno de los casos estudiados.

De este modo se obtendrán los resultados de sistemas técnica y energéticamente viables para 4 tecnologías de climatización solar (y sistemas sólo-calefacción), según 21 modelos representativos del parque edificatorio del sector residencial y terciario, contemplando 3 niveles energéticos diferentes asociados a distintas exigencias del Código Técnico de la Edificación y para 52 provincias españolas.

Estos resultados definirán los valores correspondientes a un año típico de cada uno de los niveles energéticos, y serán los necesarios para construir el ESCENARIO BASE, una vez se combinen con los resultados del parque edificatorio en la Fase 3.

3.4.4 Fase 2. Parque edificatorio. Análisis de los datos estadísticos

En este apartado se pretende obtener datos que caractericen el parque edificatorio español con el fin de extrapolar los resultados obtenidos de la modelización de edificios tipo con sistemas energéticos de climatización solar determinados al total de la superficie construida en España, por provincias.

Bajo esta premisa debe haber un paralelismo entre los modelos edificatorios que se planteen (según la Fase 1.1) y los datos estadísticos que se obtengan como resultado de este capítulo.

Las variables determinantes para el análisis son:

- La *superficie útil edificada*, ya que va a determinar la demanda térmica a abastecer mediante calefacción y aire acondicionado, o bien las necesidades de agua caliente sanitaria según ocupantes estimados.
- La *superficie de cubierta*, ya que será el limitante de la disponibilidad de espacio para ubicación de captadores solares térmicos. Siempre considerando como premisa que es en este espacio donde mayoritariamente se pueden emplazar (no se consideran otras opciones como pérgolas en jardines o parques, cubiertas de aparcamientos, etc.).

Los datos de superficie de cubierta no se emplearán para cálculos posteriores pero sí para comprobación de resultados obtenidos sobre superficie potencial de captadores solares térmicos.

Los datos se agruparán en dos periodos temporales:

- Edificaciones construidas entre 2000 y 2006.
- Edificaciones construidas entre 2007 y 2009.

Para centros comerciales se considerará entre 1990 y 2006 y para hospitales un único periodo:

Los datos se obtendrán para las 52 provincias españolas.

Parque edificatorio	
VARIABLES	2
Tipos	21
Periodos temporales	2
Provincias	52
Total datos	4.368

Con los datos obtenidos se podrá construir el escenario edificatorio para el año de partida, 2010.

Se incluye en este apartado también una propuesta de correlación para calcular la evolución del crecimiento del parque edificatorio entre 2011 y 2020, y estimar los datos correspondientes a este periodo.

Los resultados de esta fase del estudio se incluyen en el documento **R3. Parque edificatorio**.

3.4.5 Fase 3. Resultados del Escenario Base. Representación SIG

A partir de los datos del parque edificatorio, se obtendrá el valor de superficie útil para las siguientes agrupaciones de años.

- 2000 (ó 1990) a 2006.
- 2007 a 2009.
- 2010 a 2014.
- 2015 a 2020.

En esta fase se multiplicarán los indicadores obtenidos de la Fase 1.5 por los valores de superficie útil total del parque edificatorio de toda España, para cada uno de los grupos de años indicados, realizando la correspondencia relativa a provincias.

Los resultados se presentarán en formato de gráficos EXCEL y en formato de mapas SIG. En cada caso se realizará la representación de los siguientes valores:

Formato de gráficos EXCEL:

- Formato gráficos de barras o puntos.
- Tipologías edificatorias: residencial-terciario (se agruparán las tipologías estudiadas en estos dos grupos).
- Tecnologías: AB1FPC, AB1ETC, AB2PTC, DECFPC, (se excluye calefacción; se explicarán las conclusiones para este caso en un anexo aparte).
- Indicadores: se representarán S_s ; Q_{sOL_U} ; ΔEP ; ΔEM ; I_s en valores totales acumulados para España, para los tres periodos anuales de estudio (2010-2015-2020), con el fin de mostrar la evolución del potencial y integrando en cada gráfico las cinco tipologías edificatorias estudiadas (RU, RP, OF, CC, CS).

Gráficos – Escenario base	
Formato gráfico	1
Tipos edificatorios	2
Tecnologías	4
Indicadores	4
Total gráficos	32

Formato de mapas SIG:

- Escenario BASE.
- Formato mapa: provincias.
- Tipologías edificatorias: residencial-terciario (se agruparan las tipologías estudiadas en estos dos grupos).
- Periodos anuales: 2010 – 2020.
- Tecnologías: AB1FPC, AB1ETC, AB2PTC, DECFPC.
- Indicadores: se representaran S_s ; Q_{sOL_U} .

Mapas SIG – Escenario base	
Formato mapa	1
Tipos edificatorios	2
Periodos temporales	2
Tecnologías	4
Indicadores	2
Total mapas	32

3.4.6 Fase 4. Resultados energéticos y económicos globales del escenario mercado y apoyo. Representación SIG

3.4.6.1 Fase 4.1. Cálculos económicos de los sistemas potenciales del Escenario Base para creación de los escenarios mercado y apoyo

Para los sistemas que han configurado el ESCENARIO BASE, es decir, aquellos que energéticamente ofrecen un ahorro de energía primaria superior al 20% se va a realizar el análisis económico.

En estos cálculos, junto con los indicadores energéticos ya calculados, se van a incluir coste de inversión, operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de las instalaciones. Se incluirán también los indicadores económicos siguientes:

- PRI: periodo de retorno de la inversión (a)
- CC_{EP} : coste diferencial por unidad de energía primaria (€/kWh)

Se elaborará el ESCENARIO MERCADO considerando que los casos que configurarán este modelo serán aquellos que ofrezcan el CC_{EP} siguiente.

$$CC_{EP} < 10 \frac{c \text{ €}}{kWh_{EP}}$$

Sobre el mismo número de casos del escenario base se construirá también el ESCENARIO

APOYO-30. Para este caso se considerará un 30% de apoyo mediante subvenciones públicas a la inversión y se incluirán en el escenario los casos que cumplan la condición siguiente sobre el PRI.

PRI < 15 años

Del mismo modo se elaborará el ESCENARIO APOYO-60, pero considerando un 60% de subvenciones públicas, y el mismo criterio sobre el PRI.

El caso sólo-calefacción queda excluido del tratamiento dentro de los ESCENARIOS APOYO-30 y APOYO-60.

3.4.6.2 Fase 4.2. Representación de resultados. SIG

Como para el caso del ESCENARIO BASE, en esta fase se multiplicarán los indicadores obtenidos de la Fase 4.1, de los ESCENARIOS MERCADO, APOYO-30 y APOYO-60 por los valores de superficie útil total del parque edificatorio de toda España, para cada uno de los grupos de años indicados, realizando la correspondencia relativa a provincias. Los grupos de años son los siguientes:

- 2000 (ó 1990) a 2006.
- 2007 a 2009.
- 2010 a 2014.
- 2015 a 2020.

Para el caso ESCENARIO MERCADO se representarán todos los mismos indicadores que para el escenario base.

Los resultados se presentarán en formato de gráficos EXCEL y en formato de mapas SIG. En cada caso se realizará la representación de los siguientes valores:

Formato de gráficos EXCEL:

- Formato gráficos de barras o puntos.
- Tipologías edificatorias: residencial-terciario (se agruparan las tipologías estudiadas en estos dos grupos).
- Tecnologías: AB1FPC, AB1ETC, AB2PTC, DE-CFPC, (se excluye calefacción; se explicarán las conclusiones para este caso en un anexo aparte).
- Indicadores: se representarán $S_s, Q_{SOL,U}$; ΔEP ; ΔEM ; I_s en valores totales acumulados para España, para los tres periodos anuales de estudio (2010-2015-2020), con el fin de mostrar la evolución del potencial e integrando en cada gráfico las cinco tipologías edificatorias estudiadas (RU, RP, OF, CC, CS).

Gráficos – Escenario mercado	
Formato gráfico	1
Tipos edificatorios	2
Tecnologías	4
Indicadores	4
Total gráficos	32

Gráficos – Escenario apoyo-30	
Formato gráfico	1
Tipos edificatorios	2
Tecnologías	4
Indicadores	4
Total gráficos	32

Gráficos – Escenario apoyo-60	
Formato gráfico	1
Tipos edificatorios	2
Tecnologías	4
Indicadores	4
Total gráficos	32

Formato de mapas SIG:

- ESCENARIO MERCADO (se excluyen los ESCENARIOS APOYO-30 y APOYO-60).
- Formato mapa: provincias.
- Tipologías edificatorias: residencial-terciario (se agruparán las tipologías estudiadas en estos dos grupos).
- Periodos anuales: 2010 – 2020.
- Tecnologías: AB1FPC, AB1ETC, AB2PTC, DECFPC.
- Indicadores: se representarán S_S ; Q_{SOL_U} .

Mapas SIG – Escenario mercado	
Formato mapa	1
Tipos edificatorios	2
Periodos temporales	2
Tecnologías	4
Indicadores	2
Total gráficos	32

3.4.6.3 Fase 4.3. Conclusiones finales

Finalmente se realizará una comparativa entre los resultados obtenidos para los diferentes escenarios, y se mostrarán las conclusiones globales obtenidas de la ejecución del estudio.

Los resultados, incluyendo la representación SIG, se presentarán en el informe **R6. Informe final**.

4 Hipótesis

4.1 CLIMATOLOGÍA

Se asigna un clima a cada una de las provincias españolas. En cada caso corresponde a la capital de provincia, considerando que este es el núcleo urbano donde se concentran la mayor parte de edificios representados.

Los archivos climáticos empleados son los que constan como Documentos Reconocidos dentro del Programa de Certificación de Eficiencia Energética del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Secretaría de Estado de Energía).

Se empleará el mismo archivo tanto para el cálculo de la demanda energética como para el cálculo del comportamiento del sistema solar térmico de climatización.

4.2 TIPOLOGÍAS EDIFICATORIAS

Debido a que uno de los factores determinantes en la viabilidad de los sistemas de climatización solar es la simultaneidad entre el perfil de demanda y la disponibilidad solar, se ha considerado de relevante importancia distinguir entre diferentes usos edificatorios. Se han seleccionado los siguientes:

1. Residencial unifamiliar.
2. Residencial plurifamiliar.
3. Terciario oficinas.
4. Terciario centros sanitarios.
5. Terciario centros comerciales.

Para el sector residencial se pretende englobar todo el parque edificatorio mientras que para el sector terciario se han seleccionado grupos que tienen un comportamiento significativamente distinto en cuanto a perfil horario de demanda asociado a la variabilidad de cargas térmicas y horarios de uso (Ver [ROCOCO]).

Estos grupos presentan a priori un potencial relevante para la aplicación de sistemas de climatización solar, que será contrastado mediante los cálculos del presente estudio, por los siguientes motivos en cada caso:

- Terciario oficinas: perfil con una intensidad alta de cargas internas y de ganancias solares por mayor

superficie transparente que otros edificios, coincidente con las horas de mayor disponibilidad solar.

- Terciario centros sanitarios: perfil con una demanda alta tanto de aire acondicionado como de calefacción y de agua caliente sanitaria durante mayor número de horas que en otro tipo de edificaciones; disponibilidad de cubierta para ubicar captadores solares por unidad de superficie útil más elevada que otros edificios del sector terciario.
- Terciario centros comerciales: elevada disponibilidad de cubierta para captadores solares por unidad de superficie útil.

En el estudio estadístico del parque edificatorio se han distinguido también estos tres grupos edificatorios para el sector terciario, así como el total. Los edificios del sector terciario registrados según las estadísticas y que no estén contemplados dentro de los modelos, se distribuirán en alguno de los grupos modelados según mayor similitud de uso.

4.3 SERVICIOS ENERGÉTICOS

El alcance del proyecto se extiende a los siguientes servicios energéticos térmicos:

- Calefacción: correspondiendo al control de la temperatura de los espacios a climatizar cuando éstos tienen una temperatura inferior a la de consigna.
- Aire acondicionado o refrigeración: entendiéndose como tal el control de la temperatura de los espacios a climatizar cuando éstos tienen una temperatura superior a la de consigna. Sólo en el caso de la tecnología de desecación y enfriamiento evaporativo se va a incluir la ventilación.
- Agua caliente sanitaria: calentamiento del agua para usos sanitarios.

4.4 HORARIOS

Se considerará régimen de verano desde el último domingo de marzo al último sábado de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno.

Se diferencia entre días laborales, sábados o festivos. Se supondrá que el día 1 de enero es lunes. No se consideran fiestas nacionales, regionales ni locales.

4.5 ANTIGÜEDAD DE LAS EDIFICACIONES Y NIVEL ENERGÉTICO ASOCIADO

Se parte de la hipótesis que los edificios de viviendas y de oficinas construidos anteriormente al año 2000 no son susceptibles de aceptar un sistema de climatización solar puesto que los costes de los sistemas son todavía excesivamente elevados para justificar las obras de adaptación necesarias asociadas a la instalación de sistema de distribución de aire climatizado o agua fría/caliente hasta las viviendas (u oficinas) a partir del sistema de climatización solar implantado. Asimismo sería razonable antes de instalar un sistema de climatización solar, cuya rentabilidad económica es baja, aplicar todas las medidas posibles de eficiencia energética para reducir la demanda, en cualquier caso, con un coste económico menor que los sistemas de climatización solar.

Para el caso de centros comerciales y hospitales se ha optado por un criterio compatible con la disponibilidad de datos estadísticos sobre este tipo de edificios y la consideración que en estos casos existe un mantenimiento integral que alarga la vida útil de las instalaciones. Así, para el caso de hospitales, al disponer de un único dato que es el número de camas, no se ha podido disgregar la información anualmente. Se han considerado por tanto, todos los hospitales existentes actualmente. Para el caso de centros comerciales se ha extendido la información hasta el año 1990.

Entre el año 2000 y 2005 se considerará que los edificios fueron construidos con la antigua norma NBE CT-79. Por tanto, su nivel energético se estimará un 25% superior al que se ha modelizado con las premisas del Código Técnico de la Edificación, vigente desde el año 2006⁶.

A los edificios construidos entre el año 2007 y 2015 se les asociará el valor de demanda energética obtenido mediante la simulación dinámica, según se describe en los documentos R1 y R4 del presente estudio, y que corresponden al que prescribe el Código Técnico de la Edificación. Para el caso de hospitales se asignará a todos los edificios existentes el perfil energético de este período.

A los edificios construidos posteriormente al 2015 se les asocia una mejora en eficiencia energética de un 10% respecto a los niveles que determina el Código Técnico de la Edificación.

4.6 SISTEMAS DE REFERENCIA

Cada uno de los casos estudiados de climatización solar se compara con una situación de referencia en la cual las necesidades energéticas se abastecen mediante sistemas convencionales. En concreto:

- Caldera de gas natural.
- Enfriadora de compresión eléctrica.
- Unidad de tratamiento de aire (únicamente para la comparativa de los sistemas de desecación y enfriamiento evaporativo).

Toda la comparativa se realiza excluyendo los sistemas de distribución y difusión de la energía, ya que se consideran equivalentes en el caso climatización solar y en el caso de referencia. Se parte de la hipótesis que para aplicar un sistema de climatización solar es necesaria una centralización de las instalaciones.

No se considera que el sistema de referencia coincida con la instalación solar asociada al cumplimiento de la norma HE4 del Código Técnico de la Edificación. Se aplica este criterio con el fin de estudiar la viabilidad de los sistemas sin que se vean afectados por posibles modificaciones causadas por esta normativa.

4.7 VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables que se emplearán en el estudio para comparar y presentar los resultados serán las que se especifican en este capítulo, presentándose separadas según la fase del estudio a que se refieren.

⁶Según se constata en <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=516>

4.7.1 Demanda horaria

Tabla 10. Variables relativas a la demanda horaria

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
S_U	Superficie útil	m ²	Superficie del edificio cuyos espacios se deben climatizar.
S_C	Superficie cubierta	m ²	Superficie del edificio horizontal exterior superior.
Q_{REF}	Demanda refrigeración total	kWh/a	Necesidades anuales de calor sensible (y latente) para cubrir la diferencia de temperatura (y humedad) entre los espacios a climatizar cuando ésta es superior a la temperatura (humedad) de consigna.
Q_{CAL}	Demanda calefacción total	kWh/a	Necesidades anuales de calor sensible para cubrir la diferencia de temperatura entre los espacios a climatizar cuando ésta es inferior a la temperatura de consigna.
Q_{ACS}	Demanda ACS total	kWh/a	Necesidades anuales de calor sensible para aumentar la temperatura del agua de red a la temperatura de consigna determinada para usos sanitarios.
Q_{CALOR}	Demanda de calor total	kWh/a	Suma de la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria.
Q_{CAL}^*	Demanda calefacción específica	kWh/a/m ²	Demanda de calefacción por unidad de superficie útil.
Q_{ACS}^*	Demanda ACS específica	kWh/a/m ²	Demanda de agua caliente sanitaria por unidad de superficie útil.
Q_{REF}^*	Demanda refrigeración específica	kWh/a/m ²	Demanda de refrigeración por unidad de superficie útil.
P_{REF}	Potencia refrigeración	kW	Valor máximo instantáneo que presenta el perfil de demanda de refrigeración.
P_{CAL}	Potencia calefacción	kW	Valor máximo instantáneo que presenta el perfil de demanda de calefacción.
P_{ACS}	Potencia ACS	kW	Valor máximo instantáneo que presenta el perfil de demanda de agua caliente sanitaria.

4.7.2 Energía en sistemas de climatización solar

Tabla 11. Variables relativas al comportamiento energético de los sistemas de climatización solar-I

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
S_s	Superficie captación solar	m ²	Superficie de absorbedor de los captadores solares térmicos que producirán la energía necesaria para el sistema de climatización solar.
P_{RS}	Potencia refrigeración solar	kW	Capacidad del equipo de refrigeración accionado mediante energía solar térmica.
P_{RA}	Potencia refrigeración apoyo	kW	Capacidad del equipo de refrigeración de apoyo accionado mediante energía eléctrica.
P_{CA}	Potencia caldera apoyo	kW	Capacidad de la caldera de apoyo a la producción solar para calefacción y agua caliente sanitaria.
FS_{FRIO}	Fracción solar frío	%	Parte de la demanda de refrigeración abastecida mediante energía solar térmica.
FS_{CAL}	Fracción solar calefacción	%	Parte de la demanda de calefacción abastecida mediante energía solar térmica.
FS_{ACS}	Fracción solar ACS	%	Parte de la demanda de agua caliente sanitaria abastecida mediante energía solar térmica.
FS_{CALOR}	Fracción solar calor	%	Parte de la demanda de calefacción más agua caliente sanitaria abastecida mediante energía solar térmica.
Q_{SOL}	Producción solar	kWh/a	Energía producida mediante los captadores solares térmicos en límites del campo solar.
Q_{SOL_U}	Producción solar útil	kWh/a	Energía empleada en refrigeración (generador de la máquina de absorción o regeneración rotor desecante), calefacción o agua caliente sanitaria procedente de producción solar.

Tabla 12. Variables relativas al comportamiento energético de los sistemas de climatización solar-II

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
C_A	Consumo combustible apoyo	kWh/a	Energía contenida en el combustible fósil utilizado para abastecer la demanda de calor que no puede ser cubierta mediante energía solar.

(Continuación)

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
E_A	Consumo electricidad apoyo	kWh/a	Electricidad utilizada en el sistema para el propio funcionamiento del mismo (bombas, ventilador de la torre de refrigeración, ventiladores en unidades de tratamiento de aire, control, etc) y como energía de apoyo a la demanda de refrigeración.
C_R	Consumo combustible referencia	kWh/a	Energía contenida en el combustible fósil utilizado en un sistema convencional (de referencia) capaz de abastecer la demanda de calor del edificio.
E_R	Consumo electricidad referencia	kWh/a	Electricidad utilizada en un sistema convencional (de referencia) en una enfriadora de compresión para abastecer la demanda de refrigeración.
ΔEP	Ahorro energía primaria	kWh/a	Comparativa entre la energía primaria consumida en el sistema de climatización solar y la que se consumiría en el sistema de referencia.
ΔEP_e	Ahorro energía primaria relativo	%	Valor porcentual de ahorro de energía primaria.
ΔEM	Ahorro emisiones CO ₂	t/a	Comparativa entre las toneladas de emisiones de CO ₂ en el sistema de climatización solar y en el sistema de referencia.
ΔEM_e	Ahorro emisiones CO ₂ relativo	%	Valor porcentual de ahorro de emisiones de CO ₂ .

4.7.3 Economía en sistemas de climatización solar

Tabla 13. Variables relativas al comportamiento económico de los sistemas de climatización solar

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
I_S	Inversión sistema climatización solar	€	Costes de capital de los equipos del sistema de climatización solar, instalados y en operación.
I_R	Inversión sistema de referencia	€	Costes de capital de los equipos del sistema de referencia, instalados y en operación.
CC_S	Costes anualizados sistema de climatización solar	€/a	Costes de capital, operación y mantenimiento durante el ciclo de vida del sistema de climatización solar repercutidos sobre cada uno de los años de explotación.

(Continuación)

Acrónimo	Concepto	Unidad	Definición
CC _R	Costes anualizados sistema de referencia	€/a	Costes de capital, operación y mantenimiento durante el ciclo de vida del sistema de referencia repercutidos sobre cada uno de los años de explotación.
CC _{EP}	Costes por unidad de energía primaria ahorrada	€/kWh	Incremento en los costes anualizados entre el sistema de climatización solar y el sistema de referencia repercutidos por la energía primaria ahorrada mediante el sistema de climatización solar.
PRI	Periodo de retorno de la inversión	años	Periodo temporal en que la diferencia de inversión entre el sistema de climatización de referencia y un sistema convencional debe recuperarse a través de los ahorros económicos anuales en los costes de operación y mantenimiento.

4.8 PARÁMETROS ENERGÉTICOS

Los parámetros energéticos comprenden aquellos parámetros relacionados con las fuentes de energía que intervienen en el estudio, que son principalmente dos: la electricidad y el gas natural.

La energía solar es una fuente renovable de obligada integración en los sistemas de aportación de agua caliente sanitaria para nueva edificación

siempre y cuando no exista una energía residual que realice esta aportación energética.

Los sistemas auxiliares de producción térmica contemplados en el presente estudio son principalmente calderas de gas natural.

La electricidad es la fuente de los consumos parasitarios de bombas, ventiladores de torres de refrigeración, ventiladores de unidades de tratamiento de aire, sistemas de control y regulaciones.

En referencia a los parámetros energéticos los utilizados en el presente estudio se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Valores de los parámetros energéticos empleados en el estudio

Parámetro	Unidades	Gas	Electricidad
Rendimiento estacional calderas	%	85	-
Rendimiento estacional enfriadoras eléctricas - COP	-	-	2,5
Potencia instalada de bombas sobre total potencia refrigeración sistema de climatización solar	%		2
Potencia instalada de ventilador y bomba sobre capacidad torre de refrigeración	%		1
Conversión a energía primaria	kWh _{EP} /kWh	1,070	2,466
Conversión a emisiones de CO ₂	kgCO ₂ /kWh	0,216	0,385

4.9 PARÁMETROS ECONÓMICOS

En las tablas siguientes se resumen los valores de los indicadores adoptados en el estudio.

4.9.1 Precio de inversiones

4.9.1.1 Soluciones estándar

Las inversiones se han calculado según los criterios aplicados en el proyecto europeo “*ROCOCO Reduction of costs of solar cooling systems; 2006-2008; contract No TREN/05/FP6EN/S07.54855/020094*” que se han actualizado a precios de 2010 según los ratios de inflación. Estos valores de costes han sido presentados en la *Task 38 Solar air-conditioning and Refrigeration del Solar Heating and Cooling Programme* de la Agencia Internacional de la Energía.

4.9.1.2 Soluciones de proyección tecnológica

Para el caso de máquinas de absorción de doble efecto con captadores cilindro-parabólicos se ha considerado un coste relativo a los ratios de coste para sistemas de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos. El cálculo de este coste considera:

- Información de los fabricantes para máquinas de doble efecto con un mercado consolidado para estos equipos.

- Información de un fabricante de captadores cilindro-parabólicos, basada en ofertas existentes según el proyecto europeo “*SAHC Promotion of Solar Assisted Heating and Cooling in the agrofood sector; contract EIE/07/224*” y estimación propia para costes de instalación y puesta en marcha.

Deben valorarse los resultados bajo la perspectiva que mientras que en el caso de absorción de simple efecto con captadores planos selectivos la experiencia de instalaciones reales avala los valores de costes mostrados, en el caso de máquina de absorción de doble efecto con captadores cilindro-parabólicos, la solución tiene todavía muy pocas experiencias en operación por lo que la evolución del mercado se basa en estimaciones respaldadas por los actores del sector y el estado del conocimiento y la investigación en curso.

Para el caso de sistemas (en todas las variantes tecnológicas) que se implanten en el periodo temporal entre 2015 y 2020 se ha estimado una reducción de costes del 10% por evolución del volumen de mercado.

4.9.2 Precios de mantenimiento

Para los precios de mantenimiento, diferentes para la situación de climatización solar y la situación de referencia, se han considerado los valores siguientes, que son los considerados en el proyecto europeo “*ROCOCO Reduction of costs of solar cooling systems; 2006-2008; contract No TREN/05/FP6EN/S07.54855/020094*”

Tabla 15. Precios de mantenimiento (Euros/año)

	Parámetro	Climatización solar	Referencia
Sistemas con absorción	Sistemas para residencial unifamiliar	2.500	700
	Potencia refrigeración menor 100 kW	6.500	3.250
	Potencia refrigeración mayor 100 kW	12.500	6.250
Sistemas con desecante	Potencia refrigeración menor 100 kW	4.500	3.000
	Potencia refrigeración mayor 100 kW	8.500	7.500

4.9.3 Periodo de vida de la instalación

El periodo de análisis desde el punto de vista financiero lo hemos delimitado a un plazo de la inversión de 20 años, por ser un valor razonable para la vida útil de una instalación de climatización solar.

Tabla 16. Vida útil de los equipos

	Concepto	Vida útil (años)
Equipos climatización solar	Captadores solares térmicos	16
	Máquina de absorción	20
	Torre de refrigeración	10
	Rotor desecante	10
Producción auxiliar	Calderas	10
	Equipos de compresión eléctrica	10
	Unidad tratamiento de aire	10
Acumulación	Acumulación calor (c.cerrado)	16
Control	Control	10

4.9.4 Tiempo de vida de los materiales

Internalizado dentro de los costes de inversión anualizados se tienen en consideración las reposiciones de los materiales, para los que el tiempo de vida considerado de los diferentes equipos vale remitirse a los valores que figuran en la siguiente tabla:

4.9.5 Precios de la energía

Se considerarán los siguientes precios energéticos para la electricidad.

Tabla 17. Precios de la electricidad

	Parámetro	Unidad	Electricidad
Residencial unifamiliar – Baja tensión y Potencia < 10 kW	Término potencia (fijo)	€/kW/año	20,633129
	Término energía (variable)	€/kWh	0,117759
Resto de edificios – General 3.0.2 y Potencia > 15 kW	Término potencia (fijo)	€/kW/mes	1,858500
	Término energía (variable)	€/kWh	0,121359

Se han considerado la tarifas correspondientes al valor de la TUR (tarifa de último recurso) de la electricidad según la Resolución del 29 de diciembre de 2009, de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE núm. 315, de 31 de diciembre de 2009.) En vigor desde el día 1 de enero de 2010.

Se considerarán los siguientes precios energéticos para el gas natural.

Tabla 18. Precios del gas natural

	Parámetro	Unidad	Gas natural
TUR.1 consumo ≤ 5.000 kWh/a	Término potencia (fijo)	€/cliente/mes	3,90
	Término energía (variable)	€/kWh	0,04444219
TUR.2 consumo > 5.000 kWh/a y ≤ 50.000 kWh/a	Término potencia (fijo)	€/cliente/mes	7,84
	Término energía (variable)	€/kWh	0,03880019
TUR.3 consumo > 50.000 kWh/a y ≤ 100.000 kWh/a	Término potencia (fijo)	€/cliente/mes	48,89
	Término energía (variable)	€/kWh	0,03372422
TUR.4 consumo > 50.000 kWh/a y ≤ 100.000 kWh/a	Término potencia (fijo)	€/cliente/mes	146,54
	Término energía (variable)	€/kWh	0,03117522

Se han considerado las tarifas correspondientes al valor de la TUR (tarifa de último recurso) de gas natural según la Resolución de 22 de marzo de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE núm. 78, de 31 de marzo de 2010). En vigor desde el día 1 de abril de 2010. Estas corresponden a la TUR.1 y la TUR.2.

Según la Orden ITC/3520/2009, del 29 de diciembre de 2009, de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE núm. 315, de 31 de diciembre de 2009) las TUR.3 y TUR.4 desaparecen. Sin embargo, en el marco del presente estudio se considera que las tarifas existentes para gases manufacturados por canalización, pueden corresponder aproximadamente a tarifas de mercado para consumidores con un consumo anual superior a 50 MWh/año.

4.9.6 Precio del agua

El consumo de agua está asociado a la torre de refrigeración (sistemas con absorción) y los humidificadores (sistemas con desecación y enfriamiento evaporativo). Se valora a un precio de 2 €/m³.

4.9.7 Tasa de descuento

El valor de la tasa de descuento indica la preferencia por el dinero presente frente a la preferencia por el dinero futuro. El valor de la tasa de descuento

depende de la inflación esperada y del tipo de interés del dinero en el mercado. Actualmente, la tasa de interés más usada para inversiones se encuentra alrededor del 3,0%. Se toma este valor.

4.9.8 Inflaciones

Aunque se tiende a unificar los valores de la inflación para los distintos costes futuros, el precio de la energía y de la electricidad se incrementa a un ritmo distinto, debido a la volubilidad del precio de los combustibles fósiles en el primer caso y a los cambios en las composiciones del mix energético en el segundo.

La desaceleración económica actual provoca una reducción del valor de la inflación, pero posteriormente, antes del año 2020 puede volver a incrementarse. Se ha tomado un valor promedio de 1,5%.

Para el caso de las fuentes energéticas convencionales se ha tomado un valor de 4,0% para la inflación en precio del gas y 4,0% para la inflación en precio de la electricidad.

4.9.9 Subvenciones

En función del escenario de análisis se han tomado distintos valores que corresponden al 30% y al 60% de la inversión.

4.9.10 Otros parámetros económicos asociados a la inversión

En la Tabla 19 se indican los valores relativos al cálculo de costes de inversión asociados a los conceptos de ingeniería, diferente en el caso de climatización solar y de referencia, siendo 12% y 6% respectivamente. También se indican los valores asociados a los conceptos de costes generales de las obras, tomando el 18% y, para costes asociados a costes indirectos y beneficio industrial, siendo el 6% el indicador considerado.

4.9.11 Exclusiones en el análisis económico

En el estudio presentado se han excluido los costes de:

- Seguros: por considerar que irán asociados a la partida general del usuario o del propietario del edificio para la globalidad de instalaciones y son independientes de la opción energética adoptada.
- Costes de financiación: se consideran excluidos del análisis presentado, tanto para el caso de referencia como para el caso de climatización solar.

4.9.12 Resumen de los parámetros económicos generales

Tabla 19. Valores de los parámetros económicos empleados en el estudio

	Parámetro	Unidad	Valor
Parámetros económicos generales	Periodo de vida de la instalación	Años	20
	Tasa de descuento	%	3,0
	Tasa de inflación	%	1,5
	Tasa de inflación para precio electricidad	%	4,0
	Tasa de inflación para precio gas	%	4,0
Parámetros económicos asociados a inversión	Fracción costes ingeniería sobre inversión material total	%	-
	Sistema referencia	%	6
	Sistema climatización solar	%	12
	Fracción de costes generales asociados a obra	%	13
	Fracción de costes indirectos y beneficio industrial	%	6
	Fracción de subvención sobre costes inversión	%	-
	Escenario APOYO-30	%	30
Escenario APOYO-60	%	60	

4.10 UNIDADES

Acrónimo	Definición
kW	Kilovatio; unidad de potencia; 1 kW es el trabajo de 1 kJ realizado en 1 segundo
MW	Megavatio; 1 MW equivale a 1.000 kW
kW/m ²	Kilovatio por unidad de superficie
kWh	Kilovatio hora; unidad de energía; 1 kWh equivale a una potencia de 1 kW durante 1 hora
kWh _{EP}	Kilovatio hora de energía primaria
kg	Kilogramo; unidad de masa
t	Tonelada; unidad de masa; 1 tonelada equivale a 1.000 kg
kt	Millar de toneladas
a	Año
€	Euros

5 Resultados para el sector residencial

5.1 POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN SOLAR EN ESPAÑA CON MÁQUINAS DE ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO Y CAPTADORES PLANOS SELECTIVOS Y DE TUBO DE VACÍO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología explicada previamente

para las dos opciones tecnológicas indicadas, en el sector residencial.

5.1.1 Escenario Base

Los resultados expuestos a continuación representan el máximo potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, en el sector residencial. Este máximo potencial se basa en aquellas aplicaciones que producen al menos un 20% de ahorro de energía primaria.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 20. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario base – AB1FPC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	42.676,83	15.585,16	14.148,78	2.723,90	98.056,30
2015	49.978,38	18.104,37	16.426,47	3.165,93	114.670,95
2020	57.567,38	20.645,01	18.784,68	3.623,16	130.464,48

Tabla 21. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario base – AB1ETC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	48.844,45	20.317,47	20.335,67	3.979,29	155.189,92
2015	56.793,13	23.561,23	23.561,42	4.614,25	180.196,65
2020	64.751,89	26.751,60	26.805,11	5.251,27	202.945,13

Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 58 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 21 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 19 TWh/año y 3.600 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 130.500 millones de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 65 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 27 TWh/año y un ahorro de energía primaria y emisiones de CO₂ de 27 TWh/año y 5.250 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 203.000 millones de Euros.

5.1.2 Escenario Mercado

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, asociados a una situación hipotética de mercado, para el sector residencial.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial de mercado aquellas en que el coste por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP}) sea menor a 10 c€/kWh_{EP} , siendo este valor el promedio para los casos

estudiados relativo al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

En principio se planteó el criterio de incluir en el potencial de mercado aquellas instalaciones que ofreciesen un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, pero los resultados de los cálculos no muestran ningún caso dentro de este marco.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario de mercado, que la instalación produzca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 22. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario mercado- AB1FPC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	2.477,79	1.445,90	1.469,20	284,75	3.831,73
2015	2.788,33	1.626,01	1.653,44	320,66	4.308,80
2020	3.604,07	2.051,88	2.092,84	406,26	5.423,13

Tabla 23. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario mercado - AB1ETC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	2.903,16	1.958,38	2.150,04	423,50	5.723,12
2015	3.424,06	2.302,31	2.526,17	497,81	6.742,88
2020	4.059,73	2.719,20	2.985,40	588,32	7.899,93

Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 3,6 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 2,1 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 2,1 TWh/año y 400 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 5.400 millones de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 4,1 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 2,7 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 3,0 TWh/año y 600 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 7.900 millones de Euros.

5.1.3 Escenarios de Apoyo

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, asociados a una situación en que exista un apoyo económico público a las inversiones en estos sistemas, para el sector residencial.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial con apoyo económico público aquellas en que el periodo de retorno de la inversión sea inferior a 15 años.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario con apoyo, que la instalación ofrezca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

Se han analizado dos rangos de apoyo: un 30% (Escenario Apoyo-30) y un 60% (Escenario Apoyo-60) de la inversión total del sistema de climatización solar. Para el Escenario Apoyo-30 no se ha obtenido ningún caso que cumpla la condición de potencial. Por tanto, se muestran únicamente los resultados para el caso Escenario Apoyo-60.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 24. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario apoyo-60 – AB1FPC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	7,50	5,76	6,42	1,26	4,84
2015	8,85	6,77	7,55	1,49	5,70
2020	34,15	24,49	27,14	5,34	21,61

Tabla 25. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario apoyo-60 – AB1ETC. Sector residencial

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	86,38	84,10	96,7	19,07	77,42
2015	101,76	98,92	113,00	22,41	91,22
2020	131,53	126,03	144,35	28,63	114,77

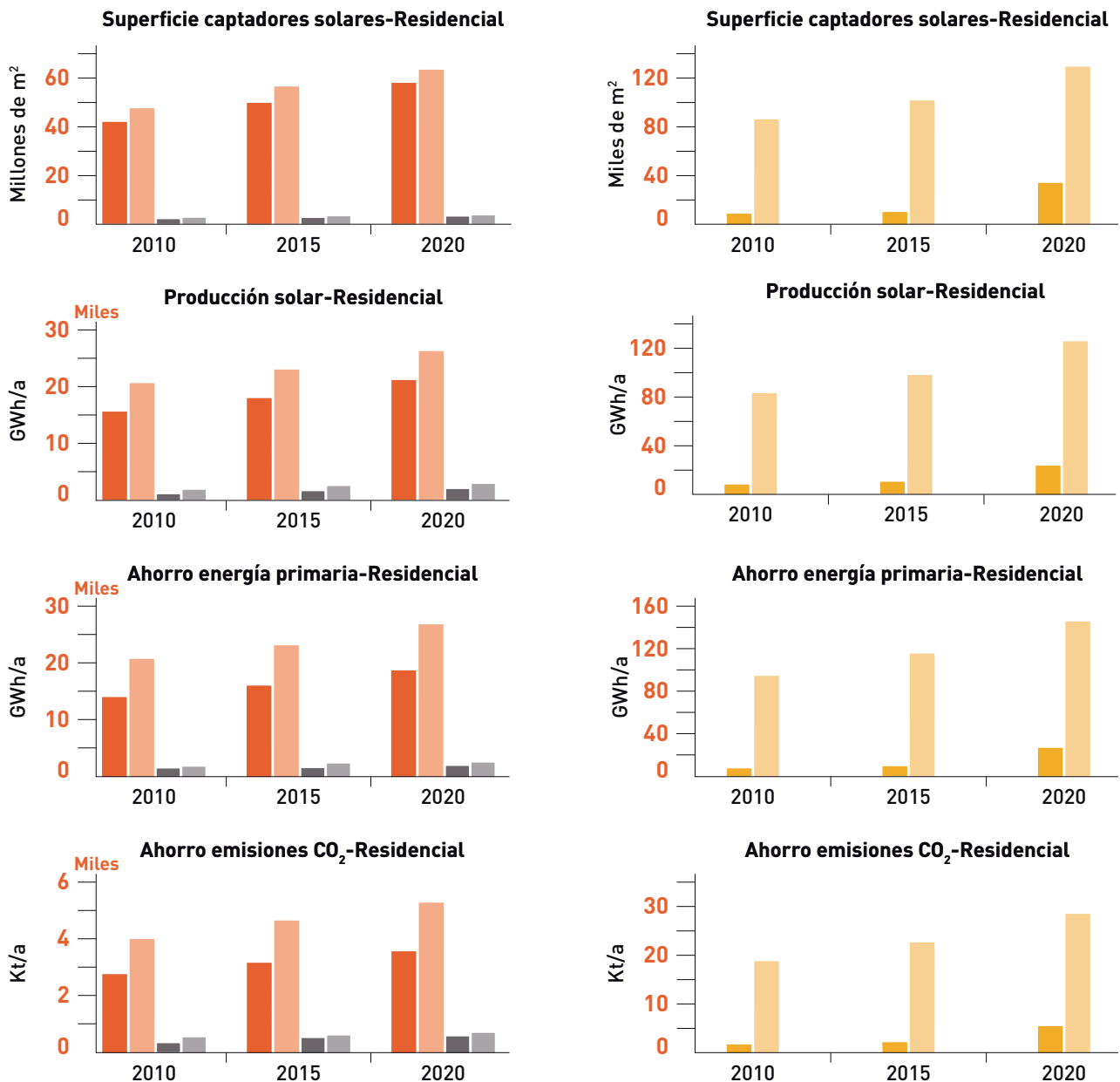
Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 34 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 24 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 27 GWh/año y 5.300 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 21.600 miles de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 132 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 126 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 144 GWh/año y 28.630 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 114.800 miles de Euros.

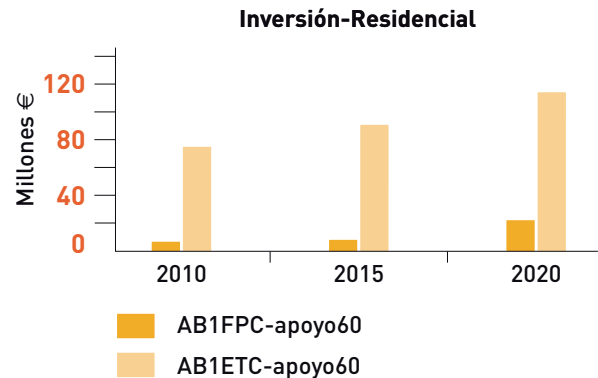
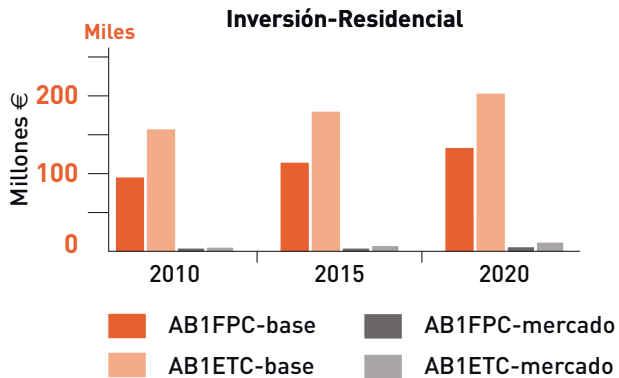
5.1.4 Resumen y análisis de resultados

Las figuras siguientes resumen los resultados expuestos para el sector residencial. Se muestran los cinco indicadores del análisis en dos tipos de gráfico: uno para el Escenario Base y Escenario Mercado, y otro para el Escenario Apoyo-60; en ambos casos se muestran tanto captadores planos selectivos como de tubo de vacío.

Figura 14. Gráficos de resultados para el potencial de climatización solar en España para el sector residencial con tecnología de máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos o de tubo de vacío.



(Continuación)



A la vista de los resultados expuestos, se puede concluir que los sistemas de climatización solar en España para el sector residencial, basados en máquina de absorción de simple efecto tienen un extenso potencial, asociado a toda la superficie edificada y a la demanda conjunta anual de calor (calefacción y agua caliente sanitaria) y frío (refrigeración) que se produce en la mayoría de climas. Podría resumirse la cifra de potencial en un valor alrededor de **60 millones de metros cuadrados de superficie de captador efectiva y una producción solar alrededor de 24 TWh/año, en el año 2020.**

Sin embargo, la tecnología queda lejos del mercado. Ningún caso entra en el escenario de ofrecer un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, a no ser que se ofrezca un apoyo público del 60%. Bajo esta situación, los casos que cumplen dicha condición, son únicamente los correspondientes al modelo RP0128 (edificio residencial tipo de más de diez plantas). La explicación a este comportamiento es que el tamaño de la instalación debe ser suficientemente grande para que los costes por unidad de potencia instalada sean suficientemente bajos y simultáneamente debe existir una demanda suficientemente elevada. Es decir, fracciones solares del sistema bajas, aunque mínimas para garantizar un 20% de ahorro de energía primaria. En el caso de captadores de tubo de vacío se obtienen valores del orden de diez veces superiores al caso de captadores planos selectivos por el hecho que la mejor eficiencia de esta tecnología repercute en que la mayor parte de climatologías estudiadas pasen de estar fuera del límite de potencial máximo (ahorro de energía primaria superior al 20%) a estar dentro del límite de potencial. Debido a que en estos resultados únicamente incide el modelo RP128, siendo el de fracciones solares menores, los resultados son muy sensibles a este límite.

Se sugiere que se valore políticamente la posibilidad de aplicar subvenciones a la unidad de energía útil de calor o de frío producida mediante energía solar, de este modo se mejorarían los costes de operación de la tecnología de climatización solar, en que el sobrecoste de mantenimiento tiene un peso casi equivalente, en muchos casos, al ahorro en la factura energética.

6 Resultados sector terciario

6.1 POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN SOLAR EN ESPAÑA CON MÁQUINAS DE ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO Y CAPTADORES PLANOS SELECTIVOS Y DE TUBO DE VACÍO EN EL SECTOR TERCIARIO

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología explicada previamente para las dos opciones tecnológicas indicadas, en el sector terciario.

6.1.1 Escenario Base

Los resultados expuestos a continuación representan el máximo potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, en el sector terciario. Este máximo potencial se basa en aquellas aplicaciones que producen al menos un 20% de ahorro de energía primaria.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 26. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario base – AB1FPC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	6.395,93	2.413,29	1.861,53	336,71	6.655,52
2015	7.589,20	2.855,99	2.199,88	398,16	7.962,53
2020	8.797,56	3.300,73	2.545,84	460,79	9.159,34

Tabla 27. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario base – AB1ETC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	6.011,58	3.432,61	2.023,39	346,64	8.791,69
2015	7.126,71	4.066,18	2.396,88	410,97	10.503,65
2020	8.241,84	4.693,44	2.771,51	475,32	12.044,41

Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 9 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 3,3 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 2,5 TWh/año y 461 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 9 200 millones de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 8 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 4,7 TWh/año y un ahorro de energía primaria y emisiones de CO₂ de 2,7 TWh/año y 475 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 12.000 millones de Euros.

6.1.2 Escenario Mercado

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, asociados a una situación hipotética de mercado, para el sector terciario.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial de mercado aquellas en que el coste por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP}) sea menor a 10 c€/kWh_{EP} , siendo este valor el promedio para los casos

estudiados relativo al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

En principio se planteó el criterio de incluir en el potencial de mercado aquellas instalaciones que ofreciesen un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, pero los resultados de los cálculos no muestran ningún caso dentro de este marco.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario de mercado, que la instalación produzca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 28. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario mercado- AB1FPC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	3.126,28	1.337,74	1.051,50	189,87	2.495,73
2015	3.582,68	1.541,52	1.210,85	218,69	2.867,82
2020	4.219,29	1.794,3	1.410,50	254,96	3.321,62

Tabla 29. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario mercado - AB1ETC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	1.883,66	1.451,19	904,12	152,70	2.132,63
2015	2.202,89	1.696,77	1 056,28	178,42	2.494,46
2020	2.554,04	1.956,66	1 219,61	206,04	2.852,29

Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 4,2 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 1,8 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 1,4 TWh/año y 255 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 3.300 millones de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 2,5 millones de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 2,0 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 1,2 TWh/año y 200 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 2.800 millones de Euros.

6.1.3 Escenarios de Apoyo

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de simple efecto, con captadores planos selectivos y de tubo de vacío, asociados a una situación en que exista un apoyo económico público a las inversiones en estos sistemas, para el sector terciario.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial con apoyo económico público aquellas en que el periodo de retorno de la inversión sea inferior a 15 años.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario con apoyo, que la instalación ofrezca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

Se han analizado dos rangos de apoyo: un 30% (Escenario Apoyo-30) y un 60% (Escenario Apoyo-60) de la inversión total del sistema de climatización solar. Para el Escenario Apoyo-30 no se ha obtenido ningún caso que cumpla la condición de potencial. Por tanto, se muestran únicamente los resultados para el caso Escenario Apoyo-60.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 30. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos en escenario apoyo-60 – AB1FPC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	2.209,77	1.021,60	821,32	147,14	727,73
2015	2.602,66	1.198,54	964,33	172,85	857,11
2020	3.028,38	1.385,13	1 117,62	200,38	982,88

Tabla 31. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de simple efecto y captadores de tubo de vacío en escenario apoyo-60 – AB1ETC. Sector terciario

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	1.592,46	1.271,41	798,10	134,41	723,10
2015	1.881,45	1.497,93	939,17	158,21	854,29
2020	2.190,19	1.736,17	1.089,52	183,57	980,43

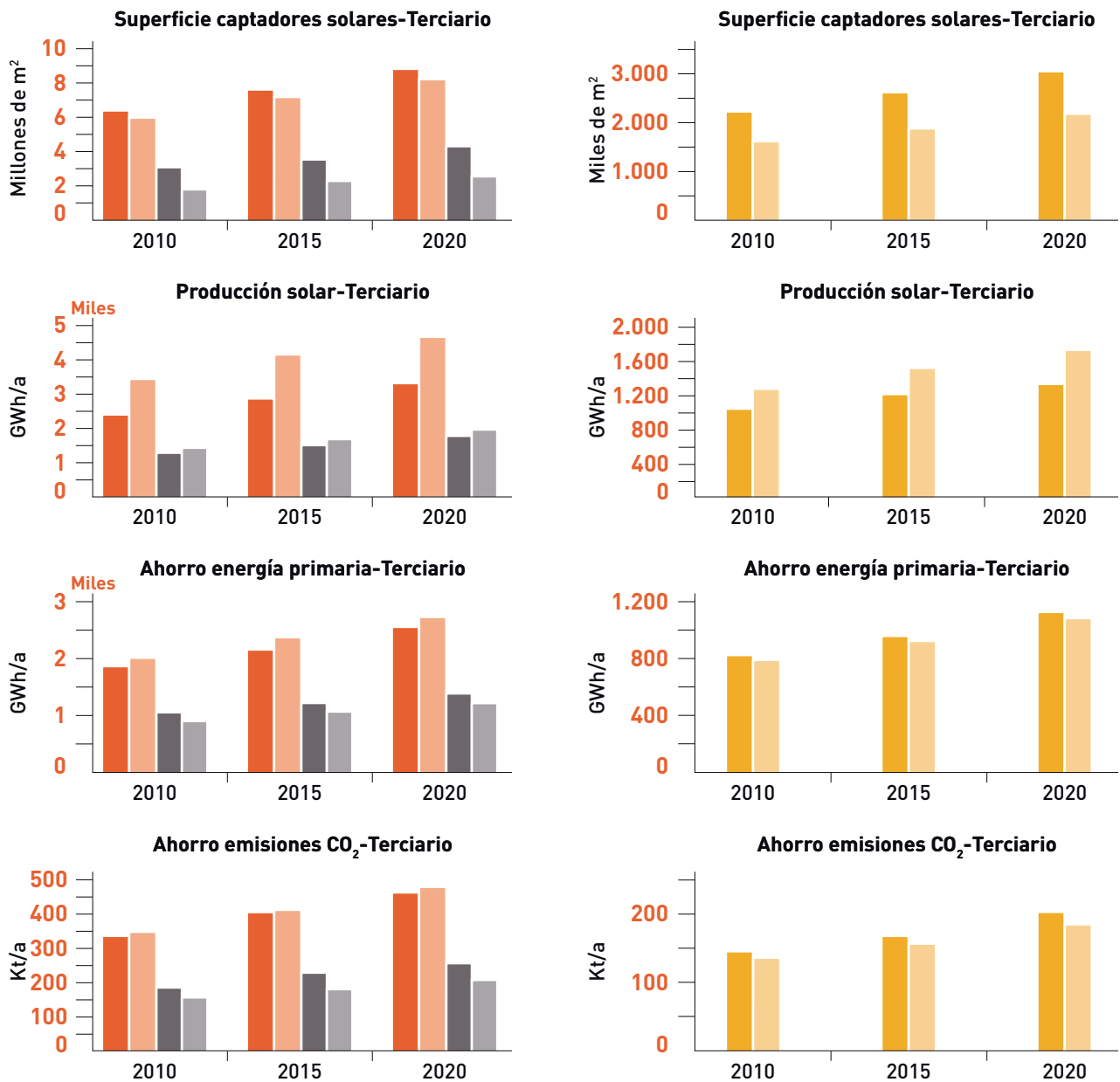
Para captadores planos selectivos se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 3.000 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 1,4 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 1,1 TWh/año y 200 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 980 millones de Euros.

Para captadores de tubo de vacío se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 2.200 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 1,7 TWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 1,1 TWh/año y 184 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 980 millones de Euros.

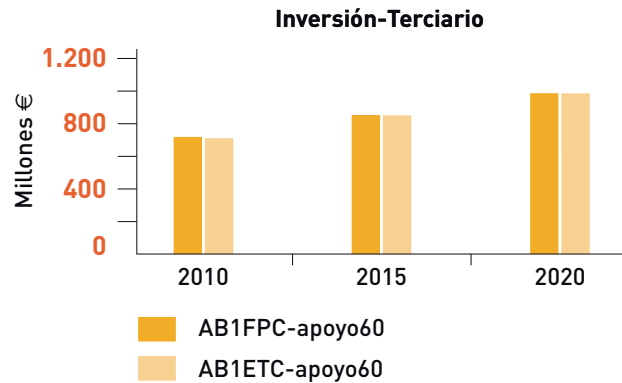
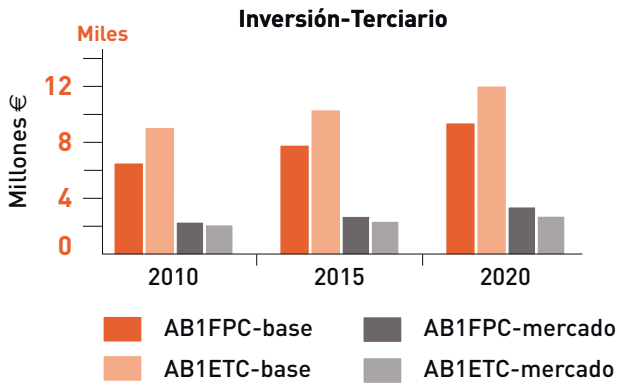
6.1.4 Resumen y análisis de resultados

Las figuras siguientes resumen los resultados expuestos para el sector terciario. Se muestran los cinco indicadores del análisis en dos tipos de gráfico: uno para el Escenario Base y Escenario Mercado, y otro para el Escenario Apoyo-60; en ambos casos se muestran tanto captadores planos selectivos como de tubo de vacío.

Figura 15. Gráficos de resultados para el potencial de climatización solar en España para el sector terciario con tecnología de máquina de absorción de simple efecto y captadores planos selectivos o de tubo de vacío



(Continuación)



A la vista de los resultados expuestos, se puede concluir que los sistemas de climatización solar en España para el sector terciario, basados en máquina de absorción de simple efecto, tienen un extenso potencial, asociado a la demanda conjunta anual de calor (calefacción y agua caliente sanitaria) y frío (refrigeración) que se produce en la mayoría de climas para la mayoría de tipologías edificatorias de este sector. Podría resumirse la cifra de potencial en un valor alrededor de **8,5 millones de metros cuadrados de superficie de captador efectiva y una producción solar alrededor de 4 TWh/año, en el año 2020.**

Al igual que en el sector residencial, la tecnología queda lejos del mercado. Ningún caso entra en el escenario de ofrecer un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, a no ser que se ofrezca un apoyo público del 60%. Bajo esta situación, los casos que cumplen dicha condición, son únicamente los correspondientes a los modelos H0075 y H0078 (edificios hospitalarios de 50.000 y 80.000 m² de superficie útil) y CC015 (centros comerciales de 50.000 m²). La explicación a este comportamiento es que el tamaño de la instalación debe ser suficientemente grande para que los costes por unidad de potencia instalada sean suficientemente bajos y simultáneamente debe existir una demanda suficientemente elevada. Es decir, fracciones solares del sistema bajas, aunque mínimas para garantizar un 20% de ahorro de energía primaria. Para el caso de centros comerciales representados con el modelo CC019 (de 100.000 m² de superficie útil) no se cumple la situación de potencial por ser la demanda excesivamente grande para ser abastecida en una fracción mínima razonable mediante el sistema solar.

Se sugiere que se valore políticamente la posibilidad de aplicar subvenciones a la unidad de energía

útil de calor o de frío producida mediante energía solar, de este modo se mejorarían los costes de operación de la tecnología de climatización solar, en que el sobrecoste de mantenimiento tiene un peso casi equivalente, en muchos casos, al ahorro en la factura energética.

6.2 POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN SOLAR EN ESPAÑA CON MÁQUINAS DE ABSORCIÓN DE DOBLE EFECTO Y CAPTADORES CILINDRO-PARABÓLICOS DE SEGUIMIENTO EN EL SECTOR TERCIARIO

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de aplicar la metodología explicada previamente para la opción tecnológica propuesta, en el sector terciario.

Debido a que esta es una solución de proyección tecnológica, con un mercado todavía muy inmaduro a día de hoy, se valora su aplicación a partir del año 2015. Su aplicación tiene cabida únicamente en el sector terciario, por la necesidad de espacio para ubicación de los captadores.

6.2.1 Escenario Base

Los resultados expuestos a continuación representan el máximo potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de doble efecto, con captadores cilindro-parabólicos de seguimiento, para

el sector terciario. Este máximo potencial se basa en aquellas aplicaciones que producen al menos un 20% de ahorro de energía primaria.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 32. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos de seguimiento en escenario base – AB2PTC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	680,97	253,95	282,67	51,12	935,39

Se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 680 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de reflector) que ofrecerán una producción solar de 250 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 280 GWh/año y 50 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 930 millones de Euros.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial de mercado aquellas en que el coste por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP}) sea menor a 10 c€/kWh_{EP}, siendo este valor el promedio para los casos estudiados relativo al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

6.2.2 Escenario Mercado

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de doble efecto, con captadores cilindro-parabólicos de seguimiento, asociados a una situación hipotética de mercado, para el sector terciario.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario de mercado, que la instalación produzca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 33. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos en escenario mercado– AB2PTC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	389,41	152,49	164,67	29,85	346,20

Se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 390 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de reflector) que ofrecerán una producción solar de 150 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 165 GWh/año y 30 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 345 millones de Euros.

En principio se planteó el criterio de incluir en el potencial de mercado aquellas instalaciones que

ofreciesen un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, pero los resultados de los cálculos muestran solamente algunos pocos casos dentro de este marco. Cabe destacar, que en las aplicaciones estudiadas para la tecnología de máquina de absorción de simple efecto, no se observaba ningún caso con estas condiciones (ni en el sector residencial ni el sector terciario). En la tabla siguiente se muestran los resultados.

Tabla 34. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos de seguimiento en escenario de mercado basado en un payback <15 años – AB2PTC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	8,90	3,02	11,36	2,24	6,56

Se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 9 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de reflector) que ofrecerán una producción solar de 3 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 11 GWh/año y 2 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 6,5 millones de Euros.

Estos resultados de sistemas viables económicamente se han obtenido únicamente para el edificio de mayores dimensiones, es decir, el centro comercial de 100.000 m² de superficie útil (modelo CC019). Esto justifica que es necesario tener un tamaño de instalación extremadamente grande (casi comparable con una red de distrito) para obtener una economía de escala interesante en la inversión. Y que ésta se da en el caso de la tecnología de absorción de doble efecto con cilindro-parabólicos frente a absorción de simple efecto, ya que el rendimiento global del sistema resulta mejor. Las localidades en que se obtienen estos resultados son las de las comunidades/provincias de Aragón, Castilla-La Mancha, Castilla-León y Logroño, Lleida, Madrid, Navarra y Álava, siendo ubicaciones de elevada radiación directa.

6.2.3 Escenarios de Apoyo

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en máquina de absorción de doble efecto, con captadores cilindro-parabólicos, asociados a una situación en que exista un apoyo económico público a las inversiones en estos sistemas, para el sector terciario.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial con apoyo económico público aquellas en que el periodo de retorno de la inversión sea inferior a 15 años.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario con apoyo, que la instalación ofrezca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

Se han analizado dos rangos de apoyo: un 30% (Escenario Apoyo-30) y un 60% (Escenario Apoyo-60) de la inversión total del sistema de climatización solar.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 35. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos en escenario apoyo-30 – AB2PTC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	16,59	6,59	17,13	3,31	9,50

Tabla 35. Resultados de potencial para sistemas con máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos en escenario apoyo-60 – AB2PTC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	293,56	126,23	148,84	27,02	107,44

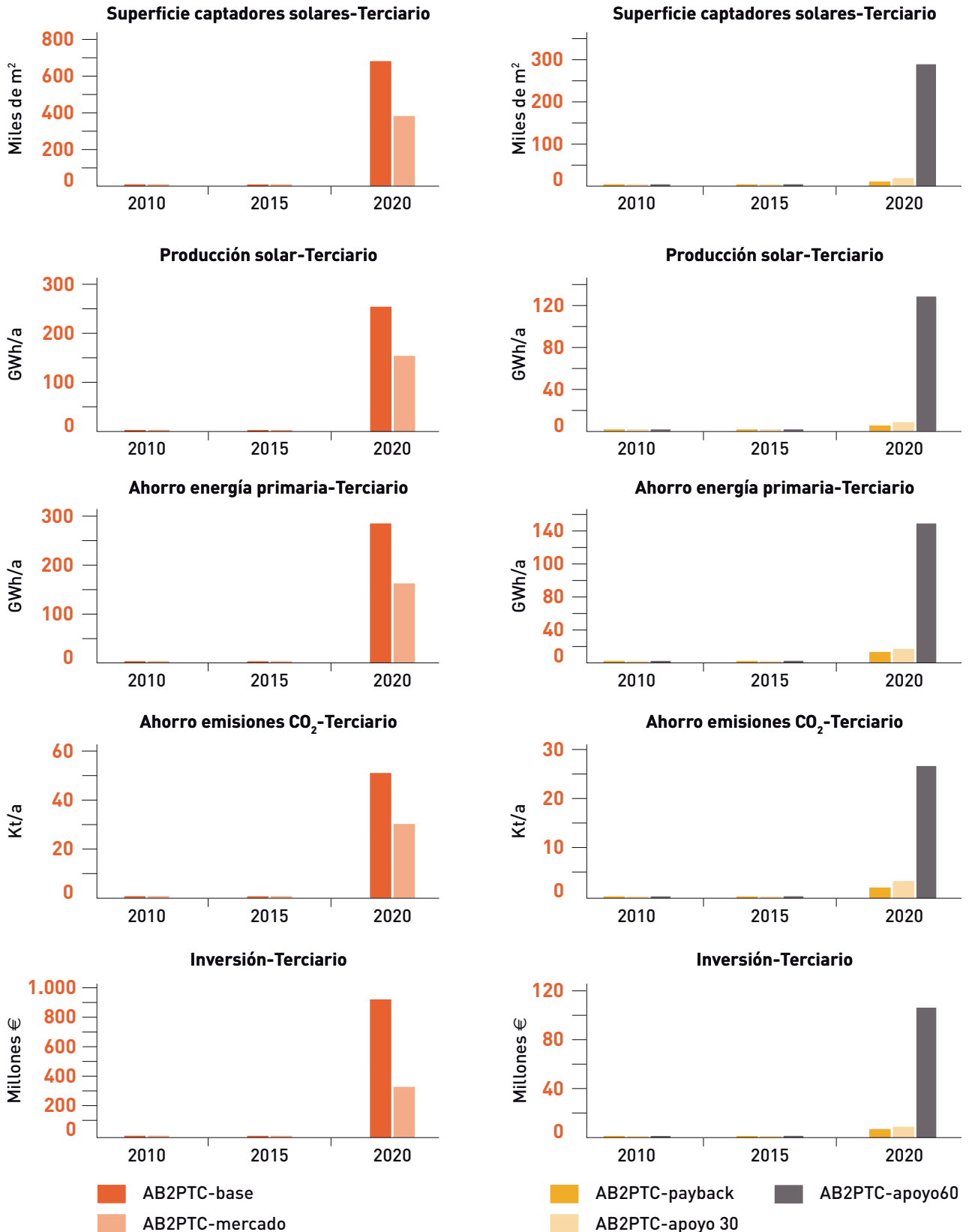
Para el escenario de apoyo 30% de la inversión se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 17 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de reflector) que ofrecerán una producción solar de 7 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 17 GWh/año y 3.300 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 9.500 miles de Euros.

Para el escenario de apoyo 60% de la inversión se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 294 miles de metros cuadrados (referidos a superficie efectiva o de reflector) que ofrecerán una producción solar de 126 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 149 GWh/año y 27.000 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 107.400 miles de Euros.

6.2.4 Resumen y análisis de resultados

Las figuras siguientes resumen los resultados expuestos. Se muestran los cinco indicadores del análisis en dos tipos de gráfico: uno para el Escenario Base y Escenario Mercado, y otro para el Escenario Pay-back, Apoyo-30 y Apoyo-60.

Figura 16. Gráficos de resultados para el potencial de climatización solar en España para el sector terciario con tecnología de máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos



A la vista de los resultados expuestos, se puede concluir que los sistemas de climatización solar en España para el sector terciario, basados en máquina de absorción de doble efecto y captadores cilindro-parabólicos, constituyen un escenario de futuro con un potencial de mercado real. En principio, el potencial puede valorarse en **0,7 millones de metros cuadrados de superficie de captador efectiva y una producción solar alrededor de 0,25 TWh/año, en el año 2020.**

Al comparar estos resultados con los de absorción de simple efecto debe considerarse que para este caso, únicamente se han considerado los edificios construidos a partir del año 2015 y hasta el año 2020. Por tanto, los valores no son directamente comparables.

Como elemento distintivo cabe destacar que esta tecnología muestra viabilidad económica, con un pay-back menor de 15 años para determinados casos. Este hecho se debe a la mejor eficiencia del sistema (COP promedio de 1,0 frente a 0,65 y rendimiento de captadores solares promedio de 35% frente a 25%) y a la reducción de costes esperada para los captadores cilindro-parabólicos a partir de tamaños de instalación de miles de m².

6.3 POTENCIAL DE CLIMATIZACIÓN SOLAR EN ESPAÑA CON CICLO ABIERTO DE DESECACIÓN Y REFRIGERACIÓN EVAPORATIVA, MEDIANTE CAPTADORES PLANOS SELECTIVOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología explicada previamente para la opción tecnológica propuesta, en el sector terciario.

Debido a que esta es una solución de proyección tecnológica, con un mercado todavía muy inmaduro a día de hoy, se valora su aplicación a partir del año 2015. Su aplicación tiene cabida únicamente en el sector terciario, por la necesidad de implementar estos sistemas de forma integrada con los sistemas de ventilación y climatización centralizada.

Por otra parte, existe un requisito climático estricto para la correcta operación de los sistemas desecantes,

a saber, que la humedad ambiental absoluta esté por encima de unos 10-11 g/kg de aire. Por esto, se ha evaluado los datos de humedad ambiental de los ficheros meteorológicos, descartando del cálculo aquellas provincias que durante menos de 1.000 horas anuales tengan una humedad menor de 10 g/kg. Las provincias que cumplen con el requisito (24 capitales, más Ceuta y Melilla) se enumeran en la lista a continuación:

- Almería
- Cádiz
- Córdoba
- Huelva
- Jaén
- Málaga
- Sevilla
- Asturias
- Baleares (Islas)
- Palmas (Las)
- Santa Cruz de Tenerife
- Cantabria
- Barcelona
- Girona
- Tarragona
- Alicante
- Castellón
- Valencia
- Coruña (A)
- Ourense
- Pontevedra
- Murcia
- Vizcaya
- Guipúzcoa
- Ceuta
- Melilla

Como era de esperar, éstas se encuentran en su mayoría en la costa, y muestran mayor potencial aquellas ciudades más al sur.

6.3.1 Escenario Base

Los resultados expuestos a continuación representan el máximo potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en rueda desecante, con captadores planos selectivos, para el sector terciario. Este máximo potencial se basa en aquellas aplicaciones que producen al menos un 20% de ahorro de energía primaria.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 37. Resultados de potencial para sistemas rueda desecante y captadores planos en escenario base – DECFPC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	180,88	69,19	151,48	27,10	557,34

Se obtiene un potencial máximo en el año 2020 de 180,88 miles de metros cuadrados (referidos a superficie de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 69,19 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 151 GWh/año y 27 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en cinco años de 557 millones de Euros.

6.3.2 Escenario Mercado

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en rueda desecante con captadores planos, asociados a una situación hipotética de mercado, para el sector terciario.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden clasificarse dentro de un escenario potencial de mercado aquellas en que el coste por unidad de energía primaria ahorrada (CC_{EP}) sea menor a 10 c€/kWh_{EP}, siendo este valor el promedio para los casos estudiados relativo al coste por unidad de energía primaria consumida en el sistema de referencia.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario de mercado, que la instalación produzca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 38. Resultados de potencial para sistemas rueda desecante y captadores planos en escenario mercado – DECFPC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	134,80	53,38	121,02	21,56	299,12

Se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 135 miles de metros cuadrados (referidos a superficie de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 53 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 121 GWh/año y 22 kt/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 299 millones de Euros.

En principio se planteó el criterio de incluir en el potencial de mercado aquellas instalaciones que ofreciesen un periodo de retorno de la inversión inferior a 15 años, pero los resultados de los cálculos no muestran ningún caso dentro de este marco.

6.3.3 Escenarios de Apoyo

Los resultados expuestos a continuación representan el potencial de aplicación de los sistemas de climatización solar en España basados en rueda desecante con captadores planos, asociados a una situación en la que exista un apoyo económico público a las inversiones en estos sistemas, para el sector terciario.

Se ha considerado como criterio razonable para determinar las instalaciones que pueden considerarse dentro de un escenario potencial con apoyo económico público aquellas en que el

periodo de retorno de la inversión sea inferior a 15 años.

Se considera condición necesaria también para contribuir al escenario con apoyo, que la instalación ofrezca un ahorro en energía primaria igual o superior al 20%.

Se han analizado dos rangos de apoyo: un 30% (Escenario Apoyo-30) y un 60% (Escenario Apoyo-60) de la inversión total del sistema de climatización solar.

El cálculo de los resultados energéticos, económicos y medioambientales obtenidos se extrapola a la superficie edificada para cada provincia, según los valores obtenidos del estudio estadístico realizado.

Tabla 39. Resultados de potencial para sistemas con rueda desecante y captadores planos en escenario apoyo-30 – DECFPC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	19,29	8,49	21,81	3,89	37,17

Tabla 40. Resultados de potencial para sistemas con rueda desecante y captadores planos en escenario apoyo-60 – DECFPC

	Sup. captadores miles (m ²)	Producción solar (GWh/a)	Ahorro EP (GWh/a)	Ahorro emisiones (kt/a)	Inversión (M€)
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	176,93	68,18	148,48	26,52	207,69

Para el escenario de apoyo 30% de la inversión se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 19 miles de metros cuadrados (referidos a superficie de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 8,5 GWh/año y un ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂ de 22 GWh/año y 3.900 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 37 millones de Euros.

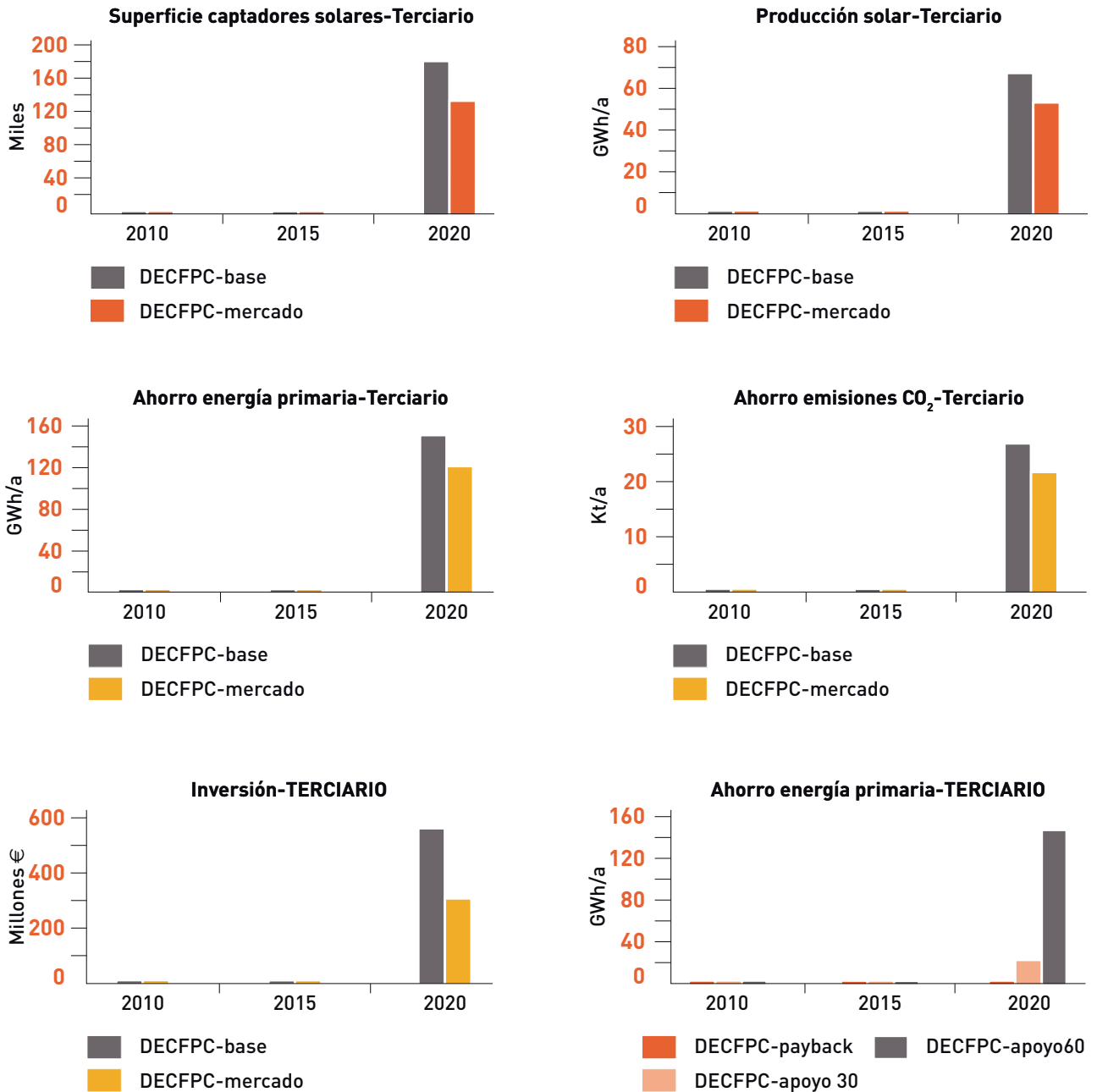
Para el escenario de apoyo 60% de la inversión se obtiene un potencial de mercado en el año 2020 de 177 miles de metros cuadrados (referidos a superficie de absorbedor) que ofrecerán una producción solar de 68 GWh/año y un ahorro de energía

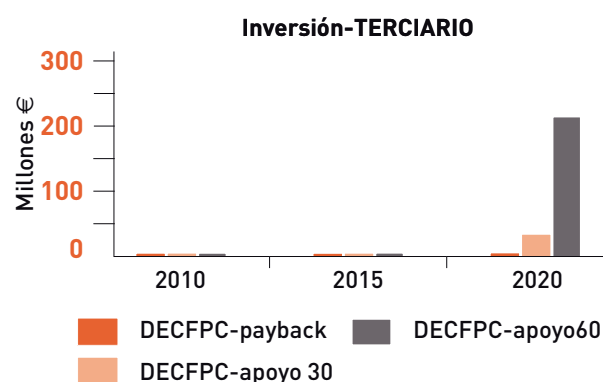
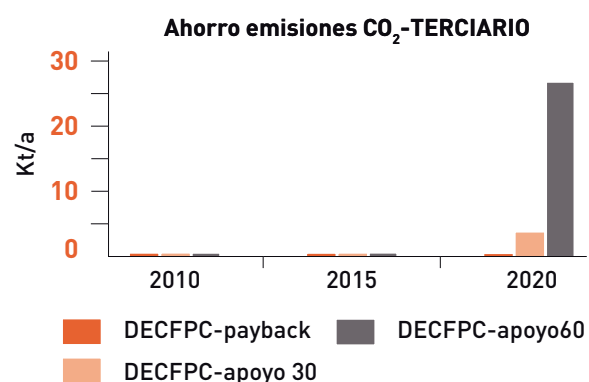
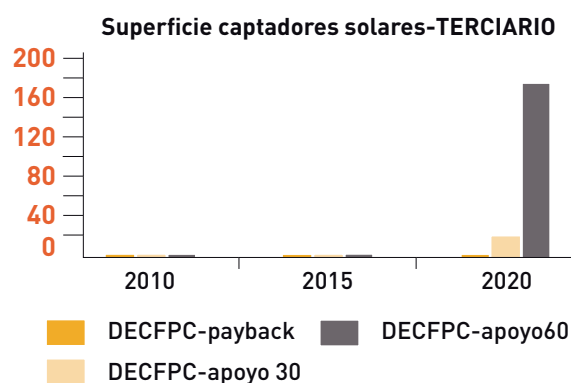
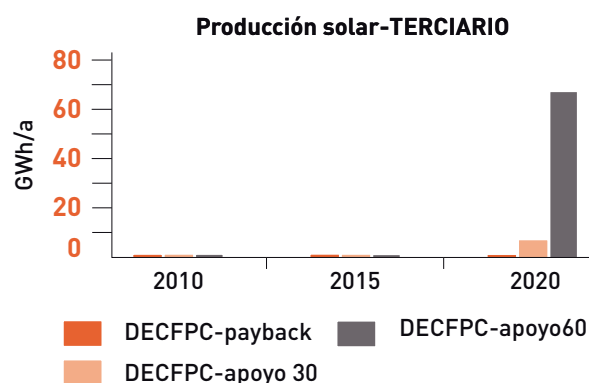
primaria y de emisiones de CO₂ de 149 GWh/año y 26.500 t/año, respectivamente. La implantación de todos los sistemas implicados representaría una inversión total en diez años de 207 millones de Euros.

6.3.4 Resumen y análisis de resultados

Las figuras siguientes resumen los resultados expuestos. Se muestran los cinco indicadores del análisis en dos tipos de gráfico: uno para el Escenario Base y Escenario Mercado, y otro para el Escenario Pay-back, Apoyo-30 y Apoyo-60.

Figura 17. Gráficos de resultados para el potencial de climatización solar en España para el sector terciario con tecnología de rueda desecante y captador plano selectivo





A la vista de los resultados expuestos, se puede concluir que los sistemas de climatización solar en España para el sector terciario, basados en máquina de rueda desecante con captadores planos constituyen un escenario de futuro con un potencial de mercado real. En principio, el potencial puede valorarse en **180 mil metros cuadrados de superficie de captador efectiva y una producción solar alrededor de 69 GWh/año, en el año 2020.**

Al comparar estos resultados con los de absorción de simple efecto debe considerarse que para este caso, únicamente se han considerado los edificios construidos a partir del año 2015 y hasta el año 2020. Por tanto, los valores no son directamente comparables. Además, se considera que el potencial para esta tecnología se concentra en determinadas regiones con cargas latentes significativas concentradas principalmente en zonas costeras.

Como elemento distintivo cabe destacar que esta tecnología muestra un coste de inversión mucho menor que otras tecnologías consideradas, especialmente para edificios de pequeño tamaño en el sector terciario. El escenario de subvención 60% se ha mantenido por consistencia, pero en muchos casos lleva el coste de inversión del sistema por debajo del coste del sistema de referencia, cosa que probablemente carezca de sentido.

7 Referencias

7.1 BIBLIOGRAFÍA

7.1.1 Legislación

[BOE 315-31.12.2009]

Resolución del 29 de diciembre de 2009, de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE núm. 315, de 31 de diciembre de 2009).

[BOE 78-02.03.2010]

Resolución de 22 de marzo de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE núm. 78, de 31 de marzo de 2010).

[COM 2006;10.1.2007]

Communication of European Commission of 10 January of 2007. *Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future.*

[COM 2006;19.10.2006]

Communication of European Commission of 19 October of 2006. *Action plan for Energy Efficiency. Realising the potential.*

[CTE]

Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 (BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006).

[DIR 2009/28/EC]

Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April of 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

7.1.2 Proyectos Internacionales

[ROCOCO]

ROCOCO. *Reduction of costs of solar cooling systems* (contract No TREN/05/FP6EN/S07.54855/020094).

[TASK 25]

Task 25. *Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings.* IEA-SHC Programme.

[TASK 38]

Task 38. *Solar Air-Conditioning and Refrigeration.* IEA-SHC Programme.

[POSHIP]

POSHIP. *The Potential of Solar Heat in Industrial Processes.* EC DG Energy and Transport. Coordinator: Aguasol Ingeniería. (Contract NNE5-1999-0308).

[Climasol]

Climasol. *Solar air conditioning guide.* EC DG Energy and Transport.

[SACE]

SACE. *Solar Air Conditioning in Europe.* EC Research Directorate General. <http://www.ocp.tu-delft.nl/ev/res/sace.htm>

[SOLAIR]

SOLAIR. *Increasing the market implementation of Solar-Air conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings* (contract no EIE/06/034/SI2.446612).

[SHADA]

SHADA. *Sustainable Habitat Design Adviser.* <http://www.sustainable-buildings.org>

Arsenal Research. *Using the sun to create comfortable indoor conditions.* IEA-SHC Task 25.

[MEDISCO]

MEDISCO. *Mediterranean food and agro industry applications of solar cooling technologies.* Contract 032559 (EU-INCO). Coordinación: Politecnico di Milano, Italia. Duración: 01.10.2006 – 30.09.2009. www.medisco.org

[SOLAIR: Review technical solutions, 2008]

Task 2.1. *Review of available technical solutions and successful running systems. Cross Country Analysis.* Documento público accesible en el informe de SOLAIR. www.solair-project.eu

[SOLAIR: Best practice Catalogue, 2008]

Task 2.2. *Best Practice Catalogue.* Documento público accesible en el informe de SOLAIR. www.solair-project.eu

[Task 33/IV 2008]

Werner Weiss, Matthias Rommel (Ed.). *Process Heat Collectors – State of the Art within Task 33/IV.* Folleto compilado en IEA SHC-Task 33 y Solar-PACES-Task IV: *Solar Heat for Industrial Processes.* Publicado por AEE INTEC, Gleisdorf, Austria, 2008. www.iea-shc.org/task33

7.1.3 Documentación

[HENNING 2004]

HENNING, H.M. (Ed.): *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings. A Handbook for Planners.* SpringerWienNewYork. 2004.

[SPARBER 2007]

SPARBER, W.; NAPOLITANO, A.; MELOGRANO, P.: *Overview on world wide installed solar cooling systems.* 2nd International Conference Solar Air Conditioning, Tarragona - Spain, October 2007.

7.2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO

7.2.1 TRNSYS16

7.2.1.1 Introducción

TRNSYS es una herramienta de simulación dinámica bien conocida por la modularidad que lo caracteriza. No sólo está disponible en el paquete estándar de TRNSYS un elevado número de componentes, sino que hay disponibles en la red muchas posibilidades tanto respecto a librerías completas como componentes sueltos además de que cada usuario puede desarrollar los suyos propios.

Esta capacidad de incorporación de nuevos componentes característica de TRNSYS ha llevado a la búsqueda de mejoras en la arquitectura del kernel y se concreta en el uso de la tecnología de Dynamic Link Library (DLL), de forma que sea posible la introducción de un nuevo componente, escrito en cualquier lenguaje de programación, como una DLL de Windows™. Esta nueva modularidad está también integrada en la nueva interface gráfica de TRNSYS.

Esta nueva arquitectura junto con un gran número de nuevas funciones y mejoras han sido integradas en un entorno completo de simulación: el TRNSYS Simulation Studio.

Los programas que integran el paquete de TRNSYS han sido renombrados para reflejar el mayor grado de integración.

- El TRNSYS Simulation Studio es la siguiente generación de la interface IISiBat.
- TRNBuild (actualmente llamado PREBID) es la interface del modelo de edificios multi-zona.
- TRNEdit es el sucesor de TRNSHELL.

7.2.1.2 TRNSYS KERNEL

Tal y como se ha comentado, el núcleo de TRNSYS ha sido modificado sustancialmente para la nueva versión TRNSYS16 con el fin de conseguir objetivos tales como la mejora de la usabilidad, rendimiento (en precisión y velocidad de cálculo) y mantenimiento sin dejar de lado la importancia que tiene el mantener la compatibilidad con las versiones anteriores de TRNSYS. En este marco, se explican a continuación las mejoras más importantes.

Nueva arquitectura multi DLL

En TRNSYS15, la inclusión de un nuevo componente requería la compilación en Fortran de una DLL que incluyera todos los types y el propio núcleo del programa. En TRNSYS 16 existen varias DLLs con diferente información para el funcionamiento global del programa. El funcionamiento consiste en cargar, al abrir TRNSYS, los componentes que se usan en la simulación en curso que se buscarán a lo largo de todas las DLLs de que disponga el usuario. Este nuevo proceso de uso y definición de las DLLs permite añadir nuevos componentes a TRNSYS copiando las nuevas DLL compiladas en el directorio adecuado.

No sólo facilita la incorporación de nuevos componentes, el kernel de TRNSYS16 sólo carga los componentes usados en la simulación y gestiona los conflictos entre DLLs, lo que permite tener DLLs mucho menores en la mayoría de los casos.

A pesar de estas novedades en el funcionamiento, se permitirá igualmente mantener una estructura de una única DLL a aquellos usuarios que lo prefieran de cara a depurar los errores.

Precisión numérica y definición de tiempo

Todas las variables en TRNSYS pasan a ser números de doble precisión. De esta forma, se mejora la precisión en el cálculo (el time-step utilizable en TRNSYS 16 baja a 1/100^{mil} de segundo)

El tiempo de inicio de la simulación es también más intuitivo en TRNSYS 16. Si bien el tiempo en TRNSYS todavía se refiere al final del paso de cálculo, el momento de inicio de la simulación se refiere realmente al momento del inicio.

TRNSYS solver

Se ha añadido un nuevo sistema numérico de cálculo con el objetivo de reemplazar el solver por defecto (substitución sucesiva) en casos especiales donde existe una fuerte dependencia de valores que deja sin suficiente capacidad al sistema.

Otras utilidades

- La nueva estructura del núcleo simplificará la creación de nuevos componentes.
- Las ecuaciones podrán ser declaradas en cualquier orden.
- El comando TRACE puede ser utilizado también para ecuaciones.
- La solución de ecuaciones puede realizarse mediante una tolerancia en vez de obtener un valor absoluto.
- Existe un orden de tiempo que identifica los pasos de la simulación en los que se tarda más tiempo.

Compatibilidad con versiones anteriores

Los ficheros de TRNSYS15 pueden ser ejecutados por la nueva versión sin realizar ninguna modificación. En concreto, para convertir Types propios de la versión 15 a TRNSYS16 se requiere añadir 4 líneas en el código de los mismos.

TRNSYS SIMULATION STUDIO

TRNSYS Simulation Studio es la interface gráfica de TRNSYS. Este entorno de simulación basado en la tecnología de IISiBat™ permite al usuario tanto definir como realizar simulaciones. Esta nueva interface, incluye además herramientas para crear nuevos componentes definidos por el propio usuario en diferentes lenguajes de programación.

Algunas de las mejoras introducidas en él se detallan a continuación:

Enlaces entre componentes

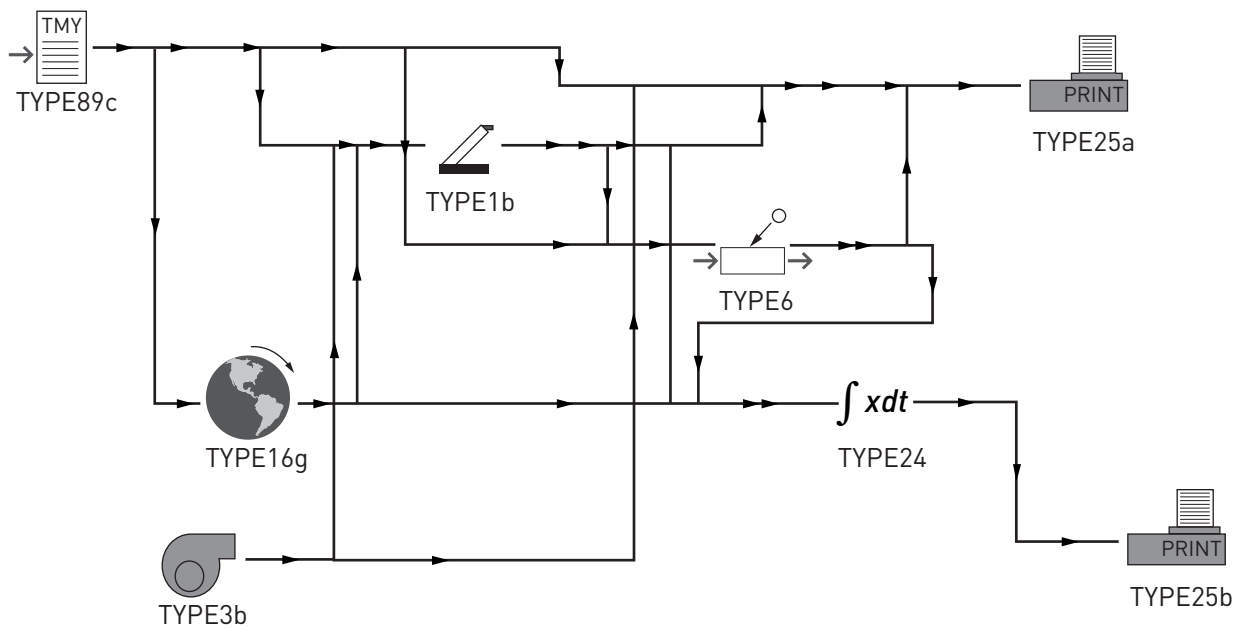
Dada la complejidad que adquieren determinados proyectos realizados con TRNSYS, el estilo tradicional de representación de enlaces entre diferentes

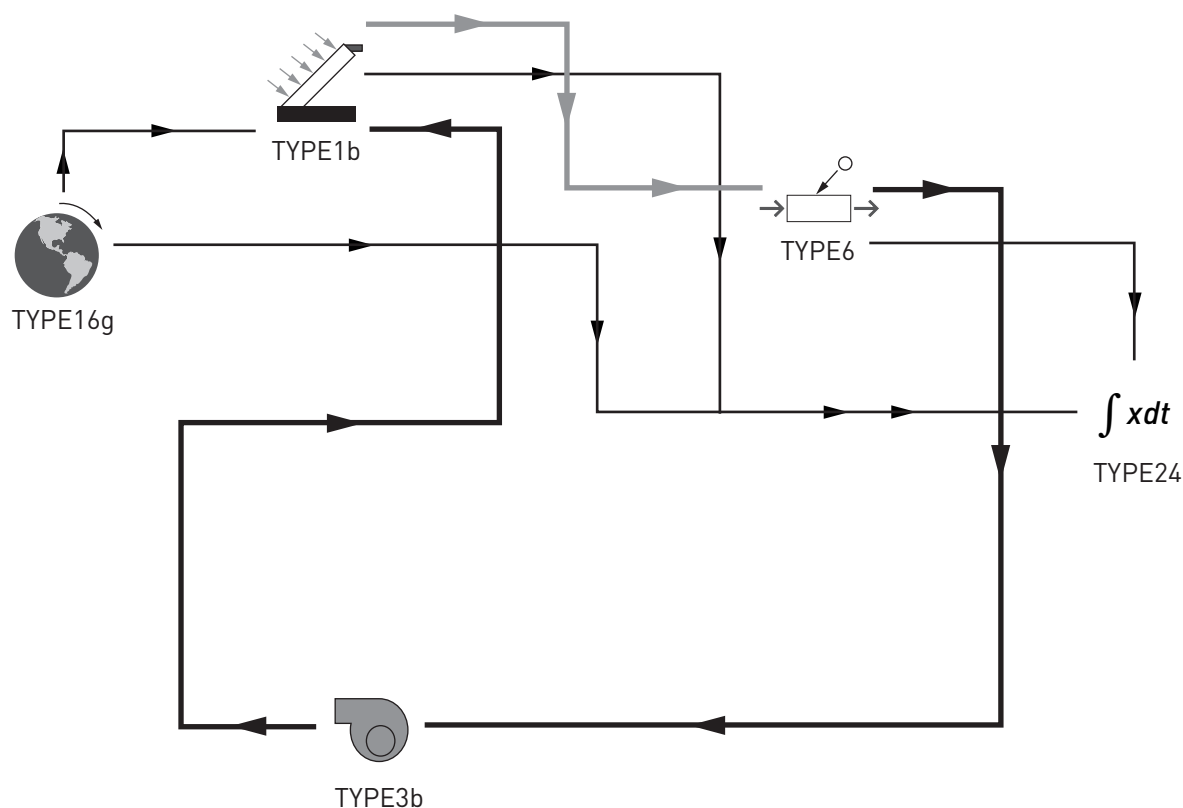
componentes del tipo “Entradas-Salidas” se ha vuelto menos eficiente. Con el fin de representar los sistemas de una forma más intuitiva y clara, el concepto de enlaces se ha extendido.

Nuevo concepto de enlace. Un enlace que conecta dos componentes pasa a tener 8 puertos. Cada uno de ellos puede ser usado indistintamente como puerto de entrada o de salida (el sistema tradicional en el que las entradas estaban a la izquierda y las salidas a la derecha ya no será forzado; de esta forma el usuario define los links libremente como cree que representan mejor la realidad)

Claridad en los proyectos. Estas mejoras en la forma de establecer las conexiones permiten representar de forma más clara el propio proyecto. Aprovechando las nuevas capacidades de TRNSYS de multi-enlace, usando atributos gráficos y ocultando los componentes de entradas/salidas, un proyecto anteriormente representado en IISiBat 3 (Fig. 18a) pasará a tener el aspecto que muestra la Fig. 18b.

Figura 18 (a y b). Visualización de un proyecto con IISiBat 3 y TRNSYS16 Nueva ventana de conexiones





La ventana de conexiones pasa a tener dos pestañas. La primera corresponde al modelo de TRNSYS15 (clásica) y la otra presenta la lista de conexiones en forma de tabla (Tabla).

La ventana de conexiones clásica presenta nuevas prestaciones como: filtros que permiten tener visibles exclusivamente el tipo de variables que interesen en un momento dado y la alineación horizontal de las conexiones.

La nueva ventana Tabla, se caracteriza por: presentar de forma tabulada todas las conexiones entre dos componentes. En esta ventana se permite añadir o borrar conexiones. Se permite también la modificación de las conexiones fácilmente a través de un desplegable que aparece al marcar sobre la variable que queremos modificar e indicando exclusivamente aquellas variables que pueden ser seleccionadas según las características de la variable objeto de la conexión. De la misma forma que en la otra ventana, se puede aplicar el sistema de filtros.

Además de todo lo dicho, el nuevo sistema de conexiones en TRNSYS realizará una serie de

recomendaciones respecto a las conexiones entre dos componentes tan pronto la conexión haya sido creada.

Mejora en la navegación en proyectos

En proyectos complejos, puede llegar a ser difícil distinguir visualmente la conexión que une dos componentes. Actualmente al hacer clic con el botón derecho y sobre un componente, aparecen en el menú todas las conexiones que existen para él, de forma que podremos ir directamente a la que nos interese.

La tecnología GUI Plug-in aplicada en TRNSYS

El nuevo núcleo de TRNSYS se ha desarrollado para permitir a los usuarios incluir nuevos componentes simplemente copiando una DLL que lo incluya junto con el resto de componentes predefinidos en TRNSYS. Esta nueva arquitectura permite el uso de cualquier lenguaje de programación.

Así la nueva revolucionaria tecnología GUI plug-in de TRNSYS Simulation Studio permite modificar el formato gráfico del entorno de la simulación, tanto para componentes existentes como para componentes propios del usuario. Los Plug-ins pueden:

ser añadidos al TRNSYS Simulation Studio dinámicamente en la forma de archivos .exe y escritos en cualquier lenguaje de programación.

Esta nueva tecnología ha sido y será usada en adelante por el grupo de desarrollo de TRNSYS para mejorar continuamente la interface del Simulation Studio, añadiendo funciones a medida de cada componente.

Plantillas de proyectos

Con el fin de facilitar la creación de nuevos proyectos en TRNSYS se han desarrollado una serie de plantillas de proyectos tipo que generen de forma automática un modelo compatible con el proyecto a realizar.

7.2.1.3 Librería de componentes estándar

Se incluyen en la nueva versión nuevos Types a la vez que se mejoran algunos de los ya existentes. De forma resumida, las novedades en la librería estándar son:

- Type que actúa de forma conjunta como lector de datos climáticos combinado con un procesador de radiación solar.
- Integración de la librería de HIDROGEMS en la librería estándar de TRNSYS.
- Nuevos enlaces con programas externos: Excel y Matlab.
- Nuevos componentes de sistemas HVAC de las librerías de TESS.

TRNBUILD – TYPE 56

TRNBUILD es la nueva generación del actual PREBID, interface de introducción de datos del edificio multizona que alimenta el type 56. Las mejoras más relevantes introducidas en la interface en sí son:

- Máscaras como input para el nuevo modelo de techo radiante.
- Mejora del manejo de las librerías y, en especial, la de ventanas.
- Muros, ventanas y capas pueden ser copiadas, borradas o renombradas.
- Automatización de la segmentación de las paredes con sistemas activos integrados.

Además de estas mejoras generales, se incluye en la nueva versión dos aspectos importantes: la integración de modelos para radiación solar de dos bandas y un modelo integrado de cálculo de techos radiantes.

TRNEDIT

TRNEdit es el sucesor de TRNSHELL. El papel de este programa ha evolucionado mucho desde su creación; ha pasado de ser el programa central a su situación actual en la que se utiliza exclusivamente para la creación de ficheros auto ejecutables basados en TRNSYS (conocidas habitualmente como TRNSED). Se han realizado grandes mejoras a fin de hacerla una herramienta todavía más poderosa a la vez que mejorar su accesibilidad.

Mejoras generales

Las mejoras generales en el paquete de TRNSYS introducidas en la nueva versión son:

- La documentación de TRNSYS 16 estará ahora disponible en formato informático, tanto en el CD de instalación como en la web de TRNSYS.
- Se han incluido un gran número de ficheros de datos climáticos.
- Todos los programas de TRNSYS 16 aceptan cualquier path de Windows así como espacios en el nombre de los archivos.

www.idae.es

IDAE: Calle Madera 8, 28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00, Fax: 91 523 04 14
mail: comunicacion@idae.es

