ANEXO I

Datos climáticos

Índice

1. INTRODUCCIÓN 5
2. DATOS CLIMÁTICOS EN ESPAÑA 7
2.1. AEMET 7
2.2. Normativa UNE 18
3. PROGRAMAS DE DATOS CLIMÁTICOS 23
3.1. Programas 23
3.2. Datos climáticos 25
3.3. Formatos 26
4. PROGRAMA TRNSYS 30
4.1. Fuentes de datos en TRNSYS 30
4.2. Comparativa de datos 31
4.3. Obtención de datos climáticos con TRNSYS 34

1. INTRODUCCIÓN

Para la simulación y diseño de sistemas solares térmicos se requiere disponer de una base de datos climatológicos que proporcione valores tales como la temperatura ambiente o la radiación solar incidente, que servirán para simular el comportamiento dinámico de los sistemas analizados y optimizar los parámetros de diseño de nuestra planta.

A lo largo del proyecto se observará la importancia que toman estos valores, siendo uno de los objetivos del proyecto el análisis de la instalación según su localización geográfica y por tanto según unos valores climatológicos diferentes.

Este anexo pretende aclarar la información acerca de los datos climatológicos, su procedencia, como se pueden obtener, qué programas existen, etc.

En la Figura 1.1 se describe el proceso que siguen los datos climáticos desde su medición hasta su utilización.

Figura 1.1. Ciclo de vida de la información meteorológica

- La primera etapa tiene por objeto la medición de los datos climáticos. Esto se lleva a cabo en las distintas estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del territorio. Para realizar las mediciones las estaciones cuentan con instrumentos específicos tales como sensores que miden las variables (temperatura, radiación, presión, humedad, etc.)

- En una segunda etapa se procesan los datos climáticos. Para ello las redes de información operan con las estaciones meteorológicas, de manera que una vez procesada la información se obtengan datos legibles.

- En la tercera etapa los datos ya legibles de cada estación meteorológica son almacenados y recopilados de manera permanente. Esto se lleva a cabo a través de programas de datos que, recopilando la información de las estaciones meteorológicas, conforman las bases de datos, pudiendo ser publicadas para su posterior utilización.

- Por último, las bases de datos ya están listas para ser utilizadas por las distintas aplicaciones como en nuestro caso TRNSYS.

En España destaca como red oficial de datos AEMET [11], que es la Agencia Estatal de Meteorología. Proporciona numerosos servicios, siendo de utilidad para este proyecto el suministro de datos climáticos para cada capital de provincia.

También se tienen en cuenta los datos proporcionados por la Normativa UNE [12-14], que afecta a las instalaciones solares térmicas como es este caso.

Se han elaborado tablas con los datos necesarios para el desarrollo de este proyecto tratando de sintetizarlos y para tener una visión más clara de los datos necesarios, tanto para cumplir la normativa, como para la continuidad del proyecto.

Los datos climáticos también pueden ser obtenidos por medio de programas informáticos existentes como Meteonorm, Energy Plus, Trnsclima, Calener o PVGis. Cada uno proporciona una información distinta, y la proporciona en distintos formatos, como se verá a lo largo del anexo.

Por último, se centra el análisis en el entorno de TRNSYS [10], analizando qué programas son compatibles. Se crea un modelo con cual se compararán las fuentes de datos compatibles con TRNSYS con el fin de tener un criterio de elección. Con este modelo también seremos capaces de crear nuestra propia fuente de datos.

2. DATOS CLIMÁTICOS EN ESPAÑA

Se pueden distinguir dos tipos de redes de información meteorológica, las redes oficiales y privadas. Las redes oficiales recolectan datos meteorológicos de estaciones meteorológicas de confianza mientras que las redes privadas admiten además de los datos de las redes oficiales, datos procedentes de estaciones meteorológicas de particulares.

Las redes oficiales están coordinadas a nivel internacional por la OMM (Organización Meteorológica Mundial, World Meteorological Organization) en un programa financiado por la ONU que cuenta con la cooperación de 188 países y territorios miembros.

Las redes de información meteorológica gestionadas por la OMM están compuestas por redes nacionales, operadas por los organismos nacionales competentes. Por ejemplo, en España, este papel está desempeñado por AEMET [11], o la Agencia Estatal de Meteorología. En EEUU se trata de la National Oceanographic and Atmospheric Administration o NOAA.

2.1. AEMET

Es la Agencia Estatal de Meteorología autorizada por el Gobierno. Su objetivo es el desarrollo, implantación y prestación de los servicios meteorológicos y el apoyo al ejercicio de otras políticas públicas y actividades privadas.

Obtiene datos de satélites meteorológicos y geoestacionarios (METEOSAT, GOES-este, TIROS-NOAA y METOP) y de una amplia red de observación que incluye 90 observatorios, 260 estaciones automáticas, 7 estaciones de radio sondeo en tierra, 1 en el buque “Esperanza del Mar” y 2 en las oficinas meteorológicas móviles de Defensa, 15 radares meteorológicos, la red de detección de rayos con 15 equipos detectores en la Península y 5 en las Islas Canarias y la red de 4.500 estaciones pluviométricas y termo pluviométricas.

AEMET ofrece distintos servicios:

- Servicios sujetos a tasas y/o precios públicos.
- Servicios proporcionados a través de su página web: http://www.aemet.es
- Servicios proporcionados a través de publicaciones y bibliotecas ("Guía resumida del clima en España 1971-2000").

De los servicios que ofrece AEMET en este anexo se hace referencia solamente a datos meteorológicos, que son los que se necesitan para la elaboración de este proyecto.

- Consultando la página web (http://www.aemet.es) se obtienen los siguientes datos para cada capital de provincia, a modo de ejemplo se muestra Zaragoza en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Valores climatológicos normales, medias mensuales. Zaragoza / Aeropuerto

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6,4	10,3	2,4	22	75	4	1	0	7	8	5	133
Febrero	8,4	13,3	3,5	20	68	4	0	0	3	5	5	165
Marzo	10,9	16,6	5,2	20	60	4	0	0	1	2	7	210
Abril	13,0	18,7	7,4	35	58	5	0	1	1	0	5	221
Mayo	17,2	23,2	11,2	44	56	6	0	4	0	0	4	263
Junio	21,3	27,7	14,8	31	52	4	0	4	0	0	8	295
Julio	24,5	31,5	17,6	18	49	3	0	4	0	0	14	337
Agosto	24,4	31,0	17,8	17	53	2	0	4	0	0	11	311
Septiembre	20,7	26,7	14,7	27	59	3	0	3	1	0	7	231
Octubre	15,5	20,7	10,3	30	69	5	0	1	2	0	5	192
Noviembre	10,0	14,3	5,8	30	74	5	0	0	5	2	4	146
Diciembre	7,1	10,7	3,5	23	77	5	0	0	8	6	4	116
Año	15,0	20,4	9,5	318	62	50	1	21	28	25	80	2614

Periodo: 1971-2000 - Altitud (m): 247 - Latitud: 41º 39' 43'' N - Longitud: 01º 00' 29'' O

Leyenda:

T: Temperatura media mensual/anual (°C)
TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R: Precipitación mensual/anual media (mm)
H: Humedad relativa media (%)
DR: Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN: Número medio mensual/anual de días de nieve
DT: Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF: Número medio mensual/anual de días de niebla
DH: Número medio mensual/anual de días de helada
DD: Número medio mensual/anual de días despejados
I: Número medio mensual/anual de horas de sol
Rv: Recorrido del viento medio mensual/anual (km)
Vx: Racha de viento máxima en el mes/año [dirección (º)/velocidad (km/h)]

- La "Guía resumida del clima en España 1971-2000" incluye un mayor número de variables climáticas para las capitales de provincia que en la web. También, a modo de ejemplo, se muestran en la Tabla 1.2 los datos para la ciudad de Zaragoza.

Se entiende por:

- Temperatura media diaria: se puede obtener de dos formas diferentes:
  - Media aritmética de las 3 observaciones a horas fijas: 7, 13 y 21 horas
  - Media de las temperaturas máxima y mínima
- Media diaria mensual: promedio de los valores en un mes, midiendo los valores diariamente.
- Media anual: promedio de los valores mensuales.
- Media diaria anual: promedio de los valores durante un año, midiendo los valores diariamente.

Tras analizar la información proporcionada por AEMET, se han elaborado unas tablas a modo de resumen cuyo objetivo es unificar la información útil para la elaboración del proyecto.

Las tablas que se presentan a continuación son:

- Tabla 1.2: Valores de la "Guía resumida del clima en España 1971-2000". Zaragoza/Aeropuerto
- Tabla 1.3: Estaciones meteorológicas.
- Tabla 1.4: Medias diarias anuales.
- Tabla 1.5: Media mensual de las temperaturas ambientes diarias (°C)
- Tabla 1.6: Media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tabla 1.7: Media mensual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- Tabla 1.8 y 1.9: Racha de viento máxima en el mes/año (Dirección en grados y Velocidad en km/h).

Tabla 1.2. Valores de la "Guía resumida del clima en España 1971-2000". Zaragoza / Aeropuerto

Mes	Altitud estación (m)	Presión media (hPa)	Presión nivel mar (hPa)	Temperatura media mes	Temperatura media mes mas alta	Temperatura media mes mas baja	Media máximas	Media máximas mas alta	Media máximas mas baja	Media mínimas	Media mínimas mas alta	Media mínimas mas baja	Máxima absoluta
Enero	247	990.3	1021.8	6.4	9.4	3.2	10.3	13.2	6.8	2.4	6.0	-0.5	19.8
Febrero	247	988.5	1019.7	8.4	12.0	6.1	13.3	18.0	11.0	3.5	6.1	0.8	22.5
Marzo	247	986.9	1017.7	10.9	13.5	7.0	16.6	20.7	12.0	5.2	7.9	1.9	28.0
Abril	247	983.7	1014.1	13.0	15.3	10.4	18.7	21.4	15.2	7.4	9.2	5.5	30.6
Mayo	247	984.1	1014.0	17.2	19.7	13.2	23.2	26.8	17.9	11.2	13.6	8.5	35.2
Junio	247	985.9	1015.4	21.3	23.3	18.5	27.7	30.1	24.2	14.8	16.9	12.7	39.4
Julio	247	986.1	1015.3	24.5	27.4	21.3	31.5	35.1	27.0	17.6	19.8	15.4	42.6
Agosto	247	985.8	1015.0	24.4	27.2	21.6	31.0	34.7	27.8	17.8	19.9	15.2	41.2
Septiembre	247	986.8	1016.5	20.7	24.1	16.9	26.7	30.7	21.8	14.7	17.6	11.9	38.0
Octubre	247	987.0	1017.3	15.5	18.2	11.7	20.7	24.5	16.2	10.3	12.4	7.2	30.7
Noviembre	247	988.0	1019.0	10.0	12.9	7.4	14.3	16.8	11.5	5.8	9.8	3.3	28.4
Diciembre	247	989.2	1020.6	7.1	10.1	4.5	10.7	13.6	7.7	3.5	7.0	0.4	21.8
Año	247	986.9	1017.2	15.0	16.1	13.3	20.4	22.0	18.6	9.5	10.6	8.0	42.6

Mes	Fecha T.Máx. absoluta	Mínima absoluta	Fecha T.Mín. absoluta	Prec. mensual media (mm)	Prec. mensual máxima (mm)	Prec. mensual mínima (mm)	Prec. diaria máxima (mm)	Fecha prec diaria máxima (mm)	Humedad relativa en %	Tensión vapor (hPa)	Recorrido mes viento (Km)	Dir. y Vel Racha máxima de viento(Km/h)
Enero	25/01/1995	-10.4	04/01/1971	22	81	0	28	06/01/1977	75	7.4	14219	230 111
Febrero	18/02/1978	-7.6	14/02/1983	20	70	0	29	02/02/1991	68	7.7	13686	250 126
Marzo	25/03/1981	-5.8	07/03/1971	20	131	0	39	20/03/1974	60	8.1	15340	290 112
Abril	24/04/1992	-0.8	22/04/1995	35	114	4	58	18/04/1997	58	9.0	15379	290 114
Mayo	31/05/1994	3.0	04/05/1971	44	108	5	61	31/05/1979	56	11.5	13996	- 104
Junio	30/06/1994	5.2	11/06/1971	31	91	0	64	20/06/1986	52	13.7	13397	310 100
Julio	17/07/1978	10.5	11/07/1980	18	58	0	58	28/07/1990	49	15.7	14061	320 130
Agosto	16/08/1987	10.0	31/08/1977	17	89	0	40	31/08/1983	53	16.8	13630	290 96
Septiembre	07/09/1988	4.8	30/09/1974	27	150	0	52	20/09/1972	59	14.9	11592	320 95
Octubre	01/10/1980	0.6	25/10/1974	30	104	0	45	21/10/2000	69	12.3	12390	320 103
Noviembre	09/11/1985	-5.6	22/11/1998	30	98	0	43	13/11/1984	74	9.5	12850	290 136
Diciembre	13/12/1981	-7.7	11/12/1973	23	77	1	24	19/12/1976	77	8.0	13881	320 127
Año	17/07/1978	-10.4	04/01/1971	318	481	183	64	20/06/1986	62	11.2	166272	290 136

Mes	Fecha Racha máxima de viento	Nº medio mes horas sol	Nº dias temp. media >= 18°C	Nº dias temp. máxima <= 0°C	Nº dias temp. máxima >= 25°C	Nº dias temp. máxima >= 30°C	Nº días de helada	Nº dias temp. mínima <= -5°C	Nº dias temp. mínima >= 18°C	Nº dias prec. apreciable	Nº dias prec. >= 1 mm	Nº dias prec. >= 5 mm	Nº dias prec. >= 10 mm	Nº dias prec. >= 30 mm	Nº días de nieve	Nº días de granizo
Enero	28/01/1978	133	0	0	0	0	8	1	0	7	4	2	0	0	1	0
Febrero	25/02/1989	165	0	0	0	0	5	0	0	6	4	1	0	0	0	0
Marzo	08/03/1980	210	0	0	0	0	2	0	0	6	4	1	0	0	0	0
Abril	14/04/1978	221	2	0	3	0	0	0	0	8	5	2	1	0	0	0
Mayo		263	13	0	11	3	0	0	0	9	6	3	1	0	0	0
Junio	12/06/1986	295	25	0	21	10	0	0	4	6	4	2	1	0	0	0
Julio	18/07/1977	337	30	0	29	21	0	0	15	4	3	1	0	0	0	0
Agosto	15/08/1979	311	31	0	29	19	0	0	16	4	2	1	0	0	0	0
Septiembre	23/09/1979	231	24	0	20	6	0	0	4	5	3	1	1	0	0	0
Octubre	18/10/1978	192	6	0	4	0	0	0	0	7	5	2	1	0	0	0
Noviembre	14/11/1979	146	0	0	0	0	2	0	0	8	5	2	1	0	0	0
Diciembre	27/12/1980	116	0	0	0	0	6	0	0	9	5	1	0	0	0	0
Año	14/11/1979	2614	131	0	118	59	25	1	39	80	50	19	8	1	1	1

Mes	Nº días de tormenta	Nº días de niebla	Nº días espejado	Nº días nubosos	Nº días cubiertos	Nº días insolación >=0.8*ins.teor.	Nº días insolación <=0.2*ins.teor.	Nº días velocidad viento >=55km/h	Nº días velocidad viento >=91km/h	Latitud geográfica (Norte)	Longitud geográfica	Indicativo sinóptico
Enero	0	7	5	17	9	8	11	9	1	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Febrero	0	3	5	18	6	8	5	9	1	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Marzo	0	1	7	18	7	7	4	11	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Abril	1	1	5	18	7	7	5	11	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Mayo	4	0	4	21	7	9	4	7	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Junio	4	0	8	18	4	11	2	7	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Julio	4	0	14	15	2	16	1	7	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Agosto	4	0	11	18	2	15	1	7	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Septiembre	3	1	7	19	4	7	3	5	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Octubre	1	2	5	20	6	8	5	6	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Noviembre	0	5	4	18	8	8	9	7	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Diciembre	0	8	4	16	11	7	12	8	0	41°39'43"	01°00'29"W	08160
Año	21	28	80	216	70	113	62	100	4	41°39'43"	01°00'29"W	08160

Tabla 1.3. Estaciones meteorológicas

Localidad	Estación meteorológica	Altitud	Latitud	Longitud
Albacete	Albacete - Los Llanos / B. Aérea	704	38º 57' 08'' N	01º 51' 47'' O
Alicante	Alicante	82	38º 22' 00'' N	00º 29' 40'' O
Almería	Almería / Aeropuerto	20	36º 50' 35'' N	02º 23' 17'' O
Ávila	Ávila	1130	40º 39' 00'' N	04º 40' 43'' O
Badajoz	Badajoz - Talavera la Real / B. Aérea	185	38º 53' 00'' N	06º 49' 45'' O
Barcelona	Barcelona / Aeropuerto	6	41º 17' 49'' N	02º 04' 39'' E
Bilbao	Bilbao / Aeropuerto	39	43º 17' 53'' N	02º 54' 21'' O
Burgos	Burgos / B. Aérea	890	42º 21' 22'' N	03º 37' 57'' O
Cáceres	Cáceres	405	39º 28' 20'' N	06º 20' 22'' O
Cádiz	Jerez de la Frontera / Aeropuerto	27	36º 44' 45'' N	06º 03' 48'' O
Castellón	Castellón	35	39º 57' 00'' N	00º 01' 00'' O
Ceuta	CEUTA (MONTE HACHO)	200	35º 53' 32''	05º 17' 22''
Ciudad Real	Ciudad Real	627	38º 59' 22'' N	03º 55' 11'' O
Córdoba	Córdoba / Aeropuerto	91	37º 50' 40'' N	04º 51' 02'' O
Cuenca	Cuenca	956	40º 04' 00'' N	02º 08' 17'' O
Gerona	Girona / Aeropuerto	127	41º 54' 05'' N	02º 45' 37'' E
Granada	Granada / Aeropuerto	570	37º 11' 24'' N	03º 46' 35'' O
Guadalajara	Guadalajara - Molina De Aragón	1063	40º 50' 40'' N	01º 53' 07'' O
Huelva	Huelva	19	37º 16' 48'' N	06º 54' 35'' O
Huesca	Huesca - Monflorite / Aeropuerto	541	42º 05' 00'' N	00º 19' 35'' O
Jaén		586	37º 08' 00''	03º 08' 00''
La Coruña	A Coruña	58	43º 22' 02'' N	08º 25' 10'' O
Las Palmas de Gran Canaria	Gran Canaria - Telde / Aeropuerto	24	27º 55' 45'' N	15º 23' 20'' O
León	León - Virgen del Camino / B. Aérea	916	42º 35' 20'' N	05º 38' 58'' O
Lérida	Lleida / Estación 2	192	41º 37' 33'' N	00º 35' 42'' E
Logroño	Logroño - Agoncillo / Aeropuerto	352	42º 27' 06'' N	02º 19' 51'' O
Lugo	Lugo - Rozas / Aeródromo	444	43º 06' 55'' N	07º 27' 22'' O
Madrid	Madrid	667	40º 24' 40'' N	03º 40' 41'' O
Málaga	Málaga / Aeropuerto	7	36º 40' 00'' N	04º 29' 17'' O
Melilla	Melilla	55	35º 16' 40'' N	02º 57' 19'' O
Murcia	Murcia - Alcantarilla / Aeropuerto	85	37º 57' 28'' N	01º 13' 47'' O
Orense	Ourense	143	42º 19' 40'' N	07º 51' 37'' O
Oviedo	Oviedo	336	43º 21' 13'' N	05º 52' 24''
Palencia		734	42º 00' 00''	04º 05' 00''
Palma de Mallorca	Palma de Mallorca	3	39º 33' 20'' N	02º 37' 35'' E
Pamplona	Pamplona / Aeropuerto	452	42º 46' 06'' N	01º 38' 21'' O
Pontevedra	Pontevedra - Mourente	107	42º 26' 24'' N	08º 36' 59'' O
Salamanca	Salamanca - Matacán / B. Aérea	790	40º 56' 44'' N	05º 29' 46'' O
San Sebastián	San Sebastián / Aeropuerto	8	43º 21' 24'' N	01º 47' 25'' O
Santander	Santander / Aeropuerto	6	43º 25' 42'' N	03º 49' 10''
Santa Cruz de Tenerife	Santa Cruz De Tenerife	36	28º 27' 18'' N	16º 14' 56'' O
Segovia	Segovia	1005	40º 56' 52'' N	04º 07' 38'' O
Sevilla	Sevilla / Aeropuerto	26	37º 25' 26'' N	05º 54' 13'' O
Soria	Soria	1082	41º 46' 00'' N	02º 28' 00'' O
Tarragona	Tarragona - Reus / Aeropuerto	68	41º 08' 59'' N	01º 10' 44'' E
Teruel	Teruel	900	40º 21' 06'' N	01º 07' 22'' O
Toledo	Toledo	516	39º 53' 05'' N	04º 02' 58'' O
Valencia	Valencia	11	39º 28' 50'' N	00º 21' 59'' O
Valladolid	Valladolid	735	41º 39' 00'' N	04º 46' 00'' O
Vitoria	Vitoria / Aeropuerto	508	42º 53' 02'' N	02º 43' 22''
Zamora	Zamora	656	41º 31' 00'' N	05º 44' 01'' O
Zaragoza	Zaragoza / Aeropuerto	247	41º 39' 43'' N	01º 00' 29'' O

Tabla 1.4. Medias diarias anuales

Localidad	T	TM	Tm	H	R	I	Rv	Vx
Albacete	13,6	20,1	7,1	64	367	2730	91015	230 148
Alicante	17,8	23,1	12,6	66	336	2864	55778	180 112
Almería	18,7	23,1	14,3	66	196	2965	68698	270 137
Ávila	10,4	15,9	4,8	63	400	2644	79756	280 107
Badajoz	16,6	23,3	9,9	66	463	2830	97236	210 105
Barcelona	15,5	20,0	11,1	72	640	2524	81875	320 108
Bilbao	14,3	19,1	9,4	72	1195	1584	79174	290 133
Burgos	10,1	15,9	4,4	72	555	2183	128672	230 124
Cáceres	16,1	21,4	10,8	58	523	2890	92373	180 108
Cádiz	17,7	23,9	11,6	67	598	2966		240 108
Castellón	17,0	21,9	12,2	67	442	2689	65380	340 113
Ceuta	16,1	19,9	12,2	88	586	2611		
Ciudad Real	14,7	21,2	8,2	63	396	2656	46631	230 104
Córdoba	17,6	24,6	10,7	62	536	2800	67120	210 126
Cuenca	12,6	18,8	6,3	63	507	2572		240 113
Gerona	14,3	20,2	8,4	72	724	2290	46631	360 110
Granada	15,1	22,8	7,5	59	357	2935	60398	220 102
Guadalajara	10,2	17,4	2,9	62	500	2440	57315	270 104
Huelva	18,1	23,5	12,7	64	490	2998	54836	180 122
Huesca	13,6	19,0	8,2	63	535	2682	138852	270 136
Jaén								
La Coruña	14,4	17,4	11,4	77	1008	1966	105753	340 130
Las Palmas de Gran Canaria	20,7	23,8	17,7	68	134	2805		250 104
León	10,9	16,4	5,3	68	556	2624	97285	270 130
Lérida	14,7	20,8	8,6	66	369	2685	68686	-126
Logroño	13,5	18,9	8,2	67	399	2242	112370	310 126
Lugo	11,5	16,8	6,3	78	1084	1821	89106	180 144
Madrid	14,6	19,4	9,7	57	436	2769	72995	230 103
Málaga	18,0	22,9	13,1	66	524	2815	96541	230 119
Melilla	18,6	22,0	15,2	71	370	2528	99529	10 138
Murcia	17,8	24,4	11,2	59	301	2797	56458	320 103
Orense	14,5	20,6	8,3	66	817	2043	31818	230 90
Oviedo	12,9	17,0	8,8	78	973	1711	72350	180 190
Palencia								
Palma de Mallorca	17,9	21,6	14,3	70	427	2763	61715	320 117
Pamplona	12,5	17,8	7,1	68	721	2201	97069	-153
Pontevedra	14,8	19,1	10,4	69	1691	2223	46743	180 115
Salamanca	11,7	17,9	5,5	68	382	2586	94399	270 136
San Sebastián	14,4	18,7	10,0	75	1738	1724		140 154
Santander	14,1	18,1	10,2	75	214	2851	78547	300 167
Santa Cruz de Tenerife	21,2	24,3	18,0	63	1246	1638	73865	290 162
Segovia	11,9	17,0	6,7	63	464	2480	52857	200 110
Sevilla	18,6	24,9	12,2	61	534	2898	62967	170 115
Soria	10,6	16,7	4,6	68	502	2511	67499	250 122
Tarragona	15,8	20,7	10,9	70	504	2509	77283	290 148
Teruel	11,8	18,7	4,9	66	373	2596	49421	-106
Toledo	15,4	21,4	9,3	62	357	2847	97307	280 138
Valencia	17,8	22,3	13,4	65	454	2660	63575	270 117
Valladolid	12,3	18,6	6,2	65	435	2534	79931	260 128
Vitoria	11,5	16,8	6,1	75	779	1830	67575	230 115
Zamora	12,7	18,3	7,1	66	363	2587	71507	270 111
Zaragoza	15,0	20,4	9,5	62	318	2614	166272	290 136

Tabla 1.5. Media mensual de las temperaturas ambientes diarias (°C)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	4,8	6,6	9,0	11,1	15,3	20,3	24,3	24,0	19,9	13,8	8,8	5,9
Alicante	11,5	12,4	13,7	15,5	18,4	22,2	24,9	25,5	23,1	19,1	15,2	12,5
Almería	12,5	13,2	14,7	16,4	19,1	22,7	25,7	26,4	24,0	20,0	16,2	13,7
Ávila	2,8	4,1	5,9	7,5	11,4	16,0	19,7	19,5	16,1	10,8	6,2	4,0
Badajoz	8,5	10,3	12,7	14,5	18,0	22,5	25,7	25,3	22,6	17,4	12,5	9,6
Barcelona	8,9	9,9	11,3	13,0	16,2	19,9	23,0	23,6	21,1	17,0	12,5	10,0
Bilbao	9,0	9,8	10,8	11,9	15,1	17,6	20,0	20,3	18,8	15,8	12,0	10,0
Burgos	2,7	4,1	6,3	7,8	11,4	15,2	18,7	18,9	15,7	10,9	6,2	3,9
Cáceres	7,9	9,4	11,8	13,4	17,0	22,0	25,8	25,6	22,4	16,8	12,0	8,9
Cádiz	10,7	12,0	14,0	15,4	18,4	22,0	25,5	25,7	23,5	19,1	14,7	11,9
Castellón	10,4	11,4	12,8	14,6	17,8	21,6	24,5	25,0	22,4	18,3	14,0	11,4
Ceuta												
Ciudad Real	5,7	7,7	10,4	12,3	16,4	21,6	25,4	25,0	20,8	14,9	9,5	6,7
Córdoba	9,2	10,9	13,5	15,4	19,0	23,5	27,2	27,2	24,0	18,5	13,2	10,2
Cuenca	4,3	5,6	8,0	9,8	13,8	18,8	22,7	22,6	18,4	12,7	7,9	5,3
Gerona	6,9	8,0	10,0	11,8	15,8	19,6	22,9	22,9	19,8	15,3	10,4	7,8
Granada	6,7	8,5	11,0	12,8	16,8	21,4	24,8	24,5	20,9	15,5	10,7	7,6
Guadalajara	2,4	3,8	5,8	7,8	11,8	16,1	19,5	19,4	15,5	10,5	5,8	3,4
Huelva	11,4	12,7	14,6	16,0	18,8	22,2	25,4	25,5	23,5	19,4	15,3	12,6
Huesca	4,9	7,0	9,6	11,4	15,3	19,7	23,4	23,3	19,5	14,3	8,9	5,6
Jaén												
La Coruña	10,4	10,9	11,7	12,5	14,4	16,7	18,7	19,2	18,2	15,6	13,0	11,5
Las Palmas de Gran Canaria	17,6	17,9	18,6	18,9	20,0	21,7	23,5	24,2	24,1	22,8	20,9	18,7
León	3,1	4,9	7,1	8,6	12,1	16,4	19,6	19,3	16,4	11,4	7,0	4,3
Lérida	5,3	7,9	10,8	13,2	17,3	21,4	24,7	24,5	20,7	15,3	9,3	6,0
Logroño	5,8	7,5	9,8	11,4	15,3	19,0	22,2	22,3	19,1	14,1	9,2	6,6
Lugo	5,8	6,9	8,4	9,6	12,3	15,2	17,7	18,0	16,1	12,4	8,8	6,9
Madrid	6,1	7,9	10,7	12,3	16,1	21,0	24,8	24,4	20,5	14,6	9,7	7,0
Málaga	11,9	12,8	14,1	15,6	18,7	22,2	24,8	25,4	23,1	19,0	15,4	12,9
Melilla	13,3	13,8	14,8	16,2	18,7	21,8	24,6	25,5	23,5	20,0	16,7	14,4
Murcia	10,1	11,7	13,5	15,6	19,0	23,1	26,2	26,7	23,6	18,8	14,1	11,1
Orense	7,5	9,2	11,4	12,7	15,7	19,4	22,1	22,0	19,4	15,1	10,8	8,5
Oviedo	8,0	8,8	10,0	10,6	13,3	16,1	18,3	18,7	17,3	14,0	10,8	9,0
Palencia												
Palma de Mallorca	9,3	9,7	10,8	12,9	16,9	21,0	24,0	24,6	21,8	17,7	13,2	10,6
Pamplona	5,0	6,5	8,6	10,2	14,0	17,5	20,7	20,9	18,0	13,6	8,6	6,0
Pontevedra	9,5	10,6	12,1	13,2	15,4	18,5	20,5	20,4	18,8	15,6	12,3	10,5
Salamanca	3,6	5,6	7,7	9,6	13,4	17,9	21,0	20,5	17,2	12,2	7,3	4,8
San Sebastián	8,6	9,5	10,9	12,4	15,7	18,2	20,6	21,0	19,0	15,8	11,5	9,6
Santander	9,5	9,9	10,7	12,0	14,6	17,1	19,4	19,9	18,3	15,4	12,2	10,7
Santa Cruz de Tenerife	17,9	18,0	18,7	19,2	20,6	22,4	24,6	25,1	24,6	23,0	21,0	19,0
Segovia	4,0	5,5	7,6	9,1	12,9	17,7	21,6	21,4	17,8	12,4	7,6	5,1
Sevilla	10,6	12,2	14,7	16,4	19,7	23,9	27,4	27,2	24,5	19,6	14,8	11,8
Soria	2,9	4,4	6,5	8,0	11,9	16,2	20,0	19,9	16,3	11,1	6,5	4,0
Tarragona	8,9	10,1	11,6	13,4	16,7	20,6	23,7	24,0	21,2	17,0	12,4	10,0
Teruel	3,6	5,2	7,5	9,4	13,5	17,9	21,6	21,3	17,6	12,1	7,2	4,6
Toledo	6,4	8,3	11,0	12,9	16,9	22,1	26,0	25,7	21,6	15,6	10,3	7,3
Valencia	11,5	12,6	13,9	15,5	18,4	22,1	24,9	25,5	23,1	19,1	14,9	12,4
Valladolid	4,0	6,1	8,4	10,1	13,8	18,1	21,7	21,6	18,1	12,8	7,7	5,0
Vitoria	4,7	5,9	7,9	9,2	12,9	15,9	18,7	19,1	16,6	12,4	7,9	5,6
Zamora	4,3	6,6	8,9	10,7	14,3	18,7	22,1	21,8	18,5	13,3	8,3	5,5
Zaragoza	6,4	8,4	10,9	13,0	17,2	21,3	24,5	24,4	20,7	15,5	10,0	7,1

Tabla 1.6. Media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	10,1	12,3	15,5	17,7	22,1	27,9	32,5	31,9	26,8	19,8	14,2	10,8
Alicante	16,8	17,8	19,2	20,9	23,6	27,2	30,1	30,6	28,4	24,4	20,4	17,6
Almería	16,9	17,7	19,2	21,0	23,6	27,3	30,3	30,7	28,3	24,3	20,4	17,9
Ávila	7,0	8,7	11,4	12,8	16,9	22,6	27,2	26,8	22,6	16,0	10,8	8,0
Badajoz	13,9	15,9	19,4	20,9	24,8	30,3	34,3	34,0	30,3	23,8	18,1	14,5
Barcelona	13,4	14,6	15,9	17,6	20,5	24,2	27,5	28,0	25,5	21,5	17,0	14,3
Bilbao	13,2	14,5	15,9	16,8	20,1	22,6	25,2	25,5	24,4	20,8	16,4	14,0
Burgos	6,7	8,9	12,0	13,3	17,2	22,0	26,4	26,7	22,9	16,5	10,7	7,6
Cáceres	11,8	13,7	17,0	18,6	22,7	28,5	33,0	32,6	28,5	21,7	16,1	12,4
Cádiz	15,9	17,5	20,2	21,5	24,6	28,8	33,0	33,1	30,2	25,0	20,1	16,8
Castellón	15,3	16,4	18,1	19,8	22,7	26,4	29,3	29,7	27,2	23,0	18,6	15,9
Ceuta												
Ciudad Real	10,8	13,5	17,1	18,8	23,3	29,1	33,7	33,2	28.2	21.0	14.9	11.3
Córdoba	14,7	16,9	20,5	22,1	26,2	31,6	36,2	35,9	31,7	25,0	18,9	15,3
Cuenca	9,3	11,1	14,2	15,7	20,1	25,9	30,7	30,3	25,5	18,6	13,1	10,0
Gerona	12,8	13,9	16,2	17,8	21,6	25,4	29,2	29,0	25,7	20,9	16,0	13,4
Granada	13,0	15,3	18,6	20,1	24,6	30,0	34,4	33,9	29,4	22,7	17,2	13,5
Guadalajara	8,2	10,3	13,3	14,7	18,9	24,1	28,7	28,5	24,0	17,6	12,0	8,8
Huelva	16,3	17,6	20,3	21,4	24,1	27,8	31,6	31,8	29,3	24,7	20,2	17,0
Huesca	8,5	11,5	15,0	17,2	21,3	26,5	30,8	30,2	25,4	19,1	12,9	9,1
Jaén												
La Coruña	13,1	13,7	14,9	15,5	17,4	19,8	21,8	22,5	21,5	18,7	15,8	14,0
Las Palmas de Gran Canaria	20,6	21,0	21,8	22,1	23,1	24,7	26,5	27,1	27,1	25,8	23,8	21,8
León	7,0	9,5	12,8	14,3	18,0	23,2	27,2	26,8	22,9	16,4	11,2	8,0
Lérida	9,6	13,7	17,5	19,8	24,0	28,5	32,2	31,6	27,3	21,2	14,2	9,8
Logroño	9,5	12,0	15,1	16,7	21,0	25,4	29,3	29,1	25,4	19,3	13,4	10,1
Lugo	10,1	11,7	14,0	14,8	17,8	20,8	23,6	24,1	22,3	17,7	13,3	10,8
Madrid	9,7	12,0	15,7	17,5	21,4	26,9	31,2	30,7	26,0	19,0	13,4	10,1
Málaga	16,6	17,7	19,1	20,9	23,8	27,3	29,9	30,3	27,9	23,7	19,9	17,4
Melilla	16,7	17,1	18,1	19,7	22,1	25,2	28,2	29,1	26,9	23,3	20,0	17,7
Murcia	16,4	18,2	20,4	22,5	25,8	30,0	33,4	33,6	30,2	25,0	20,0	17,0
Orense	12,1	14,7	18,1	19,0	22,3	26,7	29,7	29,9	26,6	20,9	15,5	12,7
Oviedo	11,7	12,8	14,4	14,9	17,6	20,3	22,4	22,8	21,7	18,1	14,6	12,5
Palencia												
Palma de Mallorca	15,2	15,7	17,1	18,7	22,1	25,9	28,9	29,5	27,1	23,4	19,2	16,5
Pamplona	8,9	11,1	14,0	15,5	19,8	23,9	27,6	27,8	24,4	18,7	12,8	9,7
Pontevedra	13,1	14,3	16,6	17,9	19,9	23,5	25,6	25,6	23,6	19,7	16,0	13,8
Salamanca	7,9	10,8	14,0	15,7	19,7	25,2	29,3	28,7	24,5	18,2	12,4	8,8
San Sebastián	12,8	13,9	15,4	16,8	20,0	22,3	24,7	25,2	23,7	20,4	15,8	13,7
Santander	13,3	13,8	14,9	15,9	18,5	20,8	23,1	23,7	22,5	19,6	16,1	14,4
Santa Cruz de Tenerife	20,6	20,9	21,7	22,3	23,7	25,7	28,3	28,8	27,9	26,0	23,9	21,8
Segovia	7,7	9,6	12,6	14,1	18,3	24,1	28,8	28,3	23,8	17,1	11,5	8,5
Sevilla	15,9	17,9	21,2	22,7	26,4	31,0	35,3	35,0	31,6	25,6	20,1	16,6
Soria	7,4	9,3	12,4	13,8	18,0	23,2	28,1	27,9	23,5	16,9	11,4	8,2
Tarragona	13,8	15,0	16,7	18,4	21,5	25,4	28,7	28,8	25,9	21,7	17,2	14,7
Teruel	9,3	11,6	14,5	16,2	20,5	25,7	30,4	29,7	25,2	18,6	13,2	9,8
Toledo	11,2	13,6	17,1	18,8	23,1	29,0	33,6	33,1	28,4	21,4	15,2	11,5
Valencia	16,1	17,2	18,7	20,2	22,8	26,2	29,1	29,6	27,6	23,6	19,5	16,8
Valladolid	8,3	11,4	15,0	16,3	20,5	25,9	30,4	29,8	25,7	18,8	12,6	8,8
Vitoria	8,3	10,5	13,3	14,5	18,7	22,0	25,3	25,7	23,2	17,5	12,1	9,0
Zamora	7,9	11,4	14,7	16,3	20,2	25,5	29,6	29,1	25,2	18,6	12,6	9,0
Zaragoza	10,3	13,3	16,6	18,7	23,2	27,7	31,5	31,0	26,7	20,7	14,3	10,7

Tabla 1.7. Media mensual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	-0,4	0,8	2,5	4,5	8,5	12,7	16,0	16,1	12,9	7,9	3,5	1,1
Alicante	6,2	7,0	8,2	10,1	13,3	17,1	19,7	20,4	17,8	13,7	10,0	7,3
Almería	8,2	8,8	10,1	11,9	14,6	18,2	21,1	22,0	19,6	15,7	12,0	9,4
Ávila	-1,5	-0,5	0,5	2,3	5,8	9,4	12,2	12,1	9,5	5,6	1,6	-0,1
Badajoz	3,2	4,7	6,0	8,1	11,1	14,7	17,0	16,7	14,8	11,0	6,8	4,8
Barcelona	4,4	5,3	6,7	8,5	12,0	15,7	18,6	19,3	16,7	12,6	8,1	5,7
Bilbao	4,7	5,1	5,7	7,1	10,1	12,6	14,8	15,2	13,2	10,8	7,6	6,0
Burgos	-1,2	-0,6	0,6	2,2	5,6	8,4	11,0	11,1	8,5	5,3	1,6	0,3
Cáceres	4,0	5,2	6,6	8,2	11,2	15,5	18,7	18,7	16,3	11,9	7,8	5,4
Cádiz	5,4	6,6	7,7	9,4	12,1	15,3	18,0	18,4	16,8	13,3	9,2	7,1
Castellón	5,5	6,3	7,5	9,5	12,9	16,8	19,7	20,3	17,6	13,6	9,3	6,9
Ceuta	5,5	6,3	7,5	9,5	12,9	16,8	19,7	20,3	17,6	13,6	9,3	6,9
Ciudad Real	0,6	1,9	3,7	5,8	9,6	14,1	17,0	16,8	13,5	8,8	4,2	2,1
Córdoba	3,7	4,9	6,4	8,6	11,8	15,5	18,1	18,5	16,2	12,1	7,6	5,2
Cuenca	-0,8	0,2	1,7	3,9	7,6	11,7	14,7	14,8	11,3	6,8	2,7	0,7
Gerona	1,0	2,0	3,9	5,8	10,0	13,9	16,7	16,8	14,0	9,7	4,8	2,1
Granada	0,3	1,8	3,4	5,6	9,0	12,9	15,2	15,0	12,4	8,2	4,2	1,8
Guadalajara	-3,5	-2,7	-1,6	1,0	4,7	8,1	10,3	10,3	7,1	3,4	-0,5	-2,0
Huelva	6,6	7,7	9,0	10,7	13,4	16,6	19,2	19,3	17,7	14,2	10,4	8,1
Huesca	1,3	2,5	4,2	5,7	9,3	12,9	16,1	16,3	13,5	9,5	4,9	2,1
Jaén												
La Coruña	7,6	8,0	8,6	9,4	11,4	13,7	15,6	16,0	14,8	12,6	10,3	8,9
Las Palmas de Gran Canaria	14,7	14,9	15,4	15,7	17,0	18,7	20,4	21,2	21,2	19,7	17,9	15,7
León	-0,8	0,3	1,5	2,9	6,2	9,5	12,0	12,0	9,9	6,4	2,7	0,6
Lérida	1,0	2,2	4,2	6,5	10,5	14,4	17,2	17,4	14,1	9,4	4,4	2,1
Logroño	2,0	3,0	4,4	6,1	9,5	12,6	15,3	15,5	12,7	8,9	5,0	3,2
Lugo	1,5	2,2	2,7	4,4	6,8	9,5	11,9	11,8	10,0	7,2	4,3	3,0
Madrid	2,6	3,7	5,6	7,2	10,7	15,1	18,4	18,2	15,0	10,2	6,0	3,8
Málaga	7,3	7,9	9,0	10,4	13,4	17,1	19,7	20,5	18,2	14,3	10,8	8,4
Melilla	9,9	10,6	11,4	12,7	15,2	18,3	21,0	21,9	20,2	16,7	13,4	11,0
Murcia	3,9	5,2	6,7	8,7	12,2	16,2	19,0	19,9	16,9	12,7	8,2	5,2
Orense	2,9	3,7	4,6	6,3	9,2	12,2	14,6	14,2	12,3	9,3	6,1	4,4
Oviedo	4,2	4,8	5,6	6,3	9,1	11,9	14,1	14,5	12,9	10,0	7,1	5,5
Palencia												
Palma de Mallorca	8,3	8,5	9,5	11,3	14,7	18,4	21,3	22,2	19,8	16,1	12,1	9,7
Pamplona	1,2	1,9	3,3	4,9	8,2	11,2	13,7	14,0	11,7	8,4	4,3	2,4
Pontevedra	6,0	6,8	7,6	8,5	10,9	13,4	15,4	15,2	13,9	11,4	8,6	7,3
Salamanca	-0,7	0,3	1,4	3,5	7,0	10,5	12,8	12,4	9,9	6,1	2,2	0,7
San Sebastián	4,4	5,1	6,4	8,0	11,3	14,0	16,4	16,7	14,3	11,2	7,2	5,5
Santander	5,6	5,9	6,5	8,0	10,7	13,4	15,6	16,1	14,1	11,3	8,2	6,9
Santa Cruz de Tenerife	15,1	15,1	15,6	16,2	17,5	19,0	20,8	21,4	21,3	20,0	18,1	16,2
Segovia	0,3	1,3	2,6	4,0	7,5	11,3	14,4	14,4	11,8	7,7	3,6	1,6
Sevilla	5,2	6,7	8,2	10,1	13,1	16,7	19,4	19,5	17,5	13,5	9,3	6,9
Soria	-1,5	-0,6	0,6	2,3	5,8	9,2	12,0	12,0	9,1	5,4	1,6	-0,2
Tarragona	4,0	5,1	6,6	8,4	11,9	15,7	18,6	19,3	16,5	12,3	7,6	5,2
Teruel	-2,1	-1,1	0,4	2,6	6,5	10,2	12,8	13,0	9,9	5,7	1,2	-0,6
Toledo	1,6	3,0	4,8	6,9	10,8	15,2	18,5	18,3	14,8	9,9	5,3	3,0
Valencia	7,0	7,9	9,0	10,8	14,1	17,9	20,8	21,4	18,6	14,5	10,4	8,1
Valladolid	0,0	0,9	2,3	4,0	7,2	10,7	13,3	13,6	10,9	6,9	2,9	1,3
Vitoria	1,0	1,4	2,4	3,9	7,1	9,8	12,1	12,5	10,1	7,2	3,6	2,2
Zamora	0,6	1,8	3,1	5,0	8,3	11,8	14,6	14,5	11,9	7,9	3,9	2,0
Zaragoza	2,4	3,5	5,2	7,4	11,2	14,8	17,6	17,8	14,7	10,3	5,8	3,5

Tabla 1.8. Racha de viento máxima en el mes/año (Dirección en grados y Velocidad en km/h)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	250	230	90	250	270	270	-	-	270	250	270	310
	97	148	104	119	133	101	99	90	90	97	112	115
Alicante	270	320	270	320	50	40	90	180	320	90	180	270
	95	94	91	90	79	66	81	62	75	79	112	75
Almería	330	260	260	70	70	70	230	80	100	270	250	250
	112	108	98	93	122	86	81	94	101	137	100	102
Ávila	330	280	180	300	200	190	180	320	130	180	300	20
	83	107	85	75	85	82	77	87	63	77	90	92
Badajoz	250	270	360	-	270	270	140	260	250	180	230	210
	94	97	101	97	94	90	90	82	83	90	101	105
Barcelona	320	320	70	90	60	100	220	-	-	200	230	270
	108	99	88	86	86	67	81	104	70	86	103	94
Bilbao	290	230	180	250	320	240	310	300	320	200	140	290
	133	133	115	112	90	105	76	104	95	112	126	130
Burgos	230	-	110	230	230	300	-	200	200	250	220	230
	119	116	115	98	79	76	99	117	97	123	105	124
Cáceres	180	240	270	270	40	220	180	220	270	180	310	180
	108	96	81	94	76	78	72	81	95	101	105	104
Cádiz	240	240	30	260	110	130	170	150	230	90	240	170
	85	78	83	78	70	70	70	59	80	89	108	93
Castellón	340	280	340	340	290	40	20	30	280	270	320	320
	108	96	113	92	86	70	86	77	83	79	98	105
Ceuta												
Ciudad Real	60	-	250	250	240	-	20	250	250	230	20	230
	61	86	73	70	66	65	94	83	66	79	101	104
Córdoba	210	-	230	200	250	230	230	230	230	210	220	210
	80	78	83	83	93	63	65	59	76	74	96	126
Cuenca	50	240	100	240	350	50	180	130	130	90	130	140
	96	113	83	94	76	82	79	108	72	90	78	101
Gerona	20	360	50	270	360	140	270	230	160	230	360	180
	94	110	95	80	83	90	79	97	70	74	110	100
Granada	300	160	160	260	220	50	360	230	290	160	230	20
	93	90	94	97	102	71	80	91	97	76	99	92
Guadalajara	240	240	290	230	270	230	230	200	230	250	230	270
	91	95	89	96	76	78	91	80	76	83	87	104
Huelva	-	220	250	320	360	230	230	250	260	320	260	180
	100	95	115	100	89	67	63	69	82	102	103	122
Huesca	290	330	300	340	290	280	200	270	340	340	300	290
	122	130	102	102	87	122	133	136	101	115	100	104
Jaén												
La Coruña	20	270	200	240	140	220	190	50	180	340	200	260
	115	115	110	96	81	94	72	80	90	130	100	118
Las Palmas de Gran Canaria	20	10	230	20	30	30	20	20	30	30	250	180
	98	77	88	83	76	89	85	79	77	74	104	82
León	260	270	270	-	270	270	270	240	250	250	230	270
	101	130	92	107	97	93	92	79	97	95	102	101
Lérida	-	290	290	300	260	290	270	290	-	290	290	-
	126	112	119	112	106	115	109	94	95	94	94	100
Logroño	320	310	-	140	300	290	320	30	290	290	300	270
	98	126	95	95	81	90	115	97	84	101	94	103
Lugo	230	180	180	180	230	50	50	50	230	180	220	180
	108	144	97	108	97	82	79	90	89	122	78	127

Tabla 1.9. Racha de viento máxima en el mes/año (Dirección en grados y Velocidad en km/h)

Madrid	360	140	270	250	40	270	130	230	250	50	50	200
	83	85	83	94	77	81	101	103	79	80	79	88
Málaga	290	320	320	320	340	340	270	200	240	310	320	230
	108	104	94	97	79	79	68	79	76	88	94	119
Melilla	290	270	290	290	10	270	270	250	280	300	270	290
	109	110	112	101	138	74	68	79	78	100	94	104
Murcia	320	340	310	70	230	270	320	180	200	320	290	320
	83	93	77	86	70	70	103	94	85	89	88	86
Orense	150	230	250	320	260	160	60	250	210	250	160	170
	75	90	64	72	67	65	62	58	55	54	64	73
Oviedo	320	290	290	320	230	290	200	320	290	290	140	180
	166	143	155	130	124	119	115	110	106	156	162	190
Palencia												
Palma de Mallorca	310	310	320	340	340	50	50	250	320	360	320	320
	97	105	107	114	81	76	72	68	78	113	100	117
Pamplona	170	300	340	160	220	250	-	220	180	170	-	170
	84	130	86	94	89	93	104	99	79	94	153	107
Pontevedra	200	230	300	160	170	140	200	60	160	180	210	200
	81	90	69	72	70	80	62	72	70	115	79	101
Salamanca	210	270	290	230	250	270	270	60	250	270	230	230
	119	136	116	97	112	94	112	103	86	119	106	121
San Sebastián	140	230	230	230	250	320	320	230	230	180	140	320
	154	149	122	97	121	101	86	79	90	126	144	145
Santander	210	300	230	340	320	290	300	300	300	190	180	300
	117	137	109	107	91	94	74	84	94	111	139	167
Santa Cruz de Tenerife	320	340	270	270	290	320	340	340	320	290	290	290
	104	128	94	90	92	79	83	83	79	90	95	162
Segovia	130	290	170	310	270	280	230	250	210	210	260	200
	91	89	86	100	83	81	89	85	99	87	84	110
Sevilla	220	270	320	140	230	270	220	330	250	200	200	170
	102	105	83	81	79	85	74	70	74	95	104	115
Soria	220	250	40	260	250	320	290	290	250	320	320	50
	115	122	81	86	104	85	96	93	81	88	92	101
Tarragona	290	320	290	300	-	310	50	-	-	320	270	320
	115	147	148	124	100	86	98	115	101	115	118	108
Teruel	330	250	250	330	330	90	-	-	70	100	210	210
	86	89	72	91	81	74	106	103	77	84	72	97
Toledo	300	280	250	270	350	200	-	300	280	270	240	220
	101	138	85	105	88	99	115	105	85	105	103	104
Valencia	300	270	340	290	260	250	310	280	20	250	290	-
	94	117	86	85	73	74	67	66	94	79	73	86
Valladolid	230	260	230	230	360	20	90	210	-	250	50	230
	114	128	85	81	89	83	95	84	76	106	96	119
Vitoria	230	230	230	230	360	150	180	320	220	230	210	200
	90	108	90	112	88	76	88	83	85	115	109	110
Zamora	200	230	220	230	180	290	180	180	180	270	270	270
	86	91	83	79	81	83	97	86	84	80	96	111
Zaragoza	230	250	290	290	-	310	320	290	320	320	290	320
	111	126	112	114	104	100	130	96	95	103	136	127

2.2. Normativa UNE

Las normas UNE (Una Norma Española) son un conjunto de normas tecnológicas creadas por los Comités Técnicos de Normalización (CTN), de los que forman parte todas las entidades y agentes implicados e interesados en los trabajos del comité. Por regla general estos comités suelen estar formados por AENOR, fabricantes, consumidores y usuarios, administración, laboratorios y centros de investigación.

Si nos centramos en las normas que afectan al ámbito de nuestro proyecto, nos encontramos:

- **Norma UNE 94002:2005** [12]: Instalaciones solares térmicas para producción de ACS. Cálculo de la demanda energética.
- **Norma UNE 94003:2007** [13]: Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- **Norma UNE 100001:2011** [14]: Climatización. Condiciones climáticas para proyectos.

Analizando la información que proporcionan las normas UNE se han realizado tablas resumen que resultan útiles para la elaboración del proyecto:

- **Tabla 1.10:** Medias diarias anuales (Temperatura del agua fría, Irradiación global solar diaria media y temperatura ambiente)
- **Tabla 1.11:** Temperatura ambiente diaria media mensual (°C). Fuente UNE 94003:2007
- **Tabla 1.12:** Temperatura diaria media mensual del agua fría (°C). Fuente UNE 94002:2005
- **Tabla 1.13:** Irradiación global solar diaria media mensual (MJ/m^2). Fuente UNE 94003:2007

Tabla 1.10. Medias diarias anuales

Localidad	Temp agua fría (°C)	Irrad. Solar global diaria media (MJ/m^2)	Temp ambiente (°C)
Albacete	12,50	12,79	13,47
Alicante	15,33	16,42	17,85
Almería	15,67	17,26	18,51
Ávila	10,42	17,61	10,35
Badajoz	14,17	11,35	16,38
Barcelona	13,75	15,71	15,33
Bilbao	12,75	16,99	14,03
Burgos	10,08	16,25	9,88
Cáceres	14,08	15,03	16,17
Cádiz	15,50	14,13	18,24
Castellón	14,58	16,40	16,71
Ceuta	14,17	17,90	16,06
Ciudad Real	12,83	12,22	14,31
Córdoba	15,08	15,97	17,44
Cuenca	11,67	16,26	12,22
Gerona	12,92	16,44	14,09
Granada	13,25	17,06	14,84
Guadalajara	12,42	15,40	13,55
Huelva	15,58	13,94	18,33
Huesca	12,42	17,53	13,40
Jaén	14,58	14,41	16,91
La Coruña	12,83	12,93	14,11
Las Palmas de Gran Canaria	17,08	11,53	20,48
León	10,58	17,28	10,75
Lérida	13,08	15,67	14,61
Logroño	12,33	17,35	13,43
Lugo	10,92	19,18	11,19
Madrid	13,00	14,92	14,31
Málaga	15,50	16,37	17,96
Melilla	15,75	14,23	18,43
Murcia	14,67	12,49	16,90
Orense	13,08	15,37	14,30
Oviedo	11,83	17,40	12,60
Palencia	11,17	15,94	11,73
Palma de Mallorca	15,17	15,78	17,70
Pamplona	11,67	13,85	12,18
Pontevedra	13,42	13,05	14,97
Salamanca	11,08	15,52	11,61
San Sebastián	12,17	14,89	12,99
Santander	12,83	19,99	14,20
Santa Cruz de Tenerife	17,33	15,98	21,03
Segovia	11,25	14,63	11,77
Sevilla	15,50	17,59	18,21
Soria	10,33	14,69	10,44
Tarragona	14,92	15,64	17,18
Teruel	11,17	15,31	11,52
Toledo	13,75	16,52	15,50
Valencia	14,58	15,89	16,76
Valladolid	11,67	15,27	12,18
Vitoria	10,92	10,64	11,13
Zamora	11,83	15,73	12,51
Zaragoza	13,25	15,15	14,63

Tabla 1.11. Temperatura ambiente diaria media mensual (°C). Fuente UNE 94003:2007

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
Alicante	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
Almería	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
Ávila	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
Badajoz	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
Barcelona	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
Bilbao	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
Burgos	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
Cáceres	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
Cádiz	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
Castellón	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
Ceuta	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
Ciudad Real	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
Córdoba	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
Cuenca	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
Gerona	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
Granada	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
Guadalajara	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
Huelva	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
Huesca	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
Jaén	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
La Coruña	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
Las Palmas de Gran Canaria	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
León	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
Lérida	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
Logroño	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
Lugo	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3
Madrid	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
Málaga	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
Melilla	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
Murcia	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
Orense	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
Oviedo	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
Palencia	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
Palma de Mallorca	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
Pamplona	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
Pontevedra	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
Salamanca	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7	4,1
San Sebastián	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
Santander	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
Santa Cruz de Tenerife	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
Segovia	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
Sevilla	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
Soria	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
Tarragona	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
Teruel	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
Toledo	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
Valencia	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
Valladolid	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
Vitoria	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
Zamora	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
Zaragoza	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5

Tabla 1.12. Temperatura diaria media mensual del agua fría (ºC). Fuente UNE 94002:2005

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Gerona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
La Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lérida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Orense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Santa Cruz de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Tabla 1.13. Irradiación global solar diaria media mensual (MJ/m^2). Fuente UNE 94003:2007

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Albacete	5,2	8,0	11,1	14,3	18,4	21,0	21,4	19,2	14,5	10,1	6,0	4,3
Alicante	7,8	11,0	14,9	18,8	22,5	25,0	26,5	23,6	18,2	13,0	8,7	7,0
Almería	9,2	12,2	16,3	20,1	23,5	25,4	26,2	23,2	18,7	14,1	10,0	8,2
Ávila	9,7	12,6	15,9	20,0	24,1	26,1	26,5	23,7	19,1	14,3	10,5	8,8
Badajoz	5,6	7,9	11,0	13,9	15,8	17,0	17,0	15,2	12,5	9,0	6,3	5,0
Barcelona	7,2	9,9	13,8	17,4	21,6	24,2	26,5	24,0	17,7	12,1	7,9	6,2
Bilbao	8,0	11,0	15,4	19,3	23,8	25,5	27,5	24,7	18,8	13,5	9,3	7,1
Burgos	8,3	11,3	14,6	18,6	22,4	25,0	25,6	22,8	17,1	13,0	9,1	7,2
Cáceres	7,2	10,2	13,7	17,7	21,2	23,0	24,3	20,9	15,9	11,6	8,0	6,6
Cádiz	5,1	8,0	12,0	15,2	19,7	23,5	25,7	22,8	16,3	10,5	6,5	4,3
Castellón	7,9	10,6	15,9	17,1	23,1	25,4	27,3	24,4	18,1	12,6	8,0	6,4
Ceuta	9,3	12,3	16,4	20,4	24,6	26,3	27,2	25,2	19,4	14,8	10,4	8,5
Ciudad Real	5,1	7,5	10,9	14,4	17,5	19,8	20,1	17,7	13,8	9,4	6,1	4,3
Córdoba	8,5	11,2	15,1	18,4	21,9	23,9	24,6	21,3	17,3	12,7	9,3	7,4
Cuenca	8,7	11,5	15,0	18,5	21,7	24,4	24,3	22,5	18,1	12,8	9,6	8,0
Gerona	7,4	10,5	14,7	18,3	23,1	25,2	27,4	24,6	18,2	12,7	8,6	6,6
Granada	8,8	11,6	15,1	18,2	23,1	25,5	27,2	24,9	18,7	13,5	10,1	8,0
Guadalajara	7,0	9,7	13,6	16,8	20,9	23,8	26,2	23,3	17,4	12,0	8,0	6,1
Huelva	7,2	9,4	12,7	16,2	18,8	20,7	22,6	19,7	15,0	10,9	7,8	6,3
Huesca	9,0	11,7	15,9	19,2	24,0	26,7	27,8	25,1	19,1	13,9	9,9	8,0
Jaén	6,1	8,6	12,1	15,6	19,5	22,4	25,5	22,7	16,6	11,1	7,1	5,6
La Coruña	5,3	7,8	11,4	15,2	18,2	20,6	21,8	19,7	14,3	10,2	6,2	4,5
Las Palmas de Gran Canaria	5,1	7,2	10,6	12,9	16,4	18,1	18,5	16,4	13,5	9,3	6,0	4,4
León	8,5	11,7	15,5	19,9	24,0	25,6	27,1	24,8	19,4	13,7	9,6	7,5
Lérida	6,6	10,3	14,5	18,9	21,9	24,4	25,9	22,7	17,2	12,0	7,7	5,9
Logroño	8,7	11,6	15,7	19,3	24,0	26,1	27,9	24,6	18,8	13,7	10,4	7,4
Lugo	13,4	16,0	19,2	22,1	23,8	24,3	24,3	22,9	20,4	17,2	14,1	12,5
Madrid	6,4	9,2	13,5	17,2	20,8	23,7	25,5	22,5	16,4	11,0	7,3	5,5
Málaga	6,6	11,2	15,4	19,8	23,5	25,8	26,7	23,3	17,8	12,7	7,8	5,8
Melilla	5,8	9,1	12,8	16,1	19,5	22,9	24,2	21,6	16,0	11,1	6,7	5,0
Murcia	4,9	7,5	11,2	15,4	17,4	20,5	20,9	19,0	13,7	9,5	5,8	4,1
Orense	6,8	9,6	13,6	17,4	21,4	23,9	25,9	23,1	17,2	11,8	7,7	6,0
Oviedo	9,4	12,0	16,1	19,3	23,9	25,9	26,5	24,1	18,9	14,1	10,2	8,4
Palencia	9,5	11,7	15,0	18,4	21,4	23,1	22,8	21,0	16,4	13,3	10,1	8,6
Palma de Mallorca	8,8	11,7	14,3	17,9	21,9	23,2	23,5	21,1	16,6	13,1	9,5	7,8
Pamplona	5,3	8,3	12,4	15,2	18,7	22,8	24,2	21,1	16,5	10,6	6,4	4,7
Pontevedra	5,0	7,4	11,7	15,5	18,0	20,6	22,0	20,9	15,6	9,6	6,0	4,3
Salamanca	5,8	9,6	13,5	17,9	22,3	25,1	27,1	24,0	17,1	11,5	7,5	4,8
San Sebastián	5,9	8,2	13,0	17,6	20,0	24,5	25,5	23,1	16,7	11,5	7,2	5,5
Santander	13,3	16,6	19,5	22,6	24,6	25,4	26,2	25,1	21,9	17,9	14,4	12,4
Santa Cruz de Tenerife	6,6	10,0	14,2	18,1	22,6	25,3	27,1	24,5	17,7	12,1	7,9	5,7
Segovia	6,2	8,6	12,5	15,7	19,8	23,0	25,9	23,3	17,0	11,0	7,1	5,4
Sevilla	9,1	12,2	16,0	19,8	24,1	25,9	27,2	24,8	19,2	14,3	10,2	8,3
Soria	6,0	8,6	12,5	16,2	20,4	24,0	26,1	22,9	16,4	10,8	6,9	5,5
Tarragona	7,9	10,5	15,0	18,5	21,4	23,5	24,7	21,3	16,9	12,3	8,6	7,1
Teruel	7,2	10,5	14,0	17,7	20,2	22,9	25,1	22,4	17,2	12,2	8,6	5,7
Toledo	7,8	10,5	15,6	18,2	22,7	26,0	27,5	24,6	18,2	12,7	8,0	6,4
Valencia	8,3	10,9	15,0	18,5	21,7	23,2	24,4	21,9	17,6	12,8	9,0	7,4
Valladolid	5,4	8,9	13,7	17,6	21,8	24,7	26,9	24,2	17,3	11,4	6,7	4,6
Vitoria	4,5	6,7	9,6	12,0	15,2	16,9	17,3	15,3	12,4	8,6	5,3	3,9
Zamora	6,1	9,8	14,1	18,4	22,1	25,0	26,9	23,9	17,6	11,9	7,6	5,3
Zaragoza	6,4	9,8	13,8	17,4	21,5	23,8	25,3	22,5	16,5	11,6	7,5	5,7

3. PROGRAMAS DE DATOS CLIMÁTICOS

3.1. Programas

Como se ha comentado en la introducción de este anexo, existen numerosos programas que proporcionan información y datos climatológicos para poder ser utilizados posteriormente.

Se han seleccionado los más comunes:

- Energy Plus (EP) → http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/
- Meteonorm (MN) → http://www.meteonorm.com
- Trnsclima (TC) → http://aiguasol.coop/2005/01/trnsclima/
- Calener (CA) → http://www.calener.es/
- PVGis (PV) → http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/
- Nasa-sse (NA) → http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/
- So-da (SO) → http://www.soda-is.com/eng/index.html
- Climwat (CW) → http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_climwat.html

La información que proporcionan procede de las bases de datos que desarrollan los propios programas o pueden ser combinadas con otras fuentes externas:

- Energy Plus (EP): Los datos meteorológicos proceden de 20 fuentes
  - CTZ2 California Climate Zones 2
  - CWEC Canadian Weather for Energy Calculations
  - CIBSE Chartered Institution of Building Services Engineers
  - CityUHK City University of Hong Kong
  - CSWD Chinese Standard Weather Data
  - CTYW Chinese Typical Year Weather
  - ETMY Egyptian Typical Meteorological Year
  - IGDG Italian Climatic data collection "Gianni De Giorgio"
  - IMGW Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej
  - IMS Weather Data for Israel
  - INETI Synthetic data for Portugal
  - ISHRAE Indian Weather Data from the Indian Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
  - ITMY Iranian Typical Meteorological Year
  - IWEC International Weather for Energy Calculations
  - KISR Kuwait Weather Data from Kuwait Institute of Scientific Research
  - NIWA New Zealand Data from NIWA
  - RMY Australia Representative Meteorological Years
  - **SWEC Spanish Weather for Energy Calculations**
  - SWERA Solar and Wind Energy Resource Assessment
  - TMY3 Typical Meteorological Year 3

  En el caso de España la fuente de datos es SWEC (Spanish Weather for Energy Calculations), que contiene los datos de las 52 capitales de provincia españolas.

- Meteonorm (MN):

  Desarrolla sus propias bases de datos meteorológicas, pero también combina varias bases de datos de diferentes partes del mundo. La mayoría de los datos se han tomado de GEBA (Global Energy Balance Archive), de la Organización Meteorológica Mundial (WMO/OMM) Normales Climatológicas 1961–1990 y de la base de datos Suiza compilada por MeteoSwiss.

- Trnsclima (TC):

  Es una base de datos meteorológicos de 113 localidades de la Península Ibérica. Se incluyen datos de radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa e intensidad de viento y dirección adecuados para la simulación térmica de edificios y los sistemas solares con TRNSYS, así como para la simulación de otros recursos y análisis de problemas en temas como la agronomía, fuegos forestales o corrosión de materiales en la intemperie.

- Calener (CA):

  Es una herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y por el Ministerio de Vivienda. Suministra una base de datos estándar con procedencia controlada.

- PVGis (PV):

  Posee su propia base de datos climáticos, a la cual se puede acceder por medio de su página web: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

- Nasa-sse (NA):

  Dispone de sistemas de satélite y su investigación proporciona datos importantes para el estudio de los procesos climáticos y el clima. Contiene su propia base de datos.

- So-da (SO):

  Es una familia de bases de datos climática que abarca Europa, África, la cuenca del Mediterráneo, el Océano Atlántico y parte del Océano Índico.

  Recibe los datos del satélite Meteosat y los procesa en tiempo real.

  Produce la base de datos de HelioClim, a la cual se puede acceder a través del servicio de soda (meteorología - observaciones).

- Climwat (CW):

  Es una base de datos climáticos para ser usada en combinación con el programa informático CROPWAT. Permite el cálculo de las necesidades de los cultivos en todo el mundo, con más de 5000 estaciones. Su base de datos es una publicación conjunta con la FAO.

3.2. Datos climáticos

Todos estos programas proporcionan gran cantidad de información. Sin embargo, cada uno genera la información de una manera particular y no todos proporcionan los mismos datos. Es decir, no todos tienen por qué dar los valores de temperatura máxima o no todos dan la radiación solar.

De todos los datos se han seleccionado los más importantes que se consideran para el proyecto. La Tabla 1.14 muestra una visión global de qué datos proporciona cada uno de estos programas.

Tabla 1.14. Datos proporcionados por los programas de datos climáticos

	EP	MN	TC	CA	PV	NA	SO	CW
Ubicación: (nombre, latitud, longitud, altitud, zona horaria)	√	√		√		√	√	√
Radiación global horizontal	√	√	√	√	√	√	√	√
Radiación directa horizontal	√	√	√	√		√	√	
Presión atmosférica	√	√	√			√		
Temperatura de bulbo seco	√	√		√		√		
Temperatura de bulbo húmedo	√	√		√		√		
Temperatura del punto de rocío	√	√				√		
Humedad relativa del aire	√	√	√	√		√		√
Velocidad del viento	√	√	√	√		√		√
Dirección del viento	√	√	√	√		√		
Precipitación mensual / anual media	√	√				√		√

3.3. Formatos

Cada programa es capaz de manejar distintos formatos. En la Tabla 1.15 se muestra una lista de los formatos más habituales y la lista de los programas, indicando su compatibilidad.

Tabla 1.15. Tipos de formatos

	EP	MN	TC	CA	PV	NA	SO	CW	AEMET
Helios-Pc		√							
DOE - DOE2	√	√		√					
SUNCODE		√							
CH-METEO		√							
PVSYST		√							
TRNSYS		√							
T/PVSOL		√							
POLYSUN		√							
TMY2	√	√							
LESOSAI		√							
SIA 380/1		√							
Standard/opt.		√							
TRY/WUFI	√	√	√					√	
Spectral		√							
Meteo matrix/TISO		√							
PVS		√							
HTML interface		√	√		√		√	√	√
PLT	√								
WYEC2	√								
Energy Plus E/E	√								
IWEC OR IWC	√								
SAMSON OR DAT	√								
FMT OR TXT	√								
ESP-r	√								
BLAST	√								
EPW	√								
CSV (txt)	√				√	√	√	√	
TMY	√								
WEA	√								
SWERA	√					√			
XML						√			

Como se explicará más adelante, se escoge el programa de datos Energy Plus para la realizar las simulaciones necesarias. El formato de Energy Plus [19] es “EPW”, en la Tabla 1.16 se muestra una parte del fichero original y en la Tabla 1.17 se muestra el fichero desglosado.

Tabla 1.16. Fichero original Energy Plus, EPW, primeras líneas

LOCATION,Zaragoza,-,ESP,DOE-2 WTH-081600,081600,41.67,-1.02,1.0,158.0

DESIGN CONDITIONS,1,Climate Design Data 2005 ASHRAE Handbook,,Heating,1,-2.9,-1.1,-8.1,1.9,1.9,-5.9,2.4,3,15,10,13.6,8.6,2.1,280,Cooling,7,13.8,35.9,21.5,34,20.9,32.2,20.2,22.8,32.7,21.7,30.9,21,30,3.8,100,19.9,15,26.9,18.8,14.1,25.9,17.9,13.3,25.4,68.3,32.9,64.6,30.9,61.7,29.9,Extremes,13.5,12.1,10.8,27.6,39.1,-4.5,1.1,2.1

TYPICAL/EXTREME PERIODS,6,Summer - Week Nearest Max Temperature For Period,Extreme,7/13,7/19,Summer - Week Nearest Average Temperature For Period,Typical,7/20,7/26,Winter - Week Nearest Min Temperature For Period,Extreme,12/22,1/ 5,Winter - Week Nearest Average Temperature For Period,Typical,1/20,1/26,Autumn - Week Nearest Average Temperature For Period,Typical,10/20,10/26,Spring - Week Nearest Average Temperature For Period,Typical,4/19,4/25

GROUND TEMPERATURES,3,.5,,,,9.99,7.19,6.43,7.09,10.87,15.10,19.08,21.97,22.81,21.46,18.19,14.08,2,,,,12.51,9.88,8.63,8.59,10.58,13.48,16.59,19.27,20.65,20.39,18.55,15.72,4,,,,14.15,12.11,10.86,10.48,11.21,12.90,14.99,17.05,18.43,18.76,17.97,16.32

HOLIDAYS/DAYLIGHT SAVINGS,No,0,0,0

COMMENTS 1, Spanish Weather for Energy Calculations (SWEC) created by Prof Pérez-Lombard Escuela Superior de Ingeneiros Sevilla for 52 Spanish provincial capitals; Synthetically generated using Climed and include constant wind speeds of 6.7 m/s. Converted from DOE-2 binary to EnergyPlus format.

COMMENTS 2, -- Ground temps produced with a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03 {m**2/day}

DATA PERIODS,1,1,Data,Sunday, 1/ 1,12/31

1989,1,1,1,60,*?,4.4,1.7,82,98544,0,0,267,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,2,60,*?,4.4,1.7,82,98544,0,0,267,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,3,60,*?,3.9,1.7,85,98544,0,0,264,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,4,60,*?,3.9,1.7,85,98544,0,0,264,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,5,60,*?,3.3,1.4,87,98544,0,0,262,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,6,60,*?,2.8,1.4,90,98544,0,0,260,0,0,0,999900,999900,999900,99990,0,6.7,0,0,777.7,77777,0,999999999,0,0.0000,0,88

1989,1,1,7,60,*?,2.2,1.4,94,98544,0,0,258,0,0,0,999900,999900,999900,9

.

.

.

.

Tabla 1.17. Formato EPW desglosado y esquematizado

```
WEATHER DATA IDD FORMAT
!ESP-r/EnergyPlus Weather Format
!22 November 1999
LOCATION,
A1, \field city\type alpha
A2, \field State Province Region\type alpha
A3, \field Country\type alpha
A4, \field Source\type alpha
N1, \field WMO\type integer
N2 , \field Latitude\units deg\minimum -90.0\maximum +90.0\default 0.0\note + is North, - is South,\note degree minutes represented in decimal (i.e. 30 minutes is .5)\type real
N3 , \field Longitude\units deg\minimum -180.0\maximum +180.0\default 0.0\note - is West, + is East,\note degree minutes represented in decimal (i.e. 30 minutes is .5)\type real
N4 , \field TimeZone\units hr (decimal)\minimum -12.0\maximum +12.0\default 0.0\note Time relative to GMT.\type real
N5 ; \field Elevation\units m\minimum -1000.0\maximum< +9999.9\default 0.0\type real
DESIGN CONDITIONS,
N1, \field Annual Extreme Daily Mean Maximum Dry Bulb Temperature\units C
N2 \field Annual Extreme Daily Mean Minimum Dry Bulb Temperature\units C
N3, \field Annual Extreme Daily Standard Deviation Maximum Dry Bulb Temperature\units C
N4, \field Annual Extreme Daily Standard Deviation Minimum Dry Bulb Temperature\units C
N5 \field 99.6% Heating Dry Bulb Temperature\units C
N6, \field 99% Heating Dry Bulb Temperature\units C
N7, \field 98% Heating Dry Bulb Temperature\units C
N8, \field 0.4% Cooling Dry Bulb Temperature\units C
N9, \field 0.4% Mean Coincident Wet Bulb Temperature\units C
N10, \field 1.0% Cooling Dry Bulb Temperature\units C
N11, \field 1.0% Mean Coincident Wet Bulb Temperature\units C
N12, \field 2.0% Cooling Dry Bulb Temperature\units C
N13, \field 2.0% Mean Coincident Wet Bulb Temperature\units C
N14, \field 0.4% Cooling Dew Point Temperature\units C
N15, \field 0.4% Mean Coincident Dry Bulb Temperature\units C
N16, \field 0.4% Humidity Ratio {?}],
N17, \field 1.0% Cooling Dew Point Temperature\units C
N18, \field 1.0% Mean Coincident Dry Bulb Temperature\units C
N19, \field 1.0% Humidity Ratio\units {?}
N20, \field 2.0% Cooling Dew Point Temperature\units C
N21, \field 2.0% Mean Coincident Dry Bulb Temperature\units C
N22, \field 2.0% Humidity Ratio\units {?}
N23, \field Daily Range of Dry Bulb Temperature\units C
N23, \field Heating Degree Days Base Temperature\units C
N24, \field Heating Degree DaysN25, \field Cooling Degree Days Base Temperature\units C
N26; \field Cooling Degree Days
TYPICAL/EXTREME PERIODS,
N1, \field Number of Typical/Extreme Periods
A1, \field Typical/Extreme Period 1
N2, \field Period 1 Start Date
N3, \field Period 1 End Date
A2, \field Typical/Extreme Period 2
N4, \field Period 2 Start Date
N5, \field Period 2 End Date      --- etc ---
GROUND TEMPERATURES,
N1, Number of Ground Temperature Depths
N2, \field Ground Temperature Depth 1\units m
N3, \field Depth 1 Soil Conductivity\units W/m-K,
N4, \field Depth 1 Soil Density\units kg/m3
N5, \field Depth 1 Soil Specific Heat\units J/kg-K,
N6, \field Depth 1 January Average Ground Temperature\units C
N7, \field Depth 1 February Average Ground Temperature\units C
N8, \field Depth 1 March Average Ground Temperature\units C
```

N9, \field Depth 1 April Average Ground Temperature\units C
N10, \field Depth 1 May Average Ground Temperature\units C
N11, \field Depth 1 June Average Ground Temperature\units C
N12, \field Depth 1 July Average Ground Temperature\units C
N13, \field Depth 1 August Average Ground Temperature\units C
N14, \field Depth 1 September Average Ground Temperature\units C
N15, \field Depth 1 October Average Ground Temperature\units C
N16, \field Depth 1 November Average Ground Temperature\units C
N17, \field Depth 1 December Average Ground Temperature\units C -- etc ---
HOLIDAYS/DAYLIGHT SAVINGS,
A1, \field LeapYear Observed\type choice\key Yes\key No\note Yes if Leap Year will be observed for this file\note No if Leap Year days (29 Feb) should be ignored in this file
N2, \field Daylight Savings Start Day
N3, \field Daylight Savings End Day
N4, \field Number of Holiday definitions following
A2, \field Holiday 1 Name
N5, \field Holiday 1 Date -- etc –
COMMENTS 1, A1; \field Comments 1]
COMMENTS 2, A1; \field Comments 2]
DATA PERIODS,
N1, \field Number of Data Periods
N2, \field Number of Records per hour
A1, \field Data Period 1 Name/Description
A2, \field Data Period 1 Start Day of Week
\type choice
\key Sunday\key Monday\key Tuesday\key Wednesday\key Thursday\key Friday\key Saturday
N3, \field Data Period 1 Start Date
N4, \field Data Period 1 End Date -- etc –
! Actual data does not have a keyword
N1, \field Year
N2, \field Month
N3, \field Day
N4, \field Hour
N5, \field Minute
A1, \field Data Source and Uncertainty Flags
N6, \field Dry Bulb Temperature\units C
N7, \field Dew Point Temperature\units C
N8, \field Relative HumidityN9, \field Atmospheric Station Pressure\units Pa
N10, \field Extraterrestrial Horizontal Radiation\units Wh/m2
N11, \field Extraterrestrial Direct Normal Radiation\units Wh/m2
N12, \field Horizontal Infrared Radiation from Sky\units Wh/m2
N13, \field Global Horizontal Radiation\units Wh/m2
N14, \field Direct Normal Radiation\units Wh/m2
N15, \field Diffuse Horizontal Radiation\units Wh/m2
N16, \field Global Horizontal Illuminance\units lux
N17, \field Direct Normal Illuminance\units lux
N18, \field Diffuse Horizontal Illuminance\units lux
N19, \field Zenith Luminance\units Cd/m2
N20, \field Wind Direction\units degrees
N21, \field Wind Speed\units m/s
N22, \field Total Sky Cover
N23, \field Opaque Sky Cover
N24, \field Visibility\units km
N25, \field Ceiling Height\units m
N26, \field Present Weather Observation
N27, \field Present Weather Codes
N28, \field Precipitable Water\units mm
N29, \field Aerosol Optical Depth\units thousandths
N30, \field Snow Depth\units cm
N31; \field Days Since Last Snowfall

4. PROGRAMA TRNSYS

TRNSYS [10] es una herramienta informática que proporciona un entorno completo para la simulación dinámica de sistemas energéticos.

La mayor parte de los programas de simulación térmica necesitan disponer de una base de datos que les proporcione la información climatológica necesaria para realizar las simulaciones.

4.1. Fuentes de datos en TRNSYS

Los archivos meteorológicos distribuidos con TRNSYS 16 están organizados en directorios de acuerdo a las fuentes de datos que dispone. Actualmente dispone de dos fuentes de datos como se puede observar en la Tabla 1.18.

Tabla 1.18. Fuentes de datos en TRNSYS

Fuente	Región	Lugares disponibles
US-TMY2	Sólo EE.UU.	237 ubicaciones en los EE.UU. (más los estados de Alaska y Hawai), y los archivos para Puerto-Rico y Guam
Meteonorm	África	174 ubicaciones en 46 países
	Asia	227 ubicaciones en 43 países
	Australia-Oceanía	55 localidades en 9 países
	América Central y del Sur	141 ubicaciones en 29 países
	Europa	369 ubicaciones en 35 países
	Norte América (excepto EE.UU)	67 localidades en 3 países

- El conjunto de datos US-TMY2. Provienen de la fuente americana NREL, incluye 237 lugares en los EE.UU. (Alaska, Hawai, Puerto Rico y Guam). En su directorio de TRNSYS contiene los archivos de datos para el año meteorológico típico. Su formato es TMY2, que difiere del formato TMY por su fecha de recopilación de datos. Ambos formatos son reconocidos por TRNSYS.

- Archivos meteorológicos provenientes de Meteonorm (Se incluyen más de 1000 lugares en más de 150 países). Estos archivos han sido generados utilizando las opciones predeterminadas en Meteonorm V, obteniendo el formato de salida "TMY2". Todos los archivos de datos están en el subdirectorio del tiempo \ Meteonorm. Hay 5 subdirectorios correspondientes a las 5 regiones del mundo.

Además TRNSYS es capaz de reconocer y utilizar otro tipo de formatos. En la Tabla 1.19 se puede observar qué programas de los mencionados anteriormente son compatibles con TRNSYS.

Tabla 1.19. Programas compatibles con TRNSYS

	Energy Plus	Meteonorm	Trnsclima	Calener	PVGis	Nasa-sse	So-da	Climwat	AEMET
TRNSYS	√	√	√	x	x	x	x	x	x

4.2. Comparativa de datos

Si nos ceñimos al entorno de nuestro proyecto, tenemos que seleccionar aquellas fuentes que proporcionen datos para España y que sean compatibles con TRNSYS:

- Meteonorm (MN)
- Energy Plus (EP)
- Trnsclima (TC)

Se pretende estudiar las diferentes fuentes de datos, y comparar los datos que proporcionan. Para ello, diseñamos un sencillo modelo en TRNSYS (Figura 1.2).

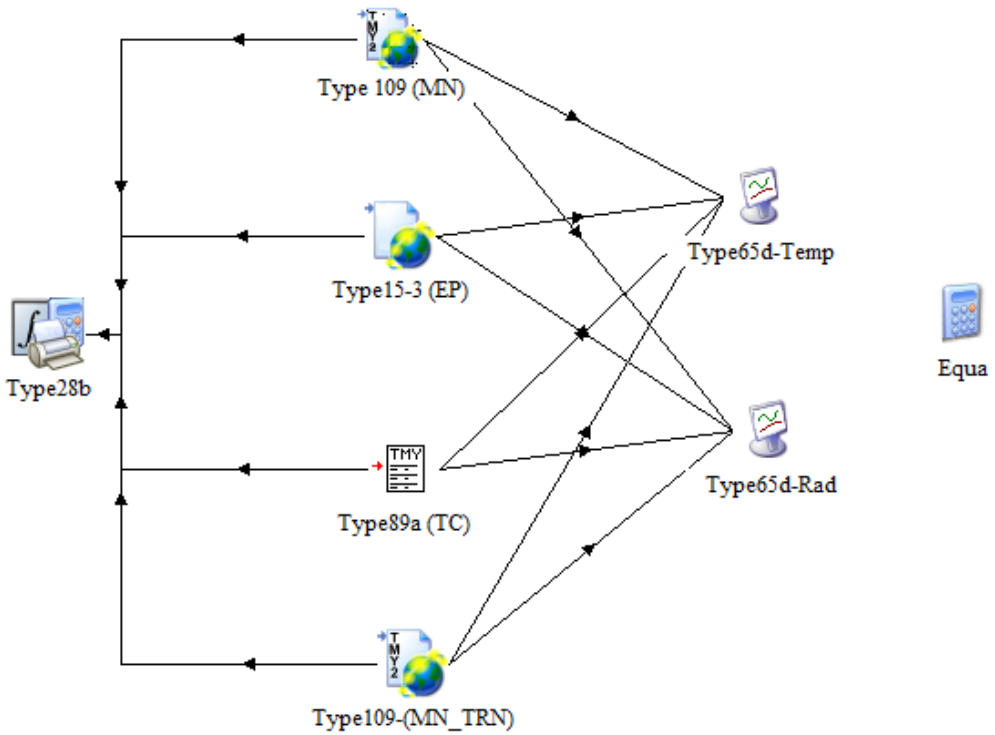


Figura 1.2. Modelo TRNSYS para la comparación de datos climatológicos

Este modelo proporciona en pantalla los datos de las fuentes que se pretenden estudiar, para así poder ser comparados.

Para ello, se han tomado los types (Type 109, Type 15-3, Type 89a), cuyo propósito es la lectura de datos meteorológicos provenientes de una base de datos. Estos modelos simulan las condiciones ambientales para los colectores solares, obteniendo la temperatura ambiente y la radiación incidente.

Estas bases de datos corresponden a los distintos programas de los que se viene hablando, que se asocian a cada type para obtener la lectura de los mismos.

Type 109 → MN → Meteonorm

Type 15-3 → EP → Energy Plus

Type 89a → TC → Trnsclima

Type 109 → MN_TRN → Meteonorm TRNSYS

Se ha añadido la base de datos que contiene TRNSYS (que proviene de Meteonorm, MN_TRN) para observar si existe diferencia con la base de datos del programa Meteonorm.

Una vez dispuestos los types de lectura de datos, se unen con los Type 65d_Temp y Type65d_Rad, seleccionando los datos que interesan. Los Types 65d muestran los datos en pantalla gráfica y facilitan un estudio directo.

Exportando los datos obtenidos a una hoja de cálculo con el Type 28b, se obtienen los datos de radiación para la ciudad de Zaragoza (Tabla 1.20).

Tabla 1.20. Radiación diaria media mensual (MJ/m^2)

	MN	EP	TC	MN_TRN
Enero	5,74	6,37	6,63	5,74
Febrero	8,64	9,76	10,51	8,64
Marzo	13,61	13,77	14,97	13,61
Abril	16,36	17,36	19,27	16,36
Mayo	20,28	21,50	23,93	20,28
Junio	23,07	23,82	26,24	23,07
Julio	23,38	25,29	27,11	23,38
Agosto	20,62	22,46	23,85	20,62
Septiembre	16,26	16,49	17,32	16,26
Octubre	10,61	11,62	11,96	10,61
Noviembre	6,45	7,43	7,51	6,45
Diciembre	4,81	5,64	5,67	4,81
Suma Anual	5177,17	5532,83	5941,94	5177,17

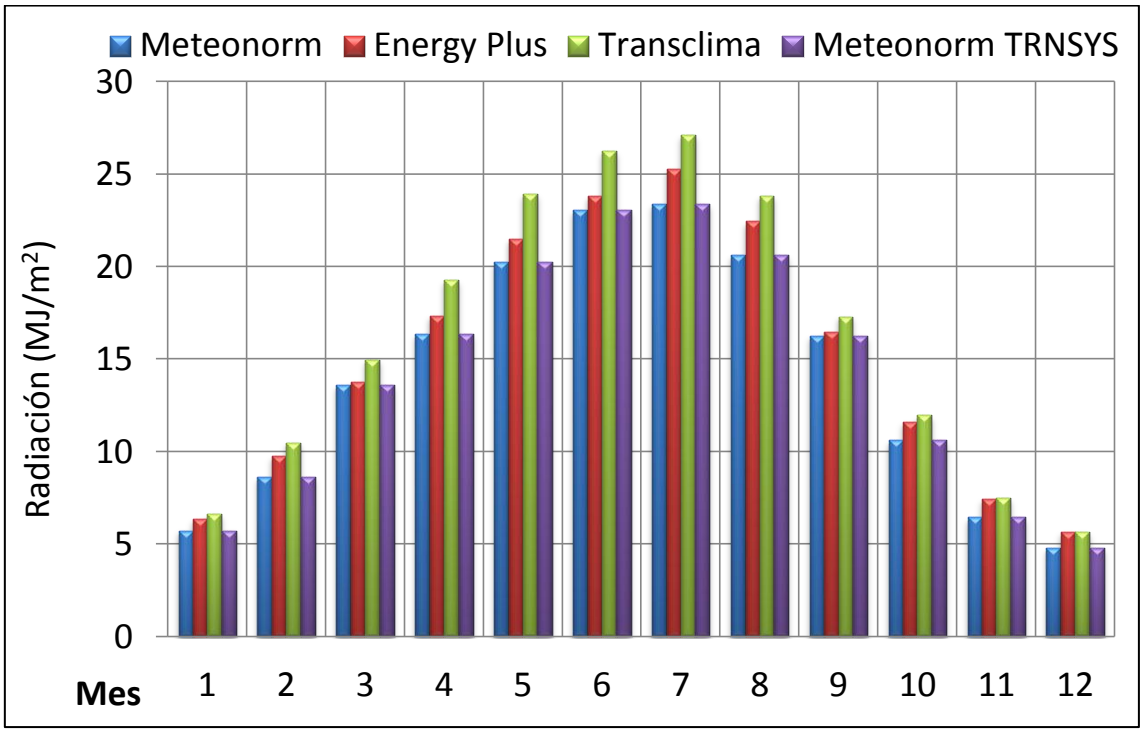


Figura 1.3. Radiación diaria media mensual (MJ/m^2)

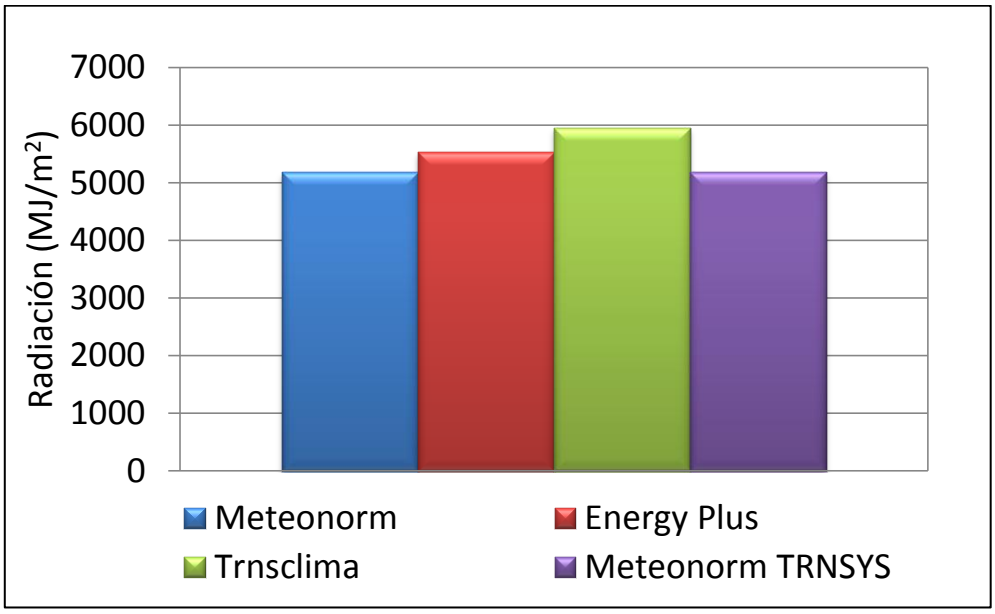


Figura 1.4. Radiación solar global anual sobre superficie horizontal

Como se observa en las Figuras 1.3 y 1.4, existen diferencias en función de la fuente de datos que elijamos. No son grandes diferencias y no se tiene criterio suficiente para conocer qué fuente es más fiable.

Lo que sí se puede comentar es que la diferencia de datos se puede deber a la extrapolación que realizan las fuentes de los datos de las capitales (o lugares donde se encuentren las estaciones) al resto del territorio, induciendo a posibles errores.

Véase que se comprueba cómo los datos de Meteonorm son los mismos, tanto para los datos obtenidos directamente del programa Meteonorm, como para los datos que contiene TRNSYS provenientes de Meteonorm.

Como uno de los objetivos del proyecto es el análisis según la localización geográfica, nos decantamos por Energy Plus (EP) [19], ya que proporciona los datos climatológicos de las 52 capitales de provincia en España.

4.3. Obtención de datos climáticos con TRNSYS

En apartados anteriores de este anexo hemos visto como los servicios de la agencia estatal de meteorología (AEMET), la norma UNE y otras fuentes oficiales nos proporcionan gran cantidad de datos climáticos.

Con la información utilizada en TRNSYS no se está en disposición de saber si estos datos son compatibles con los datos oficiales de AEMET o UNE.

Para ello se ha elaborado un modelo en TRNSYS (Figura 1.5), con el que podemos obtener nuestra propia información, recreando las mismas tablas y el mismo de tipo de información que las fuentes oficiales, de manera que ésta pueda ser contrastada.

Además, se pretende comparar la información que proporcionan las tres bases de datos Meteonorm, Energy Plus y Trnsclima.

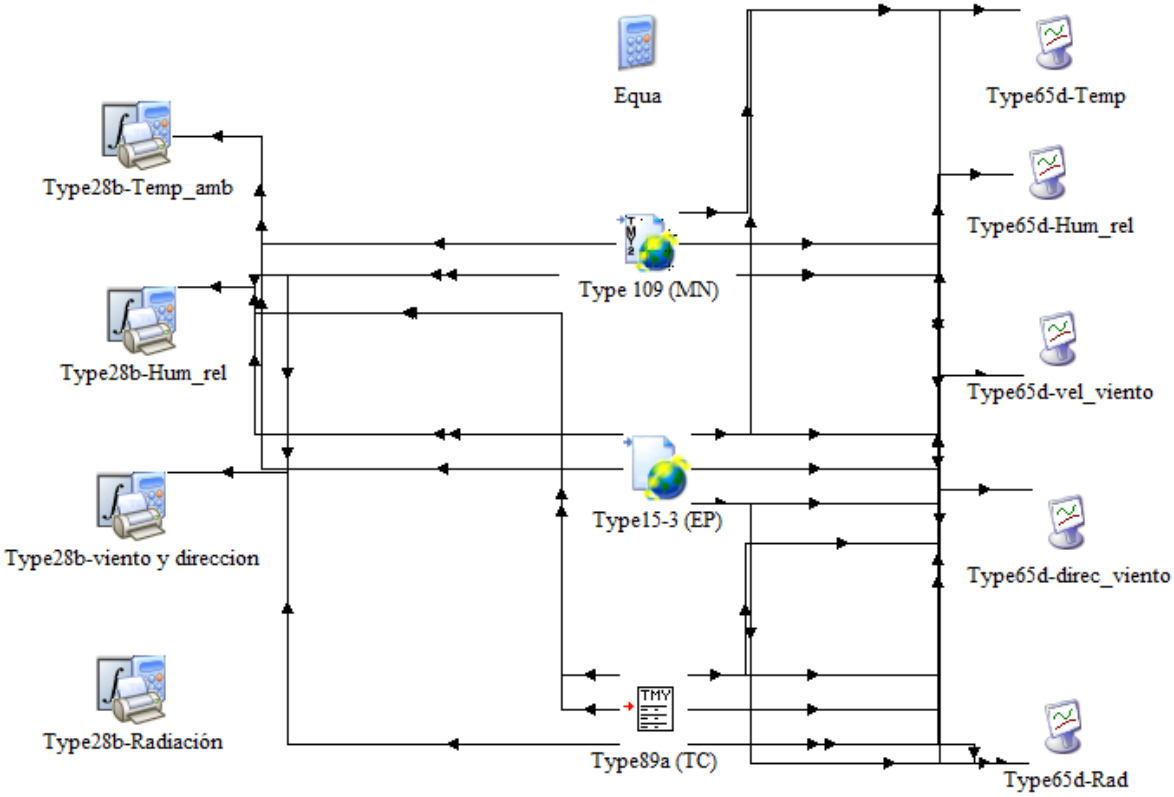


Figura 1.5. Modelo TRNSYS

En la columna central están los types referentes a los datos climáticos. A estos types les llega la información correspondiente de cada una de las bases de datos, al Type 109 le llega Meteonorm, al Type 15-3 le llega Energy Plus y al Type 89a le llega Trnsclima.

Los types de la derecha en la Figura 1.5 ponen en pantalla a través de gráficas cada uno de los parámetros (temperatura ambiente, humedad, etc.) y los types de la izquierda, Type 28b generan archivos .txt de los distintos parámetros, de manera que podamos utilizarlos con hojas de cálculo o crear nuestras propias tablas.

A continuación se muestran unas tablas en las que se muestran los datos obtenidos con el modelo TRNSYS para la ciudad de Zaragoza.

Tabla 1.21. Temperatura ambiente media mensual (ºC)

	MN	EP	TC
Enero	6,26	6,20	6,21
Febrero	7,88	7,96	7,94
Marzo	10,69	10,31	10,31
Abril	12,90	12,79	12,81
Mayo	17,16	16,89	16,89
Junio	20,97	20,97	21,11
Julio	24,27	24,13	24,13
Agosto	23,92	23,92	23,92
Septiembre	20,42	20,69	20,69
Octubre	15,47	15,33	15,33
Noviembre	9,90	9,74	9,76
Diciembre	6,88	6,54	6,53

Tabla 1.22. Humedad relativa media mensual (%)

	MN	EP	TC
Enero	75,02	73,89	76,27
Febrero	68,65	67,14	69,30
Marzo	63,56	61,78	60,27
Abril	57,72	58,26	59,28
Mayo	58,33	53,66	55,29
Junio	52,18	49,62	52,22
Julio	49,05	47,67	48,17
Agosto	54,43	52,95	54,22
Septiembre	54,55	59,37	61,22
Octubre	66,01	68,83	70,32
Noviembre	68,92	77,46	75,37
Diciembre	72,50	77,09	77,32

Tabla 1.23. Velocidad y dirección del viento, medias mensuales (km/h y dirección en grados)

	Vel_MN	Dirección_MN	Vel_EP	Dirección_EP	Vel_TC	Dirección_TC
Enero	16,54	204,34	-	-	15,25	138,63
Febrero	18,71	210,77	-	-	14,97	126,85
Marzo	17,60	208,22	-	-	16,70	130,94
Abril	19,43	198,83	-	-	16,45	161,56
Mayo	15,83	179,32	-	-	15,51	168,35
Junio	18,65	195,70	-	-	14,36	179,65
Julio	17,98	166,82	-	-	15,63	130,45
Agosto	16,55	198,71	-	-	15,21	78,548
Septiembre	16,22	186,88	-	-	12,07	133,77
Octubre	13,65	178,36	-	-	12,70	120,96
Noviembre	16,91	216,75	-	-	13,82	174,86
Diciembre	14,74	217,01	-	-	15,53	170,24

Tabla 1.24. Radiación global horizontal, diaria media mensual (MJ/m^2)

	MN	EP	TC
Enero	5,74	6,37	6,63
Febrero	8,64	9,76	10,51
Marzo	13,61	13,77	14,97
Abril	16,36	17,36	19,27
Mayo	20,28	21,50	23,93
Junio	23,07	23,82	26,24
Julio	23,38	25,29	27,11
Agosto	20,62	22,46	23,85
Septiembre	16,26	16,49	17,32
Octubre	10,61	11,62	11,96
Noviembre	6,45	7,43	7,51
Diciembre	4,81	5,64	5,67

ANEXO II

Demanda y selección de ciudades

Índice

1. INTRODUCCIÓN 5
2. ZONAS CLIMÁTICAS SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN 5
   2.1. Zonas climáticas. CTE. Sección HE 4 6
   2.2. Severidad climática. CTE. Sección HE 1. Apéndice D 7
      2.2.1. Determinación de la zona climática a partir de valores tabulados 7
      2.2.2. Determinación de la zona climática a partir de registros climáticos 8
      2.2.3. Severidad climática de Invierno (SCI) 9
      2.2.4. Severidad climática de Verano (SCV) 10
3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y NORMATIVA SOBRE CONTRIBUCIÓN ENERGÉTICA 14
   3.1. Código Técnico de la Edificación. Agua caliente sanitaria (ACS) 14
      3.1.1. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria 14
      3.1.2. Cálculo de la demanda de ACS 15
   3.2. Escala de certificación energética 17
   3.3. Valores de demanda energética 19
4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA 21
   4.1. Estimación de la demanda en función del número de viviendas 23
   4.2. Estimación de la demanda en función de la ciudad 23
5. POTENCIAL DE APLICACIÓN EN DISTINTAS ZONAS CLIMÁTICAS DE ESPAÑA 25
   5.1. Potencial de aplicación para ACS 27
   5.2. Potencial de aplicación para calefacción 29
   5.3. Potencial de aplicación para refrigeración 31
   5.4. Potencial de aplicación para ACS + calefacción 33
   5.5. Potencial de aplicación para ACS + refrigeración 35
   5.6. Potencial de aplicación para ACS + calefacción + refrigeración 37

1. INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en el Anexo I, los factores climatológicos son muy importantes para el desarrollo de este tipo de proyectos. Su importancia es tal que afectan de manera directa al diseño y dimensionado de la instalación, siendo unos de los principales datos de partida junto con la demanda energética.

Parámetros tales como radiación solar incidente, temperatura ambiente y temperatura del agua suministrada por la red, nos condicionan en gran medida. Por un lado, nos afecta a la contribución solar que se recibe y por otro lado también nos afecta a la demanda energética de los edificios. Como consecuencia de ello, para cada caso particular se obtendrán instalaciones con configuraciones y/o dimensiones diferentes.

Además de todo esto, se ha de tener en cuenta la normativa existente para este tipo de instalaciones, el Código Técnico de la Edificación (CTE) [1]. Esta norma dicta ciertas pautas de diseño y dimensionado que será en ocasiones la mayor restricción.

En este anexo se van a tratar temas como la situación geográfica y las demandas energéticas. Todo ello haciendo especial referencia al CTE.

Se realizará la estimación de la demanda tanto de ACS como de calefacción, teniendo en cuenta el número de viviendas y la localización geográfica.

Por último, se realiza un estudio de las oportunidades de aplicación al sector residencial, de los sistemas solares térmicos de gran tamaño para distintas zonas climáticas de la geografía española. El análisis contrasta las demandas de energía (ACS, calefacción y refrigeración) y la radiación solar en las distintas capitales de provincia.

2. ZONAS CLIMÁTICAS SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

La situación geográfica de las ciudades tiene una relación directa con la variación en los parámetros climáticos, por lo que cada instalación será diferente dependiendo de su localización.

Antes de comenzar a realizar el diseño y dimensionado se ha de tener en cuenta la normativa existente, que impone una serie de pautas mínimas que ha de cumplir la instalación.

El CTE impone una clasificación de zonas climáticas, que afecta a los proyectos de servicios energéticos.

2.1. Zonas climáticas. CTE. Sección HE 4

El CTE clasifica las ciudades españolas en 5 zonas según la radiación solar global incidente.

Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal, tomando los intervalos que definen cada una de las zonas, como se indica en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Radiación solar global

Zona climática	MJ/m^2	kWh/m^2
I	H < 13,7	H < 3,8
II	13,7 ≤ H < 15,1	3,8 ≤ H <4,2
III	15,1 ≤ H < 16,6	4,2 ≤ H < 4,6
IV	16,6 ≤ H < 18,0	4,6 ≤ H < 5,0
V	H ≥ 18,0	H ≥ 5,0

El CTE muestra a través de la Figura 2.1 un mapa con la clasificación de las zonas climáticas según la radiación de la Tabla 2.1.

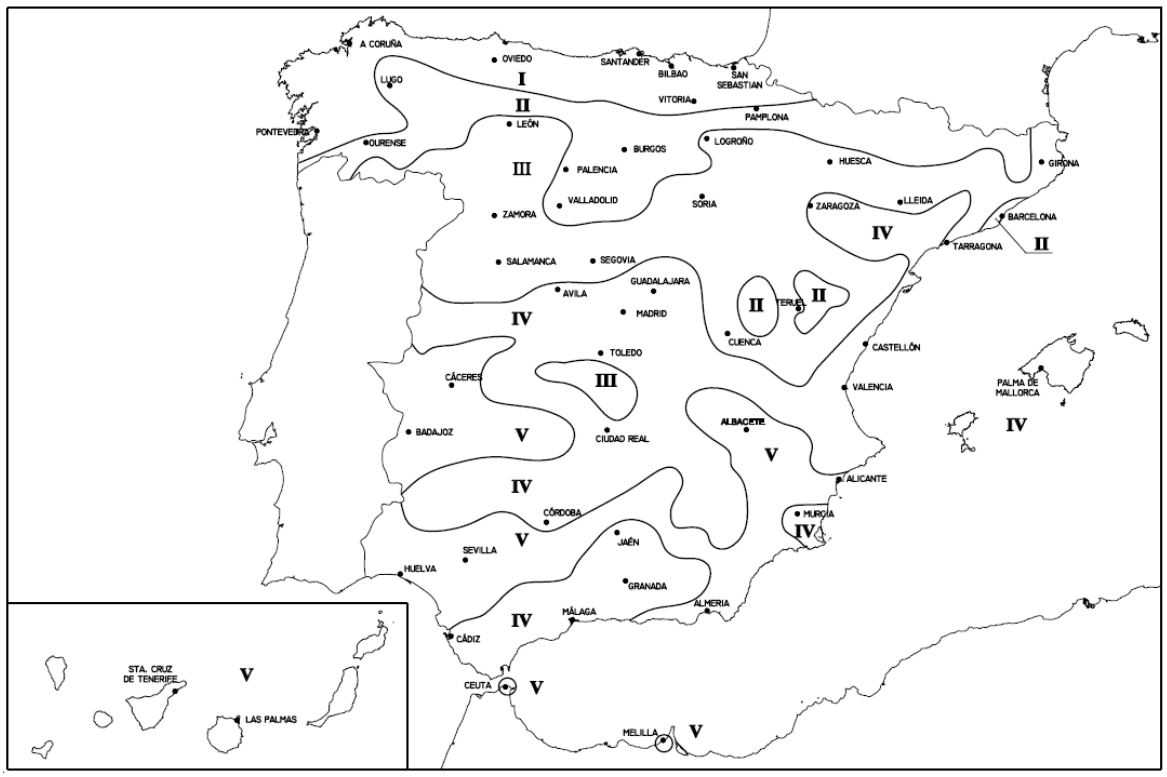


Figura 2.1. Zonas climáticas

2.2. Severidad climática. CTE. Sección HE 1. Apéndice D

Otro tipo de clasificación, que se encuentra en la normativa, es la clasificación de ciudades según la severidad climática de invierno (SCI) y de verano (SCV).

2.2.1. Determinación de la zona climática a partir de valores tabulados

La zona climática de cualquier localidad, en la que se ubiquen los edificios, se obtiene de la Tabla 2.2, en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia. Si la diferencia de altura fuese menor de 200 m o la localidad se encontrase a una altura inferior que la de referencia, se tomará, para dicha localidad, la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia.

Tabla 2.2. Zonas climáticas

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

2.2.2. Determinación de la zona climática a partir de registros climáticos

1. La determinación de zonas climáticas, para localidades que dispongan de registros climáticos contrastados, se obtendrá a partir del cálculo de las severidades climáticas de invierno y de verano para dichas localidades.

2. Una vez obtenidas las dos severidades climáticas, la zona climática se determinará localizando los dos intervalos correspondientes en los que se encuentran dichas severidades, de acuerdo con la Tabla 2.5.

3. La severidad climática combina los *grados-día* y la radiación solar de la localidad, de forma que se puede demostrar que cuando dos localidades tienen la misma severidad climática de invierno (SCI) la demanda energética de calefacción de un mismo edificio situado en ambas localidades es sensiblemente igual. Lo mismo es aplicable para la severidad climática de verano (SCV) con relación a la demanda de refrigeración.

4. Para invierno se definen cinco divisiones distintas, correspondientes a los siguientes intervalos de valores:

Tabla 2.3. Severidad climática de invierno

A	SCI < 0,30
B	0,30 < SCI < 0,60
C	0,60 < SCI < 0,95
D	0,95 < SCI < 1,30
E	1,30 < SCI

5. Para verano se definen 4 divisiones distintas, correspondientes a los siguientes intervalos de valores:

Tabla 2.4. Severidad climática de verano

1	SCV < 0,60
2	0,60 < SCV < 0,90
3	0,90 < SCV < 1,25
4	1,25 < SCV

6. Combinando las 5 divisiones de invierno con las 4 de verano se obtendrían 20 zonas distintas, de las cuales se han retenido únicamente las 12 en las cuales se ubican las localidades españolas.

7. Las 12 zonas retenidas se identifican mediante una letra, correspondiente a la división de invierno, y un número, correspondiente a la división de verano, como se muestra en la Tabla 2.5.

8. Para las zonas A1 y A2 se considerarán, a todos los efectos, las mismas exigencias correspondientes a la zona climática A3.

9. Para las zonas B1 y B2 se considerarán, a todos los efectos, las mismas exigencias correspondientes a la zona climática B3.

Tabla 2.5. Zonas climáticas

<table>
<tr><td rowspan="5">SC Verano</td><td>A4</td><td>B4</td><td>C4</td><td rowspan="2">D3</td><td rowspan="4">E1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">A3</td><td rowspan="4">B3</td><td>C3</td></tr>
<tr><td>C2</td><td>D2</td></tr>
<tr><td>C1</td><td>D1</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">SC Invierno</td></tr>
</table>

10. Para las zonas E2, E3, E4 se considerarán, a todos los efectos, las mismas exigencias correspondientes a la zona climática E1.

2.2.3. Severidad climática de Invierno (SCI)

En función de la disponibilidad de datos climáticos, existen dos correlaciones alternativas:

Correlación 1: a partir de los grados-día de invierno, y de la radiación global acumulada.

$$SCI = a\ Rad + b\ GD + c\ Rad\ GD + d\ (Rad)^2 + e\ (GD)^2 + f \qquad (D.1)$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de enero, febrero y diciembre. Para cada mes están calculados en base horaria, y posteriormente divididos por 24;

Rad La media de la radiación global acumulada para los meses de enero, febrero y diciembre [kWh/m^2].

a = $-8{,}35\cdot10^{-3}$
b = +$3{,}72\cdot10^{-3}$
c = $-8{,}62\cdot10^{-6}$
d = +$4{,}88\cdot10^{-5}$
e = +$7{,}15\cdot10^{-7}$
f = $-6{,}81\cdot10^{-2}$

Correlación 2: a partir de los grados-día de invierno, y del ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas.

$$SCI = a\ GD + b\ n/N + c\ (GD)^2 + d\ (n/N)^2 + e \qquad (D.2)$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de enero, febrero y diciembre. Para cada mes están calculados en base horaria, y posteriormente divididos por 24;

n/N El ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas sumadas, cada una de ellas, por separado para los meses de enero, febrero y diciembre.

a = +$2{,}395 \cdot 10^{-3}$

b = -1,111

c = +$1{,}885 \cdot 10^{-6}$

d = +$7{,}026 \cdot 10^{-1}$

e = +$5{,}709 \cdot 10^{-2}$

2.2.4. Severidad climática de Verano (SCV)

Al igual que para invierno, en función de la disponibilidad de datos climáticos existen dos correlaciones alternativas:

Correlación 1: a partir de los grados-día de verano y de la radiación global acumulada.

$$SCV = a\,Rad + b\,GD + c\,Rad\,GD + d\,(Rad)^2 + e\,(GD)^2 + f \qquad (D.3)$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de verano en base 20 para los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Para cada mes están calculados en base horaria y, posteriormente, divididos por 24;

Rad La media de la radiación global acumulada para los meses de junio, julio, agosto y septiembre [kWh/m^2].

a = +$3{,}724 \cdot 10^{-3}$

b = +$1{,}409 \cdot 10^{-2}$

c = $-1{,}869 \cdot 10^{-5}$

d = $-2{,}053 \cdot 10^{-6}$

e = $-1{,}389 \cdot 10^{-5}$

f = $-5{,}434 \cdot 10^{-1}$

Correlación 2: a partir de los grados-día de verano, y del ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas.

$$SCV = a\,GD + b\,n/N + c\,(GD)^2 + d\,(n/N)^2 + e \qquad (D.4)$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de verano en base 20 para los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Para cada mes están calculados en base horaria y, posteriormente, divididos por 24;

n/N El ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado, para los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

a = +$1{,}090 \cdot 10^{-2}$

b = +1,023

c = $-1{,}638 \cdot 10^{-5}$

d = $-5{,}977 \cdot 10^{-1}$

e = $-3{,}370 \cdot 10^{-1}$

En la Tabla 2.6 se muestran las zonas climáticas de todas las capitales de provincia.

Tabla 2.6. Clasificación de las ciudades según sus zonas climáticas

	1				2		3			4	
	I	II	III	IV	II	III	III	IV	V	IV	V
A								Cádiz Málaga	Melilla Las Palmas de Gran Canaria Santa Cruz de Tenerife		Almería
B							Tarragona	Castellón Murcia Palma de Mallorca Valencia	Ceuta	Córdoba	Alicante Huelva Sevilla
C	Bilbao La Coruña San Sebastián Oviedo Pontevedra Santander				Barcelona Orense	Gerona		Granada		Jaén Toledo	Badajoz Cáceres
D	Vitoria	Lugo Palencia Pamplona			Logroño Valladolid	Cuenca Huesca Salamanca Segovia Teruel Zamora	Lérida	Ciudad Real Guadalajara Madrid Zaragoza	Albacete		
E		Burgos	León Soria	Ávila							

A continuación se realiza una observación o crítica sobre cada uno de los puntos anteriores, en los que se clasifica la zona climática según la radiación o según la severidad climática.

1. Cuando se acude al CTE, sección HE4, para obtener la clasificación de las zonas climáticas según la radiación incidente, se observa que la clasificación se realiza en función de rangos para la radiación.

Tabla 2.1. Radiación solar global media diaria anual

Zona climática	MJ/m^2	kWh/m^2
I	H < 13,7	H < 3,8
II	13,7 ≤ H < 15,1	3,8 ≤ H <4,2
III	15,1 ≤ H < 16,6	4,2 ≤ H < 4,6
IV	16,6 ≤ H < 18,0	4,6 ≤ H < 5,0
V	H ≥ 18,0	H ≥ 5,0

Se supone que con la radiación de una ciudad y la Tabla 2.1 se está en condiciones de clasificar la ciudad.

El problema reside en que el CTE no proporciona los datos de partida para la radiación en los que se basa para realizar esta clasificación. Por lo tanto, no se sabe si los datos de los que dispone el usuario son los correctos; es decir el usuario no está en condiciones de contrastar sus datos.

El problema aumenta cuando la localidad a estudio tiene una radiación próxima a los límites en los que cambia la zona climática ya que, dependiendo de la fuente de datos de la que se obtenga la radiación, puede ocurrir que dicha localidad se encuentre en una u otra zona climática.

Por lo que, desde nuestro punto de vista, creemos que sería necesario dar a conocer estos datos.

2. En la clasificación de zonas climáticas según la severidad climática del CTE, sección HE1, se clasifican las zonas climáticas según la severidad climática de invierno (SCI) y de verano (SCV), como se pueden ver en las Tablas 2.3 y 2.4.

Tabla 2.3. Severidad climática de invierno

A	SCI < 0,30
B	0,30 < SCI < 0,60
C	0,60 < SCI < 0,95
D	0,95 < SCI < 1,30
E	1,30 < SCI

Tabla 2.4. Severidad climática de verano

1	SCV < 0,60
2	0,60 < SCV < 0,90
3	0,90 < SCV < 1,25
4	1,25 < SCV

Por lo tanto, para poder clasificar las localidades se deben calcular dichas severidades. El CTE, sección HE1, proporciona dos caminos para calcularlas.

El problema radica en el cálculo de dichas severidades. Primero proporciona las formulas a seguir:

Correlación 1:

$SCI = a\ Rad + b\ GD + c\ Rad\ GD + d\ (Rad)^2 + e\ (GD)^2 + f$

$SCV = a\ Rad + b\ GD + c\ Rad\ GD + d\ (Rad)^2 + e\ (GD)^2 + f$

Correlación 2:

$SCI = a\ GD + b\ n/N + c\ (GD)^2 + d\ (n/N)^2 + e$

$SCV = a\ GD + b\ n/N + c\ (GD)^2 + d\ (n/N)^2 + e$

A la hora de aplicar las ecuaciones, el usuario se encuentra con el mismo problema. En el caso de la radiación (Rad), no se conoce de dónde se toma el valor. Lo mismo ocurre para el cálculo de los grados-día en base 20 (GD), de los cuales tampoco conocemos los valores originales. Para el cálculo de los grados días en base 20, se utiliza la siguiente fórmula:

$$GDcal = \sum_{i=1}^{n} (TBc - \frac{Tmáx+Tmín}{2}) Ni\ Xc$$

En la que:

TBc: es la temperatura base de calefacción (base 16, 18, 20, 22°C)

Tmáx: es la temperatura máxima (diaria o mensual)

Tmín: es la temperatura mínima (diaria o mensual)

Ni: es la cantidad de días del mes considerado

Xc: es un coeficiente lógico que valdrá 1 cuando la temperatura media mensual sea menor a la TBc y cero cuando sea mayor

Por lo que, para el correcto cálculo de dichas severidades, sería necesario conocer el origen de los datos de temperatura ya que, tomando datos de otras fuentes, los resultados serán diferentes.

3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y NORMATIVA SOBRE CONTRIBUCIÓN ENERGÉTICA

La contribución energética hace referencia a la demanda energética, es decir, a las demandas de ACS y calefacción. Esta demanda es la energía que consumen las viviendas, tanto de ACS como de calefacción, que se necesita estimar para poder realizar las simulaciones del proyecto.

La normativa existente impone ciertos requisitos sobre esta demanda. Estos documentos normativos son el CTE [1] y la Escala de Certificación Energética [15], que hacen referencia tanto a la demanda de ACS como de calefacción.

3.1. Código Técnico de la Edificación. Agua caliente sanitaria (ACS)

En cuanto a la contribución energética de ACS, el CTE impone una serie de criterios y obligaciones:

- Se ha de cubrir un porcentaje mínimo de la demanda energética con energía solar.
- Se dan pautas para estimar la demanda de ACS.

3.1.1. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida, y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. En las Tablas 2.7 y 2.8 se indican las contribuciones solares mínimas anuales para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de referencia de 60 ºC, considerándose los siguientes casos:

a) general: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras;
b) efecto Joule: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

Tabla 2.7. Contribución solar mínima en %. Caso general

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 2.8. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

3.1.2. Cálculo de la demanda de ACS

Para valorar las demandas se tomarán los valores unitarios que aparecen en la Tabla 2.9 (Demanda de referencia a 60 ºC).

Tabla 2.9. Demanda de referencia a 60ºC

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60ºC de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2) con los valores de T_i = 12ºC (constante) y T = 45ºC.

Para el caso de que se elija una temperatura en el acumulador final diferente de 60 ºC, se deberá alcanzar la contribución solar mínima correspondiente a la demanda obtenida con las demandas de referencia a 60 ºC. No obstante, la demanda a considerar a efectos de cálculo, según la temperatura elegida, será la que se obtenga a partir de la siguiente expresión:

$$D(T) = \sum_{1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60\ ^\circ C) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

Siendo

- D(T): Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida;
- $D_i(T)$: Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura T elegida;
- D_i(60 ºC): Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura de 60 ºC;
- T: Temperatura del acumulador final;
- T_i: Temperatura media del agua fría en el mes i

Para otros usos se tomarán valores contrastados por la experiencia, o recogidos por fuentes de reconocida solvencia.

En el uso residencial el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Personas por vivienda

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas caloríficas en distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo.

Para el cálculo posterior de la contribución solar anual, se estimarán las demandas mensuales, tomando en consideración el número de unidades (personas, camas, servicios, etc.) correspondientes a la ocupación plena, salvo instalaciones de uso residencial turístico en las que se justifique un perfil de demanda propio originado por ocupaciones parciales.

Se considerarán como pertenecientes a un único edificio la suma de demandas de agua caliente sanitaria de diversos edificios ejecutados dentro de un mismo recinto, incluidos todos los servicios. Igualmente, en el caso de edificios de varias viviendas o usuarios de ACS, a los efectos de esta exigencia, se tendrá en cuenta la suma de las demandas de todos ellos.

En el caso de que se justifique un nivel de demanda de ACS que presente diferencias de más del 50% entre los diversos días de la semana, se considerará la correspondiente al día medio de la semana, y la capacidad de acumulación será igual a la del día de la semana de mayor demanda.

3.2. Escala de certificación energética

En el documento normativo Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción [15] se puede encontrar la manera de calcular las demandas de calefacción y refrigeración de referencia, a través de las severidades climáticas.

Tanto la demanda de calefacción como la demanda de refrigeración de referencia pueden obtenerse a partir de las severidades climáticas correspondientes, haciendo uso de las siguientes correlaciones:

- Demanda de calefacción de referencia, en kWh/m^2

$$DemCal = a + b\ SCI$$

Los coeficientes a y b vienen dados en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción de referencia

	a	b
Viviendas unifamiliares	9,29	54,98
Bloques de viviendas	3,51	39,57

- Demanda de refrigeración de referencia, en kWh/m^2

$$DemRefrig = a + b\ SCV$$

Los coeficientes a y b vienen dados en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Coeficientes de correlación para la demanda de refrigeración de referencia

	a	b
Viviendas unifamiliares	-4,24	20,41
Bloques de viviendas	-3,44	14,44

Las severidades climáticas se calculan como en el apartado anterior, pero con unos valores diferentes en sus constantes:

Anexo II

1. Severidad Climática de Invierno: a partir de los grados-día de invierno y del ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas:

$$SCI = a\ GD + b\ n/N + c\ (GD)^2 + d\ (n/N)^2 + e$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de invierno en base 20 para los meses que van desde octubre a mayo. Para cada mes están calculados en base horaria y, posteriormente, divididos por 24.

n/N El ratio entre número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas, por separado para los meses que van desde octubre a mayo.

a = +3,546E-04
b = -4,043E-01
c = +8,394E-08
d = -7,325E-02
e = -1,137E-01

2. Severidad Climática de Verano: a partir de los grados-día de verano y del ratio entre número de horas de sol y el número de horas de sol máximas:

$$SCV = a\ GD + b\ n/N + c\ (GD)^2 + d\ (n/N)^2 + e$$

Siendo:

GD La media de los grados-día de verano en base 20 para los meses que van desde junio a septiembre. Para cada mes están calculados en base horaria y, posteriormente, divididos por 24.

n/N El ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máximas, sumadas, cada una de ellas por separado para los meses desde junio a septiembre.

a = +3,052E-03
b = +1,784E-01
c = -1,343E-07
d = -2,339E-01
e = -2,041E-01

Nota: En el caso de que al aplicar cualquiera de estas dos correlaciones se obtuviese un valor negativo de la severidad climática, éste debe considerarse nulo.

3.3. Valores de demanda energética

En el documento normativo Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción, podemos encontrar una tabla resumen con los valores de referencia para las demandas de calefacción, refrigeración y ACS, esta última antes de considerar la contribución solar mínima del mismo (CTE-HE4) en bloques de viviendas.

En la Tabla 2.13 se muestran, además de los valores de dicha tabla resumen, la suma de las demandas de referencia de ACS y calefacción y la radiación solar global sobre superficie horizontal, que proviene del documento Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura [16].

Tabla 2.13. Valores anuales de referencia para calefacción, refrigeración, demanda de ACS, demanda de ACS+calefacción y radiación solar global (kWh/m^2)

Localidad	Demanda calefacción	Demanda refrigeración	Demanda ACS	Demanda ACS+Calef.	Radiación solar
Albacete	49,1	9,7	13,1	62,2	1632,4
Alicante	13,2	16,7	12,3	25,5	1703,3
Almería	10,8	19,1	12,1	22,9	1713,5
Ávila	69,5	0,0	13,7	83,2	1531,0
Badajoz	27,4	17,1	12,6	40,0	1601,9
Barcelona	28,3	8,0	12,8	41,1	1368,8
Bilbao	40,0	0,0	13,0	53,0	1135,6
Burgos	77,1	0,0	13,8	90,9	1378,9
Cáceres	32,1	19,0	12,7	44,8	1683,1
Cádiz	9,0	14,6	12,3	21,3	1672,9
Castellón	21,4	13,1	12,5	33,9	1551,3
Ceuta	18,3	5,7	12,6	30,9	1835,1
Ciudad Real	45,0	13,2	13,0	58,0	1612,1
Córdoba	23,5	22,4	12,4	35,9	1693,2
Cuenca	60,9	5,6	13,3	74,2	1480,3
Gerona	42,4	6,4	13,0	55,4	1409,3
Granada	37,4	12,5	12,9	50,3	1672,9
Guadalajara	50,4	7,8	13,1	63,5	1531,0
Huelva	12,6	18,3	12,3	24,9	1784,4
Huesca	50,6	7,9	13,1	63,7	1480,3
Jaén	26,2	22,3	12,3	38,5	1612,1
La Coruña	30,0	0,0	13,0	43,0	1166,0
Las Palmas de Gran Canaria	3,5	11,1	11,8	15,3	1784,4
León	65,5	0,0	13,6	79,1	1449,9
Lérida	42,0	12,4	13,0	55,0	1541,1
Logroño	47,4	5,9	13,2	60,6	1419,4
Lugo	60,2	0,0	13,5	73,7	1267,4
Madrid	43,2	10,8	13,0	56,2	1561,4
Málaga	13,4	16,1	12,3	25,7	1703,3
Melilla	9,3	14,2	12,2	21,5	1743,9
Murcia	19,8	12,5	12,5	32,3	1804,7
Orense	43,2	5,7	13,0	56,2	1176,1
Oviedo	48,3	0,0	13,3	61,6	1105,1
Palencia	61,2	0,0	13,5	74,7	1449,9
Palma de Mallorca	14,4	15,9	12,4	26,8	1520,8
Pamplona	57,5	0,0	13,3	70,8	1277,5
Pontevedra	26,5	0,0	12,9	39,4	1348,5
Salamanca	62,3	2,7	13,5	75,8	1500,6
San Sebastián	46,9	0,0	13,2	60,1	1105,1
Santander	33,0	0,0	13,0	46,0	1145,7
Santa Cruz de Tenerife	3,5	15,6	11,8	15,3	1936,5
Segovia	65,7	4,2	13,5	79,2	1541,1
Sevilla	16,6	23,4	12,3	28,9	1622,2
Soria	72,1	0,0	13,7	85,8	1470,1
Tarragona	21,8	16,4	12,4	34,2	1531,0
Teruel	64,5	2,8	13,5	78,0	1409,3
Toledo	39,0	18,9	12,8	51,8	1601,9
Valencia	21,3	12,6	12,5	33,8	1551,3
Valladolid	60,6	4,5	13,3	73,9	1490,4
Vitoria	65,4	0,0	13,5	78,9	1145,1
Zamora	56,3	5,3	13,3	69,6	1470,1
Zaragoza	40,6	11,4	12,9	53,5	1581,7

4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Para este proyecto y para el caso concreto de Zaragoza, se parte de la demanda estimada en anteriores proyectos [18]. Corresponde a un conjunto residencial del barrio "Parque Goya" situado en Zaragoza, que comprendía 500 viviendas.

Se decide tomar esta demanda ya que fue calculada en base a mediciones experimentales y, por lo tanto, se aproxima a la realidad en mayor medida que los valores de referencia del apartado anterior.

Para obtener la demanda se emplea el siguiente procedimiento. Se toma un día para cada mes. Este día se supone que es un día "tipo". Con los datos por hora del día tipo se integran durante las 24 horas del día y se obtiene la demanda diaria del mes. Este procedimiento se repite para los 12 meses del año, obteniendo 12 valores diarios de demanda de ACS o calefacción.

La demanda mensual será calculada multiplicando la demanda diaria por el número de días del mes. La demanda anual de energía se obtiene sumando las demandas mensuales.

La Figura 2.2 representa la demanda anual de energía para la producción de agua caliente sanitaria.

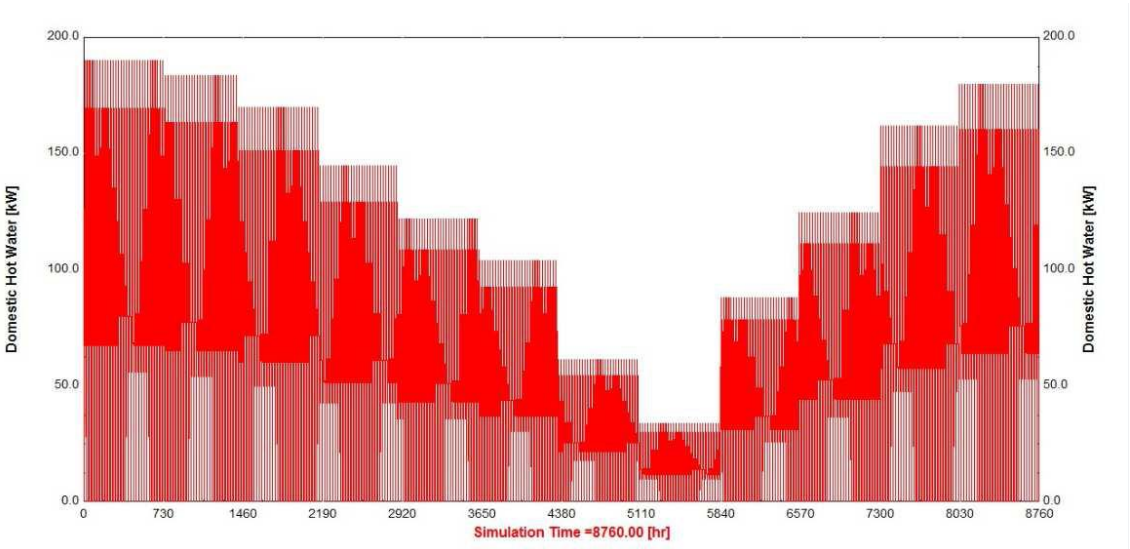


Figura 2.2. Diagrama de la demanda anual de ACS

Si se observa la Figura 2.2, la demanda de ACS tiene valores máximos en diciembre y enero, disminuyendo hasta valores mínimos en julio y agosto.

La Figura 2.3 representa la demanda anual de calefacción.

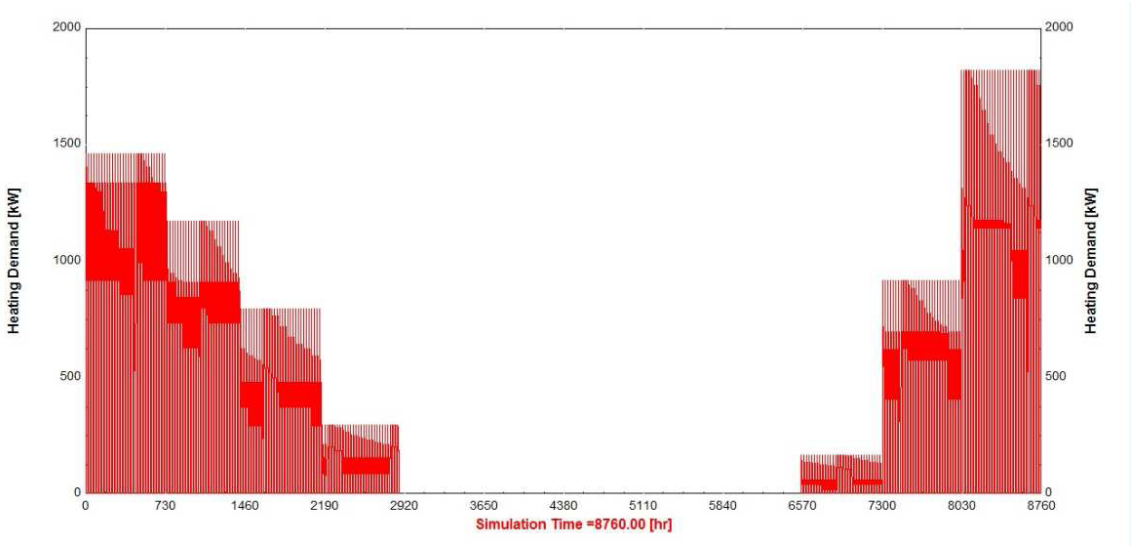


Figura 2.3. Diagrama de la demanda anual de calefacción

Si se observa la Figura 2.3, la demanda de calefacción tiene sus valores máximos durante diciembre y enero, y desde mayo a septiembre no existe demanda de calefacción.

Los archivos de demanda son archivos (.txt), que se pueden observar en la Tabla 2.14. Están distribuidos en columnas, la primera columna indica la hora del año y la segunda la demanda térmica en kW. El archivo contiene la demanda de un año tipo lo que equivale a 8760 horas.

Tabla 2.14. Demandas térmicas de ACS y calefacción, kW

Hora	Dem. ACS	Hora	Dem. Calef.
0	11,24	0	0
1	0	1	0
2	0	2	0
3	0	3	0
4	0	4	0
5	0	5	0
6	11,24	6	0
7	16,28	7	292,58
8	25,24	8	281,90
9	38,08	9	265,00
10	29,82	10	247,80
11	20,64	11	236,46
12	13,54	12	229,24
…….	…….	…….	…….
8753	18,88	8753	236,02
8754	25,60	8754	235,18
8755	32,10	8755	235,48
8756	25,60	8756	232,72
8757	20,18	8757	169,06
8758	15,18	8758	210,08
8759	10,62	8759	0
8760	0	8760	0

4.1. Estimación de la demanda en función del número de viviendas

Se ha comentado anteriormente que la demanda energética ha sido obtenida para la ciudad de Zaragoza y para un número concreto de 500 viviendas.

Uno de los objetivos del proyecto es el análisis para distintos casos prácticos, como puede ser el caso de una ciudad diferente o un conjunto residencial con un número distinto de viviendas.

Se parte del caso base, que corresponde a Zaragoza, 500 viviendas. El índice del número de viviendas será

$$Ind_NV = \frac{número\ de\ viviendas\ reales}{número\ de\ viviendas\ de\ referencia}$$

De esta manera es posible extrapolar los datos del caso base a los de otro caso con un número diferente de viviendas.

4.2. Estimación de la demanda en función de la ciudad

Para el caso en el que se modifica la ciudad donde se realiza la instalación, también se calcula un índice o ratio. Se parte del caso base para Zaragoza, por lo que la demanda de referencia será la de esta ciudad.

El índice de consumo se calculará con los datos de la Tabla 2.13, por ejemplo para el ACS,

$$Ind_ConACS = \frac{consumo\ ACS\ localidad_m2}{consumo\ ACS\ referencia_m2}$$

Con este índice de consumo y el número de viviendas,

$$demandaACS = demACSreferencia * Ind_ConACS * Ind_NV$$

El mismo procedimiento se realiza para la demanda de calefacción.

Ejemplo de cálculo

Se va a calcular la demanda de ACS para la ciudad de Sevilla y 1000 viviendas. Comenzamos calculando el índice del número de viviendas,

$$Ind_NV = \frac{número\ de\ viviendas\ reales}{número\ de\ viviendas\ de\ referencia} = \frac{1000}{500} = 2$$

A continuación, calculamos el índice de consumo para ACS, para lo que acudimos a la Tabla 2.13 y tomamos los valores de Zaragoza y Sevilla,

Consumo ACS Sevilla_m2= 12,3 kWh/m^2

Consumo ACS Zaragoza_m2 = 12,9 kWh/m^2

De manera que el índice de consumo de ACS es

$$Ind_ConACS = \frac{consumo\ ACS\ Sevilla_m2}{consumo\ ACS\ Zaragoza_m2} = \frac{12{,}3}{12{,}9} = 0{,}953$$

Una vez calculados los índices, se aplican sobre el archivo perteneciente a la demanda del caso base (Tabla 2.14). La operación habrá que realizarla para cada hora, para así poder obtener los datos de la demanda hora a hora para Sevilla y para 1000 viviendas.

$$demandaACS = demACSreferencia * Ind_ConACS * Ind_NV$$

Por ejemplo, para el caso de la hora 7, en la que la demanda de ACS para el caso base es 16,28, la demanda de Sevilla para 1000 viviendas y para esa misma hora, será

Demanda ACS_kW = 16,28 * 2*0,953 = 31,046 kW

Un fragmento de las primeras horas de la demanda se observa en la Tabla 2.15

Tabla 2.15. Demanda de ejemplo

Hora	demACSreferencia	Ind_NV	Ind_ConACS	demandaACS
0	11,24	2	0,953	21,42344
1	0	2	0,953	0
…….	…….	…….	…….	…….
7	16,28	2	0,953	31,04596
8	25,24	2	0,953	48,13268
9	38,08	2	0,953	72,61856
10	29,82	2	0,953	56,86674
11	20,64	2	0,953	39,36048
…….	…….	…….	…….	…….
8760	0	2	0,953	0

Para el cálculo de la demanda de calefacción se utilizaría el mismo procedimiento.

5. POTENCIAL DE APLICACIÓN EN DISTINTAS ZONAS CLIMÁTICAS DE ESPAÑA

En este apartado se estudian las oportunidades de aplicación al sector residencial de los sistemas solares térmicos de gran tamaño para distintas zonas climáticas de la geografía española. Para ello se realiza un análisis que contrasta las demandas de energía (ACS, calefacción y refrigeración) y la radiación solar en las distintas capitales de provincia.

En el diseño de los sistemas solares térmicos, que atenderán las demandas de servicios energéticos del sector residencial, es necesario partir de una información básica sobre la localidad de implantación, como es la demanda previsible de los diferentes servicios, y datos climatológicos relevantes, como radiación solar, temperatura ambiente y temperatura del agua suministrada por la red, entre otros.

Como se ha comentado de manera detallada a lo largo de este anexo, el Código Técnico de Edificación [1] impone una clasificación del territorio según zonas climáticas. Además, en el documento normativo Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción [15], se pueden encontrar valores de referencia para los consumos en bloques de viviendas. En la Tabla 2.16, se ha realizado una tabla resumen para agrupar todos los parámetros importantes en cuanto al estudio del potencial de aplicación de las zonas climáticas.

En la Tabla 2.16 se muestran las zonas climáticas correspondientes a las capitales de provincia, para los criterios de invierno (SCI, la severidad crece en orden alfabético), verano (SCV, la severidad crece en orden numérico) y radiación solar (RAD, la radiación crece en orden numérico).

El valor de la temperatura media anual (TMA, en ºC) proviene de la Agencia Estatal de Meteorología (http://www.aemet.es/es/elclima/datosclimatologicos/valoresclimatologicos).

También se muestran la demanda anual de ACS (DDr, en kWh/m^2), la demanda anual de calefacción (HDr, en kWh/m^2), la demanda anual de refrigeración (CDr, en kWh/m^2) y la radiación solar global anual sobre superficie horizontal (GSr, en kWh/m^2). La radiación solar global anual sobre superficie horizontal (GSr, en kWh/m^2) proviene del documento “Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura” [16].

Tabla 2.16. Datos climáticos y demanda

Ciudad	SCI	SCV	RAD	TMA	GSr	DDr	HDr	CDr
Albacete	D	3	V	13,6	1632	13,1	49,1	9,7
Alicante	B	4	V	17,8	1703	12,3	13,2	16,7
Almería	A	4	V	18,7	1713	12,1	10,8	19,1
Ávila	E	1	IV	10,4	1531	13,7	69,5	0,0
Badajoz	C	4	V	16,6	1602	12,6	27,4	17,1
Barcelona	C	2	II	15,5	1369	12,8	28,3	8,0
Bilbao	C	1	I	14,3	1136	13,0	40,0	0,0
Burgos	E	1	II	10,1	1379	13,8	77,1	0,0
Cáceres	C	4	V	16,1	1683	12,7	32,1	19,0
Cádiz	A	3	IV	17,7	1673	12,3	9,0	14,6
Castellón	B	3	IV	17,0	1551	12,5	21,4	13,1
Ceuta	B	3	V	16,1	1835	12,6	18,3	5,7
Ciudad Real	D	3	IV	14,7	1612	13,0	45,0	13,2
Córdoba	B	4	IV	17,6	1693	12,4	23,5	22,4
Cuenca	D	2	III	12,6	1480	13,3	60,9	5,6
Gerona	C	2	III	14,3	1409	13,0	42,4	6,4
Granada	C	3	IV	15,1	1673	12,9	37,4	12,5
Guadalajara	D	3	IV	10,2	1531	13,1	50,4	7,8
Huelva	B	4	V	18,1	1784	12,3	12,6	18,3
Huesca	D	2	III	13,6	1480	13,1	50,6	7,9
Jaén	C	4	IV	-	1612	12,3	26,2	22,3
La Coruña	C	1	I	14,4	1166	13,0	30,0	0,0
Las Palmas	A	3	V	20,7	1784	11,8	3,5	11,1
León	E	1	III	10,9	1450	13,6	65,5	0,0
Lérida	D	3	III	14,7	1541	13,0	42,0	12,4
Logroño	D	2	II	13,5	1419	13,2	47,4	5,9
Lugo	D	1	II	11,5	1267	13,5	60,2	0,0
Madrid	D	3	IV	14,6	1561	13,0	43,2	10,8
Málaga	A	3	IV	18,0	1703	12,3	13,4	16,1
Melilla	A	3	V	18,6	1744	12,2	9,3	14,2
Murcia	B	3	IV	17,8	1805	12,5	19,8	12,5
Orense	C	2	II	14,5	1176	13,0	43,2	5,7
Oviedo	C	1	I	12,9	1105	13,3	48,3	0,0
Palencia	D	1	II	-	1450	13,5	61,2	0,0
Palma	B	3	IV	17,9	1521	12,4	14,4	15,9
Pamplona	D	1	II	12,5	1277	13,3	57,5	0,0
Pontevedra	C	1	I	14,8	1348	12,9	26,5	0,0
Salamanca	D	2	III	11,7	1501	13,5	62,3	2,7
San Sebastián	C	1	I	14,4	1105	13,2	46,9	0,0
Santander	C	1	I	14,1	1146	13,0	33,0	0,0
Santa Cruz	A	3	V	21,2	1936	11,8	3,5	15,6
Segovia	D	2	III	11,9	1541	13,5	65,7	4,2
Sevilla	B	4	V	18,6	1622	12,3	16,6	23,4
Soria	E	1	III	10,6	1470	13,7	72,1	0,0
Tarragona	B	3	III	15,8	1531	12,4	21,8	16,4
Teruel	D	2	III	11,8	1409	13,5	64,5	2,8
Toledo	C	4	IV	15,4	1602	12,8	39,0	18,9
Valencia	B	3	IV	17,8	1551	12,5	21,3	12,6
Valladolid	D	2	II	12,3	1490	13,3	60,6	4,5
Vitoria	D	1	I	11,5	1145	13,5	65,4	0,0
Zamora	D	2	III	12,7	1470	13,3	56,3	5,3
Zaragoza	D	3	IV	15,0	1582	12,9	40,6	11,4

La ubicación geográfica de los edificios residenciales determina, a través de las condiciones climáticas reinantes, la oportunidad de instalar sistemas de suministro energético accionados con energía solar térmica. La magnitud y distribución de las demandas térmicas afectaran al tamaño y tipo del sistema a instalar.

A continuación se realiza un estudio analizando la oportunidad de instalar grandes sistemas solares térmicos con acumulación estacional en función de la demanda.

- Demanda de ACS
- Demanda de calefacción
- Demanda de refrigeración
- Demandas de ACS + Calefacción
- Demandas de ACS + refrigeración
- Demandas de ACS + calefacción + refrigeración

5.1. Potencial de aplicación para ACS

En la Figura 2.4 se muestra el estudio, analizando la oportunidad de instalar una planta para atender la demanda de ACS en las diferentes ciudades de la geografía española. En ordenadas se representa la demanda anual de ACS (DDr) y en abscisas la radiación solar anual sobre superficie horizontal (GSr).

Los consumos de referencia para ACS se pueden ver en las Tablas 2.13 y 2.16 de este anexo.

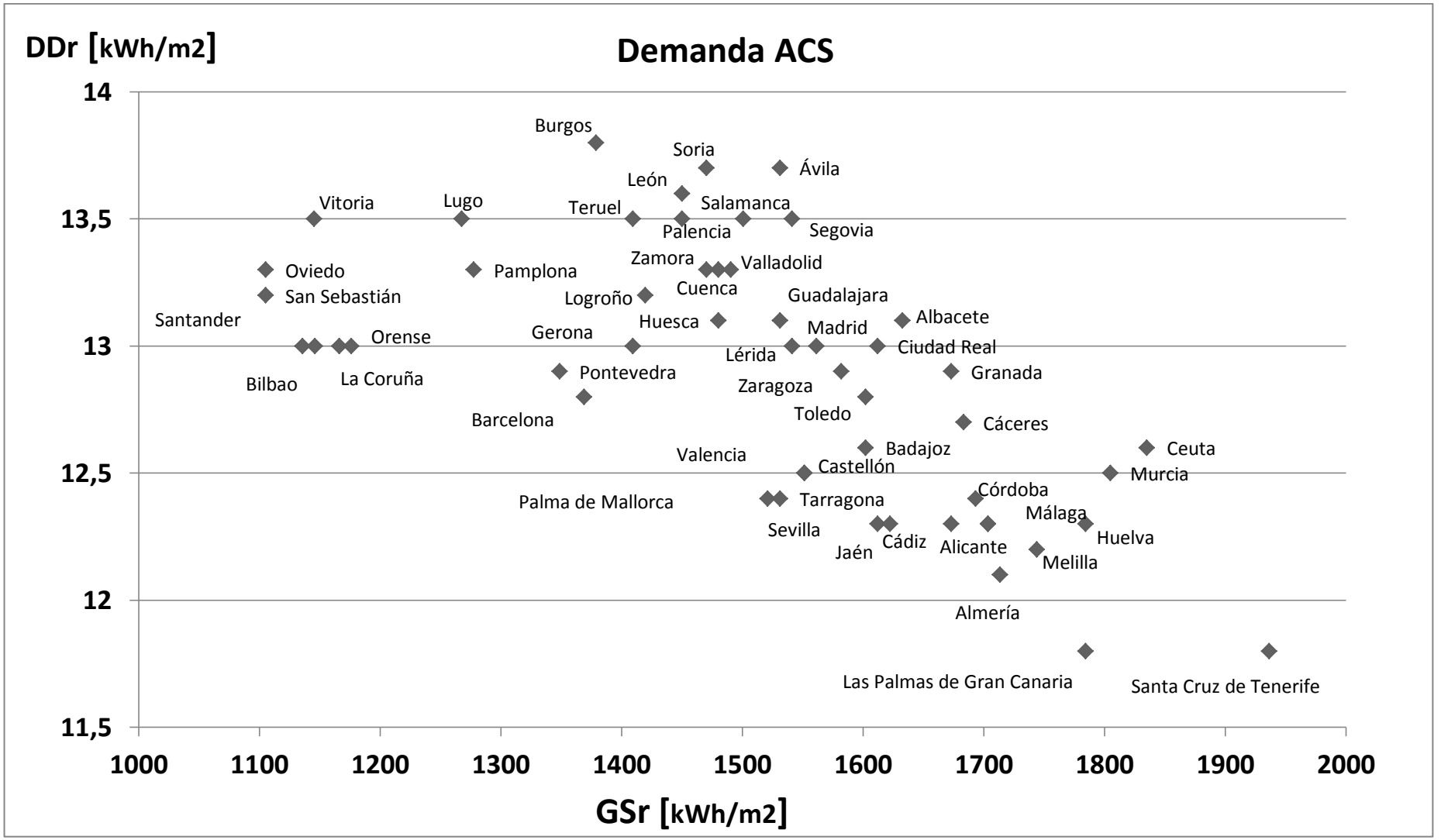


Figura 2.4. Demanda de ACS (DDr) y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

Cabe destacar que la oportunidad de mercado que ofrece una instalación exclusivamente con demanda de ACS no aplica a los sistemas solares con acumulación estacional. Esto se debe fundamentalmente a que las instalaciones de ACS tienen un consumo continuado a lo largo del año, por lo que la utilización de un sistema que acumule el calor durante varios meses no tiene fundamento.

Además, se podría continuar argumentando la no conveniencia de una instalación con acumulación estacional para sistemas exclusivos de ACS, debido a los valores de demanda, mucho menores que en el caso de la calefacción y que, en ningún caso, superan los 14 kWh/m^2.

Para esta opción es más recomendable una instalación solar con un sistema de acumulación con capacidad para suministrar energía durante 2 o 3 días.

5.2. Potencial de aplicación para calefacción

En la Figura 2.5 se muestra el estudio analizando la oportunidad de instalar una planta para atender la demanda de calefacción en las diferentes ciudades de la geografía española. En ordenadas se representa la demanda anual de calefacción (HDr) y en abscisas la radiación solar anual sobre superficie horizontal (GSr). Se puede observar el amplio rango en el que se encuentran las distintas ciudades, como consecuencia de las distintas zonas climáticas existentes en nuestro país.

Los valores de referencia para calefacción y radiación se pueden ver en la Tabla 2.16 o en el documento normativo “Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción” del que se ha hablado anteriormente, concretamente en la Tabla 2.13 de este anexo.

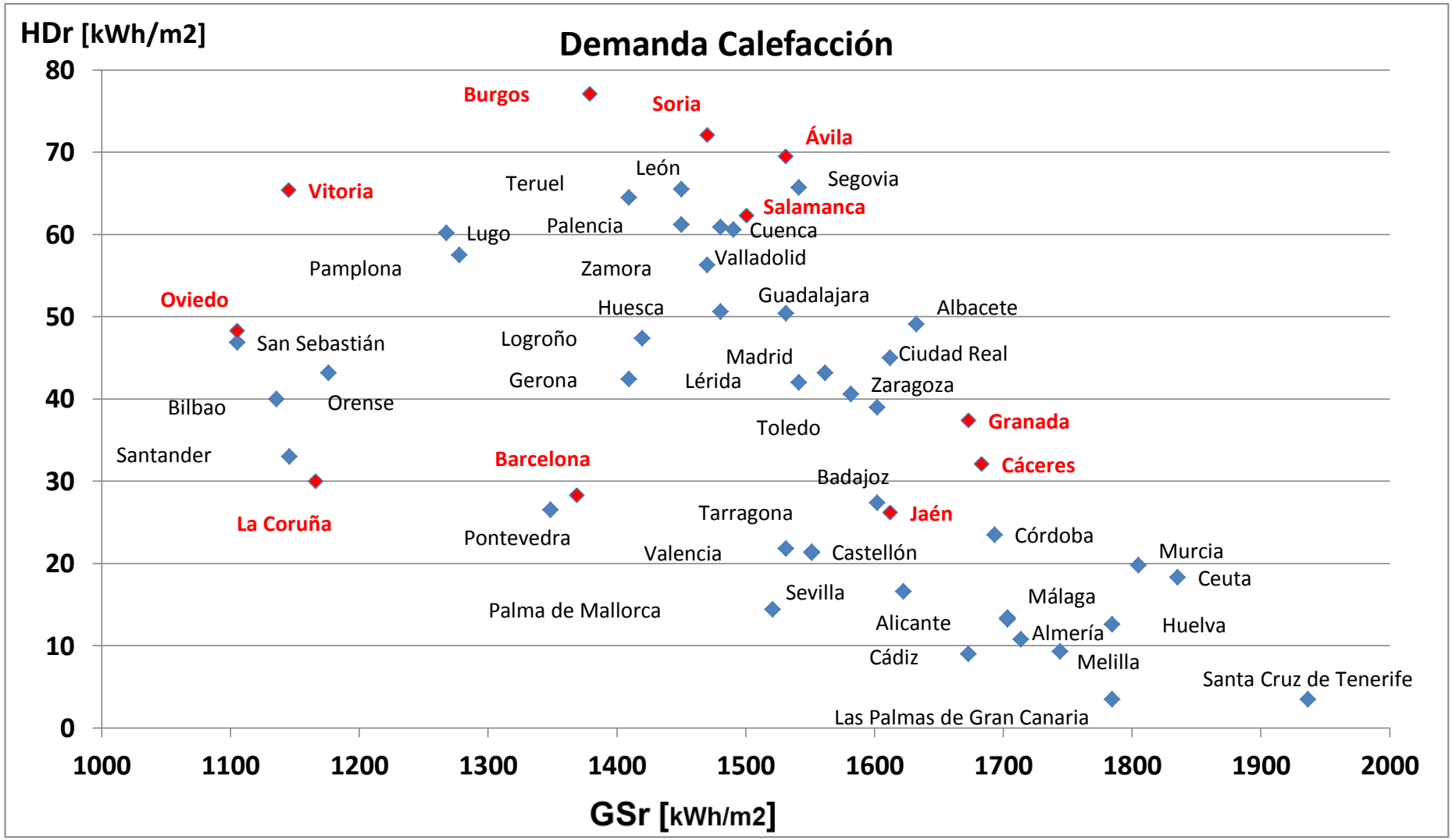


Figura 2.5. Demanda de calefacción (HDr) y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

Analizando la Figura 2.4 se pueden obtener criterios sobre la oportunidad de mercado que ofrecen las diferentes ciudades a los grandes sistemas solares térmicos con acumulación estacional:

- En primer lugar, se pueden localizar ciudades donde estas instalaciones serán poco rentables, simplemente porque la demanda anual de calefacción es reducida (< 25 kWh/m^2). En este caso, el bajo factor de utilización de una instalación cara dificulta recuperar la inversión realizada con el ahorro de energía obtenido. Dentro de este grupo se encuentran ciudades con una demanda elevada de refrigeración y mucha radiación solar (Valencia, Murcia, Andalucía y Canarias) donde son más adecuados los sistemas de refrigeración solar que no requieren instalar acumulación estacional.
- Otro grupo de ciudades incluye aquellas donde la combinación de radiación solar y demanda ofrece pocas oportunidades. Por ejemplo, ciudades con una demanda de calefacción importante pero poca radiación solar. En ellas los sistemas solares tendrían que ser sobredimensionados con el coste que esto supone. Muchas ciudades de la cornisa cantábrica se encuentran en este grupo.
- Por último, están las ciudades donde parece existir una oportunidad de mercado. Son aquellas que disponen de una radiación solar elevada y cuyo clima exige mucha demanda de calefacción.

Para estudios y análisis posteriores se han elegido 11 ciudades que son aquellas marcadas en rojo en la Figura 2.5 y que aparecen sombreadas en la Tabla 2.16.

Su elección se basa en elegir ciudades con una demanda mayor de 25 KWh/m^2. Dentro de ese rango, las ciudades elegidas tienen la mayor variedad posible tanto de demanda de calefacción, como de radiación solar, por lo que, tendremos un conjunto de ciudades representativo de toda la geografía española

5.3. Potencial de aplicación para refrigeración

En este caso el estudio se realiza para la demanda de refrigeración. En ordenadas se representa la demanda anual de refrigeración (CDr) y en abscisas la radiación solar anual sobre superficie horizontal (GSr).

Si se observa la Figura 2.6, se ve cómo la tendencia de las ciudades es inversa a los casos anteriores, lo cual es lógico, ya que las necesidades de refrigeración aumentan con la radiación solar.

La refrigeración solar utiliza el calor para generar frío. Por lo que si tenemos oferta de calor en verano, también tenemos demanda de refrigeración, coincidiendo la oferta con la demanda.

Esto significa que no es necesario almacenar estacionalmente la energía y, por lo tanto, tampoco aplica la acumulación estacional para sistemas de refrigeración.

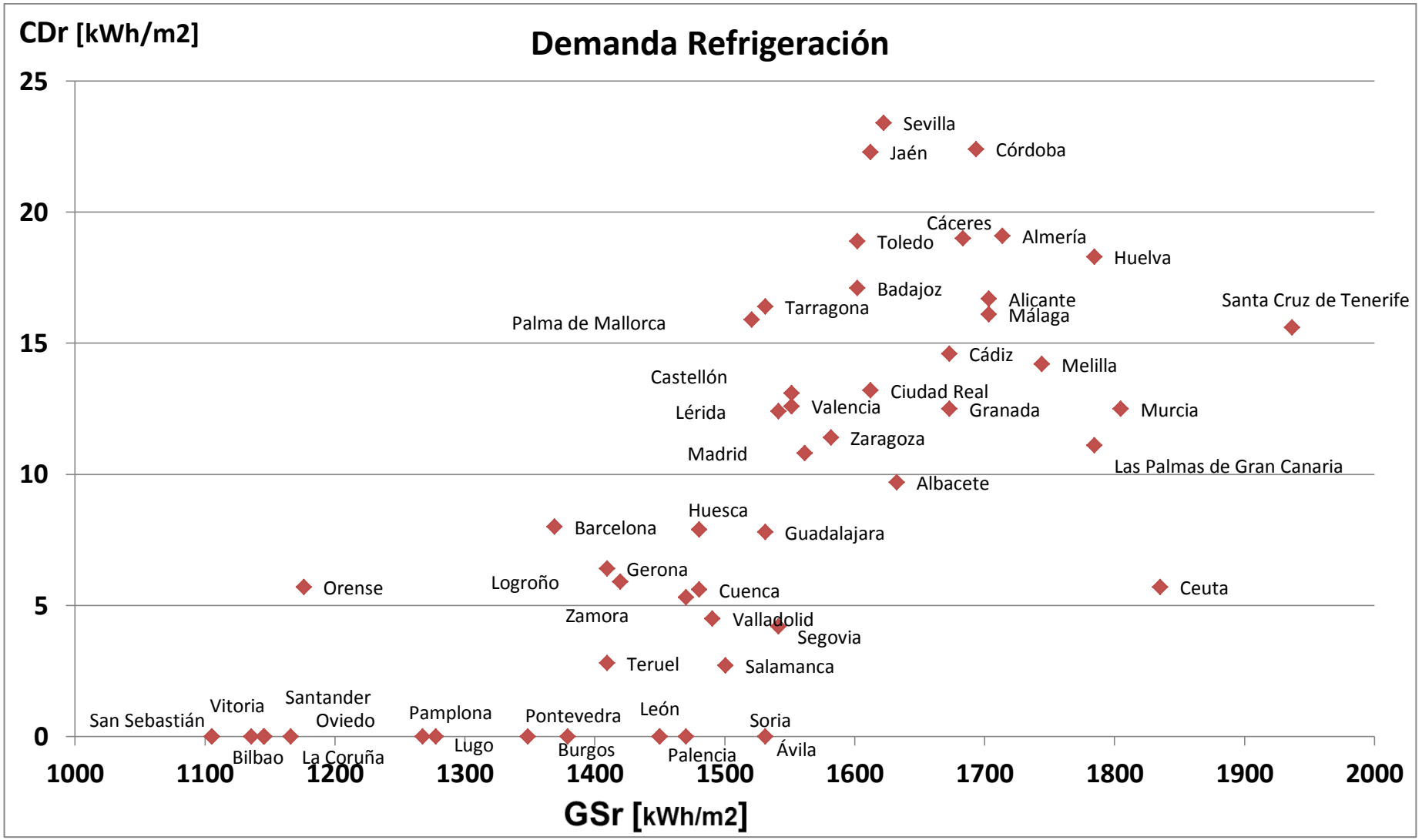


Figura 2.6. Demanda de refrigeración (CDr) y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

5.4. Potencial de aplicación para ACS + calefacción

En la Figura 2.7 se muestra el estudio para atender la demanda de calefacción y ACS. En ordenadas se representa la demanda anual de calefacción más ACS (HDr+DDr) y en abscisas la radiación solar anual sobre superficie horizontal (GSr).

Observando la Figura 2.7 se obtienen criterios sobre la oportunidad de mercado muy similares a los de calefacción.

- Se observan ciudades donde las instalaciones solares térmicas con acumulación estacional son poco rentables, ya que tienen una demanda reducida (<35 kWh/m^2), por lo que el bajo factor de utilización dificulta rentabilizar la inversión. Dentro de este grupo se encuentran ciudades con elevada radiación solar pero escasa demanda de calefacción y ACS (Cádiz, Melilla, Almería o Canarias).
- Existe un grupo de ciudades en el que, a pesar de tener una demanda energética elevada, no poseen condiciones climatológicas suficientes para cubrir dicha demanda, por ejemplo Oviedo, Orense y Santander. Para estas ciudades habría que sobredimensionar las instalaciones, aumentando el coste.
- Por último, un elevado grupo de ciudades ofrece una oportunidad de mercado para estos sistemas. Poseen una radiación solar elevada y una demanda considerable, por ejemplo, Ávila, Zaragoza o Guadalajara cumplen los requisitos para la instalación de sistemas solares térmicos con acumulación estacional y, sería en estas ciudades, donde se obtendría una mayor rentabilidad.

En general las conclusiones son similares a las obtenidas para calefacción puesto que el ACS solo añade una demanda más reducida y más regular a lo largo del año.

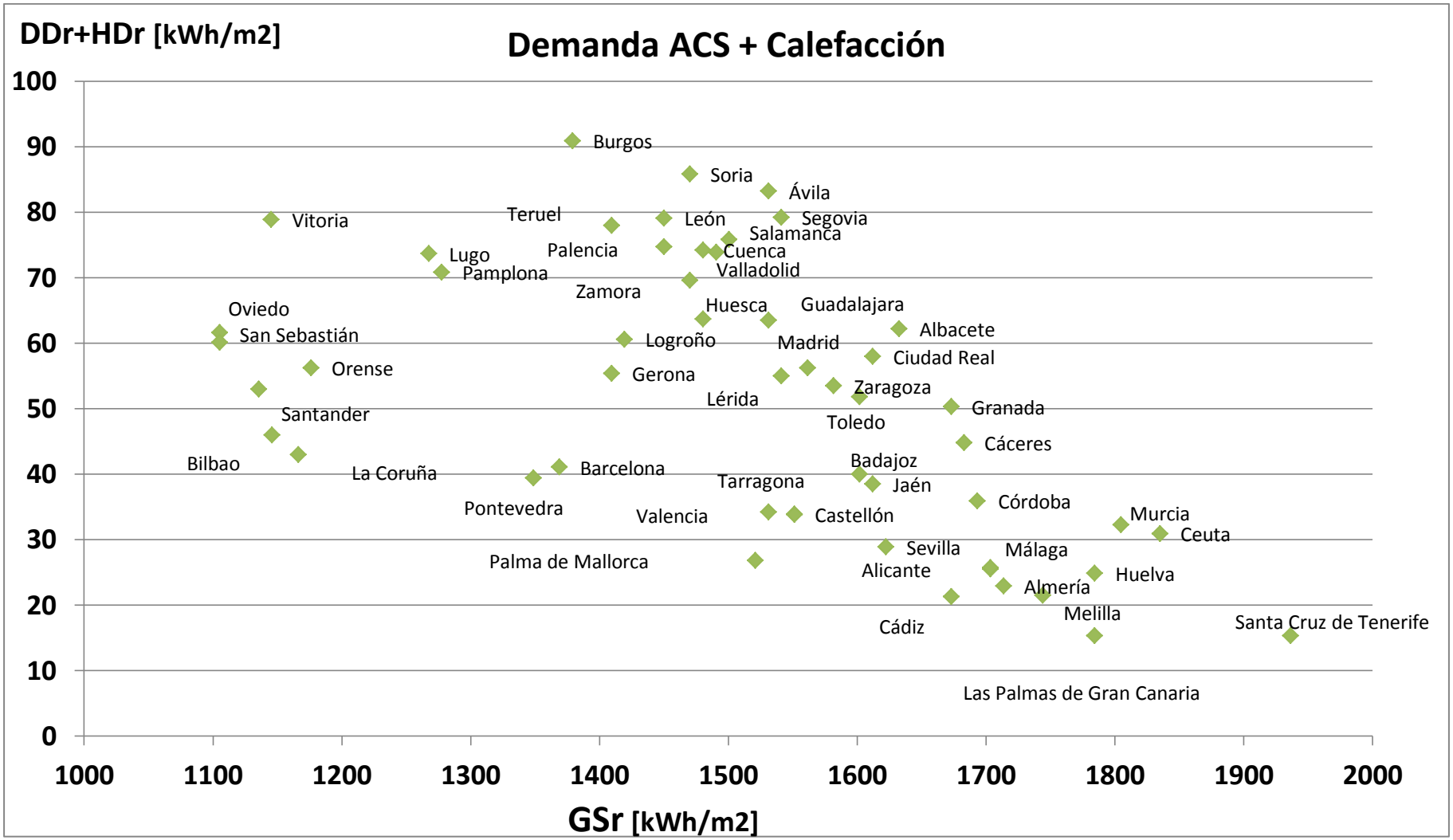


Figura 2.7. Demandas DDr+HDr y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

5.5. Potencial de aplicación para ACS + refrigeración

En este caso el estudio se realiza para la demanda de ACS más refrigeración. En ordenadas se representa la demanda anual de ACS y de calor para refrigeración y en abscisas la radiación solar anual sobre superficie horizontal (GSr).

Para sumar la demanda de refrigeración a la de ACS, se ha tenido en cuenta un COP (coeficiente de operación) de la máquina de refrigeración de 2/3. Esto es que, para atender cierta demanda de refrigeración, se necesita consumir 1,5 veces dicha demanda en forma de calor. Por lo que la demanda total de calor será DDr+1.5*CDr.

Como se ha comentado en puntos anteriores, la demanda de ACS tiene un uso continuado a lo largo del año, por lo que la utilización de un sistema que acumule el calor durante varios meses no tiene fundamento. Si, además, nos damos cuenta que las instalaciones de refrigeración solar utilizan el calor para generar frío se comprueba que si tenemos oferta de calor, en verano, tenemos demanda de refrigeración por lo que nos coincide la oferta con la demanda.

En ambos casos no es viable una instalación que nos acumule la energía de una estación a otra, ya que no es la necesidad de la instalación, por lo que un sistema solar térmico con acumulación estacional no es viable para este tipo de instalaciones.

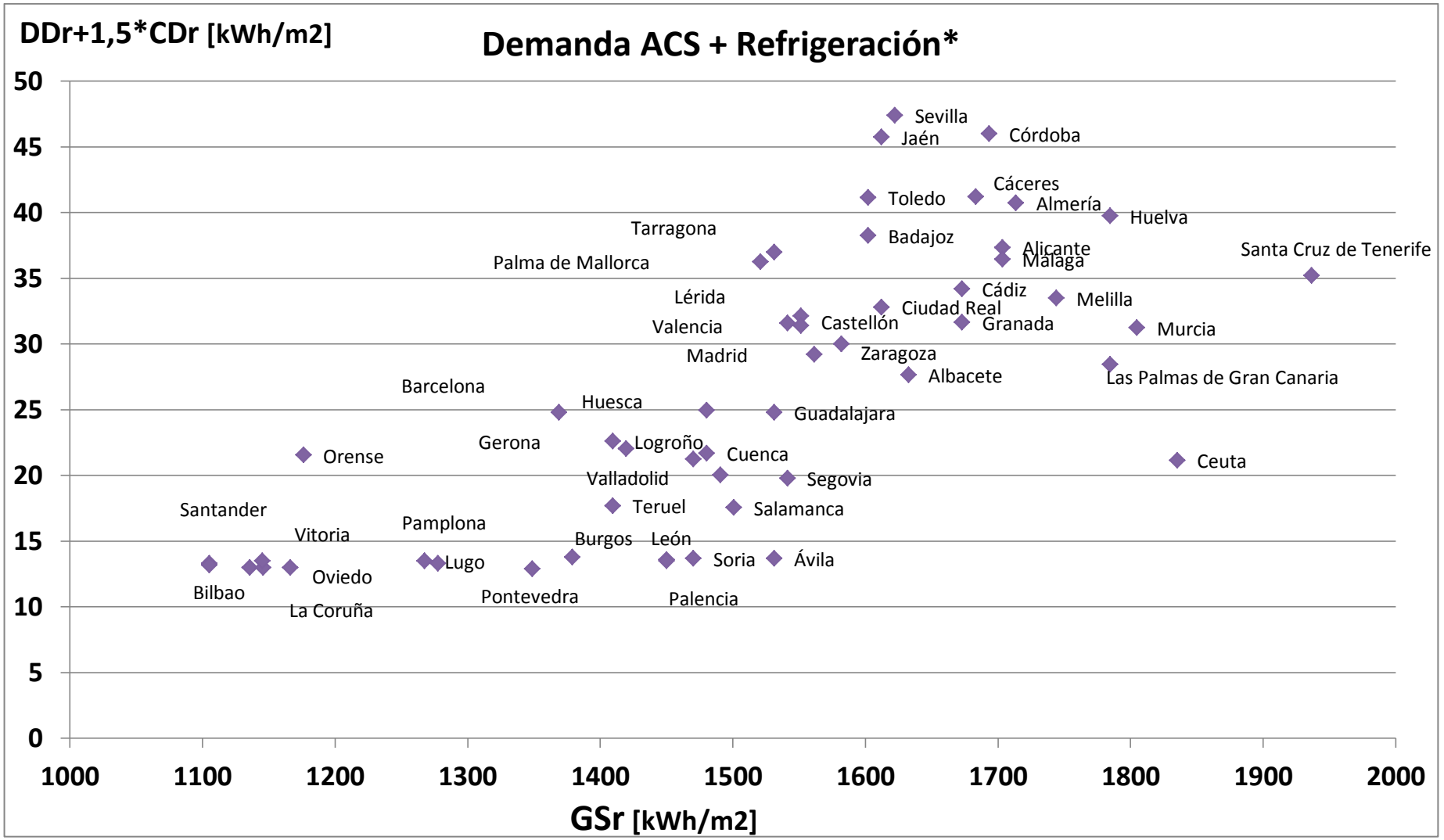


Figura 2.8. Demandas DDr+CDr y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

5.6. Potencial de aplicación para ACS + calefacción + refrigeración

Por último, se ha realizado un estudio teniendo en cuenta las tres demandas. Para este caso también se ha tenido en cuenta un COP de la máquina de refrigeración de 2/3. Es decir, la demanda de refrigeración necesita consumir 1,5 veces dicha demanda en forma de calor, por lo que la demanda total de calor será DDr+HDr+1,5*CDr.

Se observa que la distribución de las ciudades en la Figura 2.9 es muy parecida a la gráfica de la demanda de calefacción, debido a que esta demanda es mayor que las demás. Al tener una mayor demanda, existe un mayor número de ciudades donde resulta rentable una instalación solar térmica con acumulación estacional.

Exceptuando las ciudades de Canarias, Melilla o Ceuta, por ejemplo, prácticamente todas las demás tienen una demanda energética considerable. Ahora el problema radica en encontrar ciudades con elevada radiación, para poder obtener un mayor rendimiento y una mayor rentabilidad de la planta. Hay casos como Albacete o Ávila donde la instalación de este tipo de instalaciones es muy recomendable.

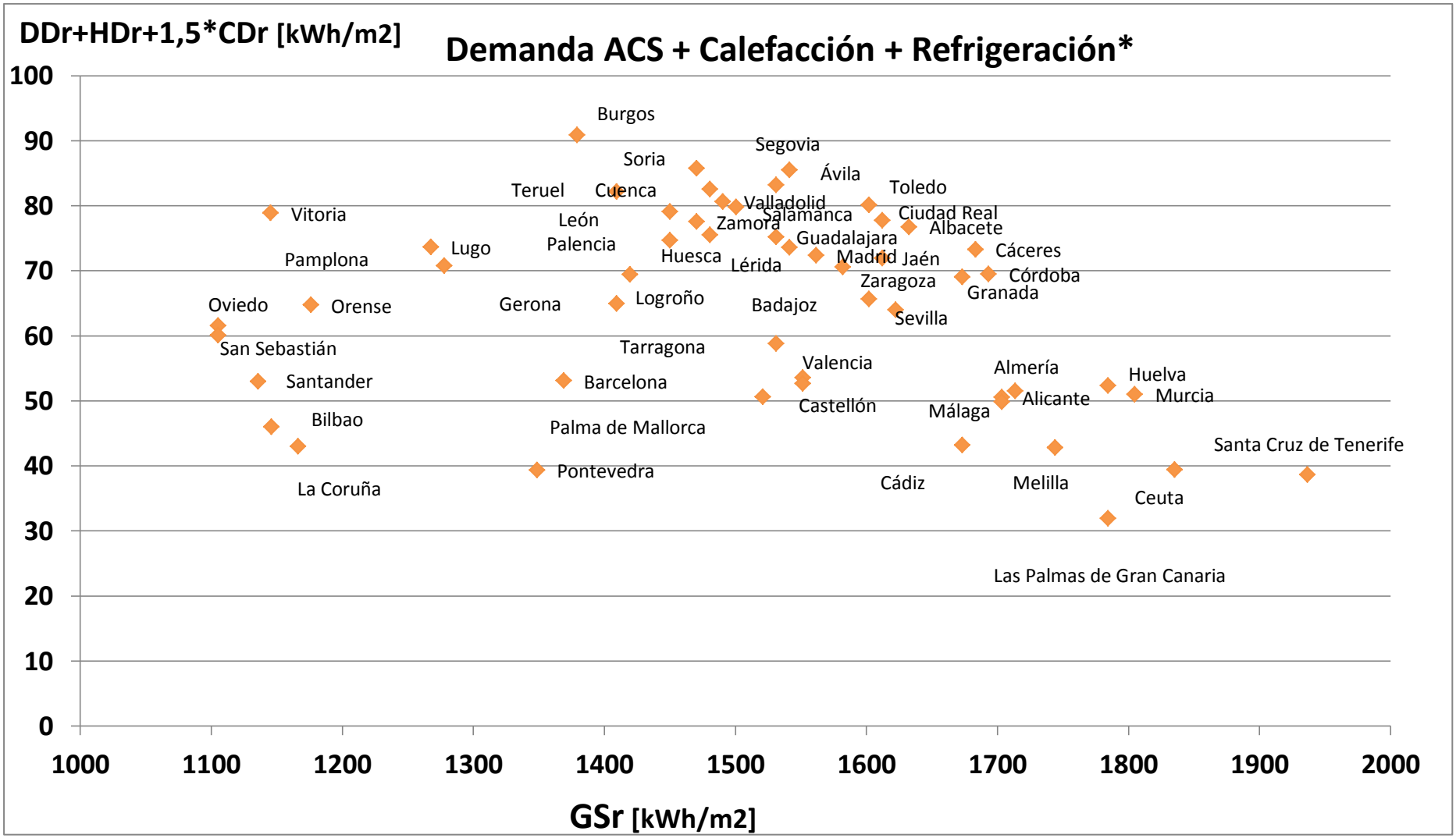


Figura 2.9. Demandas DDr+HDr+CDr y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

ANEXO III

Caso base y modelo TRNSYS

Índice

1. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS 5
   1.1. Instalaciones solares térmicas 5
      1.1.1. Pequeñas instalaciones solares para calefacción y ACS 5
      1.1.2. Instalaciones solares a gran escala 5
   1.2. Grandes sistemas solares térmicos con acumulación estacional 6
   1.3. Colectores solares térmicos 9
   1.4. Acumulación térmica estacional 11
      1.4.1. Tanques de agua (tank thermal energy storage, TTES). 11
      1.4.2. Acumuladores de agua-grava (pit thermal energy storage, PTES) 13
      1.4.3. Conductos enterrados (borehole thermal energy storage, BTES) 14
      1.4.4. Acuíferos (aquifer thermal energy storage, ATES) 15
2. CASO BASE DE ESTUDIO 16
   2.1. Introducción 16
   2.2. Descripción del sistema 16
   2.3. Modos de operación 18
      2.3.1. Fase de carga 18
      2.3.2. Fase de descarga 22
   2.4. Parámetros principales 23
      2.4.1. Demanda anual de calefacción 23
      2.4.2. Demanda anual de ACS 24
      2.4.3. Demanda anual térmica total 26
      2.4.4. Radiación solar incidente anual 26
      2.4.5. Caudal específico del circuito primario 26
      2.4.6. Ratio V/A 27
      2.4.7. Ratio A/GD 27
   2.5. Selección de equipos 28
      2.5.1. Fluidos de trabajo 28

2.5.2. Colectores solares 28
2.5.3. Acumulación estacional 33
2.5.4. Acumulador de ACS 38
2.5.5. Intercambiadores de calor 39
2.5.5.1. Intercambiadores ex1 y ex2 39
2.5.5.2. Intercambiador ex3 43
2.5.6. Bombas 45
2.5.6.1. Bomba Psol 45
2.5.6.2. Bombas P1 y P2 46
2.5.6.3. Bomba P3 47
2.5.7. Calderas auxiliares 49
3. MODELO TRNSYS 51
3.1. Introducción 51
3.2. Caso base 51
3.3. Análisis energético 54
3.4. Comportamiento dinámico de la instalación 55
3.5. Análisis económico 58
3.6. Control de los parámetros de diseño 59

1. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

1.1. Instalaciones solares térmicas

Existen diferentes tipos de instalaciones que utilizan la energía solar para cubrir parte de la demanda de energía que los hogares necesitan. Esta demanda térmica puede ser de calefacción, de agua caliente sanitaria (ACS) o ambas.

1.1.1. Pequeñas instalaciones solares para calefacción y ACS

Diseñadas para tener una fracción solar en torno a un 10-20% de la demanda térmica total, suministrando el 100% de ACS, siendo la fracción solar la parte de la demanda que es cubierta con la energía solar.

No suelen superar un área colectora mayor de 50 m^2. Poseen un acumulador que puede llegar a suministrar energía para 2 o 3 días, por lo que suelen ser instalaciones individuales para cada vivienda. El problema de estas instalaciones radica en que al no coincidir los periodos en los que hay demanda energética (invierno) con los periodos de oferta solar (verano) no se alcanza una eficiencia alta pudiendo sufrir periodos de estancamiento.

1.1.2. Instalaciones solares a gran escala

Utilizadas principalmente para suministrar calor a distritos urbanos con un elevado número de viviendas, hospitales, albergues o incluso pequeñas ciudades.

Una de las ventajas principales de estos grandes sistemas solares es la disposición de los colectores de gran superficie que reducen costes y tiempo de instalación. Los colectores pueden disponerse en terrenos apartados de las viviendas o si la superficie disponible es suficiente pueden ser integrados en los mismos edificios.

Este tipo de instalaciones van normalmente asociadas a una red de distrito que atiende la demanda de un conjunto de viviendas, un conjunto residencial-comercial o un edificio singular.

Según el tipo de acumulación y su fracción solar, existen distintos tipos de sistemas:

- Sistemas de acumulación corta o baja fracción solar:
  Son diseñados para cubrir el 10-20% de la demanda total y sobre el 50% de ACS. Son eficientes y fiables y son los preferidos para cubrir las demandas de ACS constantes, como sucede en hospitales o residencias. La superficie de colectores solares supera los 100 m^2. El acumulador no es muy grande y tiene una capacidad de suministro de un día en caso de ausencia de energía solar. La demanda mínima que cubren estas instalaciones es de 30 viviendas.
- Sistemas de acumulación estacional o alta fracción solar:
  En el siguiente apartado se explica en mayor detalle ya que es el tipo de instalación sobre la que se trabaja en el proyecto.

1.2. Grandes sistemas solares térmicos con acumulación estacional

Estos sistemas se diseñan para alcanzar fracciones solares entre el 50-70% e incluso más de la demanda total de calefacción y ACS. Se utilizan para cubrir la demanda de conjuntos residenciales superiores a 100 viviendas o la requerida por grandes edificios. En la Figura 3.1 se puede observar un ejemplo.

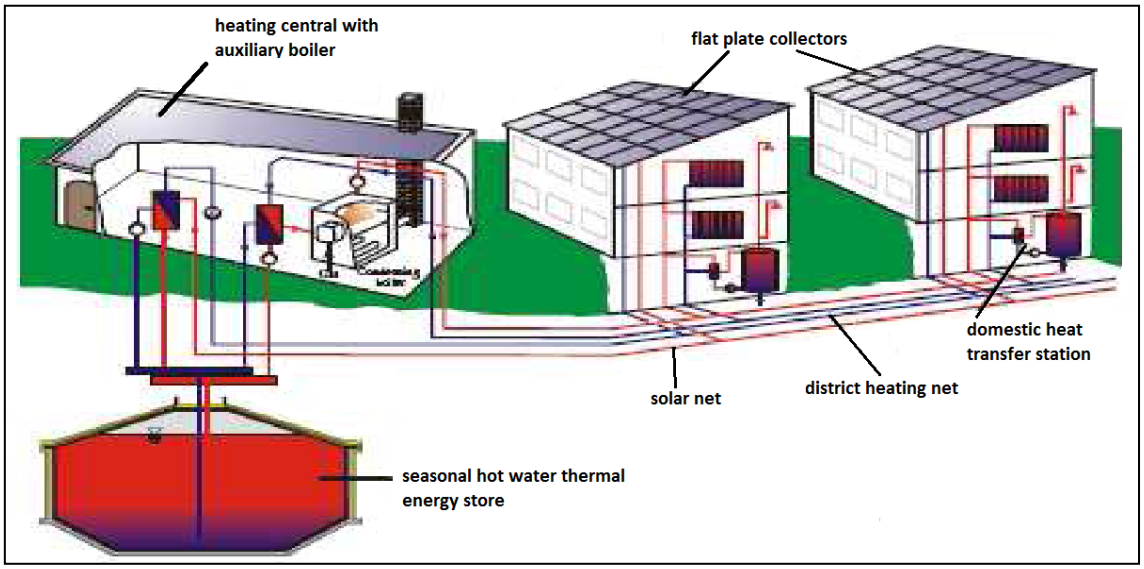


Figura 3.1. Ejemplo de una instalación solar térmica con acumulación estacional [23]

En la mayoría de las instalaciones solares térmicas existe el problema de que los periodos de gran demanda energética (calefacción y ACS en invierno) no coinciden con los periodos de gran oferta solar (verano), desaprovechándose en gran parte la oferta solar existente en los meses de verano. Por ello estos sistemas se combinan con la tecnología de acumulación estacional.

La acumulación estacional almacena grandes volúmenes de agua (u otro fluido) que se ha calentado con energía solar durante los meses en los que la oferta solar es elevada y la demanda energética es baja (verano). El calor se aprovecha en los meses de invierno cuando la demanda de calefacción es elevada y la radiación solar baja. Gracias a ello se alcanzan elevadas fracciones solares, 50-70 % de la demanda total. Se diseñan para alcanzar capacidades de acumulación estacional de 1,4-2,1m^3/m^2, con una superficie colectora de 1,4-2,4m^3/(MWh) de demanda anual.

El coste específico por m^2 del campo de colectores es comparable al de los sistemas de fracción solar baja. Sin embargo la inversión total aumenta mucho por el acumulador estacional. Por ello la acumulación estacional suele ir unida, si es posible, a grandes redes de calefacción de distrito ya existentes para disminuir el coste.

En países del norte de Europa (como Alemania, Austria, Dinamarca o Suecia) con menor radiación solar, la energía solar térmica ha tenido un mayor desarrollo habiéndose instalado numerosos sistemas centralizados con aporte solar y acumulación estacional para suministrar las necesidades energéticas de calor a distritos urbanos e incluso a pequeñas ciudades [4-9].

Dada la similitud con la planta que se trata en el proyecto, se ha elegido la planta de Crailsheim-Hirtenwiesen, Figura 3.2, que está situada en Alemania para así realizar una breve descripción.

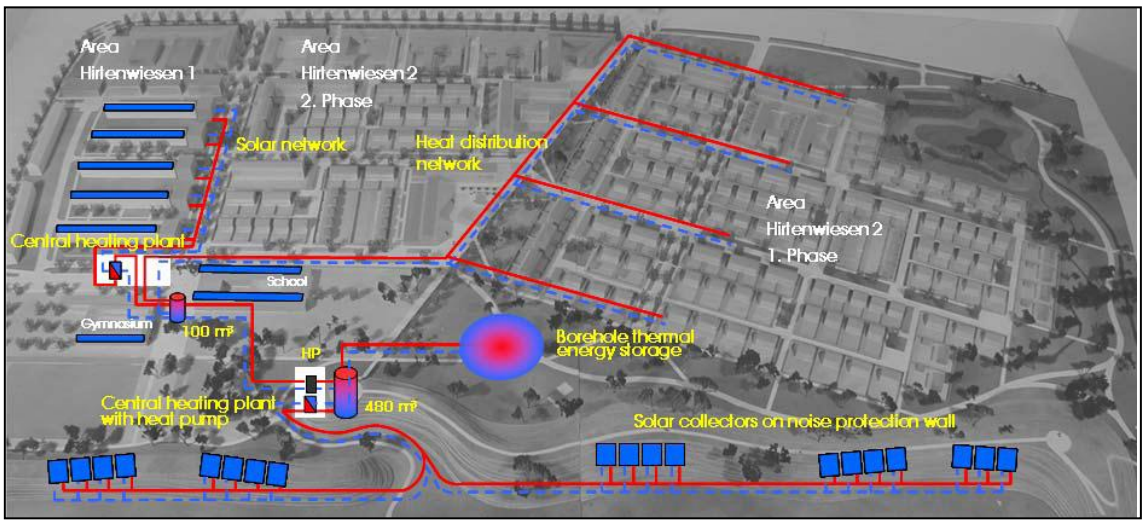


Figura 3.2. Planta solar térmica con acumulación estacional en Crailsheim [23]

En Crailsheim-Hirtenwiesen, una antigua zona militar, se ha creado una nueva zona residencial como se puede observar en la Figura 3.2. En esta área se puso en marcha una planta a través del programa Alemán Solarthermie-2000. El área de servicio en una primera fase comprendía 260 viviendas, una escuela y un gimnasio.

La demanda energética es de 4100 MWh/año. La planta alcanza una cobertura solar del 50% y el coste del calor solar es 0,19€/(kWh).

Tiene 7300 m^2 de superficie de colectores solares. Una serie de pozos térmicos hacen la función del acumulador estacional con un volumen de 37500 m^3. Posee dos tanques de agua caliente como buffer de 580 m^3 para cubrir la demanda diaria.

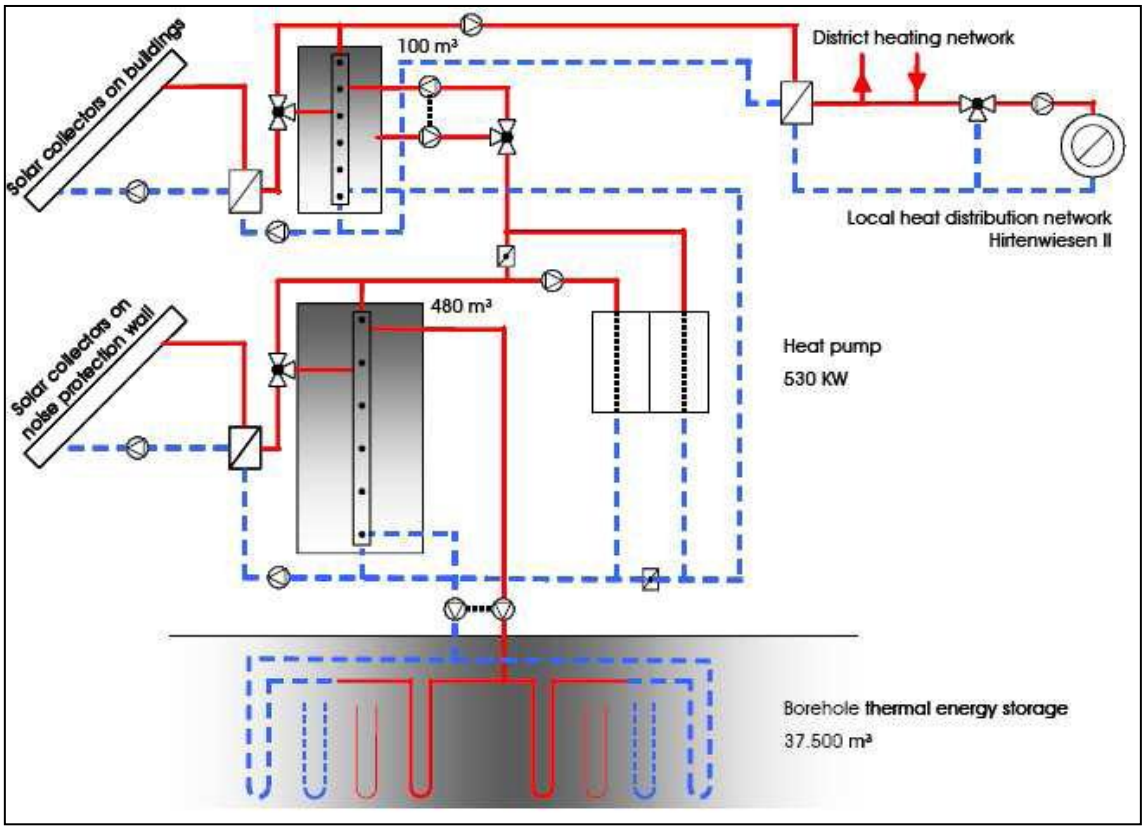


Figura 3.3. Sistema de conexiones de Crailsheim [23]

1.3. Colectores solares térmicos

Normalmente, un captador solar está constituido no sólo por una superficie absorbedora sino también por elementos de protección térmica y mecánica de la misma, como se observa en la Figura 3.4.

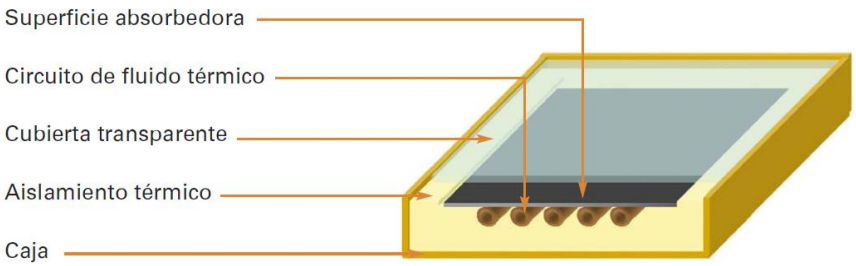


Figura 3.4. Partes de un colector térmico

Se pueden distinguir principalmente los siguientes colectores térmicos:

- Captadores de tubo de vacío: son los más eficientes, alcanzan temperaturas de 130ºC. Son más caros y se suelen instalar para sistemas de poco tamaño. El área máxima con la que se construyen estos colectores se sitúa sobre los 3 m^2 y el diseño más extendido es el denominado "heat pipe" o tubo de calor.	
- Captadores planos con cubierta: son los más comunes en instalaciones solares térmicas. Alcanzan temperaturas de 60-90ºC. Se fabrican de 1 a 15 m^2, existiendo varios métodos de integración en la estructura de los edificios.	
- Captadores planos sin cubierta: son los más sencillos y se utilizan para el calentamiento de piscinas. Alcanzan temperaturas de 30-50ºC.	

Figura 3.5. Tipos de colectores térmicos

En la planta utilizada en este proyecto se utilizan colectores planos con cubierta, que son los más comunes y económicos.

Normalmente la ubicación más económica de los colectores solares planos en instalaciones con un gran campo solar es directamente en el suelo junto a la planta de calefacción central, como es el caso de la mayor planta europea de colectores solares planos que se puede ver en la Figura 3.6.

Figura 3.6. Sistema de colectores solares en Marstal, DK (19000 m^2) [8]

Debido al alto costo de las obras de construcción, este método normalmente no se puede realizar en el centro de Europa y los colectores tienen que ser instalados en los techos de los edificios.

Existen varios métodos de integración:

- Si se montan sobre el tejado el tiempo de instalación aumenta a la vez que depende directamente de las condiciones climatológicas.
- Pueden sustituir parcial o totalmente el tejado, aplicando el concepto de solar roof (techo solar). De este modo se ahorran costes en comparación con el resto de métodos empleados.

Normalmente la industria tiende a fabricar colectores solares cada vez de mayor superficie por economías de escala y también para reducir costes de instalación. De esta forma, se reduce la longitud de tubería de conexión, el número de colectores a instalar y el tiempo de instalación.

1.4. Acumulación térmica estacional

Existen principalmente cuatro tipos de acumuladores estacionales:

- Tanques de agua (tank thermal energy storage, TTES)
- Acumuladores de agua-grava (pit thermal energy storage, PTES)
- Conductos enterrados (borehole thermal energy storage, BTES)
- Acuíferos (aquifer thermal energy storage, ATES)

En la Figura 3.7 se muestran los 4 tipos de acumulación mencionados.

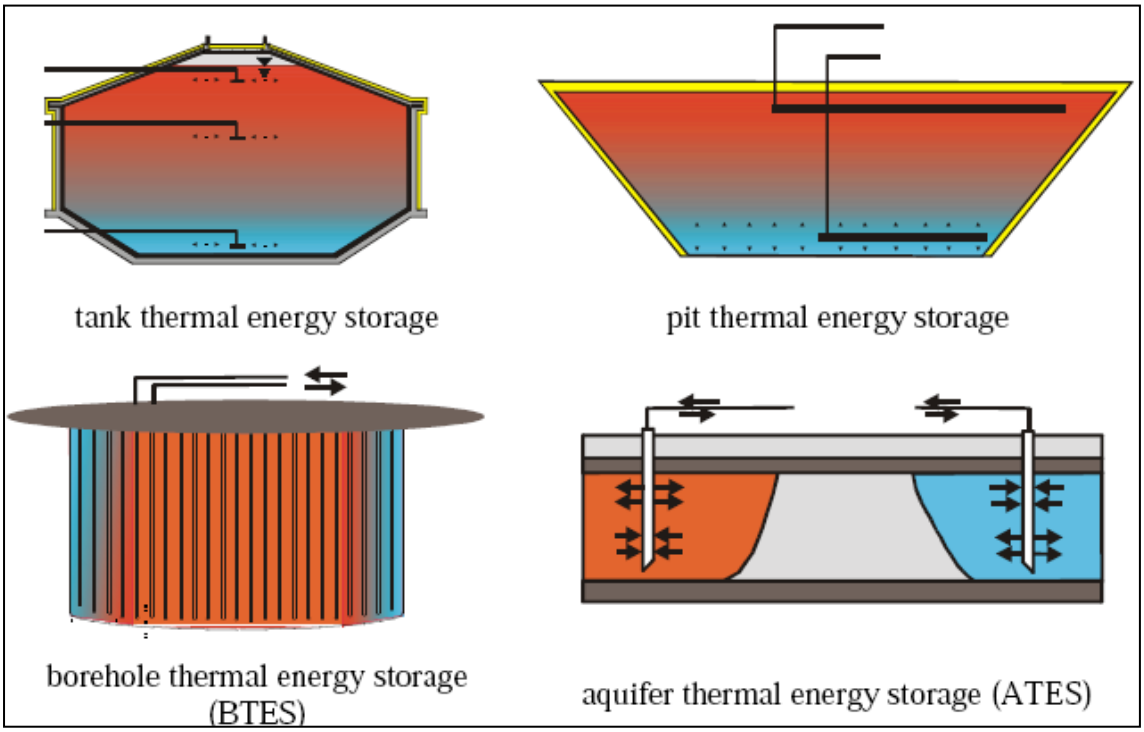


Figura 3.7. Sistemas de acumulación estacional [9]

Los acumuladores estacionales de energía térmica se distinguen según el método de construcción y según su método de acumulación.

1.4.1. Tanques de agua (tank thermal energy storage, TTES).

Estos sistemas son los más versátiles de todos y los más utilizados por sus distintos rangos de utilización. Almacenan agua, que gracias a su alta capacidad calorífica favorece los procesos de carga y descarga de acumulador. Su volumen puede variar entre 2000-12000m^3.

En la Figura 3.8 se puede apreciar un esquema de estos acumuladores.

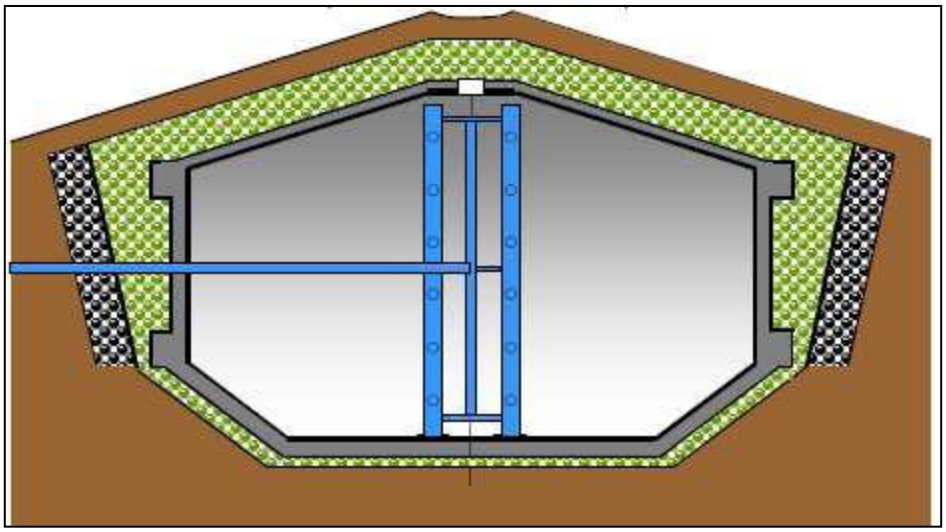


Figura 3.8. Esquema de un tanque de agua

Se construyen enterrados en el suelo o semi-enterrados, independientemente de las condiciones geológicas del suelo. Suelen construirse en hormigón armado, con forma cilíndrica y troncocónica en su parte superior. Se utiliza aislante en la zona superior y en los laterales si esta semi-enterrado, aunque se ha demostrado que las pérdidas de calor producidas en la base del depósito son importantes y se debe aislar térmicamente.

En la Figura 3.9 se muestra un esquema de la construcción de un acumulador construido en Friedrichshafen, Alemania.

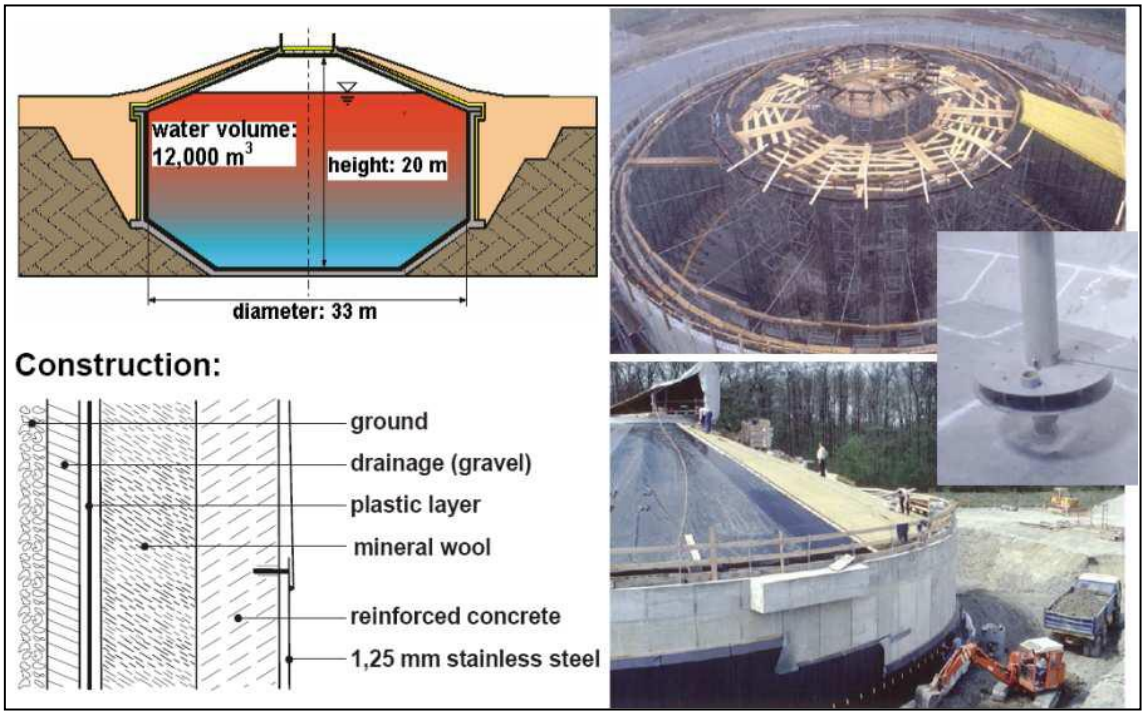


Figura 3.9. Construcción del acumulador estacional de Friedrichshafen, Alemania

Para asegurar la estanqueidad las paredes se recubren de una fina capa de acero inoxidable, aunque se está desarrollando un nuevo compuesto plástico reforzado con fibra de vidrio que sustituye al acero y reduce los costes.

1.4.2. Acumuladores de agua-grava (pit thermal energy storage, PTES)

Esta tecnología utiliza un depósito cuyas paredes tienen un forro de plástico impermeable, aislándose al menos las paredes y la parte superior. Este depósito acumula la energía a través de una mezcla de grava y agua. Como se puede ver en la Figura 3.10, poseen estructuras auto-portantes no siendo necesarias subestructuras de manera que se abarata y se facilita la construcción.

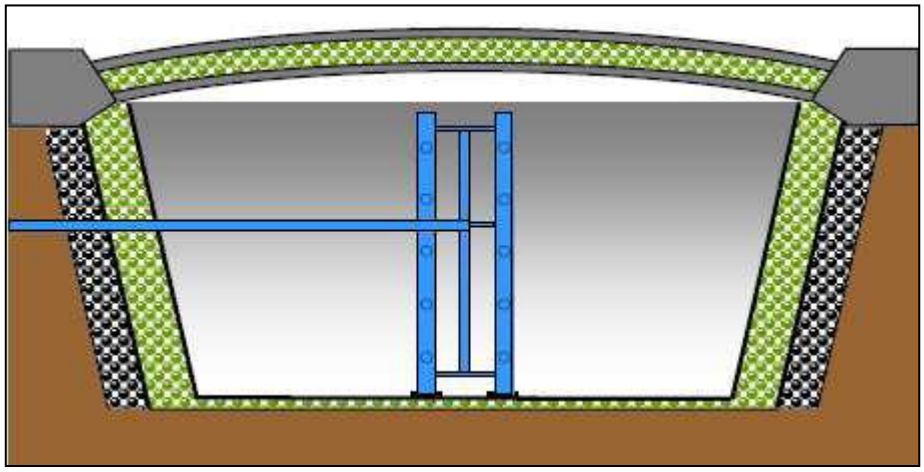


Figura 3.10. Esquema de un acumulador de agua-grava

Debido a que la capacidad calorífica de la mezcla agua-grava es menor, el volumen de estos acumuladores es aproximadamente un 50% mayor a un tanque de agua.

El agua que entra y sale del depósito es la que hace posible la transferencia de energía con la mezcla de agua-grava, como se puede ver en la Figura 3.11.

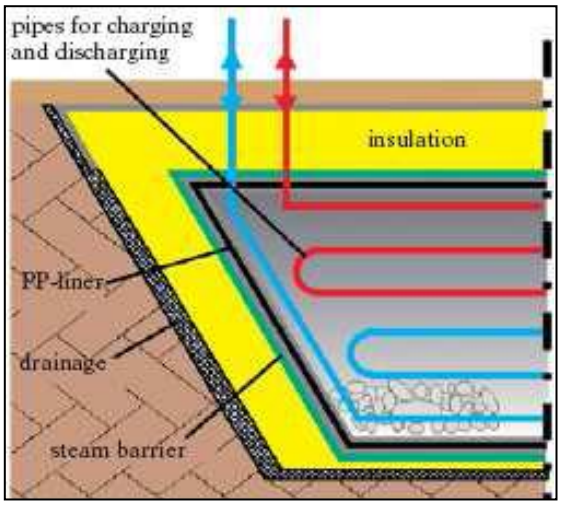


Figura 3.11. Esquema de funcionamiento de un acumulador de agua-grava

Podemos encontrar este tipo de acumuladores funcionando en la Universidad de Stuttgart (ITW, 1050 m^3), en Chemnitz (8000 m^3), Augsburg (6500 m^3) y Steinfurt-Borghorst (1500 m^3).

1.4.3. Conductos enterrados (borehole thermal energy storage, BTES)

En estos acumuladores el calor se almacena directamente en el suelo. Por lo que el conocimiento geológico del terreno es importante. La correcta colocación de los intercambiadores en el terreno determina el rendimiento del acumulador. En la Figura 3.12 se puede ver un ejemplo.

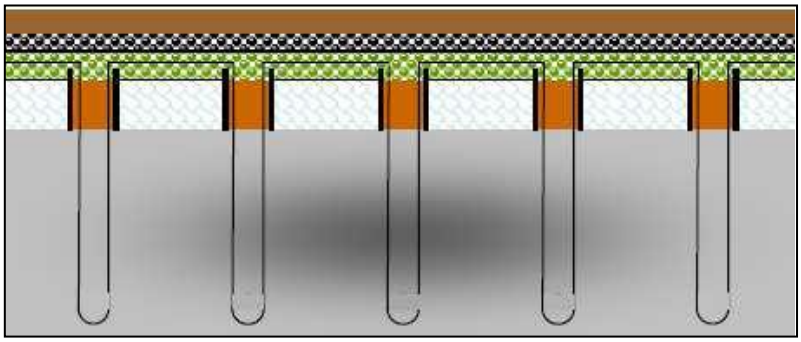


Figura 3.12. Esquema de conductos enterrados

Se construyen y se instalan a unos 30-100 m de distancia de la superficie del suelo. El tamaño suele ser de 3 a 5 veces mayor que los de tanque de agua. En la Figura 3.13 se pueden ver los distintos tipos de intercambiadores que pueden introducirse en las sondas realizadas.

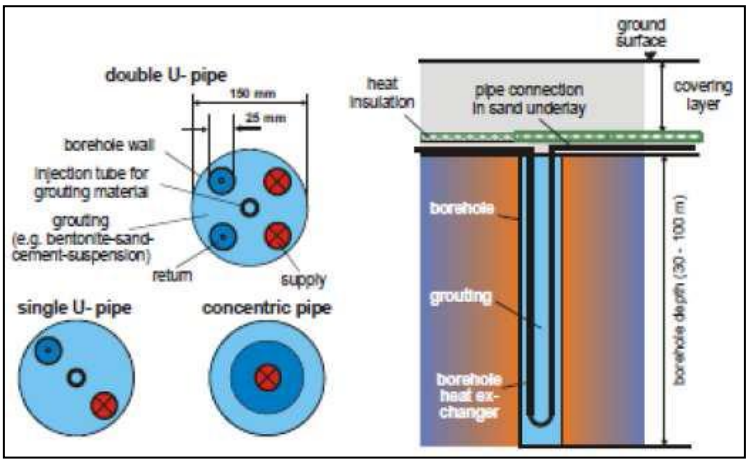


Figura 3.13. Ejemplo de instalación y tipos de intercambiadores

Para asegurar un buen contacto térmico entre los intercambiadores y el terreno, las excavaciones se rellenan de materiales adecuados (tubos en U de PEX y PE-HT). La separación entre excavaciones suele ser de 2 metros aproximadamente aunque varía según el terreno.

1.4.4. Acuíferos (aquifer thermal energy storage, ATES)

Cuando el nivel freático está situado muy próximo a la superficie de terreno conviene aplicar este método de acumulación. Consiste en aprovechar un depósito natural de agua subterránea como medio de acumulación térmica, como se puede apreciar en la Figura 3.14.

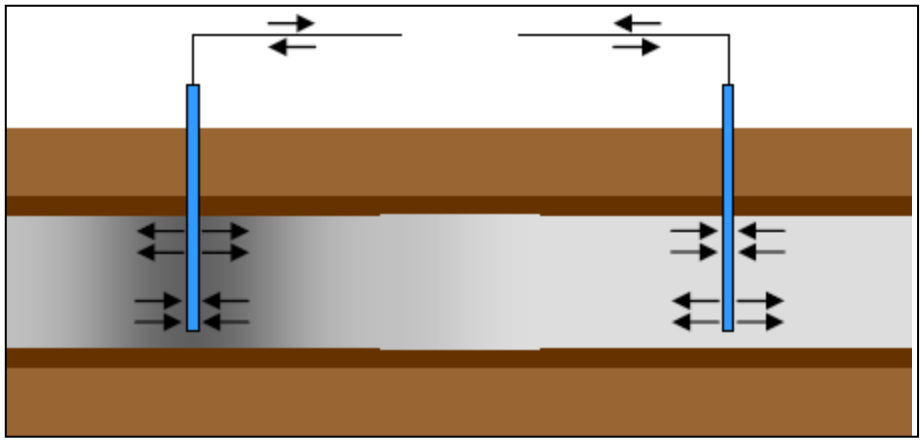


Figura 3.14. Esquema instalación de un acuífero

Este método de acumulación es el más barato. Sin embargo se ve influenciado por la normativa de cada país sobre la utilización de aguas subterráneas.

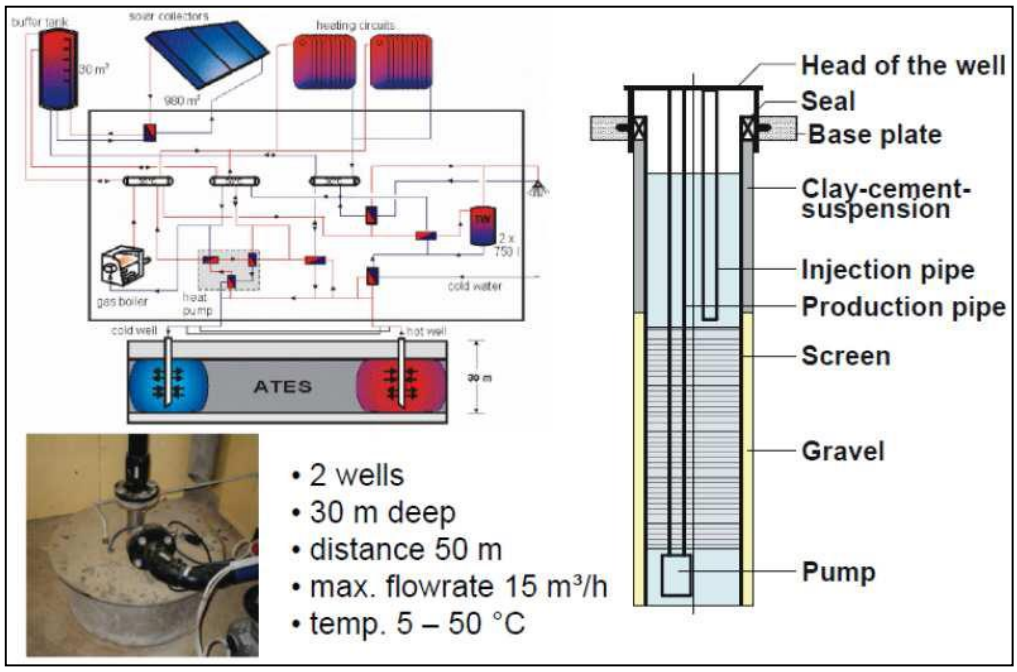


Figura 3.15. Ejemplo de un acuífero

2. CASO BASE DE ESTUDIO

2.1. Introducción

En este apartado se describen las principales características de una planta de energía solar térmica con acumulación estacional. El diseño de esta planta ha sido fruto de proyectos anteriores [22, 28], por lo que se parte de este caso base para realizar los análisis y estudios que se describen en este proyecto.

La planta de energía solar térmica con acumulación estacional propuesta es capaz de cubrir más del 70% de la demanda de energía térmica para calentar agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción de un distrito de Zaragoza. En particular, este sistema está diseñado para servir a 500 viviendas en la zona residencial de Parque Goya, ubicado en el norte de la ciudad.

El centro consumidor se caracteriza por una demanda anual de energía térmica de 2905 MWh/año, de los que 507,5 MWh/año se utilizan para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y 2397,5 MWh/año se utilizan para calefacción. Como se explica en el Anexo II de este proyecto para obtener la demanda se toma un día tipo para cada mes. Este día se supone que es un día característico de todo el mes.

La planta propuesta genera el agua para la red de ACS a 60 ºC y el agua para la red de calefacción a 50 ºC. La red de calefacción funciona a temperaturas bajas, pues esta configuración es favorable para maximizar la eficiencia en plantas termosolares. Se supone que las viviendas disponen de un sistema de calefacción de baja temperatura (por ejemplo de suelo radiante).

2.2. Descripción del sistema

En la Figura 3.16 se puede observar un diagrama simplificado de la planta propuesta.

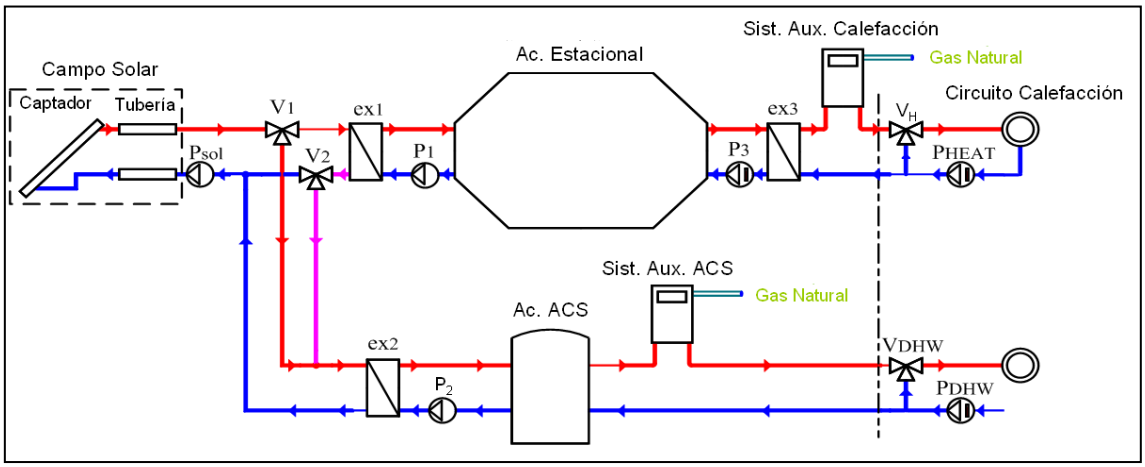


Figura 3.16. Diagrama de la planta propuesta de un sistema de energía solar térmica con acumulación estacional

Primero identificaremos los equipos necesarios en nuestra planta. En la Figura 3.17 se observan los distintos circuitos que forman la planta.

Circuito 1 o circuito solar: El primer circuito está formado por: los colectores solares, la bomba P_{sol}, dos válvulas selectoras de circuito V_1 y V_2 y los lados calientes de los intercambiadores ex1 y ex2.

En este circuito se recoge la energía solar captada por los colectores y se transmite a los circuitos 2 y 3 a través de los intercambiadores de calor. Las válvulas V_1 y V_2 se encargan de dirigir en flujo hacia los circuitos 2 o/y 3.

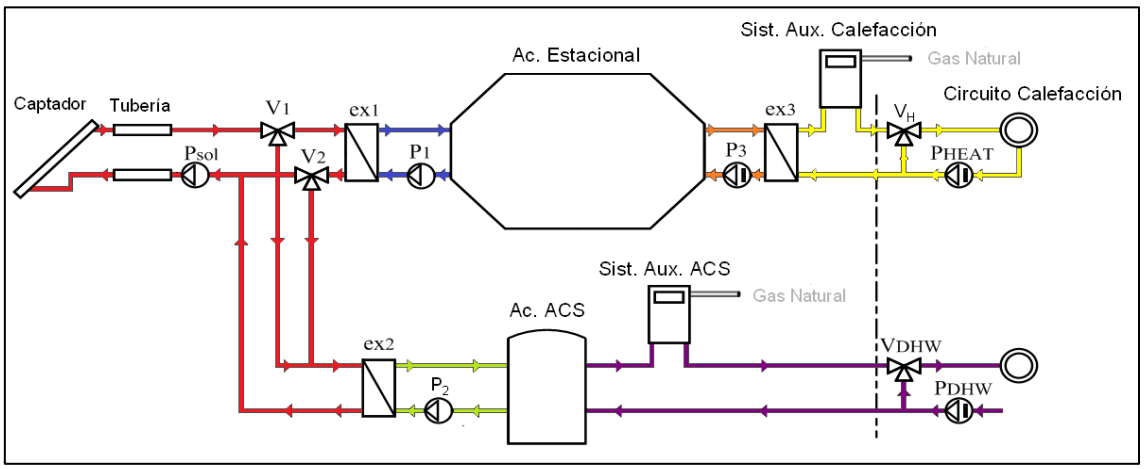


Figura 3.17. Identificación de los circuitos. Rojo: circuito 1, azul: circuito 2, verde: circuito 3, morado: circuito 4, naranja: circuito 5, amarillo: circuito 6

Circuito 2: está formado por el lado frío del intercambiador de calor ex1, la bomba P_1 y el lado de carga del acumulador estacional. En este circuito se carga directamente el acumulador estacional.

Circuito 3: lo forman el lado frío del intercambiador de calor ex2, la bomba P_2 y el lado de carga del acumulador de ACS. Aquí se carga el acumulador de ACS.

Circuito 4: lo componen el lado de descarga del acumulador de ACS, la caldera auxiliar de ACS, la válvula termostática V_{DHW}, la bomba P_{DHW} y la red de distribución de ACS.

En esta parte el acumulador de ACS se descargará según la demanda térmica. Si es necesario, la caldera auxiliar calentará el suministro hasta la temperatura de demanda. Si la temperatura excede la temperatura de demanda, la válvula termostática V_{DHW} se encarga de enfriar el suministro. La bomba P_{DHW} se encarga de bombear todo el circuito.

Circuito 5: compuesto por el lado de descarga del acumulador estacional, el lado caliente del intercambiador de calor ex3 y la bomba P_3. El acumulador se descarga según sea la demanda térmica y es transferida a la red de distribución a través del intercambiador de calor.

Circuito 6: formado por el lado frio del intercambiador de calor ex3, la caldera auxiliar de calefacción, la válvula termostática V_H, la bomba P_{HEAT} y la red de distribución de calefacción.

En esta parte el flujo se calienta en el intercambiador. Si la temperatura de suministro no alcanza la de consigna se activa la caldera auxiliar, calentado el flujo. Si la temperatura de suministro es mayor que la de consigna, la válvula termostática se encarga de rebajar la temperatura.

La red de suministro es una red de 4 tuberías, de esta manera se separan las demandas térmicas de calefacción y ACS.

2.3. Modos de operación

La eficiencia del sistema solar depende entre otros parámetros de la radiación solar incidente sobre la superficie de los colectores solares y la temperatura del fluido que entra al circuito primario de los colectores solares. Estos valores influyen en la eficiencia del sistema y por lo tanto se considera necesario examinar las variaciones de estos parámetros.

Se identifican dos fases principales: "fase de carga" y "fase de descarga".

2.3.1. Fase de carga

La fase de carga incluye la conversión de la energía solar en energía térmica, el proceso de almacenamiento y la fase de mantenimiento de la temperatura máxima permitida en los tanques.

a) El calor proveniente del circuito solar se dirige preferentemente al circuito de ACS a través del intercambiador de calor ex2. Sólo cuando se dispone de calor excedente, se transfiere por medio del intercambiador de calor ex1 al circuito de calefacción.
b) El tamaño del acumulador de ACS tiene que ser suficiente para garantizar el abastecimiento durante al menos 24 horas sin contribución de energía solar. Sin embargo, en nuestro diseño de la planta se ha decidido instalar un acumulador que permite una cobertura de dos días sin contribución solar para la demanda de ACS.
c) El nivel de temperatura máxima en el tanque de agua caliente sanitaria es de 70°C.

Se pueden definir tres estrategias de carga que se pueden lograr actuando en diferentes dispositivos en el sistema.

2.3.1.1. Solo ACS

Esta configuración realiza la fase de carga del acumulador de agua caliente sanitaria (ACS). En la Figura 3.18 se pueden observar los dispositivos que se encuentran activos en este modo de operación.

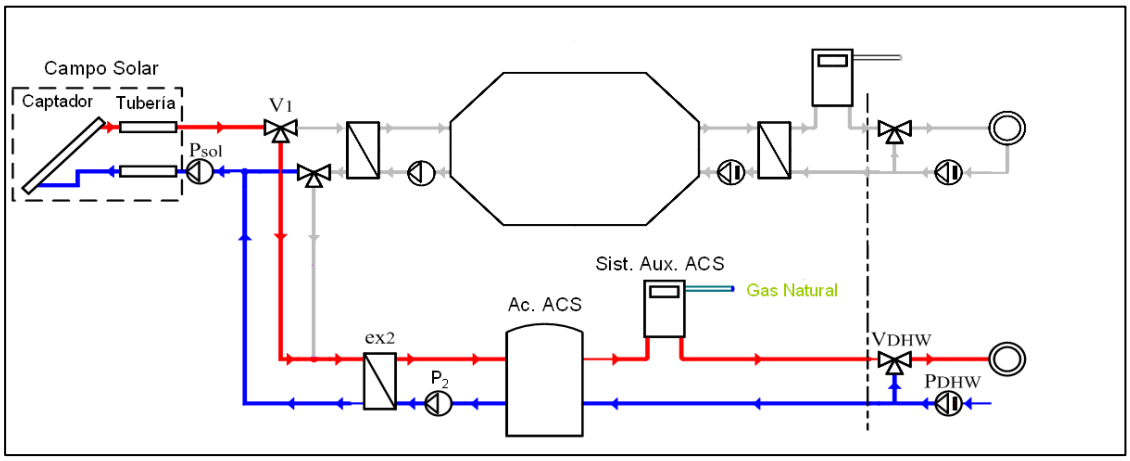


Figura 3.18. Esquema de la planta en el modo de operación "solo ACS"

El líquido del circuito 1 o circuito solar es distribuido por la bomba P_{SOL} y de manera uniforme en los colectores solares. La temperatura del fluido en la salida de los colectores solares puede superar los 100 °C. Esta última depende principalmente de la radiación solar y la temperatura de retorno del fluido.

Posteriormente, el líquido es dirigido hacia la válvula termostática V_1. Esta válvula en la posición 0 desvía el líquido hacia el intercambiador de calor ex2. Por medio de la bomba P_2, se hace circular el líquido en el lado frío del intercambiador de calor ex2 y el calor se transfiere al acumulador de agua caliente sanitaria. En este momento la temperatura suele ser alrededor de 100 °C. Este agua caliente se mezcla a continuación con el agua ya presente en el acumulador, siendo la temperatura en el techo del depósito de agua caliente sanitaria alrededor de 70 °C, lo suficientemente alta como para cubrir la demanda de ACS. Esta configuración se aplica cuando se dan las siguientes condiciones al mismo tiempo:

1) Cuando el nivel de temperatura máxima en el acumulador de ACS es inferior a 70°C
2) Cuando la radiación solar proporciona la energía suficiente para aumentar la temperatura interior del acumulador de ACS
3) Cuando la temperatura mínima en el interior del acumulador estacional es más baja que la temperatura mínima en el interior del acumulador de ACS.

2.3.1.2. Solo calefacción

En la figura 3.19 se aprecia el esquema para el modo en el que solo opera el sistema de calefacción.

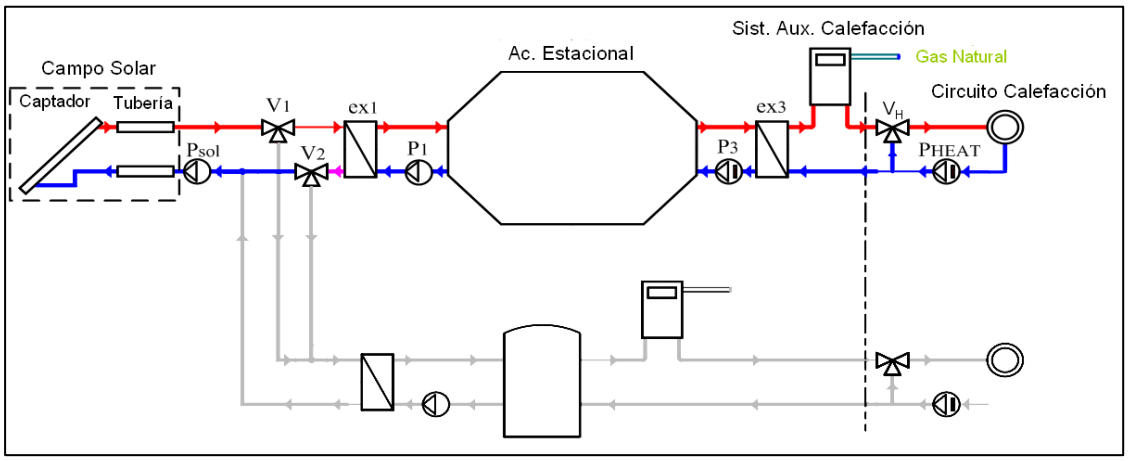


Figura 3.19. Esquema de la planta en el modo de operación "solo calefacción"

El líquido del circuito 1 o circuito solar es distribuido por la bomba P_{SOL} y de manera uniforme en los colectores solares. El líquido es dirigido hacia la válvula termostática V_1. Esta válvula en la posición 1 desvía el líquido hacia el intercambiador de calor ex1. Posteriormente la bomba P_1 hace circular el fluido del lado frío del intercambiador de calor ex1 transfiriendo el calor al acumulador estacional. La temperatura máxima permitida en el acumulador estacional se fija en 99 °C, estando el acumulador a presión atmosférica. (Si se trabajase mediante acumuladores con presión, se podría trabajar con temperaturas más altas. Sin embargo, esta solución no es aconsejable en este caso ya que una mayor temperatura de retorno durante el verano podría reducir la eficiencia de los colectores solares). Este modo de operación se aplica cuando se dan las siguientes condiciones al mismo tiempo:

1) Cuando el nivel de temperatura en el acumulador de ACS es igual a 70 °C.
2) Cuando el nivel de temperatura máxima del acumulador estacional es inferior a 99°C.
3) Cuando la radiación solar proporciona la energía suficiente para aumentar la temperatura interior del acumulador estacional.
4) Cuando la temperatura en el interior del acumulador estacional es menor que la temperatura mínima del acumulador de ACS.

2.3.1.3. Carga combinada

Este modo de operación permite cargar simultáneamente los acumuladores estacional y de ACS. En la Figura 3.20 se observa el esquema de la planta.

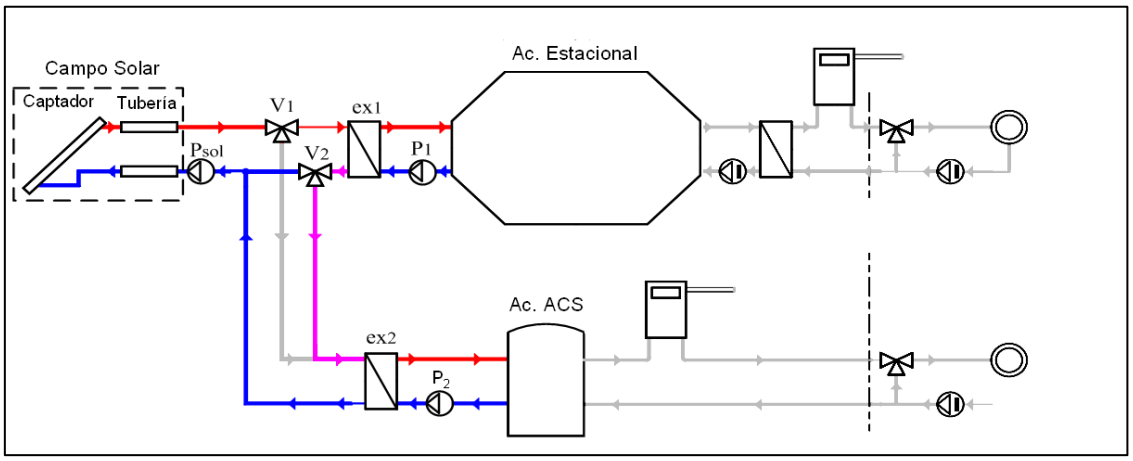


Figura 3.20. Esquema de la planta en el modo de operación "carga combinada"

El circuito 1 o circuito solar es igual que los casos anteriores. La diferencia comienza cuando el líquido llega a la válvula termostática V_1. Esta válvula en la posición 1 desvía el líquido hacia el intercambiador de calor ex1. Luego, por medio de la bomba P_1, el flujo es dirigido hacia el lado frío del intercambiador de calor ex1, transfiriéndose posteriormente el calor al acumulador estacional. La temperatura máxima permitida en el acumulador estacional está fijada en 99 °C estando a presión atmosférica como en los casos anteriores.

Cuando el fluido sale del intercambiador de calor ex1 se dirige hacia la válvula V_2 que se encuentra en la posición 1.

Lo novedoso de esta válvula radica en que el fluido, en lugar de volver hacia los colectores solares, todavía pasa por el intercambiador de calor ex2 para seguir transfiriendo calor al acumulador de ACS. Vale la destacar que lo que se consigue con esta válvula es utilizar el flujo que sale de calentar el acumulador estacional para seguir calentando el acumulador de ACS. Esta configuración se aplica cuando las condiciones siguientes se producen al mismo tiempo:

1) Cuando el nivel de temperatura máxima del acumulador de ACS es menor de 70 °C.
2) Cuando el nivel de temperatura máxima del acumulador estacional es menor a 99°C.
3) Cuando la radiación solar proporciona la energía suficiente para aumentar la temperatura en el interior del acumulador de ACS.
4) Cuando la temperatura mínima en el interior del acumulador estacional es mayor que la temperatura mínima en el interior del acumulador de ACS.

2.3.2. Fase de descarga

Durante la fase de descarga el calor se entrega al suministro de calefacción y a la red de agua caliente sanitaria. La fase de calefacción tiene lugar durante los meses de invierno, cuando hay demanda de energía térmica del distrito urbano conectado a la planta. En particular, para la planta propuesta, este proceso comienza en octubre y termina en abril. La calefacción permanece al menos durante 18-20 horas al día.

La red de agua caliente sanitaria suministra de forma continua durante todo el año. Las partes activas de la planta se muestran en la Figura 3.21.

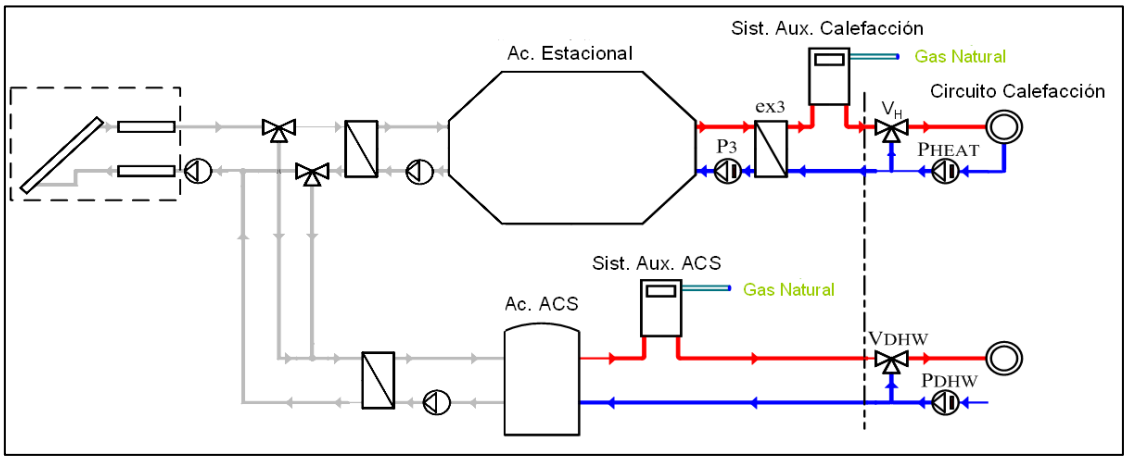


Figura 3.21. Esquema de la planta en la fase de descarga

2.4. Parámetros principales

El proceso de diseño comienza fijando los parámetros clave. A continuación se explican cada uno de ellos.

2.4.1. Demanda anual de calefacción

Uno de los parámetros principales es la demanda anual de calefacción. La obtención de esta demanda se explica en el Anexo II de este proyecto, en la sección 4.

La Figura 3.22 representa la demanda anual de energía para calefacción.

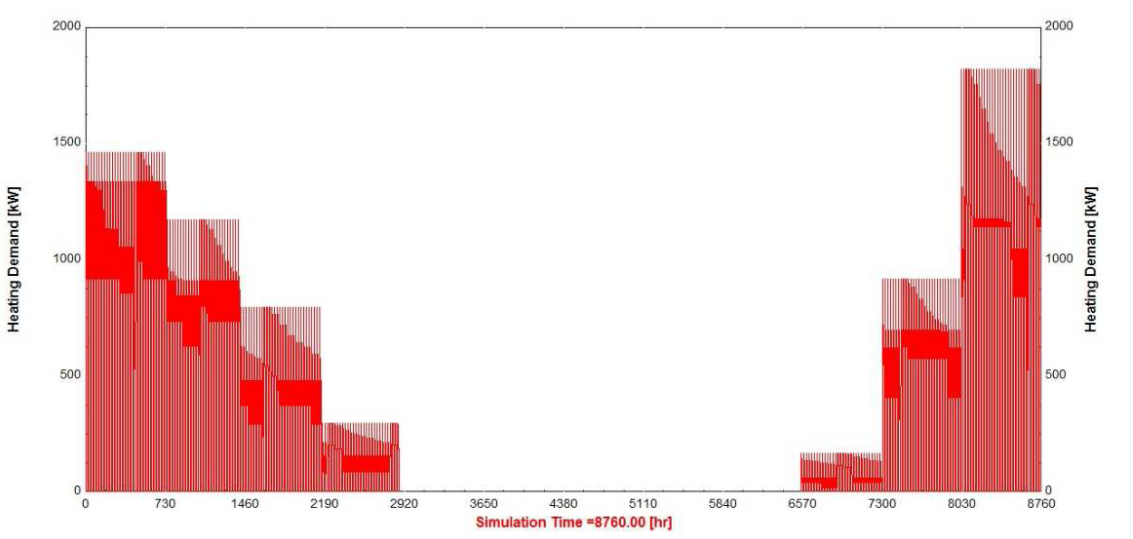


Figura 3.22. Diagrama de la demanda anual de calefacción

Si se observa la Figura 3.22, la demanda de calefacción tiene sus valores máximos durante diciembre y enero, y entre mayo y septiembre no existe demanda de calefacción.

La demanda anual de calefacción para el caso base es

$$HD = 2397{,}5\ \frac{MWh}{año}$$

La máxima potencia térmica requerida por la red de calefacción es

$$Q_{HD,MAX} = 1800\ kW$$

2.4.2. Demanda anual de ACS

Otro parámetro importante es la demanda anual de energía para agua caliente sanitaria. Su determinación se realiza de la misma manera que la demanda de calefacción y se explica con mayor detalle en el Anexo II.

La Figura 3.23 representa la demanda anual de energía para la producción de agua caliente sanitaria.

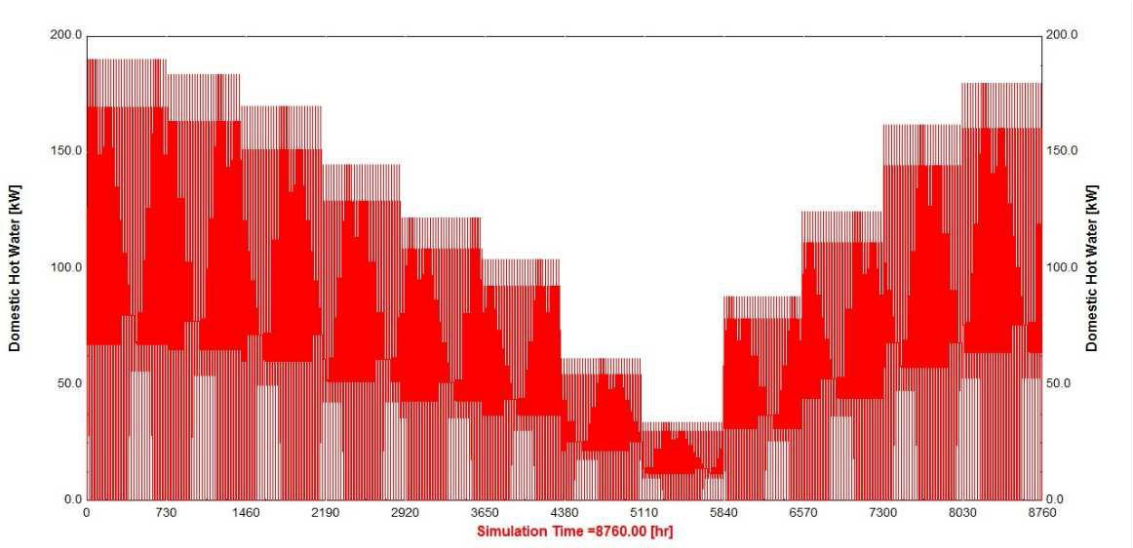


Figura 3.23. Diagrama de la demanda anual de ACS

Si se observa la Figura 3.23, la demanda de ACS tiene valores máximos en diciembre y enero, disminuyendo hasta valores mínimos en julio y agosto.

La demanda anual de energía para la producción de agua caliente sanitaria (DD) es

$$DD = 507{,}5\ \frac{MWh}{\text{año}}$$

Siendo la demanda diaria media

$$DD_{ACS\ diaria} = \frac{507{,}5}{365} = 1{,}39\ \frac{MWh}{día}$$

Mientras que la red de suministro de calefacción es un circuito cerrado, la red de suministro de ACS es un circuito abierto. Por lo que resulta muy importante conocer la temperatura del agua de red.

En el Anexo I, se muestran los valores de la temperatura de red para las distintas ciudades, obtenidas de la Norma Española UNE 94002:2005 [12].

El perfil de la temperatura de red a lo largo del año se representa en la Figura 3.24. Se puede observar que la diferencia máxima entre la temperatura del ACS que llega al usuario y la temperatura de agua de red es de alrededor de 52 °C. Este valor es significativo para el diseño del sistema.

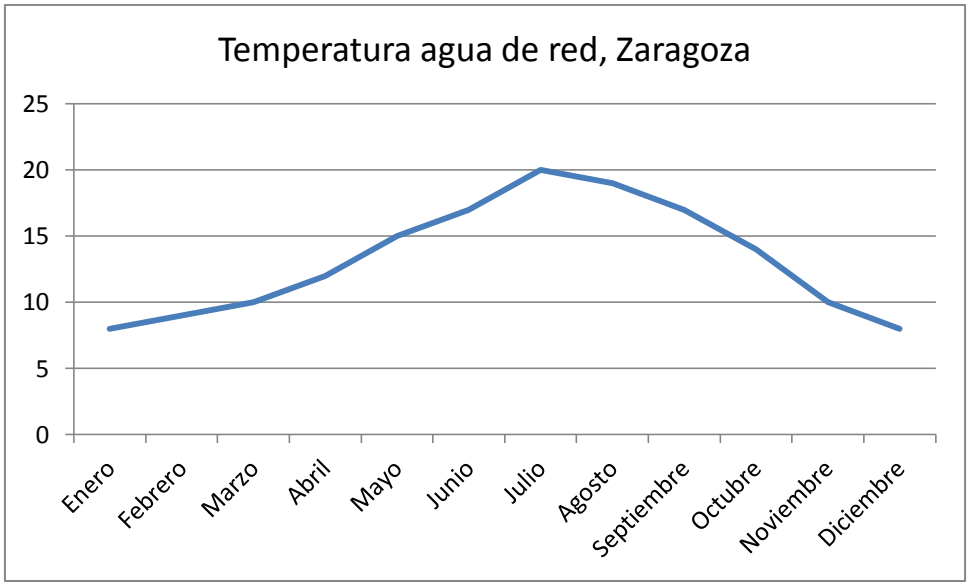


Figura 3.24. Temperatura del agua de red en Zaragoza

En este punto, es posible calcular el volumen de ACS anual requerido.

El valor promedio del calor específico del agua que circula en la red de ACS se supone que es constante igual a

$$Cp_{agua} = 4{,}19\ \frac{kJ}{kg * K}$$

De proyectos anteriores [28] se sabe que el valor promedio del caudal diario de ACS en Zaragoza es 0,0463m ^{3}/día/vivienda.

Por lo tanto el requerimiento de ACS 500 viviendas es

$$\dot{m} = 500 * 0{,}0463 = 23{,}15\ \frac{m^3}{día}$$

La Figura 3.25 representa el consumo promedio diario en cada mes del año y el consumo promedio anual (línea roja) como base para calcular la capacidad del acumulador de ACS.

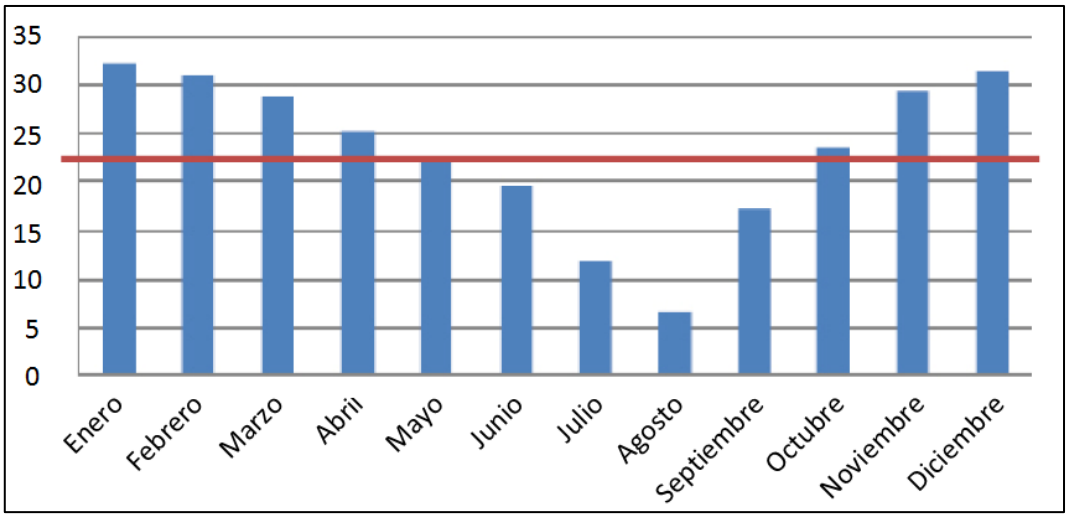


Figura 3.25. Consumo promedio diario, y consumo anual (línea roja) de ACS

2.4.3. Demanda anual térmica total

Por tanto, la demanda anual de ACS y calefacción es

$$GD = HD + DD = 2397{,}5 + 507{,}5 = 2905\ [\frac{MWh}{año}]$$

2.4.4. Radiación solar incidente anual

En el Anexo I y II se explican las distintas fuentes de las que se puede obtener este parámetro. En este caso se obtiene de la base de datos de Energy Plus[19].

El valor anual es

$$GSr = 1582\ [\frac{kWh}{m^2}]$$

2.4.5. Caudal específico del circuito primario

El caudal específico en el circuito primario es una variable definida por unidad de superficie del colector solar. Este valor ha sido asignado basándose en bibliografía [23] y proyectos anteriores [28].

$$Caudal\ especifico = 20\ [\frac{kg}{h * m^2}]$$

2.4.6. Ratio V/A

Este ratio establece la relación entre el volumen del acumulador estacional y el área del campo solar.

$$\frac{V}{A} = \frac{volumen\ del\ acumulador\ estacional}{area\ del\ campo\ solar}\left[\frac{m^3}{m^2}\right]$$

En este trabajo se considerará un valor de este ratio superior a las plantas del norte de Europa, que oscilan entre 1,4 y 2,1 m^3/m^2, utilizando un valor de

$$\frac{V}{A} = 5{,}5\ \frac{m^3}{m^2}$$

Esto se debe a la distinta localización geográfica. De nuevo comparando con las plantas del norte de Europa, al disponerse de mayor radiación solar en España, la instalación captará mayor radiación por m^2. Además, los periodos de calefacción son más cortos en España que en el norte de Europa, por lo que se puede acumular mayor energía. Por todo ello se necesitarán acumuladores mayores.

2.4.7. Ratio A/GD

El ratio A/GD establece la relación entre el área del campo solar y la demanda anual de energía térmica.

$$\frac{A}{GD} = \frac{area\ del\ campo\ solar}{demanda\ energética\ anual}\left[\frac{m^2}{MWh/año}\right]$$

El valor de este ratio en las plantas en funcionamiento instaladas en el norte de Europa oscila entre 1,4 y 2,4 m^2/(MWh/año). Sin embargo, en España los valores de radiación solar y temperatura media ambiente son mayores que en el norte de Europa, lo que permite disminuir el valor de este ratio y obtener mayores fracciones solares con menor área del campo solar.

$$\frac{A}{GD} = 0{,}95\ \frac{m^2}{MWh/año}$$

En el Anexo IV se estudiaran diferentes valores de estos ratios para observar los resultados y la consecuencia económica de los mismos.

2.5. Selección de equipos

En este apartado se describe la selección de los equipos necesarios que constituyen el caso base de estudio.

2.5.1. Fluidos de trabajo

El circuito primario o circuito solar contiene un fluido que es una mezcla de glicol y agua para proteger el campo solar del peligro de congelación en las noches de invierno. Al tener una capacidad calorífica más baja que el agua, también se reduce la necesidad de vaciar el circuito primario en periodos largos en los que no hay demanda energética. Este fluido caloportador está compuesto en un 33% en volumen de glicol y el resto agua. Las características del fluido se han obtenido consultando la documentación existente [27, 32].

$$Densidad\ del\ fluido = \ 1021{,}99\ [\frac{kg}{m^3}]$$

$$Calor\ específico\ del\ fluido = 3{,}84\ [\frac{kJ}{kg * k}]$$

$$Viscosidad\ dinámica\ del\ fluido = 3{,}078\ [\frac{kg}{m * hr}]$$

El resto de circuitos contienen agua como fluido de trabajo, sus características son:

$$Densidad\ del\ agua = \ 980\ [\frac{kg}{m^3}]$$

$$Calor\ especifico\ del\ agua = 4{,}19\ [\frac{kJ}{kg * k}]$$

2.5.2. Colectores solares

El campo solar está formado por los colectores solares planos y las tuberías. En este apartado se propone un procedimiento para el diseño de estos componentes.

- **Tamaño del campo solar**

El área total del campo solar se establece mediante el ratio A/GD, que se explica en el apartado 2.4.7 de este anexo.

Por lo tanto, conociendo el valor de la demanda GD, obtenemos el valor del área del campo solar.

$$A = \ ratio\ \frac{A}{GD} * GD$$

$$A \ = \ 0{,}95\ \frac{m^2}{MWh/\text{año}} * 2905\ \frac{MW}{\text{año}} = 2759{,}75 m^2$$

Si se considera una radiación máxima de 1000 W/m^2 y conociendo el área total del campo solar, obtenemos los kW de energía que inciden en los colectores

$$Q_{sf,in} = 1000 \frac{W}{m^2} \cdot 2759{,}75 m^2 \approx 2760\ kW$$

Asumiendo una eficiencia de los colectores de un 50 %, la energía solar captada es

$$Q_{sf} = 0{,}5 \cdot 2760 m^2 = 1380\ kW$$

La Figura 3.26 representa los flujos de energía en el del campo solar

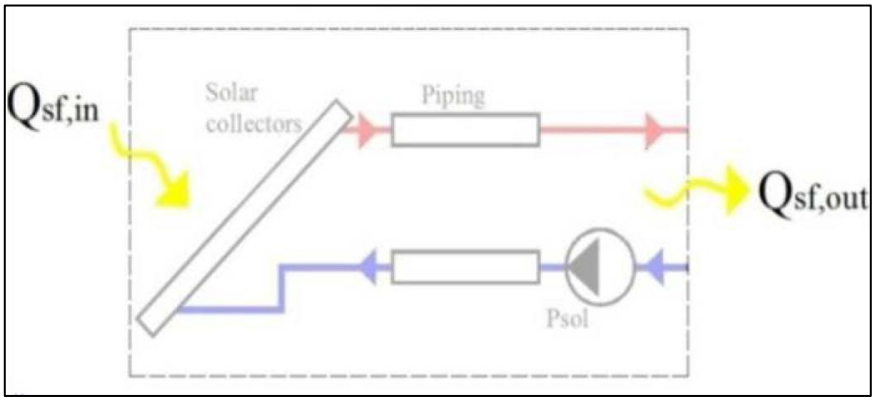


Figura 3.26. Flujo de energía en el campo solar

El flujo de masa que circula por el circuito solar primario se calcula multiplicando el caudal por el área del campo solar

$$\dot{m} = 20 \frac{kg}{h \cdot m^2} * 2760 m^2 = 55200 \frac{kg}{h}$$

- **Tipo de colector solar**

Los colectores solares son del tipo ARCON HT. Esta elección ha estado motivada principalmente por las características de los colectores. Según la documentación existente sobre grandes campos de colectores solares orientados a la acumulación estacional, se prefieren colectores de gran superficie (>10 m^2) ya que se ahorra tanto en la conexión entre colectores como un menor precio del m^2 instalado. Véase la Figura 3.27.

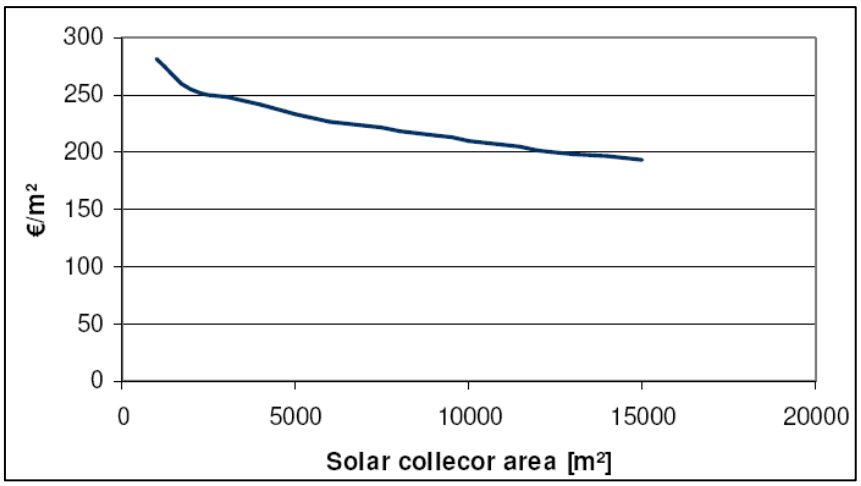
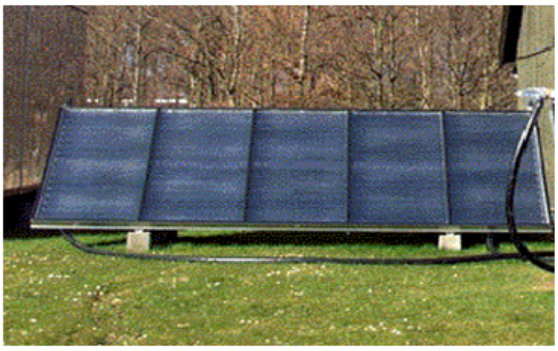


Figura 3.27. Evolución de los costes específicos según los m^2 de superficie de colectores instalados

Además, hay varias plantas trabajando con este modelo de colector en Europa, especialmente en Alemania, Suecia y Dinamarca, donde las tecnologías solares se han desarrollado desde los años 80.

Las principales características de los colectores solares ARCON HT se puede ver en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Ficha técnica del colector ARCON HT [8]



(according to EN12975 Annex E)

Collector identification	
Manufacturer	ARCON Solvarme A/S
Model	HT-SA
Type	Flat plate collector
Serial No.	04 4949

Dimensions	
Gross length	2.275 m
Gross width	5.967 m
Gross height	0.140 m
Gross area	13.575 m²
Aperture area	12.569 m²
Absorber area	12.495 m²

General data	
Weight	250 kg
Heat transfer fluid	Water-Glycol
Flowrate	1500 - 2000 l/h
Pressure drop at 1500 l/h	3815 Pa
Working pressure	4 bar

Efficiency based on aperture area	
η_0	0.797
a_1	1.76
a_2	0.0323

Efficiency based on absorber area	
η_0	0.802
a_1	1.77
a_2	0.0325

Heat power output per collector

$T_m - T_a$	Global irradiance G		
	G = 400 W/m²	G = 700 W/m²	G = 1000 W/m²
10 K	3'747 W	6'753 W	9'759 W
30 K	2'979 W	5'986 W	8'992 W
50 K	1'887 W	4'894 W	7'900 W

Para favorecer la acumulación térmica estacional se elige un caudal bajo (low flow), concretamente 20 kg/h·m^2 y la disposición en serie del máximo número de colectores, lo que favorece la transferencia de calor y la capacidad para acumularlo.

La distribución de partida de los colectores solares es en series de uno conectados en paralelo. La Figura 3.28 muestra las posibles configuraciones.

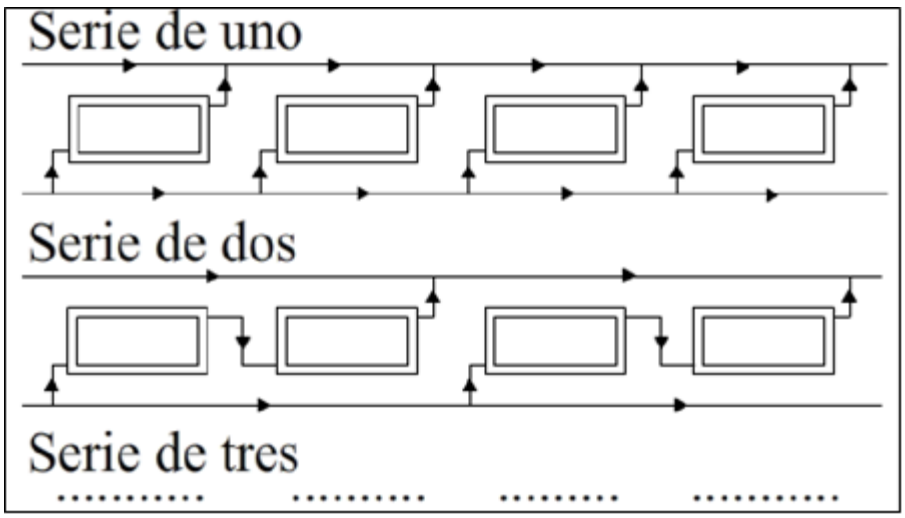


Figura 3.28. Distribución de los colectores según el número en serie

Un caudal bajo también posibilita una reducción del diámetro de tubería, lo que implica menor superficie de transferencia para las perdidas térmicas. Además, al tener un caudal menor que otros sistemas similares, se reduce la perdida de carga en los conductos como los requerimientos eléctricos del sistema de bombeo. En la Figura 3.29 se puede observar cómo se reduce la perdida de carga cuando se disminuye el caudal que pasa por el colector solar.

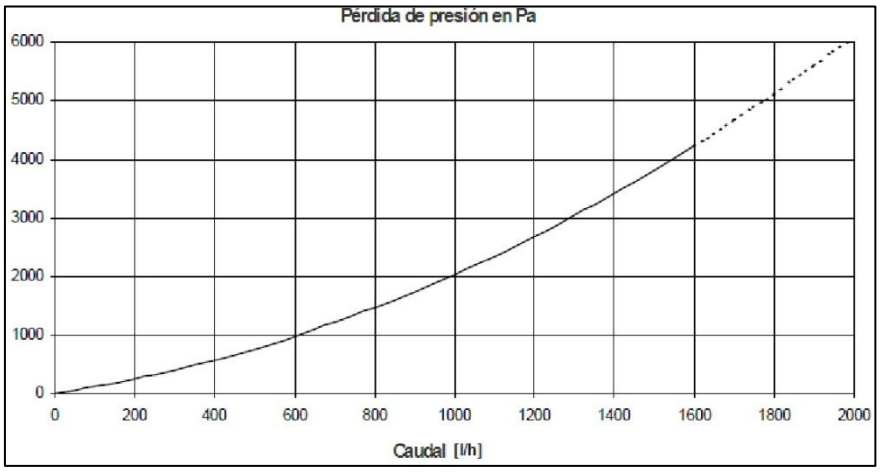


Figura 3.29. Perdida de presión producida en el colector solar ARCON HT según el caudal circulante [33]

Sin embargo, al elegir un caudal bajo aumentan las pérdidas de rendimiento de los colectores ya que aumenta la temperatura media del fluido. Especialmente si los colectores se conectan en serie, el último colector conectado tiene un rendimiento muy bajo. En la Figura 3.30 se puede comprobar como el rendimiento del colector disminuye si la temperatura media aumenta.

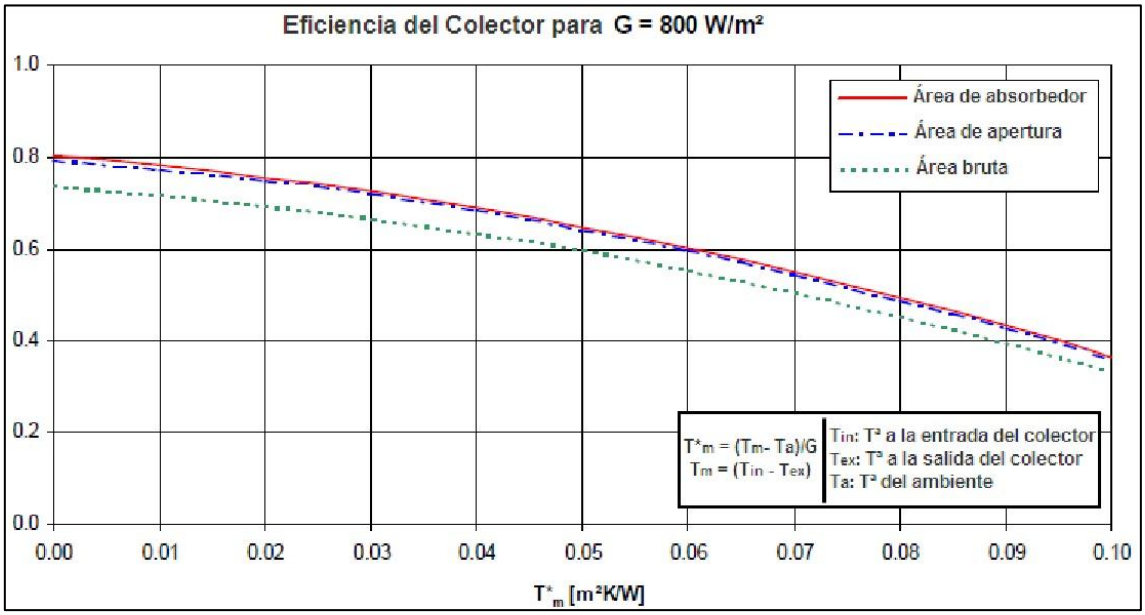


Figura 3.30. Curva de eficiencia del colector solar ARCON HT [33]

Finalmente, los datos a introducir en el modelo de colector solar de TRNSYS y para posteriores cálculos se recogen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Parámetros del colector solar ARCON HT

Modelo	**ARCON HT-SA**
Nº de colectores en serie	1
Ratio A/GD [m^2/(MWh/año)]	0,95
Número de colectores	204
Inclinación	50º
Azimuth	0º
a0	0,738
a1	1,63 W/m^2K^2
a2	0,0299 W/m^2K^2
Área colectora	13,575 m^2
Caudal de test	1499,9 l/h
Flujo específico	20 kg/(h·m^2)

2.5.3. Acumulación estacional

El tamaño del acumulador estacional se establece por el ratio V/A (como se define en el apartado 2.4.8) y por el tamaño del campo solar A. El volumen del acumulador estacional V resulta

$$V = ratio\frac{V}{A} * Area\ campo\ solar$$

$$V = 5{,}5\ \frac{m^3}{m^3} * 2759{,}75\ m^2 = 15178{,}625\ m^3$$

Este valor afecta directamente a los costos de construcción y mantenimiento de los edificios y a la fracción solar. Como se aprecia en la Figura 3.31, el acumulador de tanque de agua es uno de los más caros de los métodos de acumulación estacional [25]. Esto se debe a las grandes dimensiones del depósito, la complejidad de construcción, los materiales de aislamiento y los trabajos de excavación a realizar para su ubicación y enterrado.

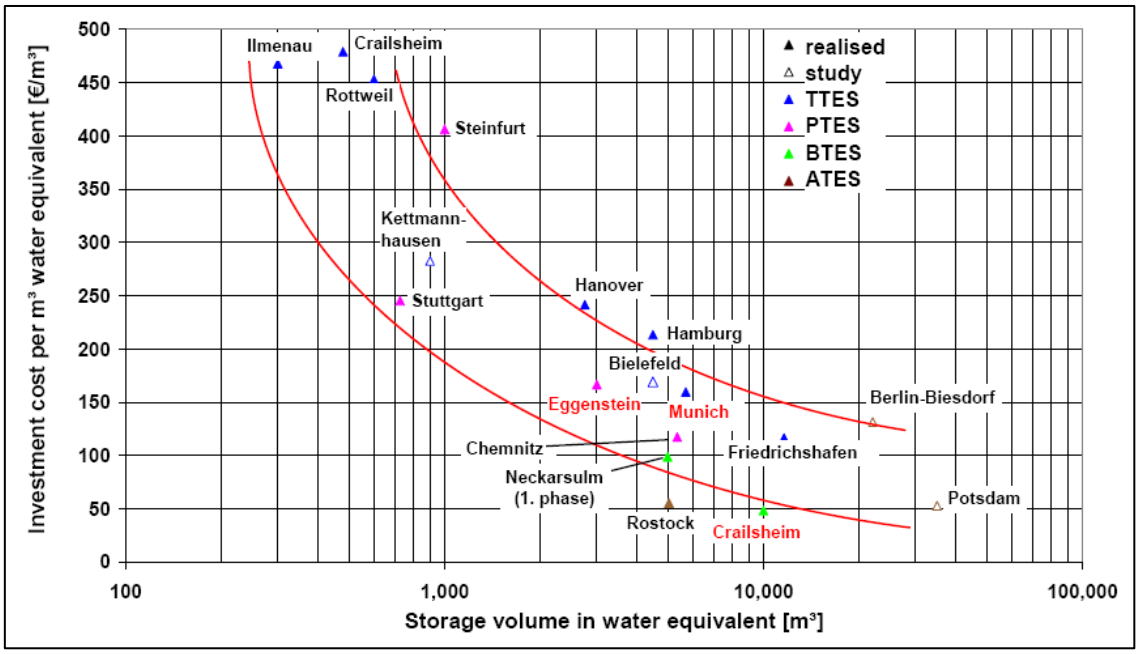


Figura 3.31. Costes de inversión de acumuladores estacionales en Alemania [34]

Se escoge este sistema de acumulación debido a la ya amplia utilización de esta tecnología y la gran adaptabilidad a cualquier tipo de suelo. La ventaja principal de este tipo de acumulación respecto a otros sistemas es la de poder utilizar el agua como medio acumulador al tener una capacidad de carga y descarga térmica elevada debido a su alto calor especifico, favoreciendo los procesos de intercambio térmico. Otra ventaja añadida es el enterramiento, que favorece el aislamiento térmico y también elimina el posible impacto visual.

La forma ideal de un acumulador estacional es la esfera, pero por razones constructivas, la forma más común suele ser una combinación de un cilindro y dos conos truncados.

Las dimensiones del depósito deberían ajustarse a una relación de aspecto H/D igual a 1. Un acumulador con la relación H/D > 1 producirá una menor mezcla de temperaturas que un acumulador con forma más robusta.

Por razones constructivas el criterio que se suele imponer para tanques enterrados es H/D < 1, por la influencia del coste de excavación frente a profundidad.

En las Figuras 3.32 a 3.34 se muestra el proceso de construcción de un acumulador estacional en Munich. La base del depósito fue construida in situ, mientras que el techo y paredes son elementos prefabricados que contienen una capa de acero inoxidable en su superficie interior. Este mismo acero sirve a su vez como molde para dar forma a las planchas de hormigón finales. La unión entre los elementos prefabricados se realiza mediante cables pretensados de acero y las planchas interiores de acero inoxidable se sueldan para asegurar estanqueidad.

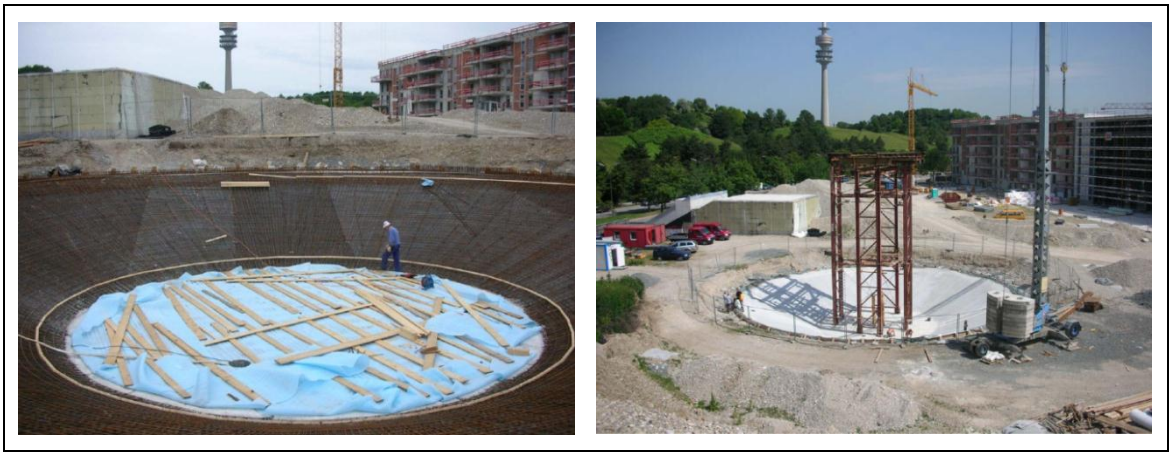


Figura 3.32. Primera fase de la construcción en Munich. Base y estructura [8]

Figura 3.33. Segunda fase de la construcción en Munich. Paredes y techo [8]

Figura 3.34. Tercera fase de la construcción en Munich. Aislamiento y enterrado [8]

El material predominante para su construcción es hormigón armado, cubierto por una capa de acero inoxidable que asegura la estanqueidad del depósito. El techo del depósito suele ser auto-portante, aproximándose a una forma cóncava, evitando la construcción de pilares interiores que reducirían el volumen del depósito. Se aísla térmicamente del terreno con un recubrimiento de unos 20-70 centímetros de lana mineral. Para asegurar que este aislamiento no se humedece se añade también una

cobertura de polietileno de alta densidad o de PVC. En las Figuras 3.35 y 3.36 se pueden apreciar los aislamientos de la parte inferior y de las paredes del acumulador en las distintas fases de la construcción.

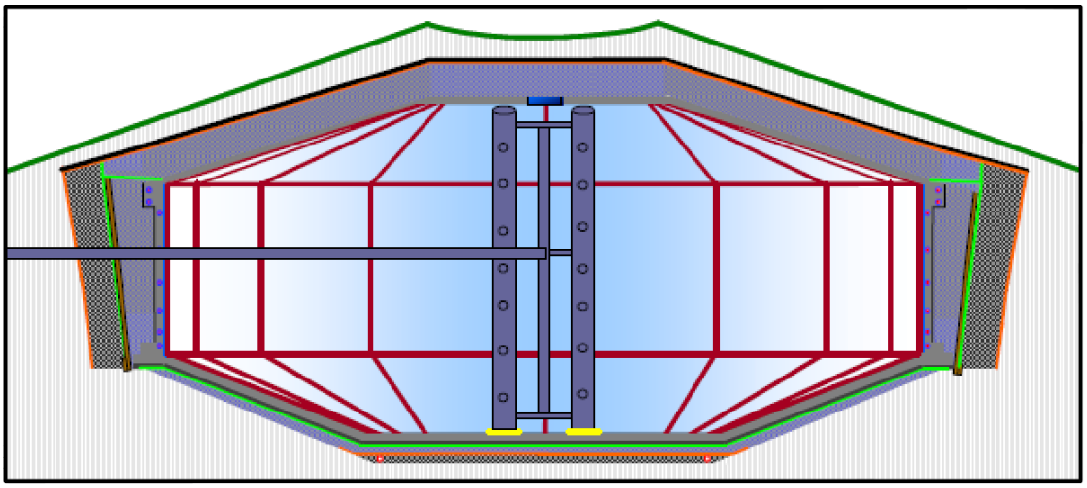


Figura 3.35. Esquema del acumulador

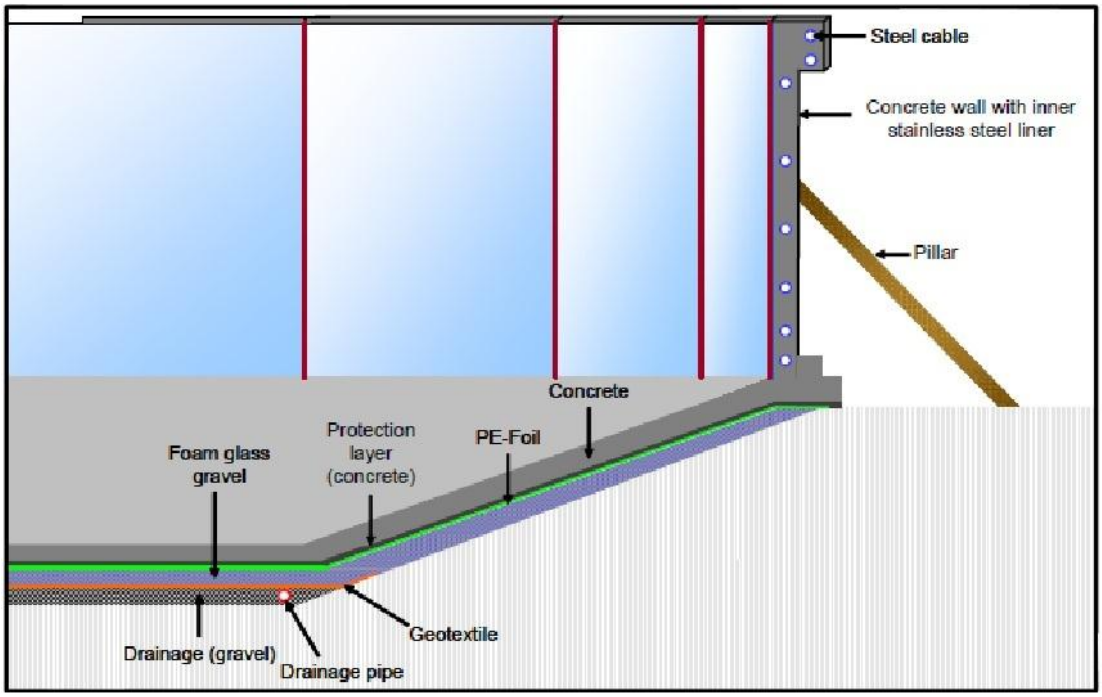


Figura 3.36. Detalles de los aislamientos empleados

Las capas de aislamiento suelen ponerse como mínimo en el techo del tanque y en las paredes. El acumulador también se equipa en su interior de un dispositivo que aumenta el grado de estratificación de temperaturas y de este modo también aumentan las posibilidades de uso del calor acumulado.

Aunque en muchas instalaciones la base del depósito no se aísla térmicamente, se ha demostrado en estudios posteriores [27] que las pérdidas son importantes. En la Figura 3.37 se muestran las perdidas térmicas a través de su superficie, para un acumulador de 2795 m^3.

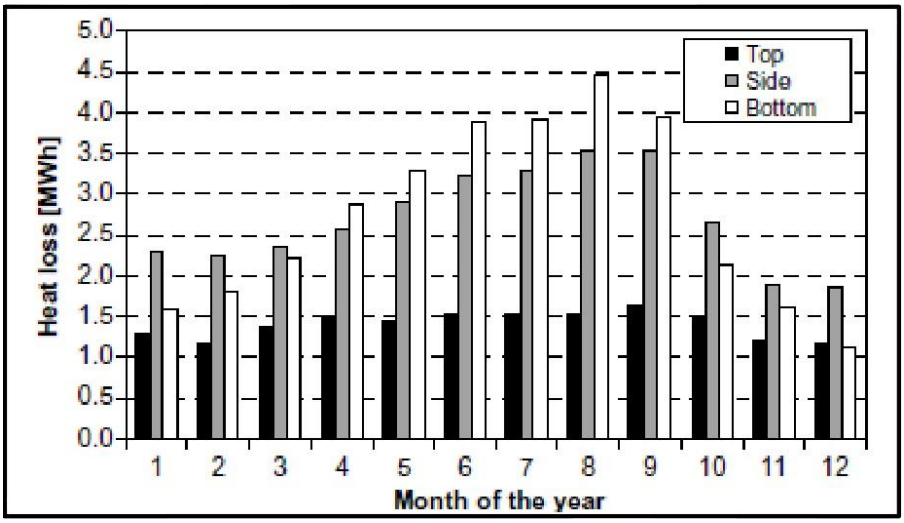


Figura 3.37. Pérdidas térmicas a través de las fronteras del depósito [27]

Las pérdidas totales pueden alcanzar altos porcentajes de la energía térmica que entra en el acumulador, quedando el restante para el abastecimiento de la demanda. La caracterización de los aislamientos se basa en conocer las conductividades de las paredes del tanque, del aislamiento y del terreno, para poder obtener el coeficiente global de transferencia de calor. En la documentación existente [27] se dan valores de 0,1 W/(m^2·K) para el aislamiento, 2,78 W/(m^2·K) para el terreno y un coeficiente global de transferencia de 0,2 W/(m^2·K).

Por último, en la Tabla 3.3 se presentan las principales características del sistema con acumulación estacional en Munich (Alemania). Los costes de inversión y su reparto se presentan en la Figura 3.38, donde se observa cómo los costes de construcción y de aislamiento tienen un gran impacto en la inversión total.

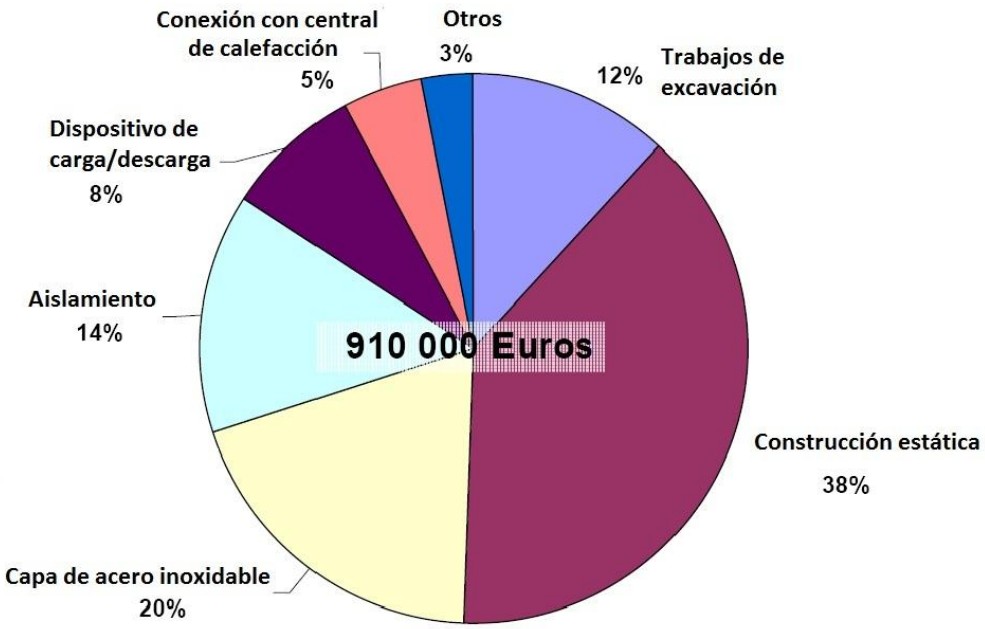


Figura 3.38. Coste de construcción del acumulador de Munich [8]

Tabla 3.3 Datos del sistema de acumulación estacional en Munich [8]

Área de servicio	300 viviendas
Área a calentar	24800 m^2
Área campo de colectores	2900 m^2 de colectores planos
Volumen de almacenamiento	5700 m^3 de agua caliente
Demanda total de calor	2300 MWh/año
Energía solar aportada a la red	1080 MWh/año
Fracción solar	47 %
Coste del sistema solar	2,9 ·10^6 €
Coste del calor solar	0,24 €/kWh

Los datos que definen nuestro acumulador estacional se presentan en la Tabla 3.4

Tabla 3.4. Datos del sistema de acumulación estacional para el caso base

Acumulador térmico estacional	
Tipo	Tanque de agua caliente
Ratio V/A	5,5 m^3/m^2
Tª máxima de operación	99 ºC
Volumen de almacenamiento	15178,65 m^3
Ratio H/D	0,6
H	19090 mm
D	31817 mm
Coeficiente de pérdidas térmicas	0,125 W/ m^2K

2.5.4. Acumulador de ACS

Normalmente, los tanques de agua caliente sanitaria están construidos de acero inoxidable y cubiertos por una capa aislante. Los tanques están diseñados para tener una estratificación de la temperatura interna, aumentando su potencial de almacenamiento de calor.

El tamaño del tanque de ACS se ha establecido mediante el ratio V/DD, y la demanda media diaria de ACS (DD_{ACS}), descrita en el apartado 2.4.2.

Por lo que el volumen del acumulador de ACS resulta

$$V_{ACS} = ratio \frac{V}{DD} * DD_{ACS\ diaria}$$

$$V_{ACS} = 34 \frac{m^3}{MWh/dia} * 1{,}3904 \frac{MW \cdot h}{dia} = 47{,}28\ m^3$$

El volumen seleccionado es de 47,28 m^3, suficiente para atender la demanda de dos días. Actualmente no se encuentran tanques de agua caliente sanitaria con este volumen, por lo tanto se deben utilizar varios tanques para alcanzar el volumen

requerido. Las características del aislamiento del tanque se han definido de acuerdo al reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [1]. La referencia [1] propone un valor de conductividad térmica de 0,04 W / mK, con un espesor en torno a 90 mm. El coeficiente de transferencia de calor correspondiente es de 0,44 W/m^2K. En la Tabla 3.5 se muestran los parámetros fundamentales del tanque de agua caliente sanitaria.

Tabla 3.5. Datos del sistema de acumulación estacional para el caso base

Acumulador ACS	
Ratio V/DD	34
Tª máxima de operación	70 ^oC
Volumen de almacenamiento	47,28 m^3
Ratio H/D	1,5
H	5135 mm
D	3423 mm

2.5.5. Intercambiadores de calor

En la instalación del caso base existen tres intercambiadores de calor:

- ex1 transfiere la energía del circuito primario o solar al acumulador estacional.

- ex2 transfiere la energía del circuito primario o solar al acumulador de ACS.

- ex3 transfiere la energía desde el acumulador estacional a la red de distribución.

Mediante el uso de los datos proporcionados por el fabricante Sedical [25], se realizan las evaluaciones técnicas y económicas de los intercambiadores.

2.5.5.1. Intercambiadores ex1 y ex2

El sistema puede funcionar en tres modos diferentes, como se explica en el apartado anterior. La configuración de "sólo calefacción" y "sólo ACS" suministran la totalidad de la energía solar al acumulador estacional o al acumulador de ACS. Por esta razón, la energía térmica que se transfiere a través de ex1 y ex2 es la misma y por lo tanto serán intercambiadores exactamente iguales.

La etapa de diseño requiere en primer lugar el cálculo del caudal de diseño y de la energía transferida por el campo solar a circuitos secundarios. El método ε-NTU se utiliza para calcular los parámetros fundamentales que se suministrarán al software de Sedical para dimensionar el intercambiador.

Conociendo el valor del calor captado por los colectores solares Q y suponiendo que este es aproximadamente el mismo que el transferido en el lado caliente del intercambiador, podemos calcular el valor del salto térmico del lado caliente ΔT_c, con Q = 1380 kW.

$$Q \approx \dot{m}_c \cdot c_{p_c} \cdot \Delta T_c$$

$$\Delta T_c = \frac{Q}{m_c cp_c}$$

$$\Delta T_c = \frac{1380\ kW}{15{,}30\left[\frac{kg}{s}\right] \cdot 3{,}84\ [\frac{kJ}{kgK}]} = 23{,}49\ K$$

Conocidos el valor de la eficiencia de ε = 0,95 y el valor del salto térmico en el lado caliente ΔT_c = 23,49 K se calcula el valor de Δt con la expresión de la eficiencia

$$\varepsilon = \frac{T_{e,c} - T_{s,c}}{T_{e,c} - T_{e,f}} = \frac{T_{e,c} - T_{s,c}}{T_{e,c} - (T_{s,c} - \Delta t)} = \frac{\Delta T}{\Delta T + \Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta T(1-\varepsilon)}{\varepsilon} = \frac{23{,}49(1-0{,}95)}{0{,}95} = 1{,}24\ K$$

Si además, se tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

a) El intercambiador de calor es adiabático.

b) La capacidad calorífica en ambos lados es la misma.

$$\dot{m}_c \cdot c_{p,c} = \dot{m}_f \cdot c_{p,f}$$

c) El salto térmico de temperatura en el lado frio es la misma que en el lado caliente

$$\Delta T_c = \Delta T_f = \Delta T$$

d) La temperatura máxima en el lado caliente es igual a 120 °C.

Siendo:

$T_{e,c}$: Temperatura de entrada del lado caliente del intercambiador de calor.
$T_{s,c}$: Temperatura de salida del lado caliente del intercambiador de calor.
$T_{s,f}$: Temperatura de salida del lado frio del intercambiador de calor.
m_c: Caudal del lado caliente del intercambiador de calor.
m_f: Caudal del lado frio del intercambiador de calor.
$c_{p,c}$: Calor especifico del fluido del lado caliente.
$c_{p,f}$: Calor especifico del fluido del lado frio.
ΔT_c: Salto térmico de temperaturas en el lado caliente.
ΔT_f: Salto térmico de temperaturas en el lado frio.

Por tanto se consigue que el único parámetro independiente para calcular las temperaturas de intercambio sea una temperatura del intercambiador de calor.

En las Figuras 3.39 y 3.40 se representa un esquema de las temperaturas y de los saltos térmicos que se producen en el intercambiador.

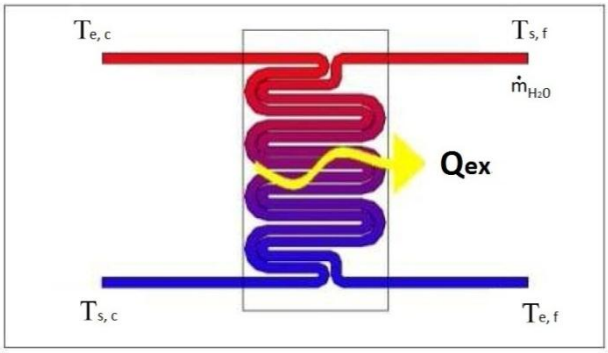


Figura 3.39. Esquema de temperaturas en los intercambiadores ex1, ex2

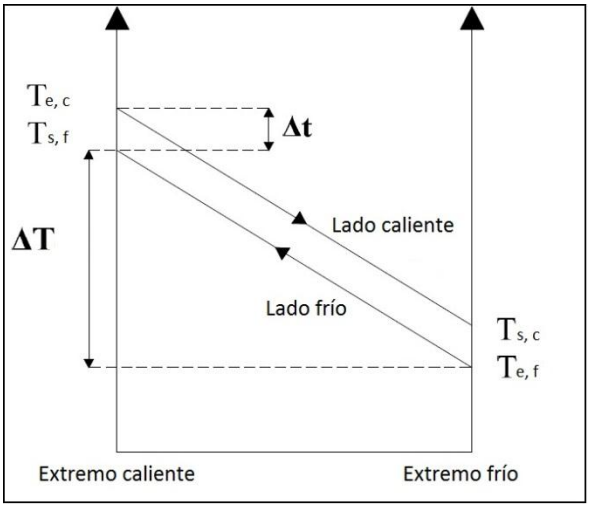


Figura 3.40. Esquema de los saltos térmicos en los intercambiadores ex1, ex2

Tomando como temperatura del lado caliente del intercambiador $T_{e,\ c}$ = 120 ^{0}C ya podemos saber el resto de temperaturas de los lados del intercambiador. Con el programa de cálculo Sedical [25] se calcula el resto de parámetros, en la Tabla 3.6 se muestran los datos a introducir en el programa Sedical.

Tabla 3.6. Parámetros de los intercambiadores ex1, ex2

	Lado caliente	**Lado frío**
Temperatura de entrada [^{o}C]	120	95,33
Temperatura de salida [^{o}C]	96,56	118,77
Caudal kg/s	15,30	-------
Calor [kW]	1380	

La hoja de las características técnicas del intercambiador obtenido se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Hoja de datos técnicos para los intercambiadores ex1, ex2

SEDICAL - INTERCAMBIADOR DE PLACAS UFP-157 / 241 MH 51 - IS - PN10

Datos Generales		**Caliente**	**Frio**
Fluido		Etilenglicol 33%	Agua
Potencia de intercambio	kW	1384.7	
Caudal	l/h	54100.3	52825.6
Temperatura entrada	ºC	120.0	95.3
Temperatura salida	ºC	96.6	118.8
Perdida de carga	kPa	49.2	46.8
Propiedades termodinámicas		**Caliente**	**Frio**
Peso especifico	kg/m³	1018.89	951.83
Calor especifico	kJ/kg×ºK	3.86	4.23
Conductividad térmica	W/m×ºK	0.49	0.68
Viscosidad media	mPa×s	0.51	0.33
Viscosidad pared	mPa×s	0.51	0.33
Datos técnicos del intercambiador			
Dif. temperatura logarítmica media	ºC	1.23	
Numero de placas		241	
Agrupamiento		2 x 60 / 2 x 60	
Tipo / porcentaje		MH 51	
Superficie de intercambio efectiva	m²	286.80	
Coef. global de transmisión (sucio / limpio)	W/m²×ºK	3912.4 / 4081.6	
Sobredimensionamiento	%	4.32	
Factor de ensuciamiento	m²×ºK/kW	0.0105	
Presión de trabajo / prueba	bar	10.0 / 14.3	
Temperatura máxima de trabajo	ºC	125	
Materiales, dimensiones y pesos			
Material de las placas / grosor	mm	AISI 316 / 0.5 mm	
Material de las juntas		Nitrilo HT (sin pegamento)	
Material de las conexiones circ. caliente		Forro goma	
Material de las conexiones circuito frio		Forro goma	
Diámetro de las conexiones		DN 150	
Situacion de las conexiones (Caliente / frio)		B4 - F4 / F3 - B3	
Tipo de bastidor		IS - PN10	
Largo, alto y ancho del bastidor	mm	2100 / 2654 / 2626	
Peso vacio	kg	2626	
Precios y plazos			
Precio unitario tarifa 2007	Euros	54297.00	
Cantidad	Unidades	1	
Precio total tarifa 2007	Euros	54297.00	
Plazo de entrega		De 8 a 16 semanas a confirmar	
Transporte		Excluido	
Forma de pago		La habitual con Vds.	
Validez de la oferta		2 semanas	
Fecha máxima para recepción del pedido		01/08/2007	

2.5.5.2. Intercambiador ex3

El intercambiador ex3 se calcula por el mismo procedimiento y con las mismas hipótesis que los intercambiadores ex1 y ex2.

Sin embargo hay que tener en cuenta que las condiciones para el cálculo de este intercambiador se producen en el límite de encendido de la caldera auxiliar de calefacción. Estas condiciones son la temperatura de entrada en el lado frío $T_{e,\,f}$ = 35 °C y la temperatura de salida en el lado frío $T_{s,\,f}$ = 50 °C.

Con esto se calcula Δt = 0.78947 K y el resto de temperaturas.

La Tabla 3.8 contiene los parámetros principales del intercambiador de calor ex3.

Tabla 3.8. Parámetros del intercambiador ex3

	Lado caliente	**Lado frío**
Temperatura de entrada [^{o}C]	50,789	35
Temperatura de salida [^{o}C]	35,78	50
Caudal kg/s	28,63	-----
Calor [kW]	1800	

Con el programa de cálculo Sedical [25] se calcula el resto de parámetros, la hoja de las características técnicas del intercambiador ex3 se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Hola de datos técnicos para el intercambiador ex3

SEDICAL - INTERCAMBIADOR DE PLACAS UFP-157 / 487 MH 66 - IS - PN10			
Datos Generales		**Caliente**	**Frio**
Fluido		Agua	Agua
Potencia de intercambio	kW	1800.0	
Caudal	l/h	104356.3	104323.1
Temperatura entrada	°C	50.8	35.0
Temperatura salida	°C	35.8	50.0
Perdida de carga	kPa	48.8	49.6
Propiedades termodinámicas		**Caliente**	**Frio**
Peso especifico	kg/m³	990.81	991.11
Calor especifico	kJ/kg×°K	4.18	4.18
Conductividad térmica	W/m×°K	0.63	0.63
Viscosidad media	mPa×s	0.63	0.63
Viscosidad pared	mPa×s	0.63	0.63
Datos técnicos del intercambiador			
Dif. temperatura logarítmica media	°C	0.79	
Numero de placas		487	
Agrupamiento		2 x 122 / 2 x 121	
Tipo / porcentaje		MH 66	
Superficie de intercambio efectiva	m²	582.00	
Coef. global de transmisión (sucio / limpio)	W/m²×°K	3919.8 / 4068.7	
Sobredimensionamiento	%	3.79	
Factor de ensuciamiento	m²×°K/kW	0.0093	
Presión de trabajo / prueba	bar	10.0 / 14.3	
Temperatura máxima de trabajo	°C	110	
Materiales, dimensiones y pesos			
Material de las placas / grosor	mm	AISI 316 / 0.5 mm	
Material de las juntas		Nitrilo HT (sin pegamento)	
Material de las conexiones circ. caliente		Forro goma	
Material de las conexiones circuito frio		Forro goma	
Diámetro de las conexiones		DN 150	
Situacion de las conexiones (Caliente / frio)		B4 - F4 / F3 - B3	
Tipo de bastidor		IS - PN10	
Largo, alto y ancho del bastidor	mm	4100 / 2654 / 4100	
Peso vacio	kg	4100	
Precios y plazos			
Precio unitario tarifa 2007	Euros	103196.00	
Cantidad	Unidades	1	
Precio total tarifa 2007	Euros	103196.00	
Plazo de entrega		De 8 a 16 semanas a confirmar	
Transporte		Excluido	
Forma de pago		La habitual con Vds.	
Validez de la oferta		2 semanas	
Fecha máxima para recepción del pedido		01/08/2007	

2.5.6. Bombas

En la instalación existen 4 bombas:

- P_{SOL}: es la bomba que hace circular el líquido en el circuito solar primario, llevando el líquido a los intercambiadores ex1 y ex2. Es de caudal constante.

- P_1: hace circular el agua en el circuito de carga aguas arriba del acumulador estacional. Es de caudal constante.

- P_2: hace circular el agua en el circuito de carga aguas arriba de la del acumulador de ACS. Es de caudal constante.

- P_3: hace circular el agua en el circuito de descarga, aguas abajo del circuito del acumulador estacional. Es de caudal variable.

Estos componentes están diseñados utilizando el software de diseño "Programa Técnico Sedical" [25].

2.5.6.1. Bomba Psol

El flujo de masa (calculado en el apartado 2.5.2) es

$$\dot{m}_{Psol} = \dot{m}_{sol} = 55200\ \frac{kg}{h} = 53{,}914\ \frac{m^3}{h}$$

Las pérdidas de presión en el circuito solar primario son evaluadas en el peor de los casos, que incluye los dos intercambiadores de calor operando al mismo tiempo. En este caso la caída de presión total incluye las pérdidas debidas a los intercambiadores de calor ex1 y ex2, a las tuberías y a los colectores solares. Los valores individuales son las siguientes:

$$\Delta P_{ex1} = 49{,}2\ kPa$$

$$\Delta P_{ex2} = 49{,}2\ kPa$$

$$\Delta P_{tuberías} = 0{,}338\ kPa$$

$$\Delta P_{colectores} = 200\ kPa$$

El modelo técnico de la bomba se selecciona usando el software de diseño proporcionado por el fabricante. Los detalles se resumen en la Figura 3.41.

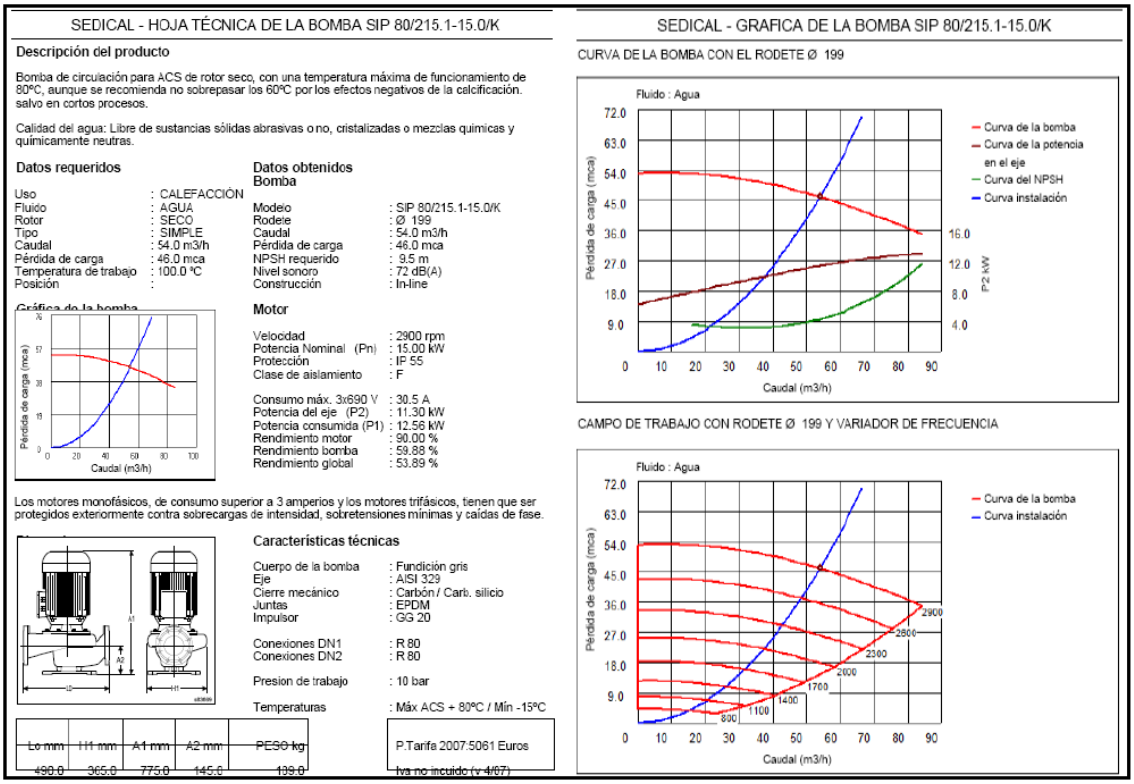


Figura 3.41. Datos técnicos para la bomba Psol

2.5.6.2. Bombas P1 y P2

Sirven a los circuitos de carga del acumulador estacional y del acumulador de agua caliente sanitaria, respectivamente. Las pérdidas de presión en estos circuitos son principalmente las provocadas por los intercambiadores de calor ex1 y ex2 que son iguales. Por lo tanto las bombas P1 y P2 serán las mismas.

El mismo flujo másico fluye a través de ambos circuitos. Su valor es igual a

$$\dot{m}_{P1} = \dot{m}_{P2} = 50{,}497 \ \frac{m^3}{h}$$

También en este caso la pérdida de presión es proporcionada en las hojas de datos técnicos del intercambiador de calor

$$\Delta \mathrm{P} \ = \ 46{,}8 \ kPa$$

La bomba ha sido seleccionada usando el software del fabricante. Sus características se resumen en la Figura 3.42.

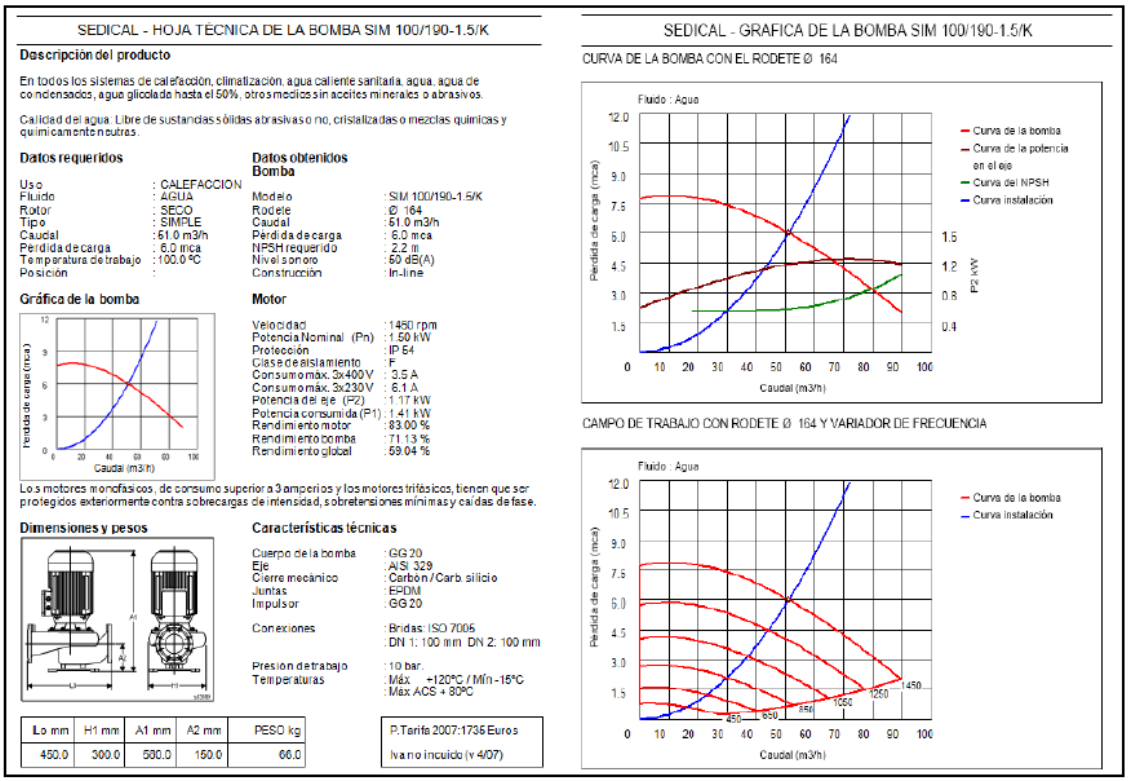


Figura 3.42. Datos técnicos para las bombas P1 y P2

2.5.6.3. Bomba P3

Sirve al circuito de descarga del acumulador estacional. La principal fuente de pérdida de presión en este circuito es el intercambiador de calor ex3. El caudal de diseño es

$$\dot{m}_{P3} = 103{,}102\ \frac{m^3}{h}$$

También en este caso la pérdida de presión se obtiene de la hoja de datos técnicos del intercambiador ex3. Su valor es

$$\Delta \mathrm{P} \ = \ 48{,}8\ kPa$$

La bomba ha sido seleccionada con el software del fabricante. Sus características se resumen en la Figura 3.43.

SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SE 80/12

Descripción del producto

Bomba simple de rotor húmedo para calefación y climatización, con variador de frecuencia y sonda de presion incorporada con display de parametrización.

Calidad del agua: Libre de sustancias sólidas abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

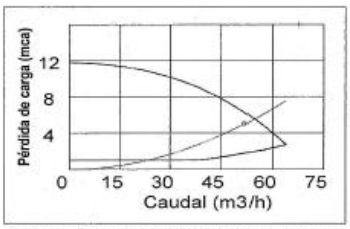
Datos requeridos

Uso	: CALEFACCIÓN
Fluido	: AGUA
Rotor	: HÚMEDO
Tipo	: SIMPLE
Caudal	: 52.0 m3/h
Pérdida de carga	: 5.0 mca
Temperatura de trabajo	: 90.0 °C
Posición	:

Datos obtenidos
Bomba

Modelo	: SE 80/12
Caudal	: 52.0 m3/h
Pérdida de carga	: 5.0 mca
Presión de aspiración	: 10.0 Hmin (m)
Nivel sonoro	: 0 dB(A)
Construcción	: In-line

Gráfica de la bomba



Motor

Revoluciones	: 2820 rpm
Tensión de alimentación	: Monofásica
Potencia consumida (P1)	: 1.75 kW
Protección	: IP 44
Aislamiento	: Clase H
Intensidad	: 9.23 A

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

Dimensiones y pesos

Características técnicas

Cuerpo de la bomba	: Fundición 200
Rodete	: Tecnopolímero B
Eje	: Acero inoxidable
Caja motor	: Aluminio fundido
Brida de cierre	: Fundición 200
Bujes	: Carbón EC 941
Conexiones	: DN 65
Presión de trabajo	: 10 bar
Temperaturas	: Máxima 110ºC / Mínima -10ºC

Figura 3.43. Datos técnicos para la bomba P3

En la Tabla 3.10 se muestran las bombas elegidas y un resumen de sus características.

Tabla 3.10. Parámetros de las bombas

	Psol
Modelo	SIP 80/215.1-15.0/K
Caudal [m^3/s]	54
Potencia [kW]	14,99
Pérdidas de presión [kPa]	450
Coste [Euros]	5061
	P1/P2
Modelo	SIP 100/190.1.5/K
Caudal [m^3/s]	51
Potencia [kW]	1,41
Pérdidas de presión [kPa]	52,58
Coste [Euros]	1735
	2 x P3
Modelo	SE 80/12 x2
Caudal [m^3/s]	52 x 2
Potencia [kW]	1,75 x 2
Pérdidas de presión [kPa]	54,45
Coste [Euros]	2280 x 2

2.5.7. Calderas auxiliares

La integración energética del sistema se realiza mediante dos calderas auxiliares. Estos se indican como BH (caldera auxiliar de calefacción) y BD (caldera auxiliar de ACS) y sirven a las redes de distribución respectivas.

Los criterios de diseño consideran que los sistemas auxiliares han de ser capaces de cubrir integralmente las necesidades de ACS y calefacción en el caso en el que la instalación solar no funcionase.

Las potencias de diseño de las calderas auxiliares deben ser igual a las demandas máximas de calefacción y de ACS.

- Potencia máxima de la caldera para calefacción: 1.800 kW
- Potencia máxima de la caldera para ACS: 208 kW

Las calderas se seleccionan a partir de los modelos proporcionados por la empresa Thermital [24]. Las calderas elegidas se muestran en las Figuras 3.44 y 3.45 y son:

- Caldera THE / Q 1950 GT2 MTN para el sistema de calefacción, con una potencia máxima de 1950 kW y una eficiencia del 93%.
- Caldera THE / Q 217 GT2 MTN para el sistema de ACS, con una potencia máxima de 217 kW y una eficiencia igual al 96%.

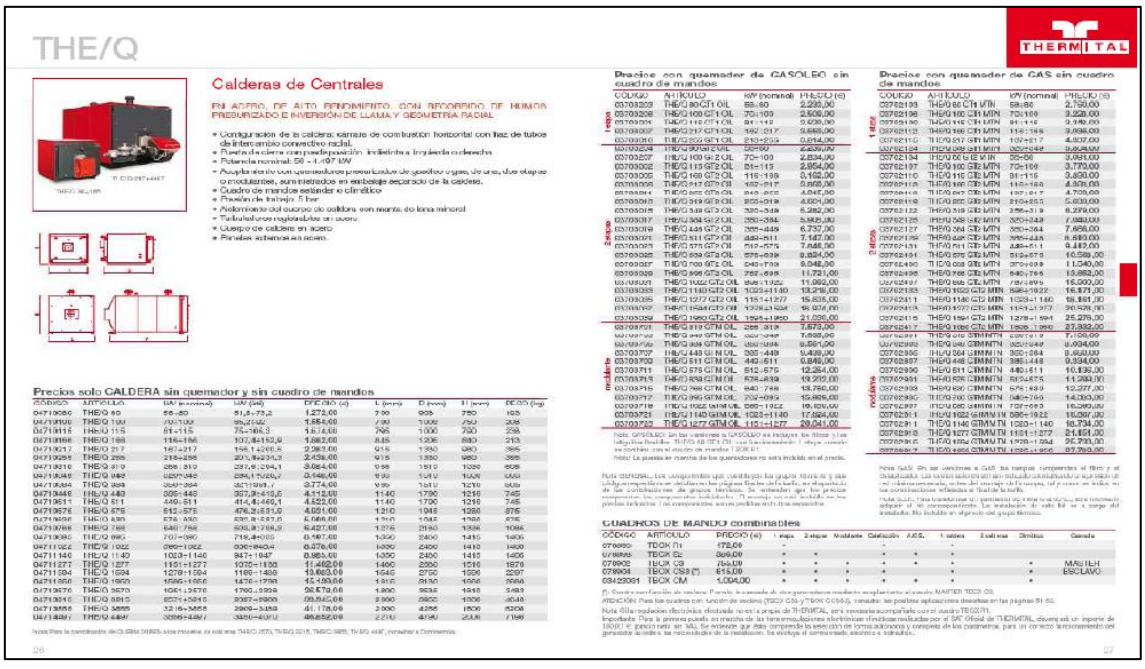
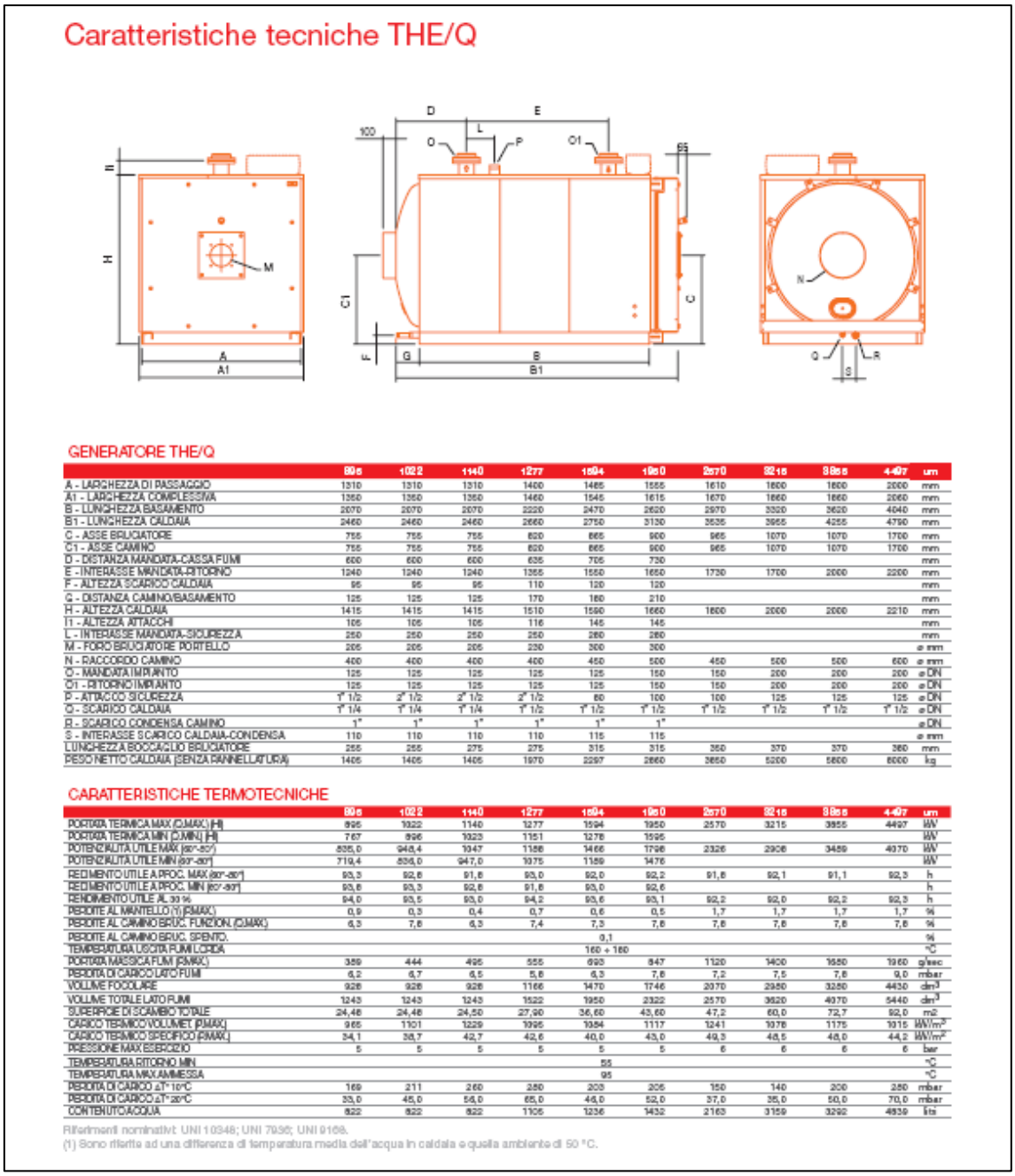


Figura 3.44. Selección de calderas y precios



Caratteristiche tecniche THE/Q

GENERATORE THE/Q

	806	1022	1140	1277	1594	1950	2570	3215	3855	4497	um
A - LARGHEZZA DI PASSAGGIO	1310	1310	1310	1400	1485	1555	1610	1800	1800	2000	mm
A1 - LARGHEZZA COMPLESSIVA	1360	1360	1360	1460	1545	1615	1670	1860	1860	2060	mm
B - LUNGHEZZA BASAMENTO	2070	2070	2070	2220	2470	2620	2970	3320	3620	4040	mm
B1 - LUNGHEZZA CALDAIA	2460	2460	2460	2660	2750	3130	3535	3965	4255	4790	mm
C - ASSE BRUCIATORE	755	755	755	820	865	900	965	1070	1070	1700	mm
C1 - ASSE CAMINO	755	755	755	820	865	900	965	1070	1070	1700	mm
D - DISTANZA MANDATA-CASSA FUMI	600	600	600	635	705	730					mm
E - INTERASSE MANDATA-RITORNO	1240	1240	1240	1355	1550	1650	1730	1700	2000	2200	mm
F - ALTEZZA SCARICO CALDAIA	95	95	95	110	120	120					mm
G - DISTANZA CAMINO/BASAMENTO	125	125	125	170	180	210					mm
H - ALTEZZA CALDAIA	1415	1415	1415	1510	1590	1660	1800	2000	2000	2210	mm
I1 - ALTEZZA ATTACCHI	105	105	105	116	145	145					mm
L - INTERASSE MANDATA-SICUREZZA	250	250	250	250	280	280					mm
M - FORO BRUCIATORE PORTELLO	205	205	205	230	300	300					ø mm
N - RACCORDO CAMINO	400	400	400	400	450	500	450	500	500	600	ø mm
O - MANDATA IMPIANTO	125	125	125	125	125	150	150	200	200	200	ø DN
O1 - RITORNO IMPIANTO	125	125	125	125	125	150	150	200	200	200	ø DN
P - ATTACCO SICUREZZA	1" 1/2	2" 1/2	2" 1/2	2" 1/2	80	100	100	125	125	125	ø DN
Q - SCARICO CALDAIA	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/2	1" 1/2	1" 1/2	1" 1/2	1" 1/2	1" 1/2	1" 1/2	ø DN
R - SCARICO CONDENSA CAMINO	1"	1"	1"	1"	1"	1"					ø DN
S - INTERASSE SCARICO CALDAIA-CONDENSA	110	110	110	110	115	115					ø mm
LUNGHEZZA BOCCAGLIO BRUCIATORE	255	255	275	275	315	315	350	370	370	380	mm
PESO NETTO CALDAIA (SENZA PANNELLATURA)	1405	1405	1405	1970	2297	2860	3850	5200	5800	6800	kg

CARATTERISTICHE TERMOTECNICHE

	806	1022	1140	1277	1594	1950	2570	3215	3855	4497	um
PORTATA TERMICA MAX (Q.MAX.) [Hi]	895	1022	1140	1277	1594	1950	2570	3215	3955	4497	kW
PORTATA TERMICA MIN (Q.MIN.) [Hi]	767	896	1023	1151	1278	1595					kW
POTENZIALITÀ UTILE MAX (80°-60°)	835,0	948,4	1047	1168	1466	1798	2326	2906	3459	4070	kW
POTENZIALITÀ UTILE MIN (80°-60°)	719,4	836,0	947,0	1075	1159	1476					kW
RENDIMENTO UTILE A PROC. MAX (80°-60°)	93,3	92,8	91,8	93,0	92,0	92,2	91,8	92,1	91,1	92,3	h
RENDIMENTO UTILE A PROC. MIN (80°-60°)	93,8	93,3	92,8	91,8	93,0	92,6					h
RENDIMENTO UTILE AL 30 %	94,0	93,5	93,0	94,2	93,6	93,1	92,2	92,0	92,2	92,3	h
PERDITE AL MANTELLO (Y) (Q.MAX.)	0,9	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5	1,7	1,7	1,7	1,7	%
PERDITE AL CAMINO BRUC. FUNZION. (Q.MAX.)	6,3	7,8	6,3	7,4	7,3	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	%
PERDITE AL CAMINO BRUC. SPENTO.					0,1						%
TEMPERATURA USCITA FUMI (COPPIA)					160 + 160						°C
PORTATA MASSICA FUMI (Q.MAX.)	389	444	496	555	693	847	1120	1400	1680	1960	g/sec
PERDITA DI CARICO LATO FUMI	6,2	6,7	6,5	5,8	6,3	7,8	7,2	7,5	7,8	9,0	mbar
VOLUME FOCOLARE	928	928	928	1166	1470	1746	2070	2950	3280	4430	dm³
VOLUME TOTALE LATO FUMI	1243	1243	1243	1522	1950	2322	2570	3620	4070	5440	dm³
SUPERFICIE DI SCAMBIO TOTALE	24,46	24,46	24,50	27,90	36,60	43,60	47,2	60,0	72,7	92,0	m2
CARICO TERMICO VOLUMET. (Q.MAX.)	965	1101	1229	1095	1084	1117	1241	1078	1175	1015	kW/m³
CARICO TERMICO SPECIFICO (Q.MAX.)	34,1	38,7	42,7	42,6	40,0	43,0	49,3	48,5	48,0	44,2	kW/m²
PRESSIONE MAX ESERCIZIO	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	bar
TEMPERATURA RITORNO MIN.					55						°C
TEMPERATURA MAX AMMESSA					95						°C
PERDITA DI CARICO ΔT° 10°C	169	211	260	250	203	205	150	140	200	250	mbar
PERDITA DI CARICO ΔT° 20°C	33,0	45,0	56,0	65,0	46,0	52,0	37,0	35,0	50,0	70,0	mbar
CONTENUTO ACQUA	822	822	822	1106	1236	1432	2163	3159	3292	4939	lts

Riferimenti nominativi: UNI 10348; UNI 7936; UNI 9166.
(1) Sono riferite ad una differenza di temperatura media dell'acqua in caldaia e quella ambiente di 50 °C.

Figura 3.45. Datos técnicos de las calderas

En la Tabla 3.11 se muestra las características más importantes de las calderas auxiliares elegidas.

Tabla 3.11. Parámetros de las calderas auxiliares

	BH (calefacción)	**BD (ACS)**
Modelo	THE / Q 1950 GT2 MTN	THE / Q 217 GT2 MTN
Potencia [kW]	1950	217
Eficiencia [%]	93	96
Coste [Euros]	27332	4337

3. MODELO TRNSYS

3.1. Introducción

En este apartado se presenta el modelo de simulación del caso base. Para ello se ha utilizado el programa TRNSYS, una herramienta informática que proporciona un entorno completo para la simulación dinámica de sistemas energéticos.

El caso base es un sistema que da cobertura a 500 viviendas en la ciudad de Zaragoza. Incluye el sistema solar, el acumulador estacional, el acumulador de agua caliente sanitaria y tiene en cuenta las condiciones meteorológicas locales. En la Figura 3.46 se muestra el modelo TRNSYS.

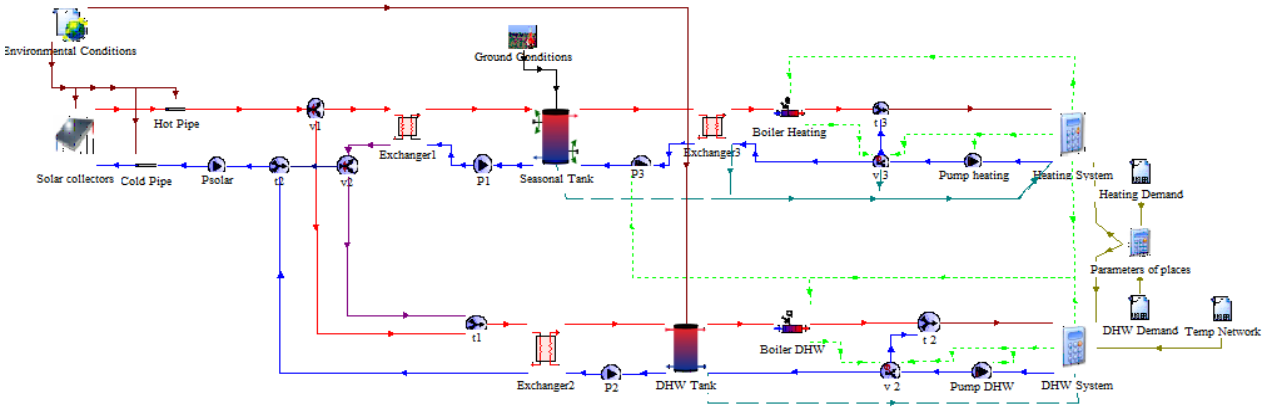


Figura 3.46. Modelo TRNSYS

Se explica en primer lugar los resultados obtenidos para el caso base, definido en el apartado anterior. El tiempo de simulación es de dos años, pero los resultados pertenecientes al primer año se descartan para que el sistema alcance un régimen de funcionamiento constante. También se realiza un análisis económico y posteriormente se compararán distintas posibilidades de diseño.

3.2. Caso base

Como caso base de diseño se considera un sistema capaz de abastecer a 500 viviendas en un sector residencial de Zaragoza. La demanda de calefacción y ACS se ha definido considerando 12 días representativos (uno por cada mes del año), dividido cada uno de ellos en 24 periodos de 1 hora [18]. La demanda anual de calor es GD = 2905 MWh/año, siendo la demanda de ACS de 507,5 MWh/año (DD) y la demanda de calefacción de 2397,5 MWh/año (HD).

El ACS es producida y suministrada a la red de distribución a 60ºC por motivos sanitarios. El sistema de calefacción produce agua caliente a 50ºC para una red de calefacción de baja temperatura.

Este tipo de redes maximizan la eficiencia de los sistemas solares térmicos, pero determinan los equipos terminales a implantar en las viviendas que deben operar a baja temperatura. Este es el caso de los sistemas de calefacción por suelo radiante.

En el proceso de diseño se han dimensionado los principales elementos del sistema: captadores solares, acumuladores, calderas auxiliares, intercambiadores de calor y bombas.

Como se ha explicado en el apartado anterior, se han elegido captadores planos para absorber la radiación solar dadas las características de los servicios energéticos que debe atender el sistema. Los captadores que presentan superficies de gran tamaño, superiores a 10 m^2, disminuyen el tiempo y coste de instalación. Estos captadores pueden colocarse en las cubiertas de los edificios a los que abastecen y/o sobre el terreno. La superficie de captación propuesta para el caso base es A = 2760 m^2, instalada sobre el terreno, lo que supone un ratio con respecto a la demanda anual de calor de A/GD = 0,95 m^2/(MWh/año).

El dimensionado del acumulador de ACS se calcula a partir de la demanda diaria media. El volumen seleccionado fue de 47 m^3, suficiente para atender la demanda de dos días.

El volumen del acumulador estacional (V) se calcula con la restricción de que la temperatura del agua en sus capas superiores se aproxime a los 100ºC justo antes del comienzo de la temporada de calefacción. Para el caso base se estimó en 15.180 m^3 (V/A = 5,5 m^3/m^2). Debido a sus grandes dimensiones el acumulador debe construirse in situ.

Las calderas auxiliares con una potencia de 208 kW para la producción de ACS y de 1800 kW para calefacción pueden atender por si solas el 100% de las demandas respectivas de calor.

La superficie de los intercambiadores de calor se ha establecido para garantizar una efectividad del 95% incluso en las condiciones más exigentes de operación. Por último el dimensionado de las bombas se ha obtenido considerando el caudal máximo circulante y las pérdidas de carga en los diferentes elementos del circuito hidráulico.

Las demandas horarias, tanto para el ACS como para la calefacción se registran en un fichero de texto para ser incluidas en el modelo. Estos valores de demanda fueron obtenidos gracias a la monitorización y simulación de varios edificios residenciales del barrio Parque Goya situado en la ciudad de Zaragoza [18]. Los datos de radiación solar y temperatura ambiente para la ciudad de Zaragoza (Altura: 247 m; Latitud: 41,39 N; Longitud: 1,00 W) fueron obtenidos de la base de datos climáticos del programa de simulación térmica de edificios EnergyPlus [19]. La temperatura del agua de red para Zaragoza se determinó según la norma UNE 94002 [12].

Tabla 3.12. Parámetros de diseño correspondientes al caso base (Zaragoza, 500 viviendas)

Componente		Type	Parámetro	Valor
Campo solar (sf)	Captador	1a	Área de captación Nº de captadores Inclinación Azimut a_0 a_1 a_2 Caudal específico	13,575 m^2 204 50º 0º 0,738 1,63 W/(m^2K) 0,0299 W/(m^2K^2) 20 kg/(h·m^2)
	Tuberías	709	Longitud total Diámetro Espesor Aisl. Conduct. Aisl.	1000 m 0,1 m 0,06 m 0,144 kJ/(h·m·K)
Acumulador Estacional (a1)		4c	Volumen Coef. Perd. Altura/Diámetro Número de nodos	15180 m^3 0,45 kJ/(h·m^2·K) 0,6 12
Acumulador ACS (a2)		4a	Volumen Coef. Perd. Altura/Diámetro Número de nodos	47 m^3 1,6 kJ/(h·m^2·K) 1,5 6
Caldera calefacción (BH)		6	Potencia nominal Rendimiento Tª Servicio	1800 kW 0,93 50ºC
Caldera ACS (BD)		6	Potencia nominal Rendimiento Tª Servicio	208 kW 0,96 60ºC
Intercambiador calor 1 (ex1)		5b	Área UA	285 m^2 3942 W/(m^2K)
Intercambiador calor 2 (ex2)		5b	Área UA	285 m^2 3942 W/(m^2K)
Intercambiador calor 3 (ex3)		5b	Área UA	580 m^2 3931 W/(m^2K)
Bomba Solar (PSOL)		3b	Caudal nominal Potencia eléct. nominal	54 m^3/h 15 kW
Bomba 1 (P1)		3b	Caudal nominal Potencia eléct. nominal	51 m^3/h 1,4 kW
Bomba 2 (P2)		3b	Caudal nominal Potencia eléct. nominal	51 m^3/h 1,4 kW
Bomba 3 (PHEAT)		110	Caudal nominal Potencia eléct. nominal	104 m^3/h 3,7 kW

3.3. Análisis energético

Se ha analizado en primer lugar el balance de energía del sistema completo para un año de operación. La Figura 3.47 muestra el flujo anual de energía del sistema solar hacia la red de suministro de calefacción y de agua caliente sanitaria. El sistema, muestra la entrada de calor solar, las pérdidas de calor y el calor entregado a los usuarios.

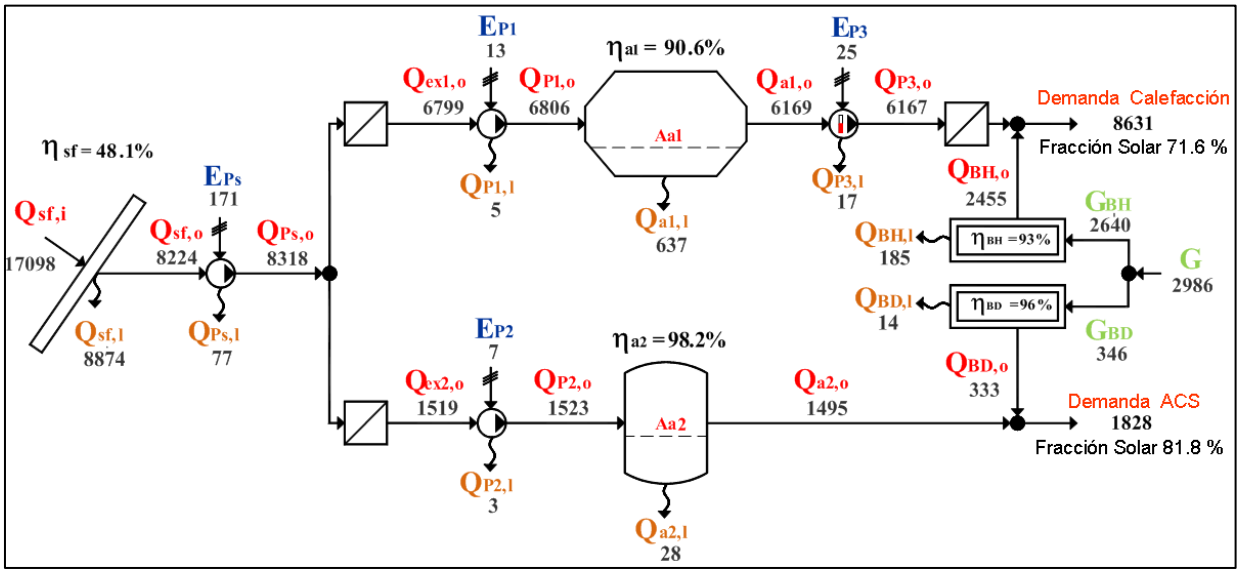


Figura 3.47. Balance energético anual para el caso base (flujos en GJ/año)

El rendimiento medio anual del campo solar es del 48%. Por causa del menor tiempo de residencia del agua caliente en el acumulador de ACS, su eficiencia (98%) es significativamente mayor que la del acumulador estacional (91%).

Una de las conclusiones más importantes obtenida del análisis de los resultados existentes de las instalacionesde en Europa es el adecuado aislamiento térmico del acumulador estacional. En las plantas de Europa se han detectado pérdidas de mayor cantidad de calor (30% - 300%) que el valor evaluado en el diseño. Estos valores pueden producir una reducción significativa de la fracción solar.

En la Tabla 3.13 se observa el comportamiento mensual para un año típico de funcionamiento del sistema diseñado.

Tabla 3.13. Valores de la operación mensual para el caso base (Zaragoza, 500 viviendas)

	$Q_{sf,i}$ (GJ)	η_{sf} (%)	η_{a1} (%)	QA_{a1} (GJ)	HD (GJ)	SF_{HD} (%)	η_{a2} (%)	DD (GJ)	SF_{DD} (%)	G (GJ)	EP (GJ)
Enero	974	52,6	92,8	0	2081	45,8	98,5	227	69,0	1287	18
Febrero	1166	55,5	95,7	2	1452	33,0	98,5	198	74,5	1098	18
Marzo	1529	57,6	96,4	47	997	65,9	98,5	203	79,5	409	21
Abril	1489	56,7	95,9	397	333	95,7	98,3	167	92,5	28	21
Mayo	1618	56,4	95,1	1145	0	-	98,1	145	93,5	10	20
Junio	1623	53,4	93,4	1860	0	-	98,1	120	90,2	12	20
Julio	1828	48,3	91,9	2616	0	-	97,0	73	97,2	2	19
Agosto	1872	41,3	89,4	3278	0	-	95,0	41	97,1	1	18
Septiembre	1600	32,0	80,0	3617	0	-	97,7	102	94,4	6	14
Octubre	1430	31,8	72,0	3660	187	100,0	98,3	149	94,1	9	15
Noviembre	1055	44,9	78,0	2725	1200	100,0	98,2	187	74,3	50	16
Diciembre	914	50,6	83,5	385	2380	100,0	98,4	215	67,1	74	15
Año	17098	48,1	90,6	385	8631	71,6	98,2	1828	81,8	2986	215

La cobertura solar de la demanda de ACS (SF_{DD}) supera el 67% durante todo el año, presentando valores superiores al 90% durante el periodo de Abril a Octubre. La fracción solar anual ronda el 82%.

La cobertura solar de la demanda de calefacción (SF_{HD}) es muy elevada los primeros meses de la temporada de calefacción, cuando se aprovecha la energía solar captada durante el período de verano.

3.4. Comportamiento dinámico de la instalación

En las Figuras 3.48 a 3.50 se observa el comportamiento mensual para un año típico de funcionamiento del sistema diseñado. La mayor radiación solar se produce en agosto.

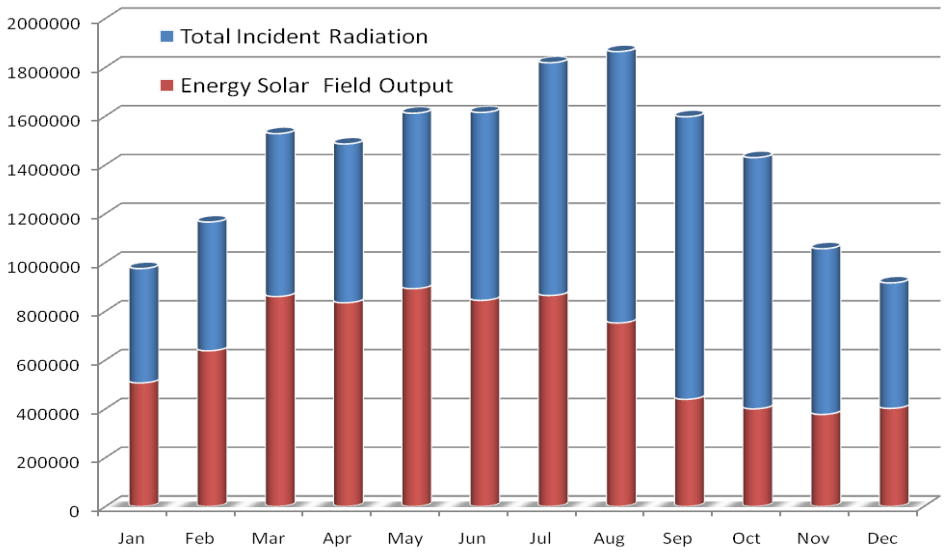


Figura 3.48. Radiación solar incidente y energía captada (MJ)

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la producción de energía solar es mayor en el período comprendido entre marzo y julio que en agosto. La razón es la reducción de la eficiencia energética de los colectores solares debido a la elevada temperatura del fluido de trabajo cuando la carga del acumulador estacional aumenta.

La Figura 3.49 muestra cómo la demanda de ACS está cubierta por las calderas auxiliares y la energía solar, la contribución solar anual a la demanda de ACS es siempre mayor del 66%.

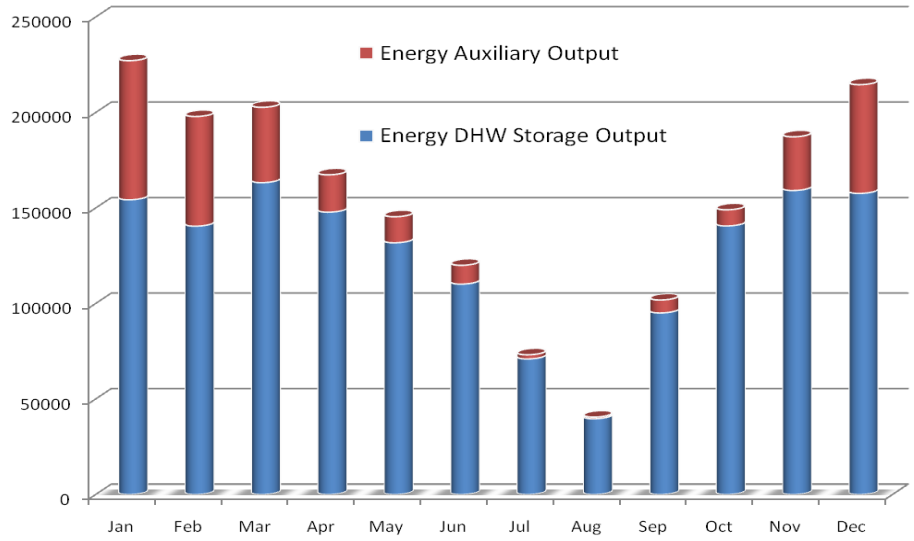


Figura 3.49. La producción mensual de ACS (MJ)

La fracción solar es incluso superior al 90% durante el período de mayo a octubre. La cobertura solar anual de agua caliente sanitaria es alrededor del 81%.

La Figura 3.50 muestra la fracción solar cubierta para el caso de la calefacción. En este caso, la fracción solar alcanza un valor del 72% anualmente.

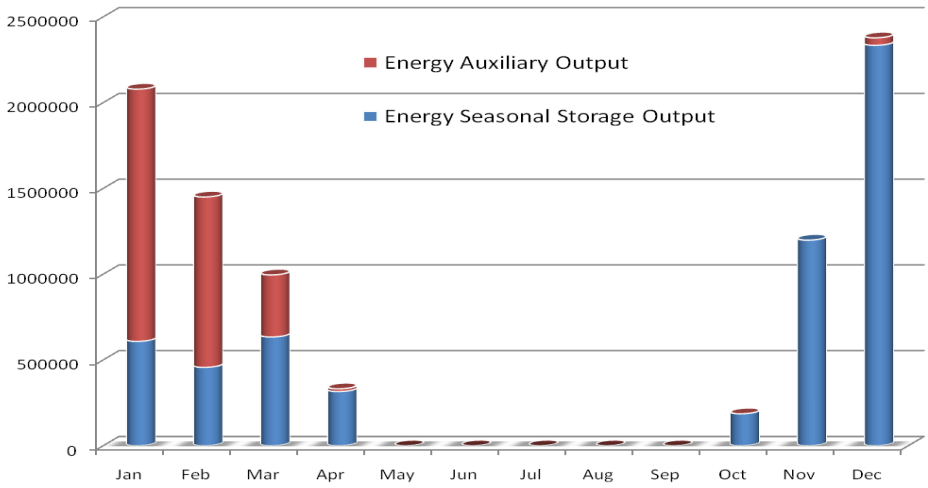


Figura 3.50. Producción mensual de la calefacción (MJ)

Combinando las demandas de ACS y calefacción, la fracción solar anual del sistema es del 73%.

A principios de Enero el acumulador estacional se ha descargado totalmente como se observa en las Figuras 3.51 y 3.52. Esto se debe a que la demanda de calefacción es cubierta en su totalidad de octubre a diciembre. Desde Enero hasta Marzo la demanda en calefacción sigue siendo elevada por lo que será suministrada en su mayor parte por la caldera auxiliar. En el mes de Abril, cuando la demanda de calor se reduce y la oferta solar la supera, el acumulador estacional comienza de nuevo a cargarse, alcanzado su máximo nivel en Octubre.

Las temperaturas anuales del acumulador estacional en un periodo de dos años se muestran en la Figura 3.51.

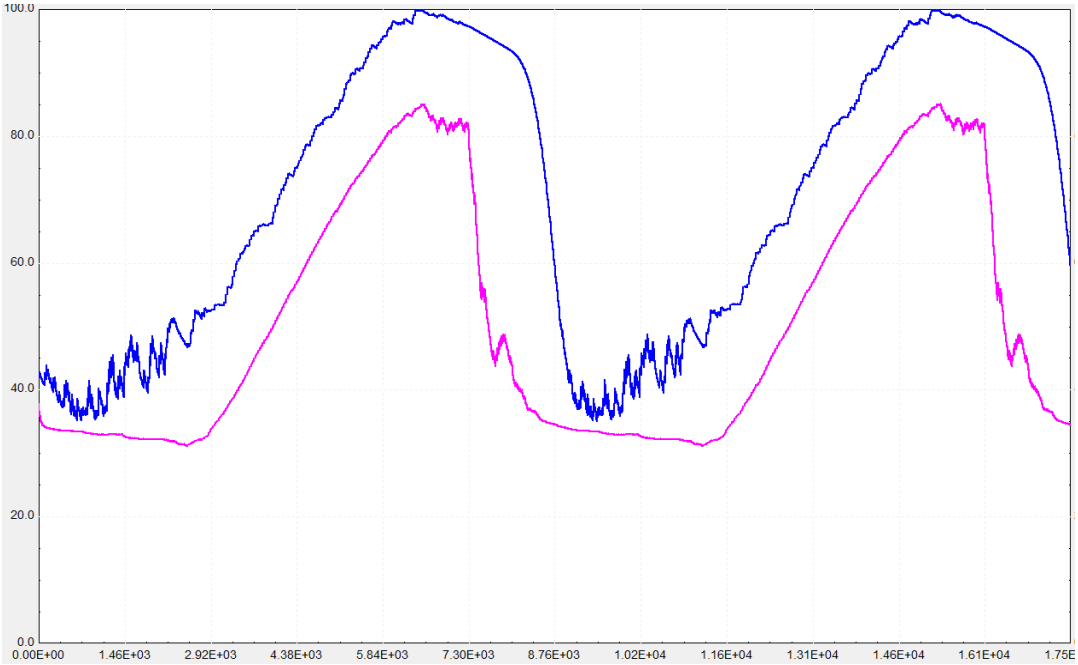


Figura 3.51. Temperaturas en cabeza y fondo del acumulador estacional a lo largo de dos años

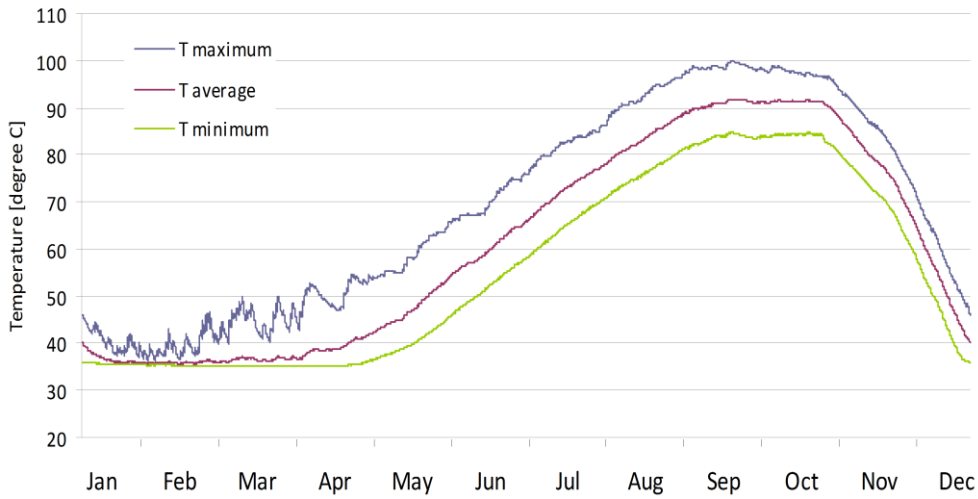


Figura 3.52. Temperatura (ºC) en la parte alta (azul), media (rojo) y baja (verde) del acumulador estacional

3.5. Análisis económico

El consumo de energía auxiliar se compone de dos partes. Por un lado el gas natural consumido por las calderas auxiliares (2.986 GJ/año) para suministrar las demandas de ACS y calefacción no cubiertas con energía solar. Y por otro lado, la electricidad consumida por las bombas hidráulicas (215 GJ/año). En la Tabla 3.14 se muestra el consumo mensual detallado. El coste anual del consumo de gas asciende a 36.140 €, considerando un precio unitario de 0,044 €/kWh. En el caso del consumo eléctrico, el coste anual alcanza los 9.210 €, considerando un precio de 0,154 €/kWh. El coste total energético de la operación del sistema a lo largo de un año se cifra en 45.350 €. Los precios de la energía en España para el año 2009 se han obtenido de EuroStat [35].

La inversión total requerida, sin considerar ninguna ayuda de organismos públicos o subvenciones, se ha estimado en $3{,}461 \cdot 10^6$ € [21, 22]. Esta estimación considera los costes de adquisición del equipamiento del sistema, así como los costes de instalación y un 15% adicional para imprevistos y honorarios profesionales. Asumiendo que la vida útil de la instalación es de 25 años, una tasa de interés del 6% y una estimación del 1,5% de la inversión para el mantenimiento y costes de operación anuales, los costes no energéticos de la operación anual se calculan en 283.260 €.

Tabla 3.14. Inversión de los equipos

Componentes	Capacidad	Coste (€)	FBM*	CBM&
Campo solar sf	2760 m^2	673600	1,0	673,6
Acumulador estacional a1	15810 m^3	1737200	1,0	1737,2
Acumulador ACS a2	47,3 m^3	34050	2,1	71,5
Caldera de calefacción BH	1800 kW	27320	1,5	41,0
Caldera de ACS BD	208 kW	6160	1,5	9,2
Intercambiador de calor ex1	282 m^2	70660	1,7	120,1
Intercambiador de calor ex2	282 m^2	70660	1,7	120,1
Intercambiador de calor ex3	580 m^2	116100	1,7	197,4
Bomba Psol	15,00 kW	5680	2,8	15,9
Bomba P1	1,42 kW	2490	2,8	7,0
Bomba P2	1,42 kW	2490	2,8	7,0
Bomba P3	3,70 kW	3480	2,8	9,7
Total CBM				3009,6
Imprev. y honorarios 15%				451,4
Capital total				3461,0

*FBM: factor modulo simple propio de cada equipo; &CBM: coste modulo simple de cada equipo (10^3 €)

La suma de los costes de energía y capital es igual a 328.610 €/año. Siendo la demanda anual de calor de 2.905 MWh/año, el coste unitario del calor suministrado se calcula en 0,113 €/kWh. Realizando un análisis detallado [21, 22] del coste del calor se obtiene un coste unitario de 0,135 €/kWh para el calor solar suministrado por los acumuladores y de 0,053 €/kWh para el calor "no solar" suministrado por las calderas.

3.6. Control de los parámetros de diseño

El modelo TRNSYS está diseñado para soportar modificaciones en los parámetros originales de diseño, como cambios en la localización geográfica de la planta o en el número de viviendas, de tal manera que dimensiona los equipos de manera proporcional y realiza una correlación de los costes en función del tamaño de los nuevos equipos. El usuario debe introducir datos de partida y el modelo realizará las operaciones pertinentes.

En el modelo TRNSYS el control de los parámetros se lleva a cabo por medio de calculadoras, que corresponden al Type "Equa" y que se muestran en la Figura 3.53.

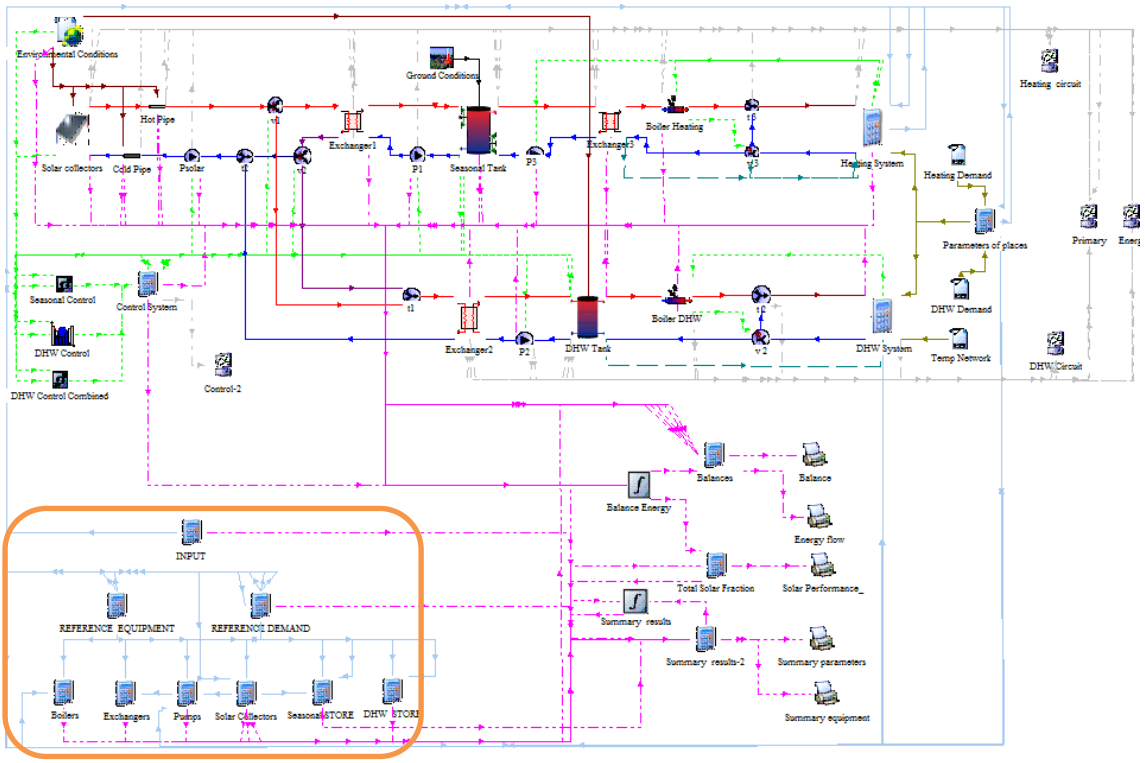


Figura 3.53. Modelo TRNSYS completo. Las calculadoras se indican mediante un círculo

La modificación de los valores de estos parámetros de diseño modifica los valores de los mismos parámetros en los modelos o Types. Para ello se crean las variables en las calculadoras y se renombran los parámetros de los diferentes modelos con los mismos nombres de las variables creadas.

Las calculadoras se organizan como se muestra en la Figura 3.54.

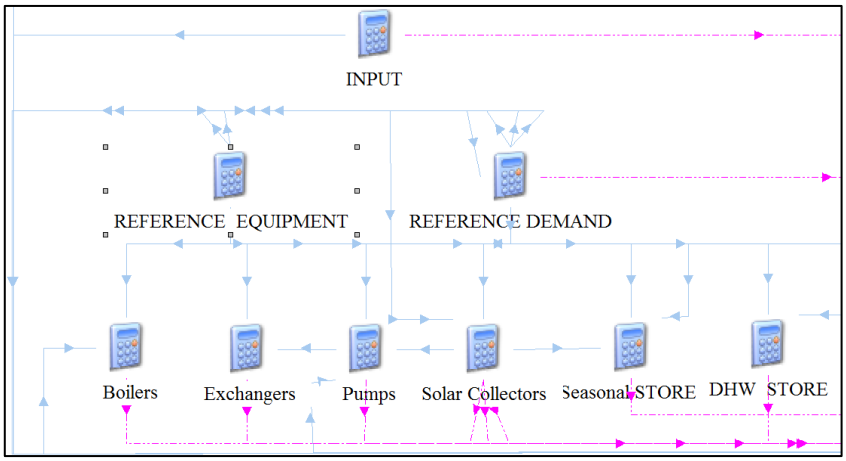


Figura 3.54. Calculadoras del modelo TRNSYS

A continuación se explican en más detalle cada una de las calculadoras, indicándose qué parámetros requieren y cuales generan. Todos los valores que se denominan de referencia son los valores propios de caso base, 500 viviendas en Zaragoza, y a partir de estos valores se pueden extrapolar los diferentes casos.

- **INPUT**

Esta calculadora posee los parámetros de diseño que el usuario introduce respecto al número de viviendas o a la localización geográfica.

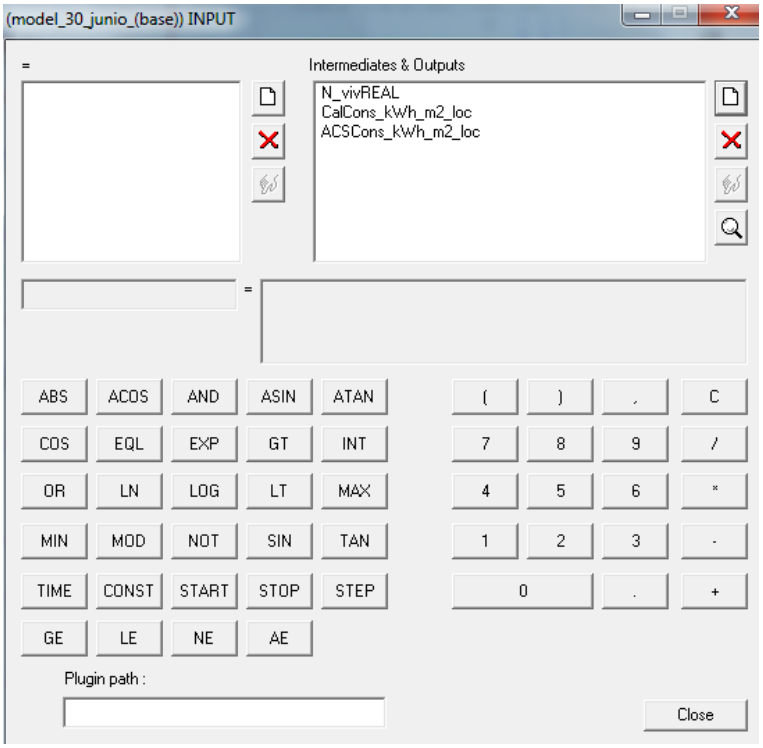


Figura 3.55. Calculadoras del modelo TRNSYS

N_vivReal: número de viviendas reales
CalCons_kWh_m2_loc: consumo de calefacción en kWh/m^2 de la localidad a estudio.
ACSCons_kWh_m2_loc: consumo de ACS en kWh/m^2 de la localidad a estudio.

La variable N_vivReal corresponde al número de viviendas del caso que se pretende estudiar. Las variables de consumo de calefacción y ACS se refieren a los Valores Anuales de Demanda para Calefacción y ACS correspondientes a la ciudad que se pretende estudiar. Estos datos se extraen de la Tabla 2.13 del Anexo II.

Utilizando los valores introducidos por el usuario, las calculadoras "REFERENCE EQUIPMENT" Y "REFERENCE DEMAND" continúan con el tráfico de datos y con los cálculos.

- **REFERENCE EQUIPMENT**

En esta calculadora se encuentran los parámetros básicos de diseño, como pueden ser las propiedades de los fluidos, dimensiones de referencia del campo solar, dimensiones de tuberías, bombas, intercambiadores etc.

FLUID PROPERTIES: Propiedades de los fluidos
Sol_fluid_density: densidad del fluido del circuito primario o solar (formado por agua y glicol (33%)
Sol_fluid_cp: calor específico del fluido solar
Sol_fluid_therm_cond: conductividad térmica del fluido solar
Sol_fluid_initi_temp: temperatura inicial del fluido solar
Water_density: densidad del agua
Water_cp: calor específico del agua
Water_initi_temp: temperatura inicial de agua
SOLAR FIELD: campo solar
Collecor_gross_area: área bruta de los colectores
Sol_flowrate_kg_hm2: caudal de fluido solar
Sol_flowrate_Test_l_h: caudal del fluido solar empleado en el test del colector
Sol_flowrate_densit_Test: densidad del fluido solar empleado en el test del colector
Sol_flowrate_test: caudal del fluido solar empleado en el test del colector
Inter_efficiency_a0: valor de $\eta 0$ para el colector solar
Efficiency_slope_a1: valor de a1 para el colector solar
Efficiency_slope_a2: calor de a2 para el colector solar
PIPE: tuberías
Pipe_length: longitud de tubería
Pipe_esp: espesor de la tubería
Pipe_therm_conductiv: conductividad térmica de la tubería
Pipe_N_nodes: nodos en los que está dividida la tubería
Pipe_insulat_thickness: espesor del aislante de la tubería
Pipe_conduct_insulat: conductividad del material de aislamiento
PUMPS: bombas
Psol_power_REF_kJh: potencia de referencia de la bomba del circuito solar
Psol_flowrate_REF: caudal de referencia de la bomba solar
Psol_conv_power_REF: valor de referencia de la bomba
Psol_power_coeff_REF: coeficiente de la potencia de referencia
P1_power_REF_kJh: potencia de referencia de la bomba del circuito solar

P1_flowrate_REF: caudal de referencia de la bomba solar
P1_conv_power_REF: valor de referencia de la bomba
P1_power_coeff_REF: coeficiente de la potencia de referencia
P2_power_REF_kJh: potencia de referencia de la bomba del circuito solar
P2_flowrate_REF: caudal de referencia de la bomba solar
P2_conv_power_REF: valor de referencia de la bomba
P2_power_coeff_REF: coeficiente de la potencia de referencia
P3_power_REF_kJh: potencia de referencia de la bomba del circuito solar
P3_flowrate_REF: caudal de referencia de la bomba solar
P3_tot_efficie_REF: eficiencia total de referencia
P3_motor_efficie_REF: eficiencia de referencia del motor de la bomba
PDHW_power_REF_kJh: potencia de referencia de la bomba del circuito de ACS
PDHW_flowate_REF: caudal de referencia de la bomba del circuito de ACS

EXCHANGER: Intercambiadores
ex1_U_Coeff_W_m2K: coeficiente U del intercambiador ex1
ex1_area_ref: área de intercambio de calor de ex1
ex2_U_Coeff_W_m2K: coeficiente U del intercambiador ex2
ex2_area_ref: área de intercambio de calor de ex2
ex3_U_Coeff_W_m2K: coeficiente U del intercambiador ex3
ex3_area_ref: área de intercambio de calor de ex3

TANK: tanque, acumulador
ST_ratio_h_d: ratio altura-diámetro del acumulador estacional
ST_n_nodes: número de nodos en que se divide el acumulador estacional
ST_loss_coeff: coeficiente de perdidas térmicas al exterior del acumulador estacional
DHWT_ratio_h_d: ratio altura-diámetro del acumulador de ACS
DHWT_n_nodes: número de nodos del acumulador de ACS
DHWT_loss_coeff: coeficiente de pérdidas del acumulador de ACS

BOILERS: caleras auxiliares
BH_ref_kJhq: potencia de referencia para la caldera de calefacción
BH_efficiency: eficiencia de la caldera de calefacción
BDHW_ref_kJhq: potencia de referencia para la caldera de ACS
BDHW_efficiency: eficiencia de la caldera de ACS

- **REFERENCE DEMAND**

En esta calculadora se encuentran parámetros como los ratios A/GD y V/A o la inclinación de los colectores. Estos valores han de ser tenidos en cuenta por el usuario a la hora de realizar su diseño ya que varían para cada caso particular.

D_ratio_m2_Mwha: ratio A/GD
D_ratio_m3_MWhd: ratio V/demanda diaria
D_inclinación: grados de inclinación
D_CaudalCol_m2: caudal de los colectores
D_ratio_m3_m2Col: ratio V/A
D_T_Heating_Deliver: temperatura de entrada de calefacción
D_T_Heating_Return: temperatura de salida de calefacción
D_T_DHW_Deliver: temperatura de entrada de ACS
D_T_DHW_Return: temperatura de salida de ACS
D_T_confort: temperatura de confor
NumViv_Ref: número de viviendas de referencia

CalCons_kWh_m2_ref: consumo de calefacción de referencia.
ACSCons_kWh_m2_ref: consumo de ACS de referencia:

Los valores de consumo de calefacción y ACS provienen de la calculadora INPUT, donde son introducidos por el usuario.

Cons_Cal_ref_MWh_a: consumo de calefacción de referencia en MWh/año
Cons_ACS_ref_MWh_a: consumo de ACS de referencia en MWh/año
Pico_Cal_kW: pico de la potencia de calefacción
D_Demanda_MWha: valor de demanda de la ciudad
D_Demanda_ACS_mediaD: valor de demanda de la ciudad

En las calculadoras descritas hasta el momento se han ido describiendo los valores de las constantes y los valores de referencia para realizar los cálculos. Las calculadoras que se describen a continuación (destacadas en la Figura 3.56) tomarán estos valores realizando las operaciones oportunas, modificarán los valores de referencia y el dimensionamiento de los equipos en función de índices directamente proporcionales a los valores que introduce el usuario: número de viviendas, demandas de referencia de la ciudad a estudio, ratios A/GD, V/A, etc.

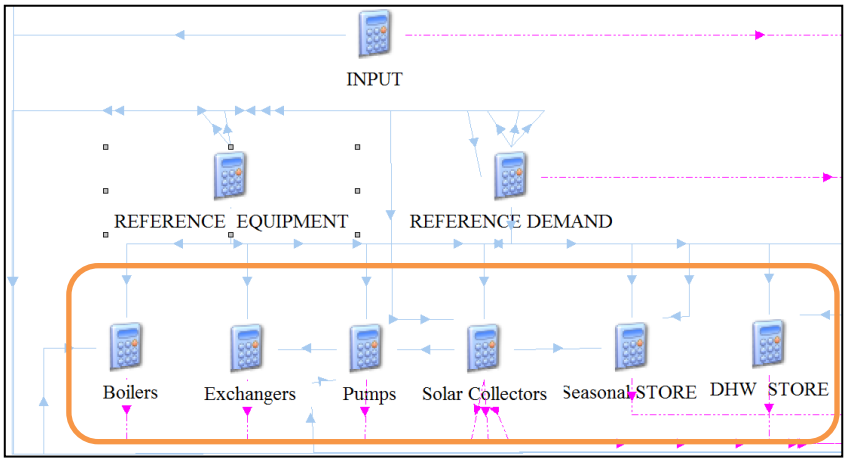


Figura 3.56. Calculadoras del modelo TRNSYS

- **BOILERS**

Esta calculadora (Figura 3.57) toma los valores BH_max_ref_power, BDHW_max_ref_power, Ind_Ccal y Ind_CACS proporcionados por otras calculadoras.

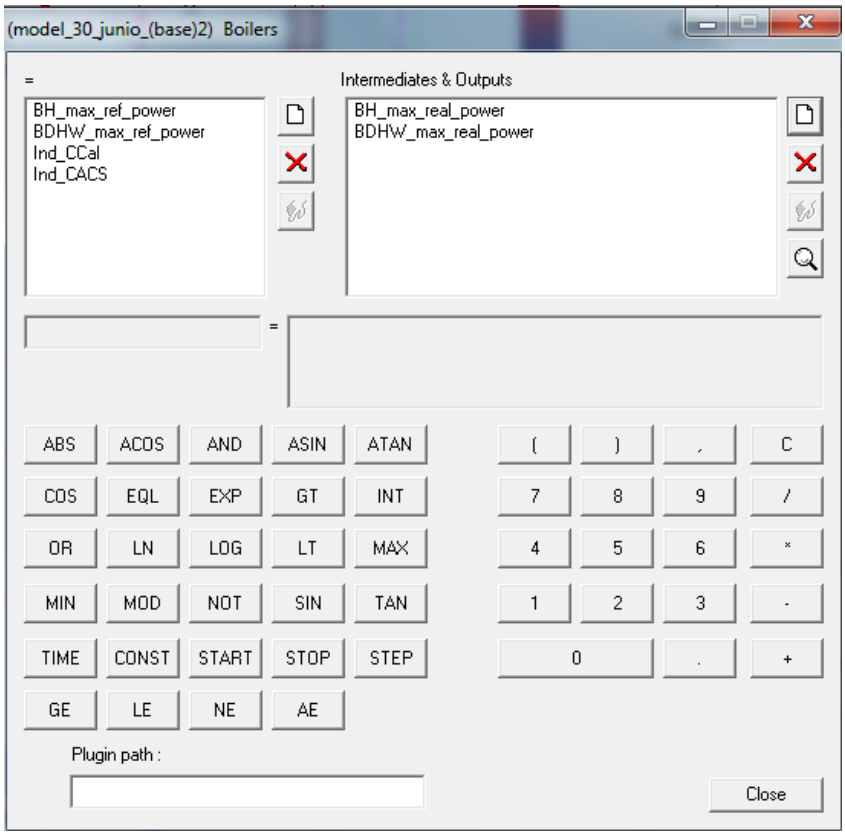


Figura 3.57. Calculadora de las calderas (boilers)

A su vez, esta calculadora proporciona los siguientes parámetros:

BH_max_real_power = BH_max_ref_power * Ind_Ccal
BDHW_max_real_power = BDHW_max_ref_power * Ind_CACS

Con estas operaciones se dimensiona la potencia de las nuevas calderas. Para ello se multiplican los valores de la potencia de referencia por los índices de consumo de calefacción y ACS respectivamente, de manera que según los datos que el usuario ha introducido en INPUT se calcula la potencia necesaria de las calderas para el caso particular a estudio.

- **EXCHANGERS**

En la Figura 3.58 se observan los parámetros de la calculadora de los intercambiadores de calor.

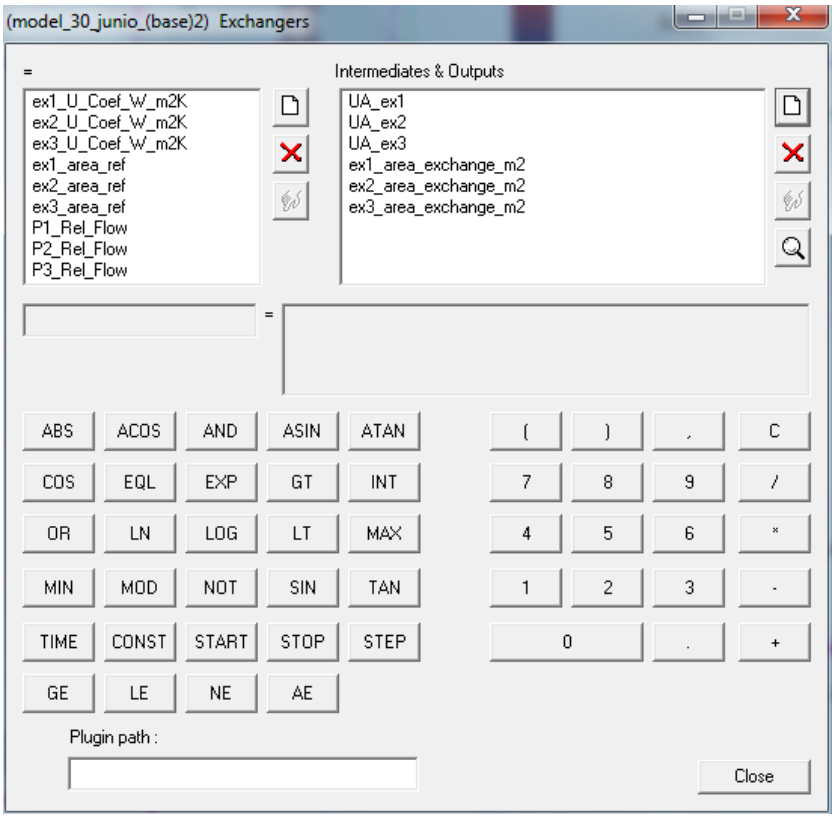


Figura 3.58. Calculadora de los intercambiadores (exchangers)

UA_ex1 = 3,6 * ex1_U_Coef_W_m2K * ex1_area_ref * P1_rel_flow
UA_ex2 = 3,6 * ex2_U_Coef_W_m2K * ex2_area_ref * P2_rel_flow
UA_ex3 = 3,6 * ex3_U_Coef_W_m2K * ex3_area_ref * P3_rel_flow

Calcula los coeficientes globales de transferencia UA de los intercambiadores de calor, a partir del valor del coeficiente global de transferencia de calor, el área de intercambio y el caudal de referencia de cada intercambiador.

ex1_area_Exchange_m2 = ex1_area_ref * P1_rel_flow
ex2_area_Exchange_m2 = ex2_area_ref * P2_rel_flow
ex3_area_Exchange_m2 = ex3_area_ref * P3_rel_flow

Se calcula el área de intercambio en función del área de referencia y del caudal de cada intercambiador de calor.

- **PUMPS**

Los parámetros de las bombas en observan en la Figura 3.59.

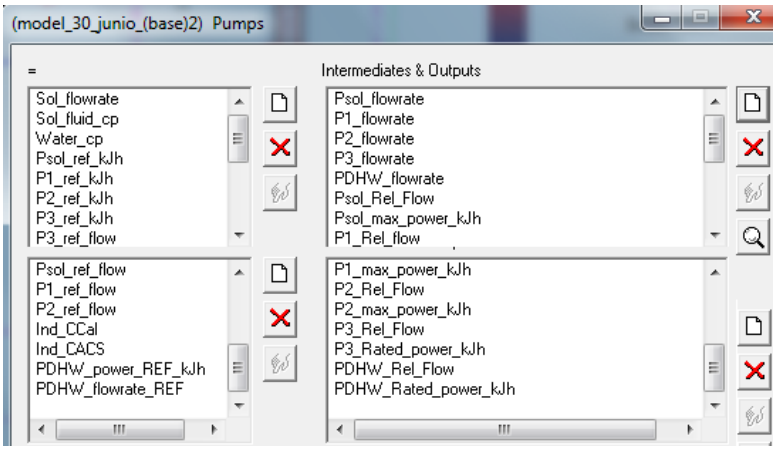


Figura 3.59. Calculadora de las bombas (pumps)

Psol_flowrate = Sol_flowrate

El caudal de la bomba solar, es el mismo que el del circuito solar

P1_flowrate = Psol_flowrate * (Sol_fluid_cp / water_cp)
P2_flowrate = Psol_flowrate * (Sol_fluid_cp / water_cp)

A partir del caudal de la bomba solar y de los calores específicos del fluido solar y del agua, calcula el caudal de la bomba P1 y P2, que tienen agua como fluido.

P3_flowrate = P3_ref_flor * Ind_Ccal
PDHW_flowrate = PDHW_ref_flor * Ind_CACS

Se calcula el caudal de la bomba P3 y PDHW a partir de sus valores de referencia y del índice de consumo de calefacción y ACS, ya que el caudal de salida de los acumuladores dependerá de los valores de la demanda energética exigida.

Psol_Rel_Flow = Psol_flowrate / Psol_ref_flow
Psol_max_power_kJh = Psol_ref_kJh * Psol_Rel_Flow
P1_Rel_Flow = P1_flowrate / P1_ref_flow
P1_max_power_kJh = P1_ref_kJh * P1_Rel_Flow
P2_Rel_Flow = P2_flowrate / P2_ref_flow
P2_max_power_kJh = P2_ref_kJh * P2_Rel_Flow
P3_Rel_Flow = P3_flowrate / P3_ref_flow
P3_rated_power_kJh = P3_ref_kJh * P3_Rel_Flow
PDHW_Rel_Flow = PDHW_flowrate / PDHW_ref_flow
PDHW_rated_power_kJh = PDHW_power_ref_kJh * PDHW_Rel_Flow

Se calculan los valores máximos de potencia de las bombas, a partir de los valores de referencia y de los valores de los caudales.

- **SOLAR COLLECTORS**

En esta calculadora se dimensionan los colectores solares. Para ello son necesarios los datos de partida que se observan en la Figura 3.60.

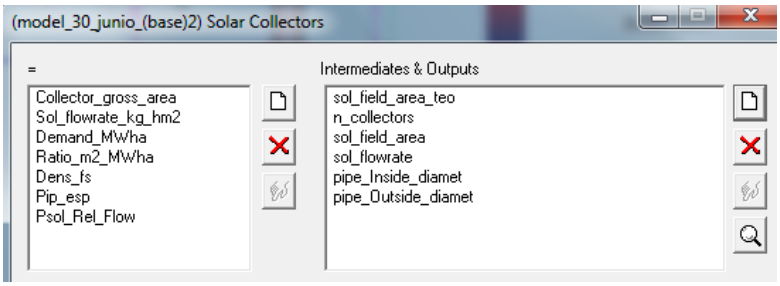


Figura 3.60. Calculadora de los colectores solares (solar collectors)

Sol_field_area_teo = Demand_Mwha * Ratio_m2_Mwha

El área teórica del campo solar es obtenida a partir del ratio A/GD y la demanda de referencia.

n_collectors = int((sol_field_area_teo/collector_gross_area)+1)

El número de colectores se calcula utilizando la función "int" que proporciona un número entero para así obtener el número de colectores en función del área del campo solar obtenida anteriormente.

Sol_field_area = sol_field_area_teo
Sol_flowrate = sol_flowrate_kg_hm2 * sol_field_area

A partir de área colectora, calcula el caudal.

Pipe_incide_diamet = (0.037 * ((sol_flowrate/3600)/(Dens_fs/1000))^0.38) * Psol_Rel_Flow
Pipe_outside_diamet = pipe_inside_diamet + 2 * pip_esp

Calcula los diámetros interno y externo de la tubería en función del caudal.

- **SEASONAL STORE**

En la Figura 3.61 se observa que valores toma esta calculadora como referencia.

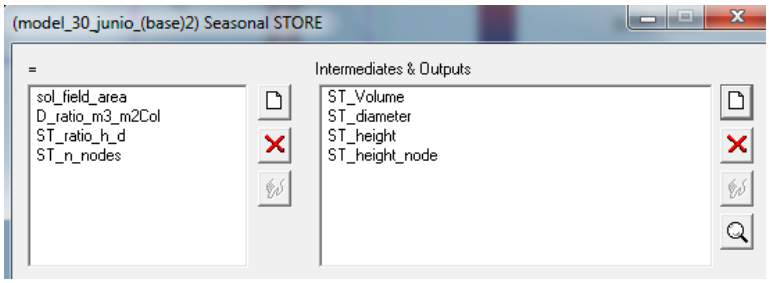


Figura 3.61. Calculadora del acumulador estacional (seasonal store)

Los parámetros que calcula son:

ST_volume = sold_field_area * D_ratio_m3_m2col

Calcula el volumen del acumulador estacional partiendo del área de colectores y del ratio V/A.

ST_diameter = (4 * ST_Volume / (ST_ratio_h_d * 3.14159))^(1/3)

Calcula el valor del diámetro en función del volumen del acumulador y la relación aspecto.

ST_height = ST_ratio_h_d * ST_diameter
ST_height_node = ST_height / ST_n_nodes

- **DHW STORE**

En la Figura 3.62 se observa que valores toma esta calculadora como referencia.

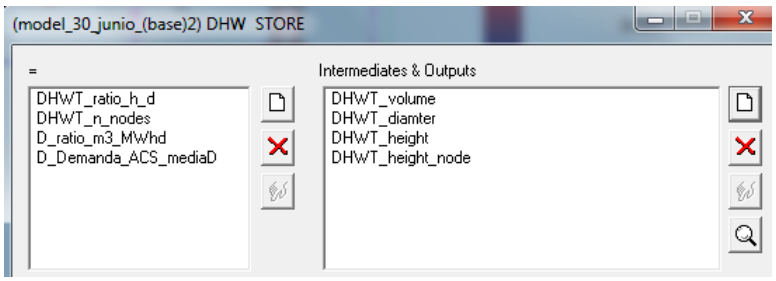


Figura 3.62. Calculadora del acumulador de ACS (DHW store)

Los parámetros que calcula son:

DHWT_volume = sold_field_area * D_ratio_m3_m2col

Calcula el volumen del tanque de ACS partiendo del área de colectora y del ratio V/A.

DHWT_diameter = (4 * ST_Volume / (DHWT_ratio_h_d * 3.14159))^(1/3)

Calcula el valor del diámetro en función del volumen del acumulador y la relación h/d.

DHWT_height = DHWT_ratio_h_d * DHWT_diameter
DHWT_height_node = DHWT_height / DHWT_n_nodes

ANEXO IV

Análisis de resultados

Índice

1. INTRODUCCIÓN 5
2. ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y ECONOMÍAS DE ESCALA 5
2.1. Estudio y efectos en el número de viviendas 5
2.2. Estudio y efectos en la localización geográfica de la planta 7
2.2.1. Determinación de la demanda energética según localización geográfica . 7
2.2.2. Elección de ciudades 8
2.2.3. Análisis paramétrico 9
3. COMPARACIÓN CON PLANTAS ALEMANAS 10
4. ANÁLISIS SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS RATIOS A/GD Y V/A 11
4.1. Influencia del ratio A/GD (tamaño del campo solar) 12
4.2. Ratio V/A (volumen del acumulador estacional) 17
4.2.1. Obtención del ratio V/A óptimo 17
4.2.2. Influencia del ratio V/A (volumen del acumulador estacional) 20
4.3. Combinación óptima de los ratios 21

1. INTRODUCCIÓN

En este Anexo se describen los análisis y estudios realizados con el modelo TRNSYS, que ha sido explicado en el Anexo III de este proyecto. Para ello, se ha tomado como caso base la planta diseñada para Zaragoza que da suministro a un conjunto residencial de 500 viviendas.

Un primer análisis se basa en la modificación del número de viviendas abastecidas por la planta. Se han considerado valores de 100, 250, 500, 750 y 1000 viviendas, observando la variación de los parámetros más importantes

Otro estudio ha consistido en modificar la localización geográfica de la planta. Se han seleccionado diferentes ciudades, donde las demandas energéticas son distintas al caso base y donde los parámetros climatológicos, como radiación solar, temperatura ambiente o temperatura del agua de red, también varían.

Finalmente, se ha realizado un análisis sobre la influencia de dos de los parámetros más importantes de diseño, como son los ratios A/GD y V/A, los cuales afectan directamente al área colectora y al volumen del acumulador estacional.

2. ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y ECONOMÍAS DE ESCALA

El modelo TRNSYS está diseñado para soportar modificaciones en los parámetros originales de diseño, como un cambio en la localización geográfica de la planta o un cambio en el número de viviendas, de tal manera que dimensiona los equipos de manera proporcional y realiza una correlación de los costes en función del tamaño de los nuevos equipos.

2.1. Estudio y efectos en el número de viviendas

Para el estudio en el que la planta pretende abastecer un número diferente de viviendas se han analizado cinco casos:

- Caso 1: 100 viviendas
- Caso 2: 250 viviendas
- Caso 3: 500 viviendas
- Caso 4: 750 viviendas
- Caso 5: 1.000 viviendas

El rango de tamaños de los sistemas resultantes cubre razonablemente las instalaciones que actualmente operan en Europa.

Al mantener la ciudad de origen del caso base (Zaragoza), sólo varía la demanda energética, que es directamente proporcional al número de viviendas.

Para calcular la nueva demanda se parte del caso base y se calcula el índice del número de viviendas

$$Ind_NV = \frac{número\ de\ viviendas\ reales}{número\ de\ viviendas\ de\ referencia}$$

donde el "número de viviendas de referencia" = 500 (del caso base) y el "número de viviendas reales" son las que se someten a estudio.

Este índice lo multiplicamos por la demanda de referencia del caso base (Zaragoza) y obtenemos la nueva demanda. Por ejemplo para el caso de la demanda de ACS:

$$demandaACS = demACSreferencia * Ind_NV$$

De esta manera es posible extrapolar los datos del caso base a los de otro caso con un número diferente de viviendas. El mismo procedimiento se realiza para la demanda de calefacción.

Todas las simulaciones se han realizado manteniendo constantes los ratios A/GD = 0,95 (relación entre el área de colectores solares y la demanda anual) y el ratio V/A = 5,5 (relación entre el volumen estacional y el área colectora).

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.1. Comparación de sistemas solares en función del tamaño (A/GD = 0,95; V/A =5,5)

Número de viviendas	η_{sf} (%)	η_{a1} (%)	η_{a2} (%)	SF_{HD} (%)	SF_{DD} (%)	SF (%)	Coste del calor "no solar" (€/kWh)	Coste del calor solar (€/kWh)	Coste total (€/kWh)
100	49,0	84,9	96,9	68,6	80,6	70,7	0,0568	0,2319	0,1806
250	48,6	88,5	97,7	70,9	80,9	72,6	0,0548	0,1685	0,1374
500	**48,1**	**90,6**	**98,2**	**71,6**	**81,8**	**73,3**	**0,0534**	**0,1348**	**0,1131**
750	47,7	91,7	98,4	71,6	82,4	73,5	0,0527	0,1191	0,1015
1000	47,3	92,4	98,6	71,3	83,1	73,3	0,0521	0,1097	0,0943

Leyenda:

ηsf: rendimiento del campo solar.

ηa1: rendimiento del acumulador estacional.

ηa2: rendimiento del acumulador de ACS.

SF_{HD}: fracción solar de la demanda de calefacción

SF_{DD}: fracción solar de la demanda de ACS.

SF: fracción solar.

Coste del calor "no solar": coste del calor suministrado por las calderas.

Coste del calor solar: coste del calor suministrado por los acumuladores.

Coste total: combinación de los costes anteriores.

A: Área de captación, (m^2).

V: Volumen del acumulador estacional, (m^3).

Qa1i (GJ/año): calor de entrada al acumulador est.

Qa1o (GJ/año): calor de salida del acum. est.

Qa1lost (GJ/año): perdidas en el acumulador

Qa1i (GJ/año): calor de entrada al acumulador est.

Qa1o (GJ/año): calor de salida del acum. est.

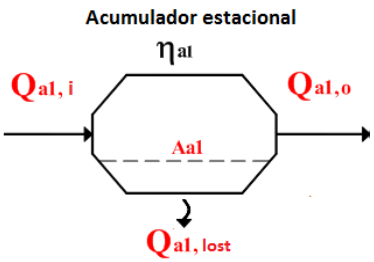
Qa1lost (GJ/año): perdidas en el acumulador

Indices:

Qa1i/vol acum

Qa1o/vol acum

Qa1lost/vol acum



Estos resultados permiten extraer varias conclusiones:

- La fracción solar (SF) aumenta con el tamaño del sistema hasta que se alcanza un marco de actuación de 500 viviendas. A partir de este valor permanece prácticamente constante.

- Los rendimientos de los acumuladores estacional y de ACS (η_{a1} y η_{a2}) aumentan al aumentar el número de viviendas, aunque cuanto mayor es el número de viviendas menor es este incremento. Sin embargo, el rendimiento del campo solar (η_{SF}) disminuye, debido a que cuanto mayor es el área de colectores menor es el rendimiento en % de los colectores.

- Cuanto mayor es la planta, menor es el coste unitario del calor solar. Esto se debe a dos aspectos relacionados con el tamaño:

a) Las economías de escala en el coste de los equipos que componen la instalación.
b) La eficiencia del acumulador estacional aumenta con su tamaño (al disminuir el ratio superficie externa/volumen acumulado se aminoran las pérdidas relativas de calor).

2.2. Estudio y efectos en la localización geográfica de la planta

En este apartado se describe el efecto que tiene la diferente ubicación geográfica de la planta. Para ello se han seleccionado un conjunto de distintas ciudades a lo largo de la geografía española, manteniendo constante el número de viviendas (500). Se ha analizado qué cambios hay que introducir en el diseño en función de la ubicación geográfica de la planta.

2.2.1. Determinación de la demanda energética según localización geográfica

En concreto, al modificar la localización geográfica de la planta varían parámetros tan importantes como la radiación solar, la temperatura ambiente y la temperatura del agua de la red suministrada al sistema. Como consecuencia, las ofertas y demandas energéticas de cada ciudad también son diferentes.

Para calcular la demanda de la nueva localidad, se parte de la demanda real de caso base, Zaragoza 500 viviendas calculada en [9], por lo que la demanda de referencia será la de esta ciudad.

Se calcula en primer lugar el índice de consumo (Ind_ConACS) tomando los valores de las demandas de referencia para la nueva ciudad (consumo ACS localidad_m2) y para Zaragoza (consumo ACS referencia_m2) ambos proporcionados por la Tabla 2.13 del Anexo II. Por ejemplo, para el cálculo de la demanda de ACS

$$Ind_ConACS = \frac{consumo\ ACS\ \ localidad_m2}{consumo\ ACS\ \ referencia_m2}$$

Partiendo de la demanda real del caso base, se multiplica por el índice de consumo para obtener la demanda real de la nueva localización:

$$demandaACS = demACSreferencia * Ind_ConACS$$

De esta manera es posible extrapolar los datos del caso base Zaragoza a los de otro caso en una localidad diferente.

El modelo TRNSYS calcula de la misma manera las demandas de cada hora. Para la demanda de calefacción se utiliza este mismo procedimiento.

2.2.2. Elección de ciudades

Los criterios para la elección de las ciudades también han sido comentados en el proyecto, concretamente en el Anexo II, apartado 6. Basándonos en la Tabla 2.13 del Anexo II, se ha realizado una gráfica (Figura 4.1) donde se muestran las ciudades según la radiación solar y según su demanda energética, eligiendo 11 de ellas.

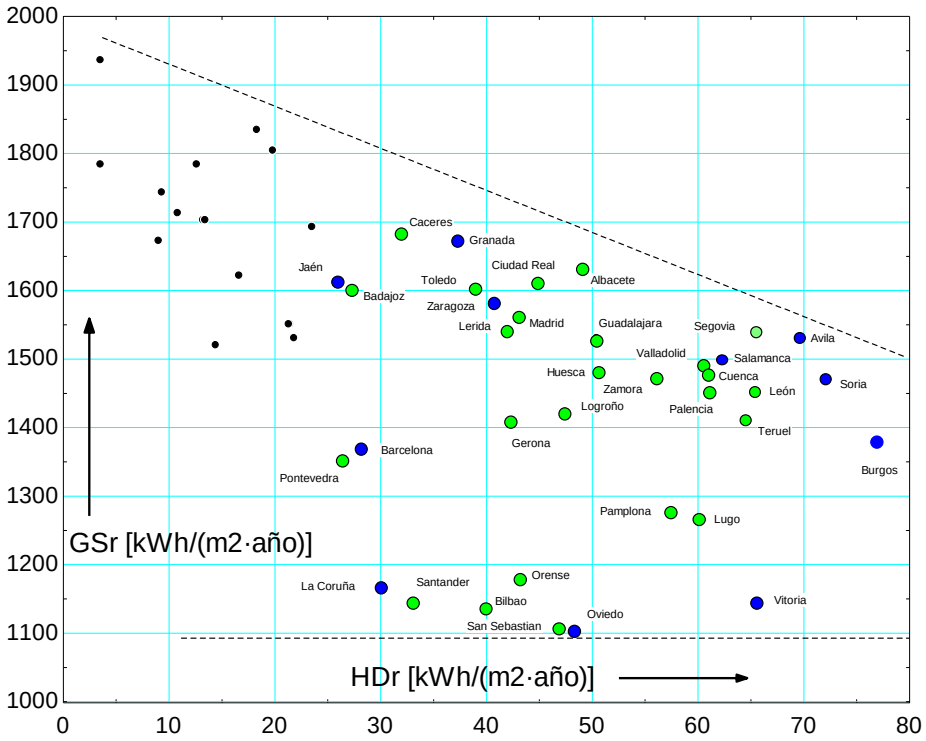


Figura 4.1. Demanda de calefacción (HDr) y Radiación solar (GSr) para capitales españolas

Las ciudades que se han seleccionado, señaladas con un punto azul en la Figura 4.1, definen los límites de oportunidad para aplicar los grandes sistemas solares de acumulación estacional en la geografía española. Como puede apreciarse, aunque existe una cierta correlación negativa de la demanda de calefacción con la disponibilidad de radiación solar, otras condiciones climáticas (altitud, viento, proximidad al mar, etc.) también tienen efectos apreciables y así, por ejemplo, la demanda de calefacción en Burgos casi triplica la de Barcelona, aun cuando ambas ciudades disponen de la misma radiación solar anual.

2.2.3. Análisis paramétrico

En el diseño del sistema se ha manteniendo constante la relación entre la superficie de captación y la demanda anual (ratio A/GD = 0,95) para todas las ciudades, pero se ha determinado una relación V/A apropiada, con la cual el acumulador estacional alcanzaría su capacidad máxima de carga al inicio del período de calefacción. Los resultados se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Comparativa de datos técnicos y económicos para diferentes ciudades españolas

Ciudad	GSr	V/A (m)	HDr	SF_{HD} (%)	DDr	SF_{DD} (%)	Coste del calor "no solar" (€/kWh)	Coste del calor solar (€/kWh)	Coste total (€/kWh)
Oviedo	1105	2,6	48,3	41,9	13,3	77,8	0,0479	0,1598	0,1011
Vitoria	1146	4,0	65,4	49,4	13,5	81,9	0,0502	0,1482	0,1025
La Coruña	1166	3,8	30,0	52,6	13,0	72,2	0,0512	0,1660	0,1166
Barcelona	1369	4,8	28,3	74,1	12,8	79,9	0,0546	0,1372	0,1168
Burgos	1379	5,0	77,1	56,7	13,8	82,6	0,0505	0,1360	0,1014
Soria	1470	5,5	72,1	62,1	13,7	87,2	0,0512	0,1308	0,1029
Salamanca	1501	6,2	62,3	73,7	13,5	88,6	0,0533	0,1215	0,1049
Ávila	1531	5,9	69,5	71,8	13,7	88,7	0,0527	0,1196	0,1020
Zaragoza	**1582**	**5,5**	**40,6**	**71,6**	**12,9**	**81,8**	**0,0534**	**0,1348**	**0,1131**
Jaén	1612	6,7	26,2	90,9	12,3	82,4	0,0644	0,1331	0,1255
Granada	1673	6,8	37,4	87,3	12,9	87,4	0,0611	0,1243	0,1163

GSr: radiación global sobre superficie horizontal, (kWh/m^2).
HDr: demanda anual de calefacción, (kWh/m^2).
DDr: demanda anual de ACS, (kWh/m^2).

Se observa que el ratio V/A cambia dependiendo de la localización, lo que indica que el volumen del acumulador será diferente en cada ciudad. En todas las ciudades se consigue una cobertura solar del ACS muy elevada (> 70%) pero la cobertura solar de la calefacción varía significativamente, desde el 42% en Oviedo (demanda media de calefacción y baja radiación solar) hasta el 91% en Jaén (demanda baja de calefacción y radiación solar alta).

El coste unitario del calor total varía poco, por dos efectos que tienden a compensarse: al aumentar la radiación solar de la localidad el coste unitario del calor solar disminuye (mayor productividad de los colectores) y el del calor "no solar" aumenta (menor tamaño y menor factor de utilización de la caldera auxiliar de calefacción).

3. COMPARACIÓN CON PLANTAS ALEMANAS

En este apartado se compara la planta diseñada para Zaragoza (500 viviendas) con plantas similares instaladas en Alemania. En la Tabla 4.3 se puede observar las principales características de las plantas. Las plantas alemanas presentan una tipología similar a la de Zaragoza, disponen de un acumulador estacional del mismo tipo un acumulador de ACS y utilizan colectores solares planos.

Para una comparación técnica de los sistemas resultan útiles los ratios A/GD y V/A. Como en España se disfrutan de mayores niveles de radiación solar que en Alemania, la superficie de colectores necesaria para alcanzar valores similares de fracción solar resulta significativamente menor (menor ratio A/GD). La mayor radiación solar y una temporada más corta de calefacción permiten acumular más calor en España que en Alemania, y por tanto los acumuladores son más voluminosos (mayor ratio V/A).

Tabla 4.3. Comparativa de datos técnicos y económicos con plantas alemanas

Localización	**Demanda Total** GD (MWh/año)	**Área de captación** A (m^2)	**Acumulador estacional** V (m^3)	**Fracción solar** (%)	**Ratio A/GD**	**Ratio V/A**	**Coste del calor solar** (€/kWh)
Friedrichshafen	4106	5600	12000	47	1,36	2,14	0,159
Hamburg	1610	3000	4500	49	1,86	1,50	0,257
Munich	2300	2900	5700	47	1,26	1,97	0,240
Hanover	694	1350	2750	39	1,95	2,04	0,414
Zaragoza	**2905**	**2760**	**15180**	**73**	**0,95**	**5,50**	**0,135**

Por lo tanto, los sistemas solares térmicos con acumulación estacional en España requieren menores superficies de captación pero mayores volúmenes de acumulación que en Alemania.

Tienen una mayor cobertura de la demanda de calor con una fracción solar del 75% y con un coste unitario del calor solar alrededor de 0,135 €/MWh, considerablemente menor que las plantas alemanas.

4. ANÁLISIS SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS RATIOS A/GD Y V/A

En este apartado se va a analizar la influencia de los ratios A/GD y V/A.

Una de las fases del proceso de diseño de la planta consiste en establecer los parámetros clave de los que dependerá el dimensionado de los equipos. En el Anexo III apartado 2.4 se explican los parámetros importantes de la planta entre los que se encuentran los ratios A/GD y V/A. A continuación se explican brevemente cada uno de los ratios:

- Ratio A/GD

El ratio A/GD establece la relación entre el área de colectores solares y la demanda anual de energía térmica.

$$\frac{A}{GD} = \frac{area\ del\ campo\ solar}{demanda\ energética\ anual}\left[\frac{m^2}{MWh/\text{año}}\right]$$

El valor de este ratio en las plantas en funcionamiento instaladas en el norte de Europa oscila entre 1,4 y 2,4 m^2/(MWh/año). Sin embargo, en España los valores de radiación solar y temperatura media ambiente son mayores que en el norte de Europa, lo que permite disminuir el valor de este ratio y obtener mayores fracciones solares con menor área del campo solar.

$$\frac{A}{GD} = 0{,}95\ \frac{m^2}{MWh/\text{año}}$$

A lo largo de este anexo, se estudiaran diferentes valores de este ratio para observar los resultados y la consecuencia económica de los mismos.

- Ratio V/A

Este ratio establece la relación entre el volumen del acumulador estacional y el área del campo solar.

$$\frac{V}{A} = \frac{volumen\ del\ acumulador\ estacional}{area\ del\ campo\ solar}\left[\frac{m^3}{m^2}\right]$$

En este trabajo se considerará un valor de este ratio superior a las plantas del norte de Europa, que oscilan entre 1,4 y 2,1 m^3/m^2, utilizando un valor de

$$\frac{V}{A} = 5{,}5\ \frac{m^3}{m^2}$$

Esto se debe a la distinta localización geográfica. De nuevo comparando con las plantas del norte de Europa, al disponerse de mayor radiación solar en España, la instalación captará mayor radiación por m^2. Además, los periodos de calefacción son más cortos en España que en el norte de Europa, por lo que se puede acumular mayor energía. Por todo ello se necesitarán acumuladores mayores.

4.1. Influencia del ratio A/GD (tamaño del campo solar)

El ratio A/GD establece la relación entre el área de colectores solares y la demanda anual de energía térmica, en m^2/(MWh/año).

Como se ha visto anteriormente, su valor para el caso base es de A/GD = 0,95 m^2/(MWh/año).

A continuación se analiza la variación en parámetros de la instalación como la cobertura solar, los rendimientos más significativos y los costes económicos, al modificar el valor de dicho ratio dentro de un rango de A/GD = 0,4 - 1,1. Al considerar una demanda térmica constante, modificar el valor del ratio A/GD es equivalente a modificar el área del campo solar. En estos cálculos se supone constante el ratio V/A = 5,5 m^3/m^2.

Las Tablas 4.4 y 4.5 recogen los resultados obtenidos tras la simulación de la planta.

Para ello se utilizará el programa de simulación con el que se viene trabajando, TRNSYS. Tras la simulación de la planta se obtienen valores como los balances energéticos, datos del comportamiento dinámico de la planta, o datos de dimensionado, entre otros. Posteriormente, procesamos parte de estos datos con el programa EES, para poder obtener datos económicos del mismo.

Tabla 4.4. Comparación de sistemas solares en función del ratio A/GD

A/GD	η_{sf} (%)	η_{a1} (%)	η_{a2} (%)	SF_{HD} (%)	SF_{DD} (%)	SF (%)	Coste del calor "no solar" (€/kWh)	Coste del calor solar (€/kWh)	Coste total (€/kWh)
0,40	54,93	89,87	97,92	30,14	59,80	35,32	0,0495	0,1668	0,0910
0,50	53,42	90,24	98,01	37,98	66,55	42,97	0,0499	0,1559	0,0955
0,60	52,20	90,49	98,06	46,16	70,32	50,39	0,0503	0,1481	0,0996
0,70	51,05	90,61	98,10	53,76	75,07	57,48	0,0509	0,1425	0,1035
0,80	49,95	90,67	98,13	61,24	78,20	64,20	0,0517	0,1384	0,1074
0,90	48,92	90,71	98,14	68,62	80,74	70,74	0,0528	0,1351	0,1110
0,95	**48,57**	**90,75**	**98,15**	**72,64**	**81,26**	**74,15**	**0,0536**	**0,1333**	**0,1127**
1,00	48,08	90,74	98,17	76,07	82,77	77,24	0,0546	0,1322	0,1145
1,10	47,19	90,72	98,20	82,98	84,63	83,27	0,0574	0,1302	0,1180

Tabla 4.5. Comparación de sistemas solares en función del ratio A/GD

Ratio A /GD	Área de captación A (m^2)	Acum. Estacional V (m^3)	Vol acum ACS	Qa1i (GJ/año)	Qa1o (GJ/año)	Qa1lost (GJ/año)	Qa1i/ vol acum	Qa1o /vol acum	Qa1lost /vol acum
0,40	1162	6391	47,27	2885,43	2593,21	292,22	0,45	0,41	0,05
0,50	1453	7989	47,27	3623,85	3270,09	353,76	0,45	0,41	0,04
0,60	1743	9587	47,27	4394,57	3976,64	417,93	0,46	0,41	0,04
0,70	2034	11184	47,27	5112,07	4632,10	479,97	0,46	0,41	0,04
0,80	2324	12782	47,27	5821,44	5277,76	543,68	0,46	0,41	0,04
0,90	2615	14380	47,27	6521,45	5915,62	605,83	0,45	0,41	0,04
0,95	**2760**	**15179**	**47,27**	**6900,30**	**6262,66**	**637,64**	**0,45**	**0,41**	**0,04**
1,00	2905	15978	47,27	7226,96	6558,44	668,52	0,45	0,41	0,04
1,10	3196	17575	47,27	7887,44	7154,98	732,46	0,45	0,41	0,04

En las Tablas 4.4 y 4.5 se observa como varían ciertos parámetros de la instalación si modificamos el valor del ratio A/GD.

Para este apartado suponemos constante el ratio V/A = 5,5 m^3/m^2.

Tratamiento de resultados:

A la hora de comentar los resultados obtenidos, se ha de tener en cuenta que si la demanda energética (GD) es constante, el valor del ratio afectará directamente al valor de la superficie del campo solar (A). Por lo que si el ratio A/GD aumenta, el valor de la superficie A aumenta y viceversa.

a) Rendimientos:

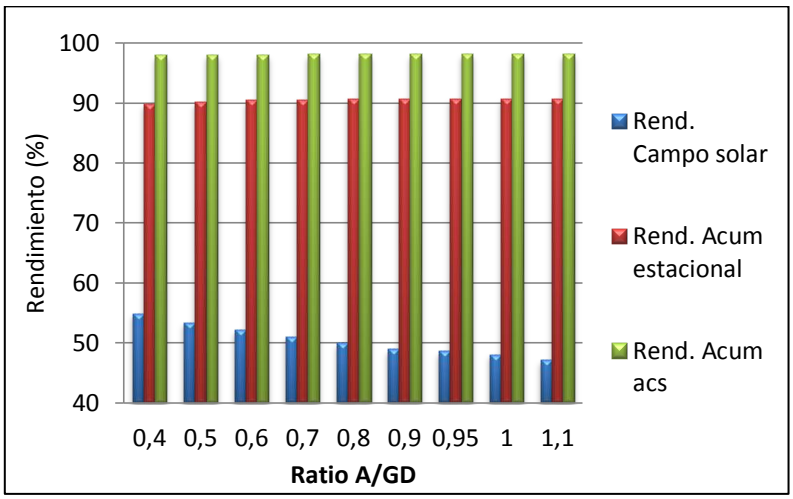


Figura 4.2. Rendimientos

- El rendimiento del campo solar disminuye según aumenta el ratio. Esto es debido a que, cuanto mayor es el área de colectores para una misma demanda energética, menor es el rendimiento en % de los colectores.

- El rendimiento del acumulador estacional permanece prácticamente constante. Sin embargo, observando los datos numéricos, se observa que este aumenta mínimamente hasta que llega a un máximo para A/GD=0,95 y después disminuye ligeramente.
- El rendimiento del acumulador de ACS también permanece prácticamente constante, aunque se aprecia un aumento mínimo.

b) Fracción solar

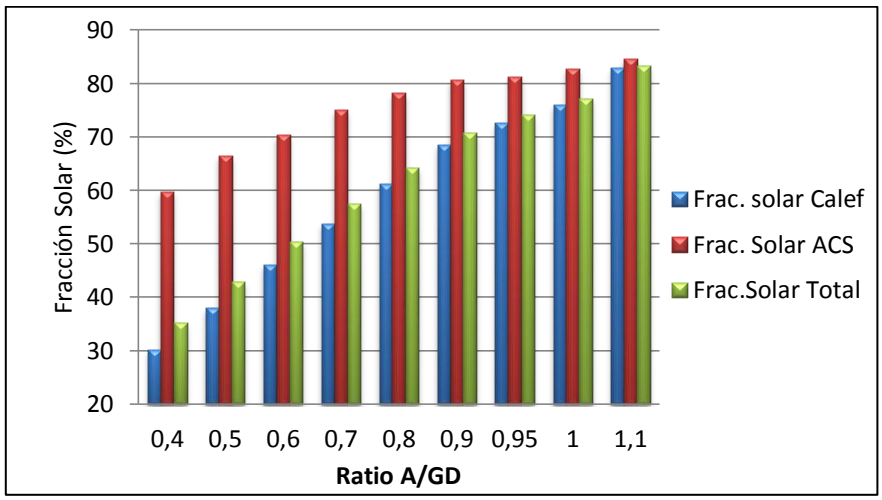


Figura 4.3. Fracción solar

Los resultados de las Tablas 4.4, 4.5 y de la Figura 4.3 muestran como la fracción solar aumenta con la superficie de captación. Parece lógico pensar que el sistema es capaz de abarcar una mayor cobertura de la demanda energética conforme aumenta el área de colectores (aumenta el ratio A/GD), y por tanto sea mayor su fracción solar.

Sin embargo, la fracción solar aumenta en menor proporción que lo hace el área. Esto se debe a que cuanto mayor es el área de colectores para una misma demanda energética, menor es el rendimiento del campo solar.

Para el caso de ACS, se puede observar que tiene una mayor fracción solar que el resto. Esta diferencia se debe a la demanda energética, que en el caso de ACS es mucho menor que para el caso de calefacción, por lo tanto esta demanda de ACS es cubierta casi en su totalidad, y su proporción es mayor.

Esto se observa también, al ver la fracción total, que es la combinación de ambas (ACS + calefacción) y se ve cómo la aportación de ACS no es proporcional.

c) Costes

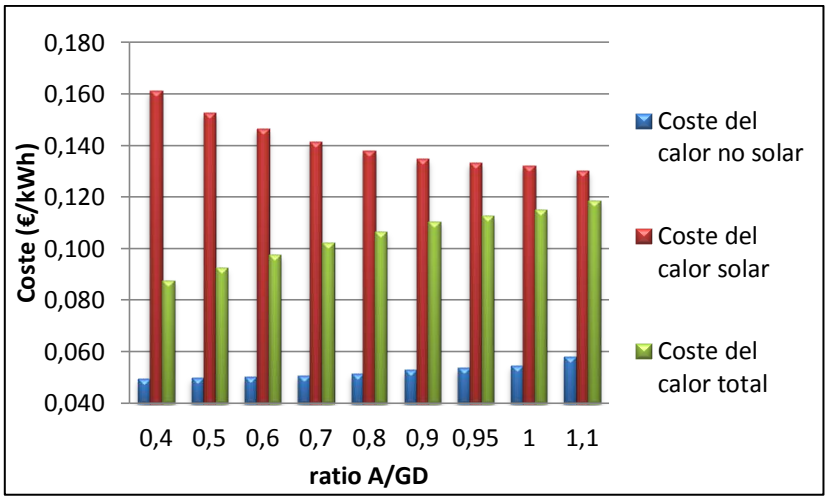


Figura 4.4. Costes

- El coste del calor "solar" es el coste del calor suministrado por los acumuladores. Como se observa en la Figura 4.4, este coste disminuye conforme aumenta el área de captación. Esto se debe principalmente a dos aspectos relacionados con el tamaño:
  - Las economías de escala en el coste de los equipos que componen la instalación
  - La eficiencia del acumulador estacional que aumenta con su tamaño (al disminuir el volumen acumulado se aminoran las pérdidas relativas de calor).
- El coste del calor "no solar" es el coste del calor suministrado por las calderas. Este coste aumenta según aumenta el área. Esto es debido a que frente a un menor tamaño tenemos un menor factor de utilización de la caldera auxiliar de calefacción, y por lo tanto su coste aumenta.
- El coste del calor total es la combinación de las anteriores. Se aprecia que aumenta ligeramente al aumentar el ratio. El aumento ligero se debe a la compensación de los costes anteriores, ya que uno aumenta y el otro disminuye.

Sin embargo, tras analizar todos estos datos, con un valor constante del ratio V/A = 5,5 se observa que cuanto menor es el ratio A/GD, menor aprovechamiento se obtiene del acumulador estacional, puesto que no se alcanza su capacidad máxima de carga.

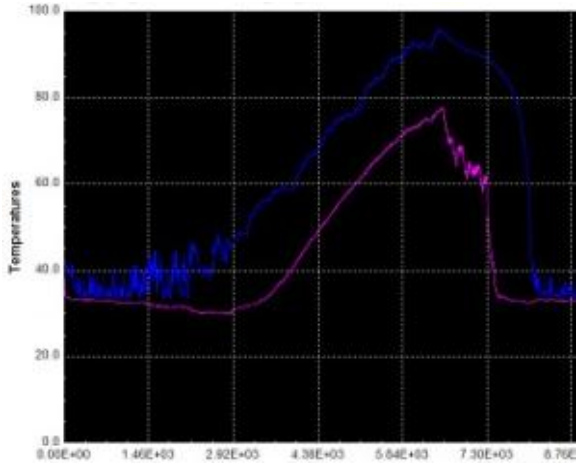


Figura 4.5. A/GD = 0,4

En la Figura 4.5 se observa que para el ratio A/GD = 0,4, las dimensiones del acumulador estacional están sobredimensionadas, ya que no se proporciona el calor suficiente para calentar el volumen estacional a 100ºC, que es la capacidad máxima del acumulador.

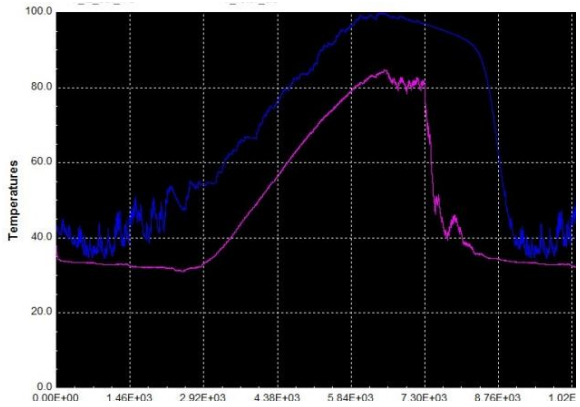


Figura 4.6. A/GD = 0,95

En la Figura 4.6 se observan los valores óptimos para A/GD = 0,95. Se puede apreciar como el acumulador alcanza su máxima capacidad, es decir, la temperatura del acumulador alcanza los 100ºC.

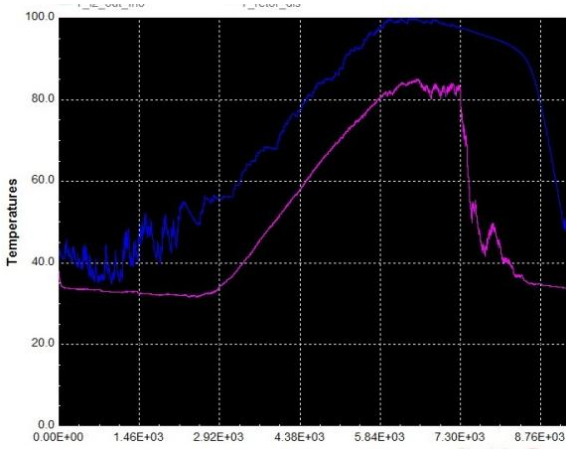


Figura 4.7. A/GD = 1,1

Para el caso de A/GD = 1,1, en la Figura 4.7 se ve que el acumulador alcanza su capacidad máxima, pudiendo almacenar más calor calentando más cantidad de volumen, por lo que se podría dimensionar un acumulador más voluminoso que aprovechase el calor disponible.

En el siguiente apartado se modifica el ratio V/A para obtener acumuladores estacionales con volúmenes óptimos para que, de esta manera, el aprovechamiento sea el máximo posible.

4.2. Ratio V/A (volumen del acumulador estacional)

El ratio V/A establece la relación entre el volumen del acumulador estacional y el área de colectores solares. Como se ha comentado en apartados anteriores, su valor para el caso base es V/A = 5,5 m^3/m^2.

4.2.1. Obtención del ratio V/A óptimo

En este apartado, se determina el ratio V/A con el cual el acumulador estacional alcanza su capacidad máxima de carga, es decir, que el calor proveniente de los colectores solares tenga la capacidad suficiente para que el volumen estacional llegue a los 100ºC.

Tabla 4.6. Comparación de sistemas solares en función del ratio A/GD y el óptimo de V/A

Ratio A/GD	Ratio V/A	η_{sf} (%)	η_{a1} (%)	η_{a2} (%)	SF_{HD} (%)	SF_{DD} (%)	Fracción Solar SF (%)	Coste del calor "no solar" (€/kWh)	Coste del calor solar (€/kWh)	Coste total (€/kWh)
0,40	**4,4**	52,79	90,11	97,91	28,67	59,45	34,05	0,0494	0,1614	0,0876
0,50	**4,6**	51,44	90,37	98,00	36,31	65,80	41,46	0,0498	0,1527	0,0925
0,60	**4,9**	50,79	90,56	98,06	44,69	69,88	49,09	0,0502	0,1465	0,0975
0,70	**5,1**	50,05	90,65	98,09	52,45	75,11	56,41	0,0508	0,1417	0,1021
0,80	**5,3**	49,40	90,68	98,13	60,40	78,46	63,55	0,0516	0,1381	0,1066
0,90	**5,4**	48,68	90,72	98,15	68,22	80,74	70,41	0,0528	0,1349	0,1106
0,95	**5,5**	**48,57**	**90,75**	**98,15**	**72,64**	**81,26**	**74,15**	**0,0536**	**0,1333**	**0,1127**
1,00	**5,6**	48,35	90,73	98,18	76,54	82,68	77,61	0,0547	0,1323	0,1149
1,10	**5,7**	47,78	90,70	98,19	84,17	84,69	84,26	0,0581	0,1302	0,1188

Tabla 4.7. Comparación de sistemas solares en función del ratio A/GD y el óptimo de V/A

Ratio A/GD	Ratio V/A	Área de captación A (m^2)	Acum. Estac. V (m^3)	Vol acum ACS	Qa1i (GJ/año)	Qa1o (GJ/año)	Qa1lost (GJ/año)	Qa1i/ vol acum	Qa1o /vol acum	Qa1lost /vol acum
0,40	**4,4**	1162	5113	47,27	2736,81	2466,25	270,56	0,535	0,482	0,053
0,50	**4,6**	1453	6681	47,27	3458,99	3125,97	333,02	0,518	0,468	0,050
0,60	**4,9**	1743	8541	47,27	4250,30	3849,03	401,27	0,498	0,451	0,047
0,70	**5,1**	2034	10371	47,27	4985,23	4518,98	466,25	0,481	0,436	0,045
0,80	**5,3**	2324	12317	47,27	5740,42	5205,30	535,12	0,466	0,423	0,043
0,90	**5,4**	2615	14118	47,27	6482,18	5880,58	601,60	0,459	0,417	0,043
0,95	**5,5**	**2760**	**15179**	**47,27**	**6900,30**	**6262,66**	**637,64**	**0,455**	**0,413**	**0,042**
1,00	**5,6**	2905	16268	47,27	7273,13	6598,96	674,17	0,447	0,406	0,041
1,10	**5,7**	3196	18214	47,27	8002,45	7257,93	744,52	0,439	0,398	0,041

Tratamiento de resultados:

a) Ratios

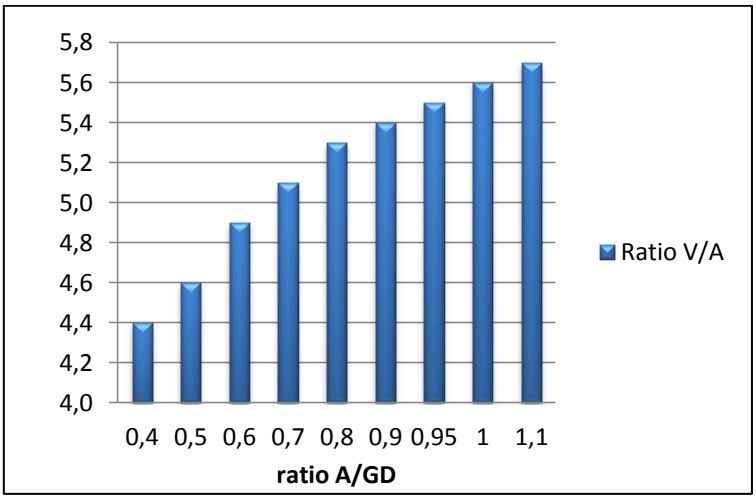


Figura 4.8. Ratios

En la Figura 4.8 se puede observar la variación del ratio V/A con respecto el ratio A/GD.

Aparentemente se aprecia que puede existir una proporción lineal.

Para ello se elimina el valor 0,95 del eje horizontal para que la diferencia de valores sea la misma, Figura 4.9.

Se aproxima la función a una lineal y se puede apreciar cómo se asemeja en gran medida, por lo que se puede suponer que la dependencia es lineal.

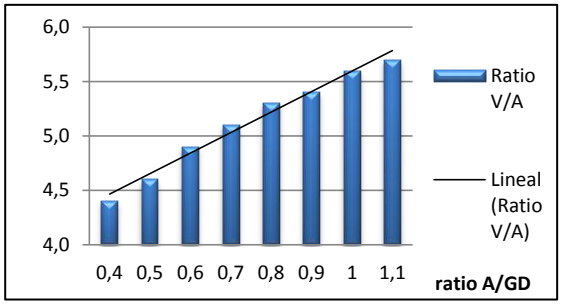


Figura 4.9

b) Fracción solar y Rendimientos

Es el mismo criterio que el apartado anterior, los cambios son mínimos cuando hemos modificado V/A frente a los datos cuando V/A es constante.

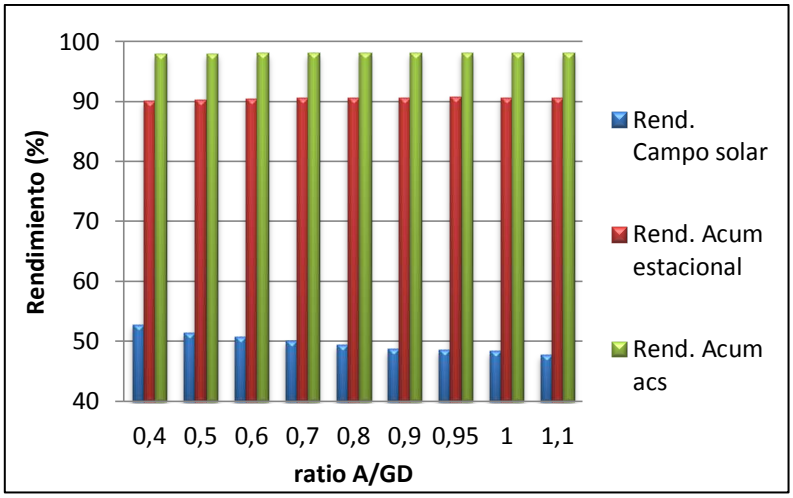


Figura 4.10. Rendimientos

c) Costes

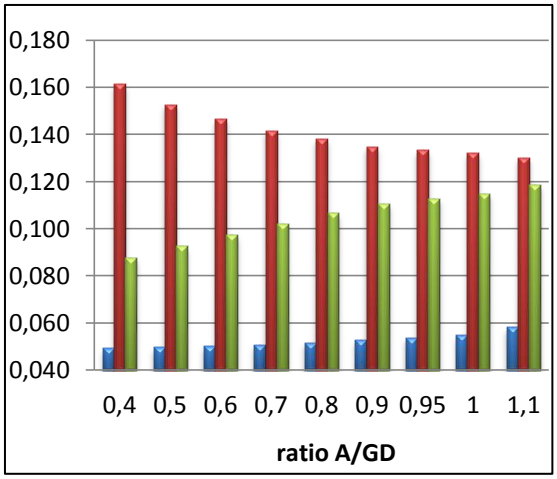


Figura 4.11. Costes, V/A variable

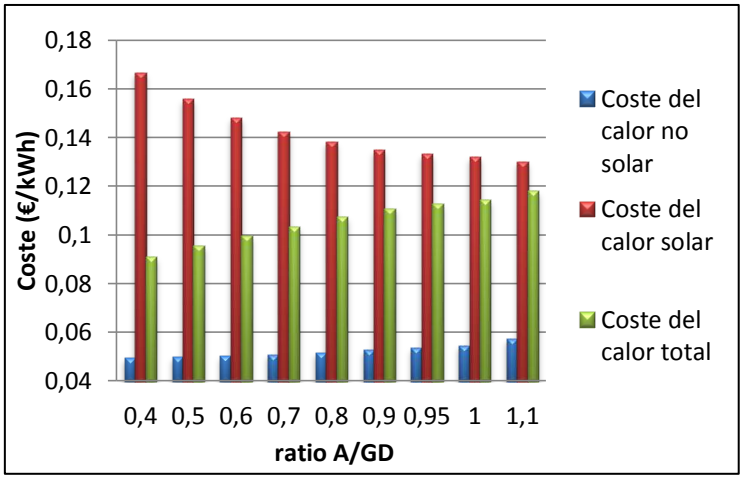


Figura 4.12. Costes, V/A cte

Tabla 4.8. Costes, V/A variable

Ratio A/GD	Ratio V/A	Coste del calor "no solar"	Coste del calor solar	Coste total
0,40	4,4	0,0494	0,1614	0,0876
0,50	4,6	0,0498	0,1527	0,0925
0,60	4,9	0,0502	0,1465	0,0975
0,70	5,1	0,0508	0,1417	0,1021
0,80	5,3	0,0516	0,1381	0,1066
0,90	5,4	0,0528	0,1349	0,1106
0,95	**5,5**	**0,0536**	**0,1333**	**0,1127**
1,00	5,6	0,0547	0,1323	0,1149
1,10	5,7	0,0581	0,1302	0,1188

Tabla 4.9. Costes, V/A cte

Ratio A/GD	Ratio V/A	Coste del calor "no solar"	Coste del calor solar	Coste total
0,40	5,5	0,0495	0,1668	0,0910
0,50	5,5	0,0499	0,1559	0,0955
0,60	5,5	0,0503	0,1481	0,0996
0,70	5,5	0,0509	0,1425	0,1035
0,80	5,5	0,0517	0,1384	0,1074
0,90	5,5	0,0528	0,1351	0,1110
0,95	**5,5**	**0,0536**	**0,1333**	**0,1127**
1,00	5,5	0,0546	0,1322	0,1145
1,10	5,5	0,0574	0,1302	0,1180

Observando los costes totales y comparándolos en función del valor del ratio V/A, si es constante o no, se pueden apreciar ciertas diferencias. Cuando el V/A no es constante, el valor del coste total cambia en función del volumen del acumulador estacional. Se puede ver que cuando los valores de V/A son menores de 5,5, el coste también es menor, lo cual es lógico puesto que el acumulador tiene un volumen menor. Sin embargo, cuando estos valores superan 5,5, el volumen del acumulador es más grande y los costes aumentan.

El mismo efecto se puede apreciar en el caso del coste solar, mientras que para el coste del calor no solar los efectos son inversos.

4.2.2. Influencia del ratio V/A (volumen del acumulador estacional)

En la Tabla 4.10 se observa cómo varían ciertos parámetros de la instalación si modificamos el valor del ratio V/A, que al considerar una demanda térmica constante y el ratio A/GD = 0,95; equivale a decir que modificamos el volumen del acumulador estacional.

Tabla 4.10. Comparación de sistemas solares en función del ratio V/A, (A/GD = 0,95)

V/A	η_{sf} (%)	η_{a1} (%)	η_{a2} (%)	SF_{HD} (%)	SF_{DD} (%)	SF (%)	Coste del calor "no solar" (€/kWh)	Coste del calor solar (€/kWh)	Coste total (€/kWh)
4,0	43,22	90,94	98,17	63,03	81,32	66,23	0,0520	0,1350	0,1070
4,5	45,14	90,86	98,17	66,45	81,24	69,03	0,0525	0,1343	0,1089
5,0	47,00	90,80	98,16	69,82	81,24	71,82	0,0531	0,1334	0,1108
5,5	**48,57**	**90,75**	**98,15**	**72,64**	**81,26**	**74,15**	**0,0536**	**0,1333**	**0,1127**
6,0	49,81	90,70	98,15	74,77	81,27	75,91	0,0541	0,1341	0,1148

En la Tabla 4.10 se observa la influencia sobre la eficiencia del campo solar es muy marcada. Un acumulador grande trabaja a menores temperaturas favoreciendo el rendimiento de los colectores durante el proceso de carga, y está totalmente cargado durante menos tiempo, lo que permite una mayor utilización del campo solar. Por tanto, la fracción solar aumenta con el tamaño del acumulador. Cuando el ratio V/A es bajo el aumento con el volumen es significativo, pero luego llega un momento en que el aumento de volumen es menos efectivo.

El coste del calor solar, primero se reduce con el volumen del acumulador, hasta alcanzar un mínimo, y luego aumenta. Se observa cómo los costes totales aumentan con el volumen del acumulador. Esto es debido, sobre todo, al aumento de la cobertura solar.

4.3. Combinación óptima de los ratios

Al modificar conjuntamente ambos ratios es posible encontrar la combinación óptima que haga mínimo el coste del calor suministrado.

El objetivo de este análisis es determinar los valores de dimensionamiento de los ratios A/GD y V/A que proporcionan un menor coste total para una fracción solar elegida en el diseño de la instalación.

Para ello se han considerado plantas con ratios comprendidos en los siguientes intervalos A/GD = [0,4 – 1,1] y V/A = [4,5 – 6,5].

En la Figura 4.13 se muestra la variación del coste unitario del calor en función de la fracción solar. Para cada línea representada del ratio A/GD, el ratio V/A varía de izquierda a derecha.

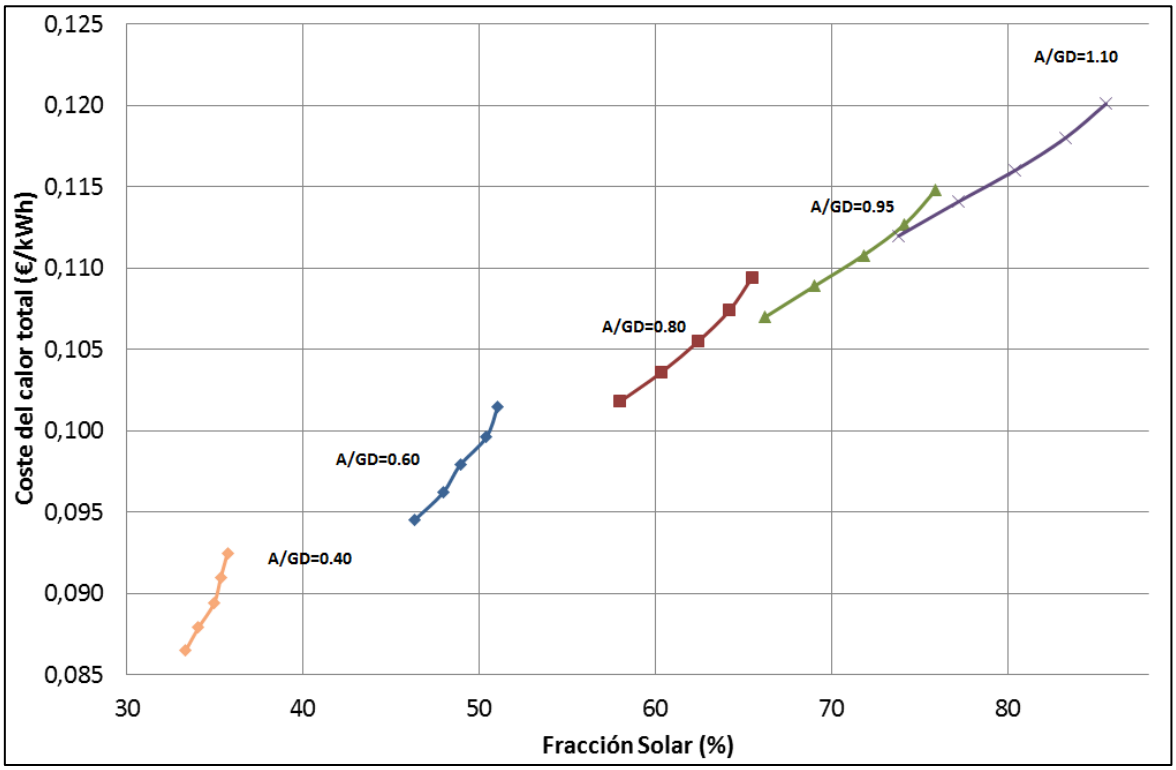


Figura 4.13. Fracción solar y coste total del calor en función de A/GD y V/A

Se observa como la fracción solar queda determinada básicamente por el ratio A/GD a causa de la forma significativa que toma la gráfica de la Figura 4.13, mientras que el volumen de acumulación (ratio V/A) afecta a la fracción solar en mucha menor medida.

Si se reduce el rango de valores de A/GD = [0,90-1,1] y se consideran más valores dentro del rango de V/A = [4,5-6,5], los resultados obtenidos son los mostrados en la Figura 4.14.

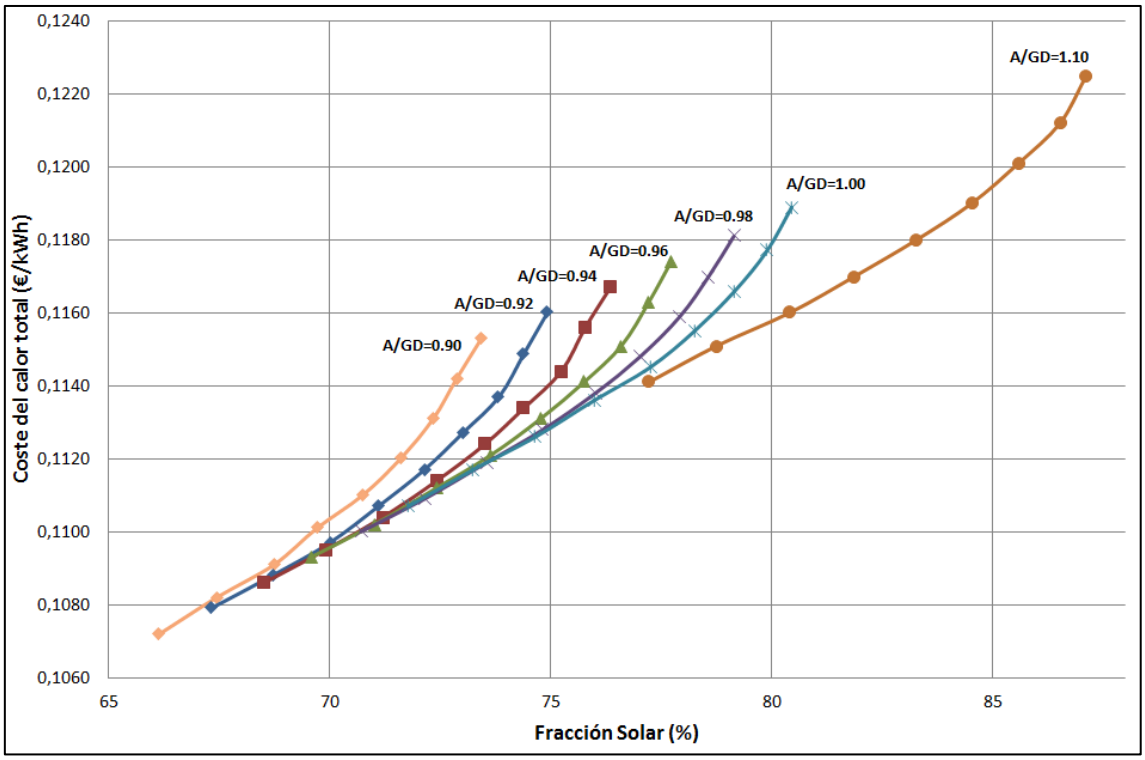


Figura 4.14. Fracción solar y coste total del calor en función de A/GD y V/A

Para una determinada fracción solar, el coste total es menor para un valor más grande de A/GD. Por ejemplo, una fracción solar de 75% se puede alcanzar con valores de A/GD de 0,96, 0,98 y 1,00. Sin embargo, cuanto mayor es dicho ratio, menor es el coste. También se puede observar cómo los volúmenes altos de acumulación nunca proporcionan el coste óptimo.

Esto implica que en una primera instancia se ha de elegir grandes áreas de captación solar frente a grandes valores de acumulación, siendo el diseño óptimo desde el punto de vista económico aquel con mayor área colectora y menor volumen de acumulación.

En la zona de fracción solar entorno al 70 – 75% convergen todas las curvas y hay un rango en la que cabe cierta libertad a la hora de elegir valores, siendo posibles diversas combinaciones de ratios.

La Figura 4.15 muestra el análisis en función de coste del calor solar. Los diseños se han realizado considerando un ratio A/GD dentro del rango [0,90-1,0] y un ratio V/A que varía de 4,5 a 6,5. Puede observarse que una vez decidida la fracción solar a alcanzar, la variable más determinante para un diseño óptimo es el ratio A/GD, pero como también se aprecia en la Figura 4.15, una misma fracción solar, por ejemplo del 71%, puede alcanzarse con distintas combinaciones A/GD y V/A, sin una variación de coste apreciable.

Para las condiciones de Zaragoza, un ratio V/A entre 5 y 5,5 conduce a diseños razonables.

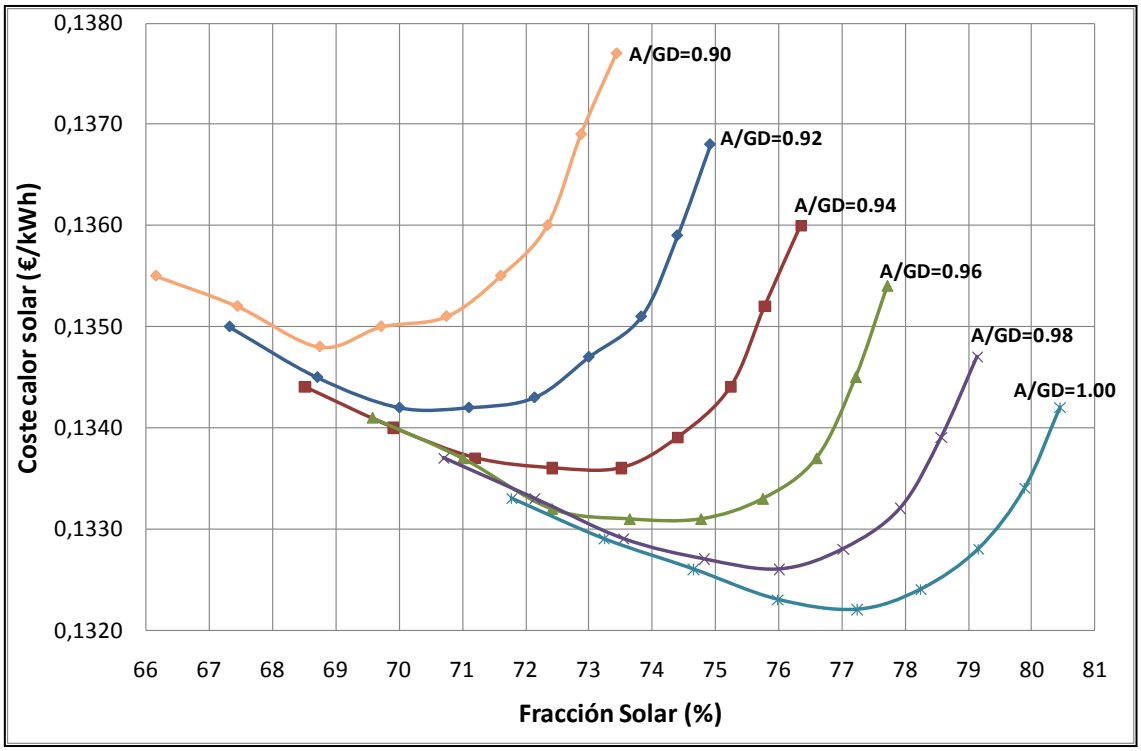


Figura 4.14. Fracción solar y coste del calor solar en función de A/GD y V/A