

Índice

1.	Introducción.....	3
2.	Objetivo	3
	Primera Parte	5
3.	Estudio preliminar.....	6
3.1.	Introducción y normativa aplicable.....	6
3.2.	Eficiencia general de las instalaciones	10
4.	Estudio del consumo energético del edificio.....	15
4.1.	Demanda de ACS – metodología y cálculo	17
4.2.	Demanda calentamiento piscina – calculo.....	19
4.3.	Demanda de calefacción – calculo	21
5.	Medidas de Ahorro y Eficiencia.....	24
5.1.	Instalación solar térmica	26
5.1.1.	Pérdidas por orientación e inclinación y por sombra	27
5.1.2.	Separación mínima entre filas de colectores	27
5.1.3.	Volumen de acumulación.....	28
5.1.4.	Sistema de intercambio	28
5.1.5.	Circuito hidráulico primario	28
5.1.6.	Bomba circuito primario	30
5.1.7.	Volumen del fluido caloportador	30
5.1.8.	Vaso de expansión	31
5.1.9.	Circuito hidráulico secundario.....	31
5.1.10.	Bomba circuito secundario.....	31
5.2.	Instalación caldera de biomasa.....	32
5.2.1.	Tipo de combustible	32
5.2.2.	Caldera.....	33
5.2.3.	Sala Caldera	34
5.2.4.	Depósito de inercia	34

5.2.5.	<i>Almacenamiento de biomasa</i>	35
6.	<i>Conclusiones</i>	36
	<i>Segunda Parte</i>	41
7.	<i>Estudio preliminar</i>	42
7.1.	<i>Introducción y normativa aplicable</i>	42
8.	<i>Modelado del sistema</i>	46
8.1.	<i>Descripción de los componentes utilizados</i>	47
8.1.1.	<i>Creación del type “Piscina”</i>	52
9.	<i>Validación del modelo</i>	55
10.	<i>Curva de aprendizaje</i>	58
11.	<i>Creación del type “Control predictivo”</i>	60
12.	<i>Resultados</i>	63



1. Introducción

Este documento presenta un estudio de viabilidad técnica y económica sobre la mejora de los sistemas térmicos para la climatización de cuatro piscinas municipales situadas en el municipio de Murcia, El Palmar, Infante, Mar Menor y Puente Tocinos. Como primera consideración debemos tener en cuenta que el consumo energético de este tipo de instalaciones puede ser superior a los 700 MWh al año, dependiendo del clima del lugar en el que se ubique, de las condiciones y estacionalidad del uso, y de la demanda requerida por los sistemas que incluyan. Por lo tanto una pequeña mejora en la eficiencia energética para el correcto funcionamiento se traduce en un gran ahorro en términos globales en emisiones de CO₂ a la atmosfera y en la utilización de recursos energéticos escasos.

Hay que destacar que no sólo la demanda es muy alta, sino que en la mayoría de los casos existe un desconocimiento a priori de la cantidad de energía que va a demandar una piscina climatizada.

Para reducir este uso tan grande de energía se plantea llevar a cabo este proyecto para fomentar la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en instalaciones de uso público, incorporando tecnologías que, manteniendo las condiciones de confort, no consuman tanta energía y/o que el origen de esta energía sea del tipo renovable, como son la solar térmica y la biomasa. Solamente utilizando las instalaciones de caldera con combustible convencional, para los picos de demanda energética que no son capaces de cubrir la nueva instalación. De este modo se optimiza el uso de las instalaciones a la vez que se aprovecha las instalaciones existentes, como se estudiará posteriormente. Esta opción se estudia junto con la opción de reemplazar por completo las instalaciones existentes, es importante remarcar que las instalaciones existentes ya están amortizadas y, aunque funcionan de forma correcta, se han detectado varias anomalías que degradan la eficiencia energética en un funcionamiento normal de la piscina.

Para una correcta gestión energética es necesario conocer los aspectos que determinan cuáles son los elementos más importantes a la hora de lograr la optimización energética, conocimiento que permita un mejor aprovechamiento de los recursos y un ahorro tanto en el consumo como en el dimensionamiento de las instalaciones. Por esta razón se trabajará para conocer el comportamiento energético del vaso de las piscinas utilizando un método de simulación dinámica a través de un software TRNSYS.

2. Objetivo

Los objetivos principales de este estudio son varios y la consecución de estos se debe hacer de manera secuencial. El primero de los objetivos es conocer el estado, coherencia y disposición de las instalaciones térmicas existentes en cada una de las piscinas cubiertas. Una vez se conocen las



instalaciones es necesario hacer un estudio de los consumos energéticos para cubrir las cargas y las necesidades de las piscinas. En una piscina cubierta las aplicaciones donde se concentra el consumo de energía, y sobre los cuales se trabajará en este documento, son principalmente tres: la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), el calentamiento del vaso de la piscina (o los vasos en el caso de tener más de uno) y la climatización de la sala piscina.

Una vez se tienen definidos los consumos energéticos y separado el consumo de cada tipo, se tiene como objetivo reducir el consumo energético pero cumpliendo con la demanda de la piscina, y como siguiente objetivo reducir el coste de la energía necesaria para su correcto funcionamiento a temperaturas de confort requerida para este tipo de instalaciones en la actualidad.

Seguidamente se realizará un estudio de introducción de nuevos sistemas energéticos, sustitución total o parcial de los existentes y mejora cuando sea posible de los mismos. También se tiene como objetivo la combinación de una o varias de las alternativas de las contempladas con el fin de alcanzar el objetivo planteado de reducción de la demanda y disminución de la energía final consumida por la instalación.

Se plantea la realización de una valoración económica de las alternativas propuestas junto con un estudio de amortización para cada una.

De esta forma se podrán acometer total o parcialmente las actuaciones propuestas por este documento y comprobar si las mejoras son eficientes.

Como último objetivo, que se expondrá en la segunda parte del trabajo, se modelará matemáticamente el comportamiento dinámico del vaso de una piscina cubierta alimentado por una instalación solar térmica y una caldera de biomasa, para conocer su evolución al cabo del año, y optimizar de manera inteligente el uso de los equipos térmicos y los recursos naturales. Para eso se pone el objetivo de desarrollar un control predictivo de la climatización para anticipar los picos y valles de producción de energía solar térmica mediante la previsión meteorológica y en función de ello adaptar el uso de la caldera de biomasa.



Primera Parte

3. Estudio preliminar

3.1. Introducción y normativa aplicable

Para la consecución del primero de los objetivos es primordial conocer el estado de la instalación en la actualidad. A continuación se procede a definir en detalle cada uno de los elementos que conforma las instalaciones de las piscinas, objeto de este estudio.

Las piscinas se encuentran situadas en el municipio de Murcia, una en la pedanía El Palmar, otra en la pedanía Puente Tocinos, y dos en Murcia Capital, y están formadas en general de dos edificios distintos, una sala dedicada al vaso de piscina y las zonas de playas, y otro destinado a diferentes usos, vestuarios y duchas (masculino y femenino), almacenes, despachos y cafetería.

En los anexos de este trabajo se encuentran todas las informaciones detalladas de cada una de las piscinas, que en esta parte han sido resumidas para facilitar la lectura.

Desde el punto de vista de la sección HE 4 del *Código Técnico de la Edificación*¹ (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria), publicado en el BOE 9511 del 2013, que marca la normativa vigente de ámbito estatal que afecta al cálculo de la aportación solar en las diferentes localizaciones de España, la zona climática en la que nos encontramos es la zona IV. Esto implica que la contribución mínima de energía solar anual será del 60% de la demanda energética destinada a la climatización de piscinas cubiertas. Ya que este % es bastante elevado el Código permite sustituir parcialmente o totalmente la contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio.

Otra norma que tiene carácter básico para las piscinas es el *Real Decreto 742/2013*², por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua y del aire de las piscinas. En la región de Murcia también se tiene un *Decreto Regional*, el 58/1992³ que todavía tiene aplicaciones en algunos aspectos no contemplado en el Decreto del 2013.

El Real Decreto 742/2013, clasifica las piscinas respecto al acceso del público y las clasifica en piscinas de uso público y de uso privado. En relación a la temperatura del aire y del agua de baño, se define **piscina climatizadas o cubiertas**, aquellas en que el recinto donde se encuentran los vasos está cerrado, tiene una estructura fija, y el agua se mantiene a una temperatura más o menos caliente, y en la que pueden existir vasos con agua a una temperatura ambiental o más fría que esa.

¹ <https://boe.es/boe/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511.pdf>

² <http://boe.es/boe/dias/2013/10/11/pdfs/BOE-A-2013-10580.pdf>

³ <https://www.um.es/casan/documentos/legislacion/AGUA/decreto-58-1992-piscinas.pdf>



En el Anexo II del Real Decreto son especificados los parámetros de calidad del aire para el recinto de piscinas cubiertas, estos parámetros se pueden ver en la ilustración 1.

Se medirá en aire, en el caso de piscinas cubiertas:

Parámetro	Valor paramétrico
Humedad relativa	< 65%
Temperatura ambiente	La temperatura seca del aire de los locales que alberguen piscinas climatizadas se mantendrá entre 1 °C y 2 °C por encima de la del agua del vaso, excepto vasos de hidromasaje y terapéuticos
CO ₂	La concentración de CO ₂ en el aire del recinto de los vasos cubiertos no superará más de 500 mg/m ³ del CO ₂ del aire exterior.

Ilustración 1. Parámetros indicadores de calidad del aire- Anexo II- Real Decreto 742/2013

Según la normativa anteriormente nombrada, para hacer un estudio de los requerimientos de este tipo de instalaciones es necesario hacer un pequeño estudio desde el punto de vista de la situación territorial y del clima de la zona donde se encuentra ubicada la instalación.

Enfoque climático

En primer lugar es importante conocer las temperaturas medias ambientales del lugar, así como la irradiación a lo largo de un año.

Murcia goza de una temperatura media anual de 19,2 °C, según los datos históricos del decenio 2005-2014⁴, proporcionados por la CARM. Las temperaturas máxima y mínima alcanzadas son respectivamente 40,9 °C y -1,8 °C. En la tabla 1 se encuentran la irradiación sobre plano inclinado, la irradiación sobre el ángulo óptimo de 34° y a 90°, y en la representación gráfica 1 la evolución de la temperatura media diaria en cada mes, datos que proceden de la herramienta online PVGIS⁵, estos datos son muy parecidos a los que se pueden obtener del *Atlas de Radiación Solar y Temperatura Ambiente en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia* publicado por la Agencia de Gestión de la Energía de la Región de Murcia (Argem)⁶ y por la UPCT⁷ en versión extendida en el año 2007 y 2008 respectivamente. En esta última publicación es posible encontrar los datos temperatura del aire para cada uno de los municipios de la región, para el caso del municipio de Murcia se puede ver en la tabla 2. En la ilustración 2 se muestra la radiación media de la CARM y la que corresponde al Término municipal de Murcia. En la tabla 2 también se muestra la radiación solar para cada mes para un plano horizontal y en la siguiente, tabla 3 el termino multiplicativo para el cálculo de la radiación para diferentes planos de inclinación.

⁴Datos climatológicos de Murcia- CARM.es

⁵<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

⁶ Atlas de Irradiación Solar y Temperatura Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. ISBN:978-84-95781-97-0

⁷Atlas de Irradiación Solar y Temperatura Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (Versión Extendida) <http://hdl.handle.net/10317/304>



Mes	Hh	Hopt	H(90°)
	Wh/m ² /día	Wh/m ² /día	Wh/m ² /día
Ene	2.580	4.420	4.490
Feb	3.440	5.110	4.530
Mar	4.980	6.190	4.440
Abr	5.810	6.210	3.340
May	6.920	6.610	2.670
Jun	7.800	7.050	2.320
Jul	7.840	7.260	2.530
Ago	6.800	6.980	3.270
Sep	5.180	6.110	3.950
Oct	3.980	5.490	4.510
Nov	2.760	4.510	4.390
Dic	2.230	3.970	4.150
Año	5.040	5.830	3.710

Tabla 1. Irradiación sobre plano inclinado, sobre ángulo óptimo y ángulo perpendicular en Murcia- Fuente PVGIS

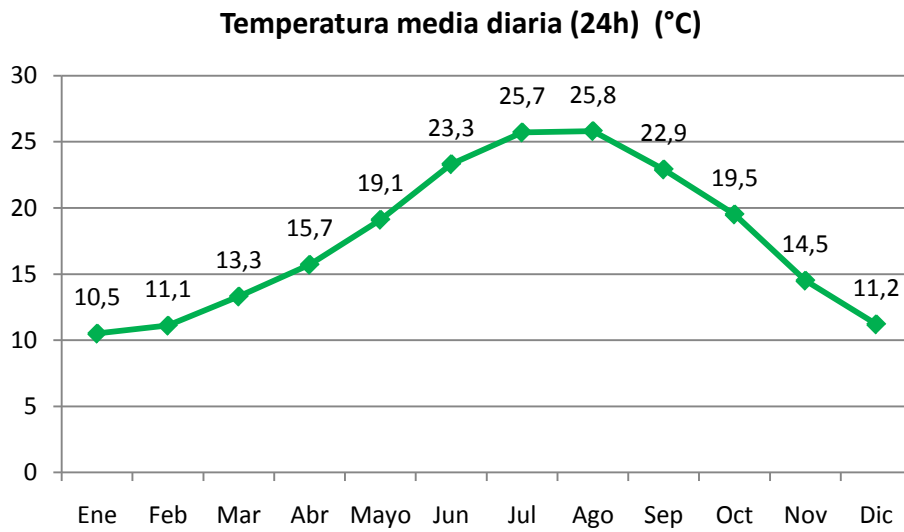


Gráfico 1. Temperatura media diaria en Murcia- Fuente PVGIS



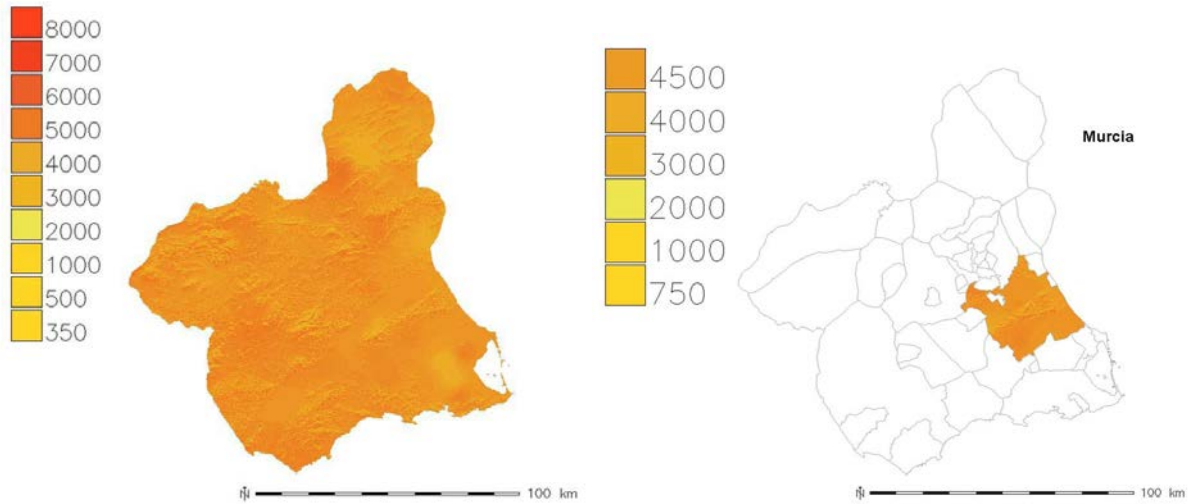


Ilustración 2. Mapa de irradiación global diaria, media anual y Mapa de radiación global de T.M. de Murcia. Fuente propia

Mes	Hh	Temp. Aire
	Wh/m ² /día	°C
Ene	2.404,76	10,45
Feb	3.335,05	11,50
Mar	4.582,20	13,50
Abr	5.844,45	16,00
May	6.794,05	20,05
Jun	7.134,25	23,20
Jul	6.783,92	25,50
Ago	5.810,00	25,80
Sep	4.522,57	22,50
Oct	3.24,58	20,00
Nov	2.324,57	14,25
Dic	2.017,10	11,35
Año	4.566,54	19,45

Tabla 2. Irradiación sobre plano horizontal y temperatura del aire Murcia- Fuente propia

Inclinación	Factores de corrección para superficie inclinada en el municipio de Murcia											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0º	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10º	1,16	1,13	1,08	1,03	1,00	0,99	0,99	1,02	1,05	1,08	1,12	1,15
20º	1,30	1,24	1,14	1,05	0,98	0,95	0,97	1,01	1,08	1,15	1,21	1,27
30º	1,41	1,32	1,17	1,03	0,94	0,91	0,92	0,99	1,08	1,19	1,29	1,37
40º	1,48	1,37	1,17	1,00	0,89	0,84	0,87	0,95	1,07	1,20	1,33	1,44
50º	1,53	1,38	1,15	0,95	0,82	0,76	0,79	0,89	1,03	1,20	1,35	1,48
60º	1,54	1,37	1,11	0,87	0,73	0,67	0,70	0,81	0,97	1,16	1,34	1,49
70º	1,51	1,32	1,03	0,78	0,63	0,57	0,61	0,72	0,90	1,11	1,30	1,46
80º	1,45	1,25	0,94	0,68	0,53	0,47	0,50	0,62	0,80	1,03	1,23	1,40

Tabla 3. Factor de corrección para superficie inclinada respecto al plano horizontal en Murcia- Fuente propia



3.2. Eficienciageneral de las instalaciones

La eficiencia general de un edificio, sea vivienda o de carácter comercial, está relacionada con diferentes aspectos:

- Técnicas y materiales de construcción (Aislamiento del edificio, Ventanas y puertas acristaladas, fachadas ventiladas, cobertura)
- Sistema de calefacción y refrigeración
- Utilización de energías renovables
- Iluminación

Cada uno de esos factores influye con un porcentaje más o menos elevado en la cuenta de energía consumida por el dicho edificio.

Para lograr una mayor eficiencia energética es necesario conocer el estado actual de las piscinas, con sus características, sus equipos y finalmente sus demandas energéticas.

En las tablas posteriores se presentan los resumen de las principales características de las 4 piscinas y algunos comentarios sobre la eficiencia. Para más informaciones y fotos de cada piscina se remanda al relativo anexo.

EL PALMAR				
EDIFICIO	Edificio piscina	Dimensiones: 34,5 m x 21 m Altura media: 4 m	1 VASO SEMI-OLÍMPICO Dimensiones: 25 m x 12,5 m Lámina de agua: 313 m ² Volumen: 672 m ³	Nº USUARIOS MEDIO DIARIO: 280
	Edificio vestuarios- duchas	Dimensiones: 9 m x 13,2 m Altura: 3 m		
EQUIPOS	2 CALDERAS: ROCA Tecno 38L 450,7 kW Combustible: GASOLEO C Deposito: 10.000 litros		3 DEPOSITOS: LAPESA MV2000R 2.000 litros	DESHUMECTADORA: No dispone
	CAPTADOR SOLAR: Roca NEOS Área de captación: 2.03 m ²		Orientación: 5° oeste Número fila: 3 Número captador por fila: 6	



<p>Ecuación característica del colector: $\eta = 0,759 - 3,480 T^* - 0,0161 G T^{*2}$</p>	<p>Número total captadores: 18 Preferencia: ACS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La piscina cubierta se encuentra protegida por una cubierta desmontable, constituida por una carpa de lona. Esto implica una serie de problemas de infiltración de aire, puentes térmicos, mala impermeabilidad, etc. que hacen variar tanto la temperatura que la humedad al interior del habitáculo que contiene la piscina. La variación continua de las condiciones internas comprometen el correcto funcionamiento de la caldera y de los otros equipos de climatización. Al controlar la climatización con mezcla de corrientes de aire, este sistema hace que la demanda requerida sea superior de la necesaria en otros casos. • Las calderas y todos los equipos en la sala maquina se encuentran en buen estado. • Para una mejor eficiencia de la instalación sería interesante la instalación de una maquina deshumectadora para el control de la humedad en el habitáculo que alberga la piscina. La falta de deshumectadora no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua del vaso de la piscina de forma eficiente. • La piscina cuenta de un sistema de captadores solares térmicos posicionado en la cubierta. En general no se han encontrado problemas aunque es aconsejable una limpieza de los cristales de los captadores. • Se recomienda realizar retorno invertido en la instalación solar térmica presente, ya que este equilibra hidráulicamente el sistema (no se tiene constancia de que la instalación disponga de retorno invertido). 	



INFANTE				
EDIFICIO	Edificio piscina	Dimensiones: 43,8 m x 19,4 m Altura: 6.5 m	1 VASO SEMI-OLÍMPICO Dimensiones: 25,5 m x 12,5 m Lámina de agua: 319 m ² Volumen: 672 m ³	Nº USUARIOS MEDIO DIARIO: 450
	Edificio vestuarios- duchas	Dimensiones*: 19,3 m x 17,8 m Altura media: 3 m	1 VASO PARA CHAPOTEO Dimensiones: 12,6 m x 8 m Lámina de agua: 101 m ² Volumen: 169 m ³	*Para las dimensiones del edificio vestuarios- duchas se han tomado medidas aproximadas
EQUIPOS	2 CALDERAS: ROCA NTD 400 465 Kw Combustible: GASOLEO C Deposito: 10.000 litros		3 DEPOSITOS: LAPESA 4.000 litros 1 DEPOSITO: LAPESA 1.000 litros	DESHUMECTADORA: Clima ROCA York BCP-80-38C 63.9 kW
	CAPTADOR SOLAR: Roca CADESOL Área de captación: 2 m ²		Orientación: 17° oeste Número fila: 2 Número captador por fila: 34 Número total captadores: 68 Preferencia: ACS	

- El **estado general** de la estructura se puede calificar como **bueno**.
- La piscina cuenta de un **sistema de captadores solares** térmicos posicionado en la cubierta. Dicho captadores además que antiguo se encuentran en **muy malo estado**, con cristales rotos, tuberías dañadas y/o sin aislante. La eficiencia de la instalación es mínima o casi nula. De hecho esta instalación se encuentra **parada**.
- Las calderas se encuentran en buen estado. De los **cuatros depósitos** que se encuentran en la sala máquina, **únicamente uno está trabajando**, en condiciones de temperatura muy por encima de las normales y recomendables. Antes de un nuevo funcionamiento habría que verificar la integridad de los depósitos inutilizados.
- La piscina **dispone** de una **maquina deshumectadora** para el control de la humedad. Esta permite la eliminación de la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua de los vasos de la piscina de forma eficiente.



MAR MENOR				
EDIFICIO	Edificio piscina-vestuarios- duchas	Dimensiones: 47,5 m x 33 m Altura piscina: 9 m Altura vestuarios- duchas: 3 m	1 VASO SEMI-OLÍMPICO Dimensiones: 25,5 m x 12,5 m Lámina de agua: 319 m ² Volumen: 701 m ³ 1 VASO PARA CHAPOTEO Dimensiones: 12,5 m x 8 m Lámina de agua: 100 m ² Volumen: 80 m ³	Nº USUARIOS MEDIO DIARIO: 500 En la sala de los vasos se encuentran gradas para espectadores.
	EQUIPOS	2 CALDERAS: ROCA CPA 500 581 kW c.u. Combustible: GAS NATURAL	2 DEPOSITOS: LAPESA 4.000 litros	DESHUMECTADORA: No dispone
<ul style="list-style-type: none"> El estado general de la estructura se puede calificar con carácter de bueno y adecuado. Esto es debido a que la piscina fue rehabilitada en el año 2013 y cuando se instalaron las calderas de GN. Según el informe técnico (<i>Reparación de piscina cubierta Mar Menor- Murcia⁸</i>), en estos trabajos se ha renovado la cubierta que llevaba puntos de oxidación en la estructura tubular de la cubierta, más el sistema de ventilación y de acondicionamiento de aire. Las calderas y todos los equipos en la sala maquina se encuentran en buen estado. Para una mejor eficiencia de la instalación sería interesante la instalación de una maquina deshumectadora para el control de la humedad en el habitáculo que alberga la piscina. La falta de deshumectadora no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua de los vasos de la piscina de forma eficiente. Es importante remarcar que la instalación térmica no dispone de apoyo solar. La principal razón es que las condiciones de la cubierta (no transitable) no permite la instalación de un sistema de captadores solares térmicos en ella. Este aspecto será sujeto a estudio y se contempla la posibilidad de poner una instalación solar térmica en la terraza del edificio que hasta el momento se encuentra sin uso. 				

PUENTE TOCINOS				
EDIFICIO	Edificio piscina	Dimensiones: 45,5 m x 18,1 m Altura piscina: 6 m	1 VASO SEMI-OLÍMPICO Dimensiones: 25,5 m x 12,5 m Lámina de agua: 319 m ² Volumen: 502 m ³	Nº USUARIOS MEDIO DIARIO: 400
	Edificio	Dimensiones*:		*Para las dimensiones

⁸ <https://www.murcia.es/concursosuministros/pdf/PLIEGO-PROYECTO-685-12.pdf>



	vestuarios- duchas	45,5 m x 12 m Altura: 3 m	1 VASO PARA CHAPOTEÓ Dimensiones: 12,5 m x 8 m Lámina de agua: 100 m ² Volumen: 80 m ³	del edificio vestuarios- duchas se han tomado meduras aproximadas
EQUIPOS	1 CALDERA: ROCA CPA 400- 681,4 kW 1 CALDERA: ROCA CPA 300- 348,9 kW 1 CALDERA: ROCA CPA 60- 58,1 Kw Combustible: GASOLEO C Deposito: 10.000 litros		2 DEPOSITOS: IQUEM S.A. 2.000 litros 1 DEPOSITO: LA PESA MVV2000RB_01 2.000 litros	DESHUMECTADORA: No dispone
	CAPTADOR SOLAR: Roca PS 2 Área de captación: 2,03 m ² Ecuación característica del colector: $\eta = 0,760 - 3,191 T^* - 0,025 G T^{*2}$ Roca NEOS Área de captación: 2,03 m ² Ecuación característica del colector: $\eta = 0,759 - 3,480 T^* - 0,016 G T^{*2}$		Orientación: 23° este Número fila: 3 Número captador por fila: 6 Número total captadores: 18 Preferencia: ACS	
<ul style="list-style-type: none"> • El estado general de la estructura se puede calificar con carácter de suficiente debido a que la piscina tiene menos de 10 años. Fue inaugurada en el 2008 y algunos operaciones de mantenimiento fueron realizados en el año 2010. • Las calderas y todos los equipos en la sala maquina se encuentran en buen estado. • Para una mejor eficiencia de la instalación sería interesante la instalación de una maquina deshumectadora para el control de la humedad en el habitáculo que alberga la piscina. La falta de deshumectadora no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua de los vasos de la piscina de forma eficiente. • La piscina cuenta de un sistema de captadores solares térmicos posicionado en la cubierta. En general no se han encontrado problemas aunque es aconsejable una limpieza de los cristales de los captadores. • Se recomienda realizar retorno invertido en la instalación solar térmica presente, ya que este equilibra hidráulicamente el sistema 				



4. Estudio del consumo energético del edificio

La definición de la demanda energética de un edificio reviste una gran importancia a la hora de diseñar y dimensionar nuevas instalaciones y de evaluar las condiciones de trabajo de las instalaciones existentes. Para poder conocer las necesidades energéticas de una piscina se han tenido en cuenta tres factores:

1. la demanda energética de agua caliente sanitaria,
2. la demanda energética de calentamiento del agua de la piscina
3. y, por último, la demanda energética para la climatización del edificio.

En este estudio los resultados energéticos del sistema se han obtenido mediante una simulación con el software de cálculo TRANSOL 3.0., basado en el programa de simulaciones dinámicas TRNSYS (TRaNsientsimulationSYStems). A través de una interfaz gráfica sencilla TRANSOL permite operar con distintas opciones y condiciones, tanto para el cálculo de la demanda energética de agua caliente sanitaria que para la demanda energética del vaso, obteniendo los resultados energéticos mensuales y anuales para varias condiciones de utilización.

La demanda energética de calefacción del “edificio piscina” se ha calculado en todos los casos a través del software vpClima, programa que permite determinar tanto la carga interna máxima de un edificio, que la demanda térmica a lo largo de un año (calefacción y refrigeración) para mantener las condiciones de confort que marca la normativa para cada tipo de edificios. El software, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, en realidad no está desarrollado para la modelación de un edificio con piscina climatizada, así que en la definición de la demanda de calefacción solo se ha tenido en cuenta el porcentaje mensual calculado por el programa, esto permite evaluar la eficiencia energética del cerramiento y las cargas de personas e instalaciones que encierra el edificio pero sin tener en cuenta la carga propia de la piscina, esta carga se tiene en cuenta aparte y se considera que los porcentajes de pérdidas obtenidas por el programa serán los mismos, pero los valores totales se modificarán para tener en cuenta la evaporación que se da a cabo en el vaso de piscina. Esto se explicará en con más detalle en el apartado 4.3.

En los apartados siguientes 4.1 y 4.2 se muestra en detalle cómo se ha calculado la demanda energética de ACS y de la calefacción del vaso para cada piscina.

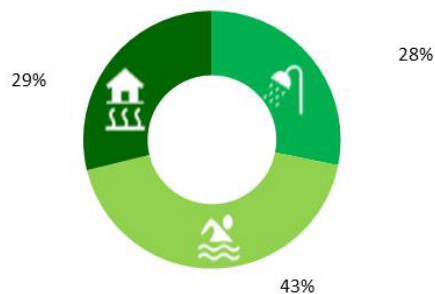
Como resultado global de este estudio de cargas, se obtienen los porcentajes mostrados en los gráficos siguientes. La demanda energética bruta total es en todos los casos superior a los 650 MWh anuales llegando a 1.250 MWh de la piscina Mar Menor, Como se puede ver la demanda de calefacción del edificio tiene un elevado porcentaje respecto al total. Solo en la piscina Infante, dicho porcentaje resulta inferior, y predomina la demanda para la calefacción de los vasos, ya que es la única de las 4 piscinas en la que está instalada la maquina deshumectadora.



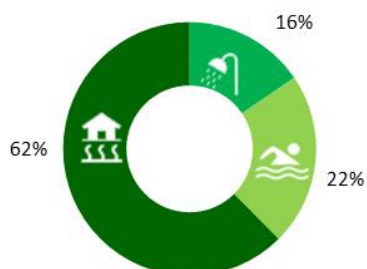
El Palmar
Demanda energética total: 651 MWh



Infante
Demanda energética total: 677 MWh



Mar Menor
Demanda energética total: 1.295 MWh



Puente Tocinos
Demanda energética total: 741 MWh

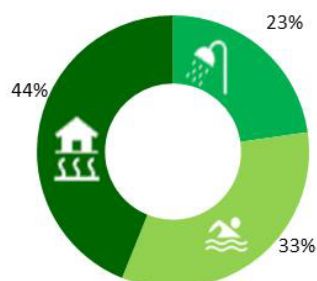


Gráfico 2- Repartición porcentual de la demanda energética anual en las 4 piscinas



4.1. Demanda de ACS – metodología y cálculo

El cálculo de la demanda de ACS del edificio se realiza en base a los valores que marca el *CTE* en el apartado 4 parágrafo 4.1, con una demanda de referencia a 60 °C, y un valor unitario de demanda diaria que varía según el uso del edificio (Tabla 4.1. HE4):

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Ilustración 3. Demanda de referencia a 60°C- Sección 4- Código Técnico de la Edificación

En este caso para uso “piscina”, no contemplado en la tabla, se ha tomado como referencia los **21 litros/día * unidad** tanto de “gimnasio” como para “vestuarios/duchas colectivas”.

Como precedentemente dicho el cálculo del consumo energético de ACS se ha portado a cabo a través del programa TRANSOL. La piscina ha sido modelada en el programa, insertando todas las informaciones principales y secundarias que la definen (número de nadadores diario, perfil de uso horario, perfil de uso mensual, dimensiones vasos, sistema de calefacción, etc...). Como resultado se ha obtenido la tabla 4, donde aparecen:

La demanda requerida es la energía solicitada por los usuarios según el perfil de uso horario y mensual que caracteriza la piscina.

La demanda neta se define como la energía que llega a los aparatos sanitarios y puede calcularse en base a tres parámetros: los perfiles de consumo, la temperatura del agua de red y la temperatura del agua sanitaria en el punto de consumo.

La demanda bruta es la suma de la demanda neta más las pérdidas asociadas al sistema de distribución final de esa energía. Es la energía que requiere la instalación para poder ofrecer la demanda neta al usuario en los puntos finales de consumo.



Meses	El Palmar			Infante		
	D requerida (kWh)	D neta (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D neta (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	16.529	16.445	17.468	26.564	26.494	27.904
Febrero	13.521	13.446	14.355	21.730	21.686	22.971
Marzo	13.748	13.667	14.644	22.094	22.044	23.421
Abril	11.386	11.301	12.224	18.300	18.252	19.535
Mayo	9.547	9.448	10.363	15.343	15.292	16.555
Junio	2.648	2.603	3.025	4.257	4.214	4.810
Julio	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0
Septiembre	2.943	2.892	3.345	4.730	4.686	5.328
Octubre	11.482	11.408	12.334	18.453	18.412	19.695
Noviembre	13.220	13.142	14.092	21.246	21.198	22.541
Diciembre	16.633	16.551	17.573	26.731	26.661	28.066
TOTAL (kWh)	111.657	110.902	119.421	179.449	178.939	190.826

Meses	Mar Menor			Puente Tocinos		
	D requerida (kWh)	D neta (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D neta (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	29.516	29.454	31.007	23.731	23.710	24.700
Febrero	24.144	24.096	25.496	19.412	19.386	20.277
Marzo	24.549	24.505	26.018	19.738	19.708	20.670
Abril	20.333	20.284	21.737	16.348	16.315	17.229
Mayo	17.048	16.997	18.461	13.707	13.671	14.577
Junio	4.729	4.687	5.363	3.802	3.774	4.196
Julio	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0
Septiembre	5.256	5.209	5.939	4.226	4.197	4.647
Octubre	20.503	20.462	21.922	16.485	16.457	17.367
Noviembre	23.607	23.565	25.047	18.980	18.953	19.886
Diciembre	29.702	29.626	31.171	23.880	23.859	24.846
TOTAL (kWh)	199.388	198.886	212.161	160.308	160.029	168.394

Tabla 4. Demanda energética de ACS para las 4 piscinas



A la hora de modelar las piscinas, se han tenido en cuenta diferentes parámetros, y entre ellos la estacionalidad de la demanda, ya que en los meses de verano las piscinas están muy poco frecuentadas, llegando a un paro de las instalaciones en los meses de julio y agosto. Por esta razón se puede ver en la ilustración 4 valores nulos de demanda mensual en julio y agosto y valor muy bajos respecto a los otros meses. En los meses de junio y septiembre se ha considerado un funcionamiento de solo 15 días.

Otro parámetro importante es el perfil diario de consumo de agua caliente sanitaria. Cada piscina tiene un horario de 8:00 a 22:00 desde el lunes hasta el viernes, y de 10:00 a 14:00 y de 16:30 a 20:30 los sábados y los domingos, con un número de usuarios variables entre las horas. En el estudio se han considerado dos picos de uso: el primero por la mañana, 9:00-11:00 horas, y el segundo por la tarde/noche en tres las 21:00-22:00 horas.

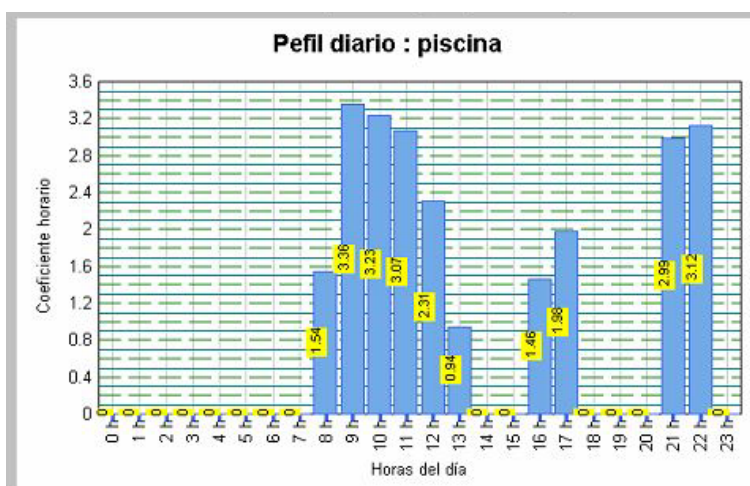


Ilustración 4. Perfil diario de consumo de ACS

4.2. Demanda calentamiento piscina– calculo

En el proyecto de climatización de una piscina cubierta debe tenerse en cuenta algunas diferencias fundamentales con respecto a un sistema de climatización de un edificio residencial: en primer lugar en el recinto hay una fuerte evaporación y, en segundo lugar las condiciones de confort de los bañistas son diferentes.

Según la normativa vigente hay que conseguir en el recinto una temperatura y humedad relativa adecuada para proteger la salud de los usuarios (RITE, *Instrucción Técnica Complementaria ITE10*⁹ 10.2.1.2-10.2.1.3). En cuanto a la temperatura del aire ambiente, la del agua y la humedad ambiental se tomaron como condiciones de confort las siguientes:

⁹<http://www.coac.net/mediambiente/documentacio/pdf/rite.pdf>



- Temperatura del agua de consigna: 28 °C
- Temperatura del agua máxima: 29 °C
- Temperatura del aire: 29 °C
- Humedad relativa 60%
- Renovación diaria del agua de piscina: 2,5 %

Como resultado de la modelación de los vasos se ha obtenido la tabla 5 donde aparecen la demanda requerida y la demanda bruta para las 4 piscinas objetos de estudio, definidas como en el apartado anterior.

Meses	El Palmar		Infante	
	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	22.746	25.819	30.329	34.657
Febrero	20.537	23.260	27.416	31.401
Marzo	22.031	25.237	29.524	33.960
Abril	20.708	23.958	27.907	32.099
Mayo	20.326	23.376	27.371	31.750
Junio	9.227	10.700	12.503	14.654
Julio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Septiembre	9.419	11.165	12.788	15.235
Octubre	19.648	22.795	26.526	31.052
Noviembre	20.695	23.842	27.852	32.099
Diciembre	22.740	25.819	30.315	34.657
TOTAL (kWh)	188.077	215.969	252.530	291.564



Meses	Mar Menor		Puente Tocinos	
	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	29.185,08	33.610,70	25.389,74	29.191,30
Febrero	26.371,56	30.470,60	22.940,73	26.400,10
Marzo	28.690,35	32.912,90	24.774,69	28.842,40
Abril	27.055,52	31.052,10	23.498,54	27.097,90
Mayo	26.485,68	30.819,50	23.201,29	27.214,20
Junio	12.232,69	14.304,90	10.753,53	12.676,70
Julio	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	12.433,06	14.886,40	11.166,66	13.141,90
Octubre	25.642,60	30.121,70	22.538,26	26.516,40
Noviembre	27.052,35	31.168,40	23.491,23	27.330,50
Diciembre	29.140,39	33.610,70	25.396,97	29.191,30
TOTAL (kWh)	244.289,29	282.957,90	213.151,64	247.602,70

Tabla 5. Demanda energética de calefacción del vaso para las 4 piscinas

4.3. Demanda de calefacción – calculo

La demanda de calefacción a tener en cuenta para dimensionar se ha hallado a través del software de cálculo vpClima. En particular este tipo de programa permite una buena estimación de la demanda energética de edificios residenciales y terciarios, aunque no permitió una buena simulación del edificio “piscina” con sus peculiares condiciones, proporcionando datos menores de los esperado. Para obviar este problema, solo se ha tenido en cuenta el porcentaje mensual respecto al total de calefacción calculado en la simulación, obteniendo así una aproximación para cada mes, que simula el comportamiento del edificio según las estaciones del año. Esta estimación se ve justificada debido a que el programa VpClima tiene en cuenta sobre todo las pérdidas térmicas producidas por los cerramientos del edificio, teniendo en cuenta el tipo de cerramientos, la orientación, los huecos, las ventanas, las puertas y la renovación del aire necesaria para cada tipo de edificio.

La modelización se ha realizado completa con todos las condiciones de cada edificio por lo tanto el valor porcentual de las pérdidas debidas al edificio está correctamente calculado y es el que se muestra en la siguiente tabla.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Palmar	20%	14%	11%	8%	5%	2%	1%	1%	2%	6%	12%	18%
Infante	17%	13%	12%	9%	6%	3%	1%	1%	2%	7%	12%	16%

30/05/2016



Mar Menor	17%	13%	12%	9%	6%	3%	1%	1%	2%	7%	12%	16%
Puente Tocinos	15%	12 %	13%	10%	7%	4%	1%	1%	3%	7%	12%	14%

Tabla 6. Porcentaje de demanda térmica mensual de calefacción del edificio.

En los meses de Junio y Julio se ha considerado una demanda de energía de 1% para cubrir un posible consumo energético debido al uso secundario de locales y mantenimiento de las instalaciones. Finalmente los valores de energía consumida a lo largo de un año para la calefacción se muestran en la tabla siguiente.

Meses	El Palmar		Infante	
	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	69.251	62.220	42.842	34.044
Febrero	48.980	44.007	32.412	25.755
Marzo	40.234	36.149	29.903	23.762
Abril	26.870	24.142	21.996	17.479
Mayo	16.859	15.147	15.061	11.968
Junio	8.089	7.268	7.143	5.676
Julio	4.113	3.696	2.917	2.318
Agosto	3.435	3.087	2.541	2.019
Septiembre	7.373	6.624	6.061	4.817
Octubre	20.674	18.575	16.298	12.951
Noviembre	41.907	37.653	29.003	23.047
Diciembre	63.435	56.995	39.295	31.225
TOTAL(kWh)	351.219,69	315.563,17	245.473	195.062



Meses	Mar Menor		Puente Tocinos	
	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)	D requerida (kWh)	D bruta (kWh)
Enero	148.684,6	139.706,5	55.867,31	49.406,37
Febrero	112.484,7	105.692,5	45.837,13	40.536,15
Marzo	103.779,9	97.513,3	47.479,97	41.989,00
Abril	76.337,8	71.728,2	37.778,78	33.409,74
Mayo	52.269,8	49.113,6	27.480,20	24.302,17
Junio	24.789,9	23.293,0	12.934,91	11.439,02
Julio	10.121,9	9.510,7	4.432,85	3.920,20
Agosto	8.818,6	8.286,1	4.017,27	3.552,68
Septiembre	21.035,8	19.765,6	10.443,60	9.235,82
Octubre	56.564,1	53.148,5	27.192,32	24.047,58
Noviembre	100.656,2	94.578,2	43.029,80	38.053,49
Diciembre	136.373,0	128.138,3	51.326,24	45.390,46
TOTAL (kWh)	851.916,24	800.474,38	367.820,39	325.282,66

Tabla 7. Demanda energética de calefacción del edificio



5. Medidas de Ahorro y Eficiencia

En este apartado se plantean todas las diversas soluciones técnicas para reducir y cubrir la demanda energética de climatización de las piscinas que se han considerado. Las alternativas contempladas son las siguientes:

- **Cambio de calderas de gasóleo con calderas de gas natural.** El gas natural es más limpio que el de gasoil debido a la menor emisión de CO₂ por unidad de combustible quemado, relación H:C del gas natural es la mayor posible 4:1. La utilización de calderas de gas natural con sistema de recuperación del calor latente del agua procedente de la combustión, denominadas calderas de condensación, resulta una alternativa eficaz. Además tiene una regulación del calor excelente, no requiere de tanques de combustible, evitando los costes de mantenimiento de los tanques y como ventaja añadida no requiere de hacer el pedido periódicamente de combustible debido a su distribución continua por red de abastecimiento.
- **Cambio de preferencia de la instalación solar.** La piscina actualmente dispone de sistema de apoyo térmico solar: aumentando el área de trabajo de los captadores destinado a la piscina respecto a los destinados al calentamiento del ACS se obtiene un aumento importante de la eficiencia del sistema y una reducción considerable de la demanda energética del sistema.
- **Instalación de manta térmica,** que permite la reducción de la demanda térmica de la piscina. La manta térmica evita la pérdida de calor durante las horas de inactividad de la piscina, disminuyendo las pérdidas por evaporación de la lámina de agua. Este sistema está demostrado ser bastante eficaz en diferentes instalaciones y ha demostrado ser eficaz en el estudio realizado para esta instalación.
- **Instalación/sustitución de las calderas por caldera(s) de biomasa,** en sustitución de las actuales. Todo el calor necesario para el funcionamiento de la piscina sería proporcionado por calderas de pellets y/o astilla, se podría considerar la utilización de calderas de multi combustible pero el precio de estas sería mayor haciendo aún más difícil la viabilidad económica de esta opción.
- **Instalación o ampliación de la instalación solar térmica para apoyo al calentamiento de los vasos,** diseño e implementación del sistema de captadores solares para un parcial cubrimiento de la contribución mínima de energía solar. Se la piscina dispone de sistema de apoyo térmico solar se implementa un nuevo sistema de captadores solares, mayor respecto al anterior, por supuesto aprovechando la instalación existente y aumentando el número de captadores y los sistemas necesarios para el buen funcionamiento de una instalación mayor.

Para poder valorar energéticamente cada uno de los sistemas y valorar objetivamente las ventajas y nivel de funcionamiento de cada uno es necesario instalar elementos de medida y control. El sistema



de medida de energía generada, normalmente se integra en el control del sistema completo. El sistema consiste en un contador volumétrico (contador de agua caliente con salida de pulsos, que se instala a la salida del depósito solar) y 2 sondas de T (temperatura de salida del depósito solar al depósito auxiliar, y T de entrada de agua fría de la red). El control calcula volumen trasegado (normalmente 1 pulso por cada 10 litros) y delta T. Con estos datos se calcula la energía aportada por normalmente por el sistema solar. En el caso de querer valorar otro sistema se debe de poner los mismos elementos colocados en cada uno de los sistemas (depósitos de inercia, caldera, intercambiadores, etc.) a evaluar.

A continuación se irán definiendo las características principales de la instalación solar térmica y de la instalación de biomasa, según cuanto descrito en la normativa vigente.

Todas las informaciones relativas a las distintas alternativas más adecuadas para cada una de las piscinas, garantizando el confort de sus usuarios en el periodo de invernal, que es cuando se necesita de este servicio, se encuentran en los Anexos (Anexo 1-El palmar, Anexo 2- Infante, Anexo 3- Mar Menor, Anexo 4- Puente Tocinos) .

En dichos Anexos, se estudiará la viabilidad económica de cada una de las soluciones propuestas, para buscar la más económicamente rentable, determinando los costes de inversión inicial y explotación de las instalaciones más el periodo de retorno del capital.

Para poner punto y final, se irá sintetizando a modo de comentario las conclusiones extraídas tras la realización del proyecto.



5.1. Instalación solar térmica

En esta piscina es imposible instalar un sistema de captación en el tejado debido a las peculiaridades de este cerramiento. Por lo tanto se ha buscado diferentes alternativas para la colocación de la instalación de captación solar. El edificio de la piscina dispone de una terraza, actualmente sin uso, con orientación sur, en esta terraza es posible la colocación de un número de captadores solares limitado. Esta limitación será la impuesta a la hora de hacer el cálculo de la posible aportación solar a la piscina. Esta y otras consideraciones serán expuestas después de explicar los criterios técnicos y de cálculo para la instalación.

Actualmente la normativa, *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios*¹⁰ ya prevé la producción mediante sistemas solares activos. La energía captada por los captadores se almacenará en un depósito acumulador de agua caliente. Después de éste se instalar en serie un equipo convencional de apoyo o auxiliar, para cubrir la energía necesaria para la producción de agua caliente. En la imagen de abajo se muestra un esquema simplificado de una instalación solar térmica típica para aplicaciones genéricas. Este sistema será propuesto para esta aplicación con la peculiaridad de que se podría prescindir del tanque de acumulación en el caso de que la energía obtenida por el sistema térmico vaya exclusivamente al vaso de la piscina.

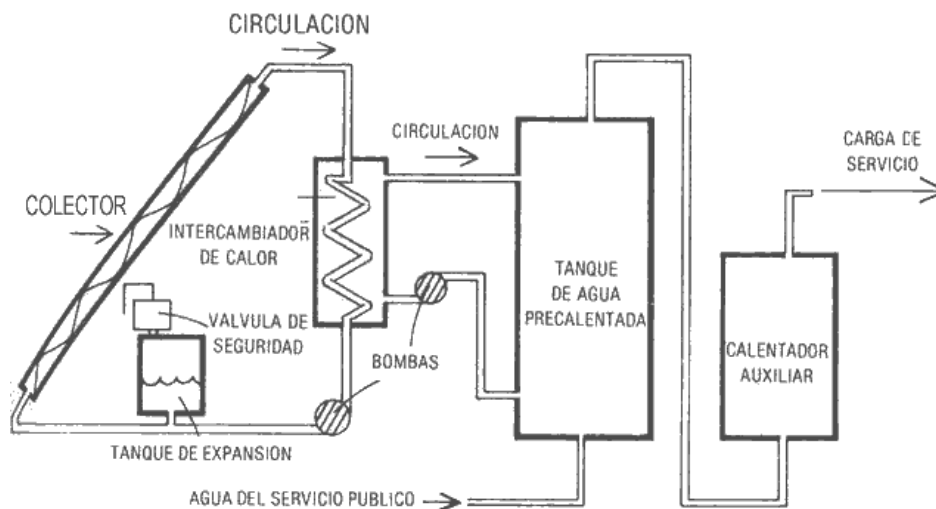


Ilustración 5. Esquema simplificado de una instalación solar térmica

¹⁰http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/1RD1027_07.pdf

5.1.1. Pérdidas por orientación e inclinación y por sombra

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites descritos en el parágrafo 2.2.3 de la sección 4 del *Código técnico de la Edificación*.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición de captadores	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica de captadores	40 %	20 %	50 %

Ilustración 6. Pérdidas límite - Sección 4- Código Técnico de la Edificación

El cálculo de las pérdidas debidas a la orientación y la inclinación viene dado por la siguiente expresión:

$$Cp (\%) = 100 * (1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2)$$

Donde:

β Inclinación;

β_{opt} Latitud +10° (con demanda preferente en invierno);

α Desviación respecto al sur, positivo hacia el oeste.

Para el cálculo de las pérdidas por sombra se vea “*Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*”¹¹, del IDAE anexo VI, que describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar expresadas como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la superficie, de no existir sombra alguna.

5.1.2. Separación mínima entre filas de colectores

La distancia que interesa determinar es la que existe entre la proyección sobre el suelo de la parte posterior de una fila de colectores y la parte baja de la fila siguiente, D.

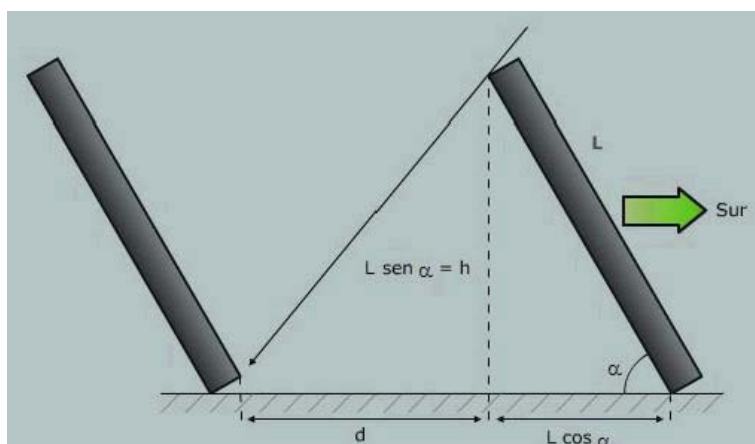


Ilustración 7. Separación mínima entre filas de colectores

¹¹http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperaturatura_09_082ee24a.pdf



Este valor se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$D = d + L \cos\alpha = \frac{L \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{tg} (68^\circ - \operatorname{latitud})} + L \cos\alpha$$

Donde:

D separación entre filas de colectores;

d separación entre la proyección sobre suelo de la parte posterior de una fila de colectores y la parte baja de la fila siguiente;

L longitud de los colectores;

α inclinación de los captadores respecto a la horizontal.

5.1.3. Volumen de acumulación

Generalmente la demanda no es simultánea a la generación de la energía solar, por esto hay que dimensionar un sistema de acumulación.

Según el apartado 2.2.5 del *CTE*, para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde,

A suma de las áreas de los captadores (m²);

V volumen de la acumulación solar (litros).

5.1.4. Sistema de intercambio

El intercambiador es el elemento que transmite el calor entre el circuito primario y secundario en una instalación solar. En el caso de utilizar un intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P, se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m² y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición del *CTE*, en el apartado 3.3.4:

$$P \geq 500 * A$$

Siendo,

P potencia mínima del intercambiador (W);

A el área de captadores (m²).

5.1.5. Circuito hidráulico primario

Está compuesto por los colectores solares, la bomba de recirculación, las conducciones de cobre y el intercambiador de calor. Este circuito se encarga de hacer circular el agua que se ha calentado en los colectores para luego enviar el calor obtenido a un intercambiador de calor donde el agua que procede de los acumuladores absorbe el calor del fluido primario.



Usualmente para evitar problemas de congelación el agua del circuito primario se mezcla con anticongelante. En este estudio se ha considerado como anticongelante el etilenglicol con una proporción en masa de 30 %.

El diámetro de las tuberías se establece considerando que la velocidad del fluido que lo recorre, no supere la velocidad marcada en el *CTE*:

$$0.5 < v < 2 \text{ m/s}$$

La velocidad media del fluido es una variable fijada, que no es conveniente superar para evitar riesgos colaterales a la circulación del fluido por la conducción.

En este estudio se ha tomado como velocidad media 1 m/s, y conociendo este valor se utiliza la siguiente expresión, para determinar el diámetro:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

Siendo:

v velocidad del fluido (m/s);

Q caudal (m³/s);

D diámetro interior de la tubería (m).

Por otro lado, para dimensionar las tuberías también es necesario considerar las pérdidas de carga lineales, las cuales dependen del diámetro de la tubería, de su rugosidad, de las características del fluido que lo recorre y de su velocidad.

Para el presente estudio se ha optado por la expresión obtenida a partir de la fórmula de *Flamant*, que sirve para el caso de tuberías de cobre de paredes lisas por las que circula agua caliente sin aditivos:

$$\Delta p = 378 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Dónde:

Δp pérdida de carga por metro lineal de tubería (mm.c.a/m);

Q caudal por la tubería (l/h);

D: Diámetro interior de la tubería (mm).

Puesto que el fluido caloportador en realidad es una mezcla de agua y anticongelante a base de glicol, se debe tener en cuenta la mayor viscosidad de la mezcla, por lo que el resultado de aplicar la fórmula anterior se ha de multiplicar por 1,3.



5.1.6. Bomba circuito primario

La bomba debe compensar las caídas de presión del circuito primario mediante la presión que imprime al fluido que circule por ellas. Por esta razón se tiene que calcular las pérdidas totales del circuito:

$$\Delta p_{\text{circuito primario}} (\text{mm. c. a.}) = \Delta p_{\text{Captadores}} + \Delta p_{\text{Intercambiador}} + \Delta p_{\text{Tuberías}}$$

Las pérdidas de carga en los intercambiadores de calor y en los colectores es información que deben suministrar los fabricantes de estos componentes.

Además de las pérdidas de carga lineales producidas por los tramos rectos de tuberías, deben calcularse las pérdidas de carga singulares, debidas a cambios de dirección, derivaciones o elementos hidráulicos existentes en la canalización. Una forma sencilla de estimar las pérdidas de carga singulares consiste en establecer una longitud equivalente de tubería que produce la misma pérdida de carga que el elemento en cuestión. En la siguiente ilustración se muestran las equivalencias de las singularidades más frecuentes:

	Diámetro nominal de la tubería					
	18	22	28	35	42	54
Curva de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Codo de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Curva de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducción	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Válvula antirretorno de clapeta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Ilustración 8. Longitud equivalente para distintas singularidades y diámetros nominales

La selección de la bomba se tiene que realizar de modo que su curva característica contenga aproximadamente el punto de trabajo definido por una altura manométrica igual a la pérdida de carga del circuito y un caudal mínimo de circulación, que se calcula en el apartado siguiente.

Las bombas deben colocarse en la parte más fría del circuito solar, para evitar que se vean afectadas por las altas temperaturas que se alcanzan en el circuito primario.

5.1.7. Volumen del fluido caloportador

El volumen total del fluido caloportador que circula por el circuito primario es:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{captador}} + V_{\text{intercambiador}} + V_{\text{tuberías}}$$

La capacidad volumétrica de los intercambiadores de calor y de los colectores es información que deben suministrar los fabricantes de estos componentes.

La capacidad volumétrica de las tuberías se puede calcular como:

$$V_{\text{tuberías}} = \text{Sección} * \text{Longitud}$$



5.1.8. Vaso de expansión

Los circuitos hidráulicos deben equiparse con depósitos de expansión, con el propósito de absorber las dilataciones del fluido caloportador. La capacidad de este depósito debe ser suficiente para recoger en su interior:

- el volumen de la dilatación del fluido primario hasta las máximas temperaturas de funcionamiento;
- el volumen de reserva, que cubrirá una posible contracción del líquido en caso de heladas;
- el volumen desplazado por la formación de vapor durante un estancamiento en los colectores solares.

Así el volumen útil de un vaso de expansión será:

$$V_{\text{útil}} = (V_{\text{exp}} + V_{\text{reserva}} + V_{\text{vap}}) * Cp$$

Siendo

$$V_{\text{exp}} = V_{\text{total}} * Ce$$

$$V_{\text{vap}} = V_{\text{captador}} * 1,1$$

V_{reserva} tomar un valor mínimo de 3 litros;

Ce el coeficiente de expansión del agua en función de la temperatura (en caso de mezcla hay que multiplicar el coeficiente por un factor de 1.2);

Cp el coeficiente de presión, calculado como:

$$Cp = \frac{P_M + 1}{P_M - P_m}$$

Dónde

P_M Presión máxima = (Presión de tarado de la válvula de seguridad * 0,9);

P_m Presión mínima.

5.1.9. Circuito hidráulico secundario

Está compuesto por uno o más depósitos de inercia, las conducciones, la bomba de recirculación, y el intercambiador de calor que lo conecta térmicamente con el circuito primario. Este circuito tiene la función de enviar el agua caliente a los acumuladores y el agua fría al intercambiador de calor.

La selección del diámetro de las tuberías del circuito secundario se realiza considerando las mismas ecuaciones del circuito primario.

5.1.10. Bomba circuito secundario

La bomba debe compensar las caídas de presión del circuito secundario mediante la presión que imprime al fluido que circule por ellas. Por esta razón se tiene que calcular las pérdidas totales del circuito:

$$\Delta p_{\text{circuito secundario}} (\text{mm. c. a.}) = \Delta p_{\text{Acumulador}} + \Delta p_{\text{Intercambiador}} + \Delta p_{\text{Tuberías}}$$



5.2. Instalación caldera de biomasa

Esta instalación servirá para cubrir la demanda mediante el uso de una energía renovable y con cero emisiones netas de CO₂ a la atmósfera. Debe cubrir la demanda de agua caliente sanitaria, de calentamiento del vaso y del edificio, que la instalación solar no puede proporcionar, cumpliendo así la normativa en relación a la contribución mínima.

5.2.1. Tipo de combustible

Hoy en día existe una gran variedad de biocombustibles sólidos que se puede utilizar en sistemas de climatización. En términos generales, el término biomasa define el conjunto de la materia vegetal, considerando tanto los árboles, plantas, arbustos y hierbas (biomasa vegetal), como la materia orgánica procedente de las especies animales (biomasa animal). En nuestro caso nos ceñiremos a la biomasa vegetal y más concretamente se ha decidido quemar astilla y pellets.

Los pellets son pequeños cilindros procedente da un proceso de compactación de serrines y virutas molturadas secas, sin que se utilizan productos químicos sino simplemente presión y vapor. Las características principales de los pellets son:

	Pélet baja calidad	Pélet estándar	Pélet alta calidad
Poder Calorífico Inferior			
(kcal/kg)	> 3.000	> 4.000	> 4.300
(kj/kg)	> 12.500	> 16.700	> 18.000
Humedad b.h. (% en masa)	< 12	< 12	< 10
Densidad (kg/m ³)	> 1.000	1.000-1.400	> 1.120
Contenido en cenizas (% en peso)	< 6	< 1,5	< 0,5
Longitud (mm)	< 7 x diámetro	< 50	< 5 x diámetro
Diámetro (mm)	< 12	4-10	< 8

Ilustración 9. Características de los pellets- Elaboración IDAE basada en normas DIN y ONORM

Las astillas de madera son trozos pequeños de entre 5 y 100 mm de longitud cuya calidad depende de la materia prima de la que proceden, su recogida y del proceso de astillado. Respecto a los pellets tienen un pretratamiento más sencillo (solo astillado y secado se necesario), y esto hace reducir su coste. Sin embargo, tienen una densidad mayor y esto implica más problemas en el transporte y en el almacenamiento. Es muy importante que la astilla no esté contaminada con corteza ya que provocaría un aumento del contenido de nitrógeno, azufre y cloro dando lugar así a mayores emisiones, al mismo tiempo se produciría un aumento de las cenizas dificultando las operaciones de mantenimiento y limpieza de la caldera. Las características principales son:

Astillas de madera	
Origen	Troncos de madera
Contenido de humedad	≤ 20-30%
Dimensiones de la fracción principal (> 80% en peso)	Dimensión mayor ≤ 63 mm
Densidad energética	< 900 kWh/m ³ apilados

Ilustración 10. Características de las astillas- Elaboración IDAE



Se ha considerado además un PCI de 13.000 kJ/kg y una densidad aparente de 250 kg/m³.



Ilustración 11. Ejemplo de pellets y astilla

5.2.2. Caldera

A la hora de dimensionar una caldera y elegir entre los distintos y numerosos tipos de modelos, el IDAE aconseja una serie de factores determinantes:

- tipo y calidad del combustible, que determina la tecnología disponible;
- es aconsejable la elección de sistemas de alto rendimiento (< 90%) y bajas emisiones;
- es aconsejable un elevado nivel de automatización, aunque suele resultar más caro;
- son recomendables los sistemas modulantes para la regulación de la potencia;
- disponibilidad de un distribuidor y de una empresa instaladora.

Para un primer cálculo se puede tomar un rendimiento de valor medio-bajo y cuando se haya seleccionado la caldera se cambiará por el valor del rendimiento por su valor real para poder así estimar el valor efectivo de consumo.

Conociendo la demanda energética, el consumo de la caldera es:

$$\text{Consumo caldera} = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{\eta} = (\text{kWh PCI})$$

Mientras el consumo de biomasa se calcula como:

$$\text{Consumo biomasa} = \frac{\text{Consumo caldera (kWh)}}{\text{PCI} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right)} = (\text{kg})$$

Una vez que se tienen conocidas las necesidades de combustible, se fijan unas horas de funcionamiento para el mes más desfavorable, y obteniendo así:

$$\text{Potencia caldera} = \frac{\text{Demanda diaria (kWh)}}{\text{Horas de funcionamiento (h)}} = (\text{kW})$$

Se adoptará una potencia de caldera comercial superior a la potencia necesaria demandada para el mes más desfavorable.



5.2.3. Sala Caldera

El *Reglamento de Instalaciones Térmicas* del 2007 considera sala de máquina, los recintos con calderas o equipos auxiliares, cuando la suma de todas sus potencias sea mayor de 70 kW. En general el espacio necesario es mayor de una instalación convencional porque hay que tener en cuenta el sistema de almacenamiento.

Como norma básica, las calderas y los equipos auxiliares deberán ser perfectamente accesibles en todas sus partes de forma que puedan realizarse adecuadamente y sin peligro todas las operaciones de mantenimiento, vigilancia y conducción.

La altura mínima de la sala será de 2,50 m. Se respetará una altura libre de tuberías y obstáculos sobre la caldera de 0,5 m, aunque es recomendable mantener al menos la cota de un metro. Los espacios mínimo libres que deben dejarse alrededor del generador, cuando la retirada de la cenizas es manual o es necesario la accesibilidad al hogar para carga o reparto de combustible, serán o los que indique el fabricante, o per lo menos una vez y media la profundidad de la caldera.

Se recomienda que las salas de calderas estén situadas en contacto con el ambiente exterior, de manera que la ventilación tenga lugar siempre por medios naturales (ventilación natural directa por aperturas). Además, en estos casos, se facilita la salida de los productos de la combustión hacia el exterior. No obstante, también son válidos los sistemas de ventilación natural directa por conductos y los de ventilación forzada.

Además de disponer de los dispositivos específicos mencionados en el RITE, las salas de caldera de biomasa deben cumplir las prescripciones generales de seguridad establecidas en la sección *SI-1 del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación*¹² (CTE).

5.2.4. Depósito de inercia

La función principal del depósito de inercia es la de acumular una cantidad de calor para poder suministrarlo en momento de alta demanda térmica. Esto requiere conocer los ciclos de demanda del edificio en cuestión.

Otra función es la de evitar un apagado y encendido frecuente de la caldera, permitiendo al usuario independizarse de los tiempos largos para llegar a régimen y de parada de la caldera de biomasa. El depósito absorbe el calor residual de la caldera y la complementa durante su largo arranque. El volumen del depósito se puede dimensionar como:

$$15 * \text{Potencia caldera} < \text{Volumen deposito} < 30 * \text{Potencia caldera}$$

Aunque el correcto dimensionado depende del uso que se le dé al edificio.

¹²http://www.dipualba.es/SEPEI/pdfs/DB-SI_criteriors%20febrebrero%202008.pdf



5.2.5. Almacenamiento de biomasa

El *Reglamento de Instalaciones Térmicas* del 2007 describe unos cuantos requisitos indispensables para los sistemas de almacenamiento de biocombustibles sólidos (*IT.1.3.4.1.4 Almacenamiento de biocombustibles sólidos*). En general el lugar destinado al almacenamiento debe estar destinado exclusivamente a este uso, y tal da no modificar las características física, química y mecánicas de la biomasa. Además debe cumplir una serie de premisa para prevenir el riesgo de un auto combustión. Los tipos de almacenamiento pueden dividirse en almacén prefabricado o de obra, ya sean de nueva construcción o habitación existente, bien en superficie o subterráneo.

En edificios nuevos la **capacidad mínima de almacenamiento** de biocombustible será la suficiente para **cubrir el consumo de dos semanas**.

El llenado del silo puede efectuarse de manera semiautomática, con carga directa o con sistema neumático, según el tipo de biocombustible sólido y tamaño del silo.



6. Conclusiones

El objetivo del presente documento es presentar las posibles acciones a realizar para reducir el consumo energético y las emisiones de gases invernadero de 4 piscinas localizadas en la municipalidad de Murcia, El Palmar, Infante, Mar Menor y Puente Tocinos. En estas líneas se muestran resumidas las propuestas de mejora consideradas, los resultados de reducción de consumo energético y de emisiones que tendría cada propuesta. Por último, se utiliza parámetro “Tiempo de Retorno de la Inversión” para comparar fácilmente la viabilidad económica de cada propuesta.

- En las piscinas que ya tienen una instalación solar térmica en la cubierta, El Palmar y Puente Tocinos, se considera muy conveniente cambiar la contribución de la energía solar térmica que actualmente se dedica al calentamiento del ACS y destinarla al calentamiento de la piscina ya que supone un ahorro en el consumo energético de un 1%, sin apenas coste.
- La opción que más emisiones de CO₂ reduce es la instalación de una caldera de biomasa. Sin embargo, el tiempo de retorno necesario para hacer rentable la inversión, sin contar con ningún tipo de subvención, y cuando el combustible de partida es el gasóleo, está entre 9 y 10 años considerando como combustible de biomasa el pellets, el más caro entre los combustibles confrontados. En la piscina Mar Menor, que es la única que utiliza calderas de gas natural, el periodo de retorno sube ulteriormente llegando hasta la 22 años. Hay de evidenciar que siendo la demanda energética de la piscina Mar Menor la mayor de las 4, se ha elegido para satisfacer la demanda una caldera con una potencia, y coste, superior respecto a las otras piscinas.

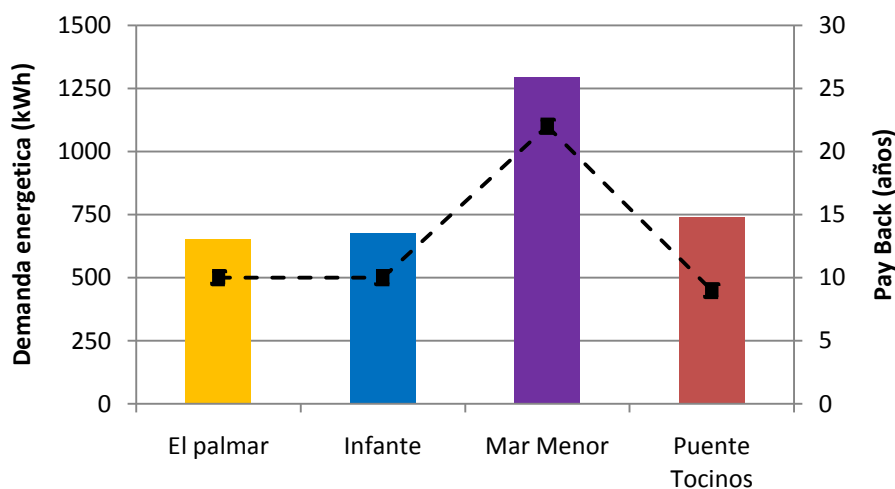


Gráfico 3. Confronte entre demanda energética y periodo de retorno para la instalación de una caldera de biomasa



- Se considera muy adecuada la instalación de una manta térmica autoenrollable, una medida de bajo coste (aprox. 4.000 € en el Palmar que sólo tiene un vaso, mientras aprox. 5.000 € en las demás). Colocar una manta térmica reduce las emisiones de CO₂, y además supone grandes ventajas adicionales: ayuda a conservar la temperatura del agua, evita la evaporación, ahorrando grandes cantidades de agua y reduce el uso del deshumidificador y por lo tanto la potencia necesaria para la máquina climatizadora. Además reduce la suciedad en la piscina y la evaporación del cloro, y por lo tanto reduciendo el consumo de productos químicos y aditivos necesarios para el funcionamiento correcto de la piscina.
- Desde el punto de vista económico, con un retorno de la inversión de 7 años, el escenario más adecuado para las piscinas que todavía tienen calderas de gasóleo, El Palmar, Infante y Puente Tocinos, sería la combinación de colocar una caldera nueva de Gas Natural junto con una manta térmica es la que produce menos emisiones de CO₂ con un coste adecuado de la inversión y una rentabilidad o tiempo de retorno mejor.

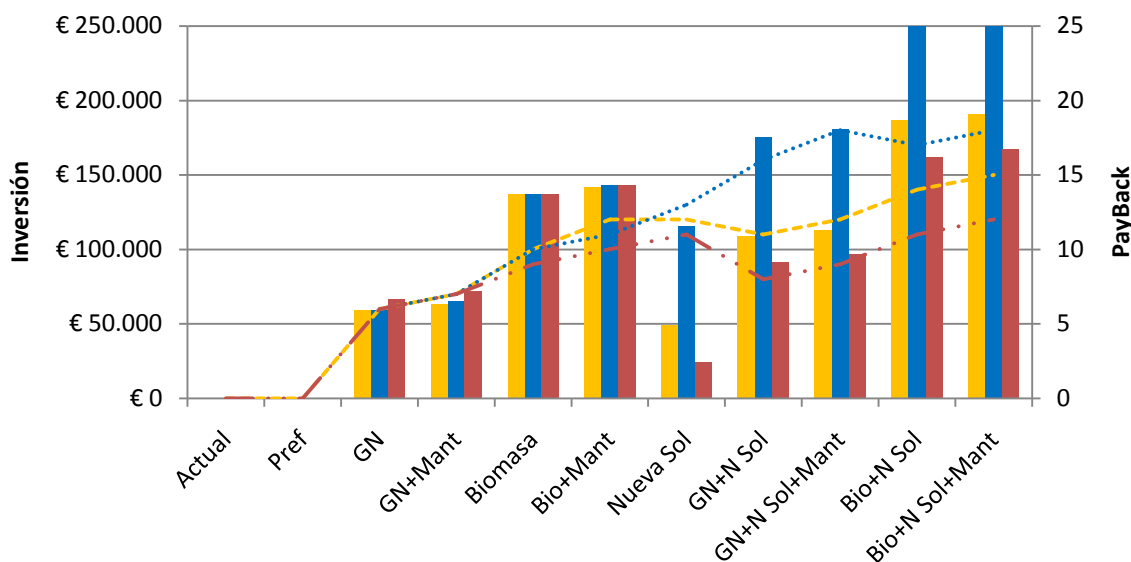


Gráfico 4. Confronte entre inversión y payback para las piscinas El palmar, Infante, Puente Tocinos



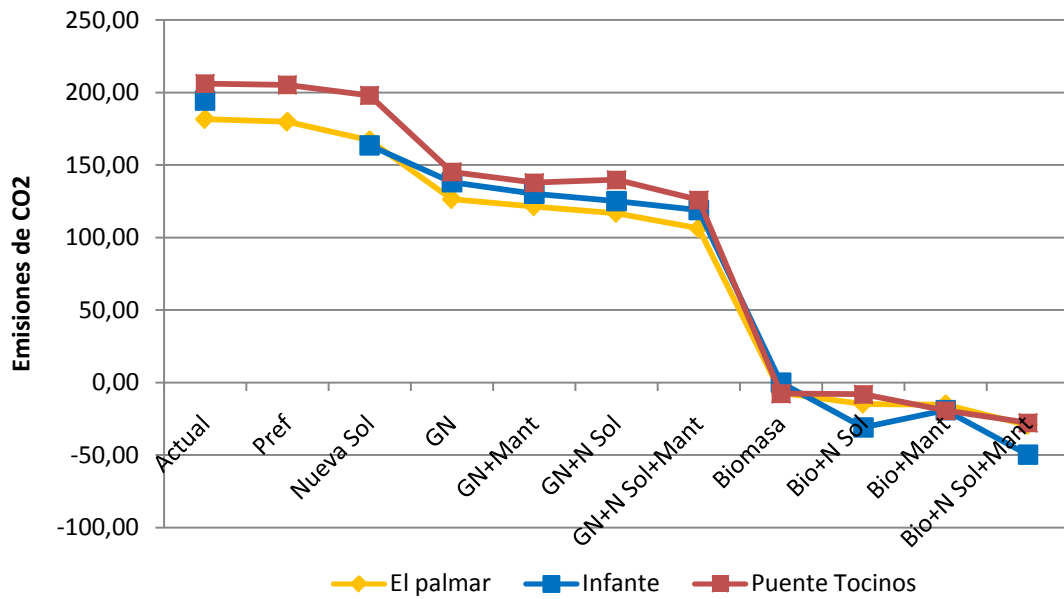


Gráfico 5. Confronte de emisiones de CO₂ para las piscinas El palmar, Infante, Puente Tocinos

- Para la instalación de captadores solares térmicos hay que distinguir entre los diferentes casos:
 - En la piscina El palmar existe actualmente una instalación solar térmica de 33,3 m² situada en el tejado que no es posible ampliar en esta ubicación. Una posible ampliación debería hacerse en la terraza lateral, donde podrían instalarse 66,6 m² de captadores solares con una inversión aproximada de 50.000 €.
 - La piscina Infante se ha considerado como si no hubiera instalación solar térmica, ya que la existente está en muy mal estado y parada. Una nueva instalación prevendría 156 m² de captadores solares y una inversión aproximada de 115.000 €.
 - Una posible instalación solar térmica para la piscina Mar Menor debería hacerse en la terraza lateral, donde podrían instalarse solo 56,9 m² de captadores solares y una inversión aproximada de 42.000 €.
 - En la piscina Puente Tocinos existe actualmente una instalación solar térmica de 33,3 m² situada en el tejado. Una posible ampliación prevendría la instalación de 33,3 m² más de captadores solares y una inversión aproximada de 25.000 €.

Sin considerar otras combinaciones, esta solución representa comparativamente con las demás unas de las menos rentable desde el punto de vista del retorno de la inversión y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Uno claro ejemplo es representado del caso de la piscina Mar Menor:



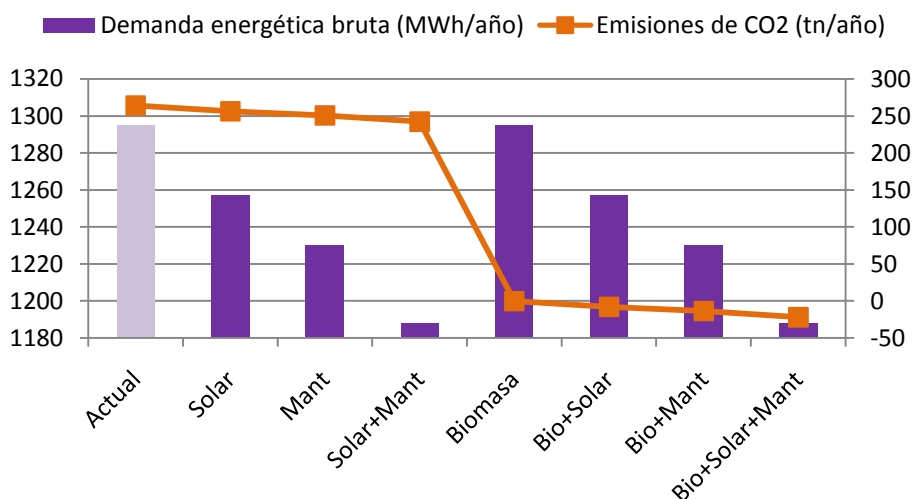


Gráfico 6. Inversión inicial y retorno de la inversión para cada caso estudiado en la piscina Mar Menor

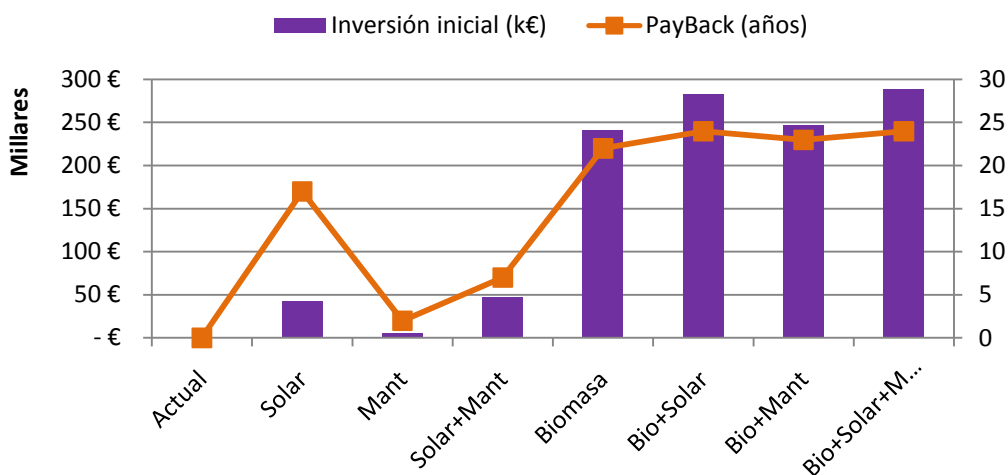


Gráfico 7. Demanda energética y emisiones de CO2 a la atmosfera para cada caso estudiado en la piscina Mar Menor

- Examinando el porcentaje de la demanda energética del edificio, para las piscinas El Palmar, Mar Menor y Puente Tocinos, se nota un porcentaje alto, respectivamente 49%, 62% y 44%. Esto se debe sobre todo a que el control de la humedad interior se realiza mediante la incorporación-renovación de aire procedente del exterior y sin climatizar. Con la instalación de una deshumectadora esta renovación del aire podría ser menor y por lo tanto la demanda térmica se reduciría, pero se tendría que incorporar la demanda energética eléctrica que supondría la instalación de la deshumectadora. Esto es visible en la piscina Infante donde la utilización de deshumectadora demuestra que reduce significativamente la demanda de calefacción del edificio (29 %). Al no disponer datos del consumo eléctrico de la máquina deshumectadora no se ha podido valorar la viabilidad económica de esta máquina. Energéticamente queda patente en la comparativa con las otras que es recomendable.



- En el estudio no se ha tomado en consideración la posibilidad de disminuir la demanda de calefacción de los edificios, ya que para esto son necesarios otros tipos de operaciones, como cambio del envolvente térmico, cambios de los cerramientos, reducción de los puentes térmicos, etc.



Segunda Parte

7. Estudio preliminar

7.1. Introducción y normativa aplicable

El objeto de esta segunda parte del proyecto incluye el modelado de una piscina climatizada cuyo calentamiento sea abastecido a una instalación solar térmica y una instalación de biomasa. La instalación solar térmica estará controlada por un control predictivo que sea capaz de prever los picos y valles de producción de energía solar térmica mediante la visión meteorológica y en función de ello adaptar el uso de la caldera de biomasa.

En este caso la instalación estudiada es otra piscina comunal de la provincia de Murcia, la piscina Archena, que ha recientemente recibido el premio de la Región de Murcia a la Excelencia Energética, en la categoría de Actuación o Proyecto. La climatización de la piscina está permanentemente sensorizada mediante 29 sondas, una información actualizada que permite conocer en cada hora cómo evoluciona la demanda de energía de la piscina.

En general, la piscina, inaugurada en el año 2007, dispone de dos cuerpos, el primero destinado a la zona de vestuarios y servicios, y la planta de nivel, que alberga la piscina semiolímpica de seis calles con 25 metros de longitud por 12,50 metros de ancho. Además se encuentra otro vaso más pequeño, para el chapoteo.



Ilustración 12. Piscina municipal Archena

Actualmente casi toda la demanda energética está satisfecha gracias a una caldera de biomasa polio combustible, la Lasian Bioselect de una potencia de 250 kW. A esto se añade un sistema de captadores solares térmicos posicionado en la cubierta por un total de 82 paneles. Además el edificio cuenta de una máquina deshumectadora, Ciatesa BCP 360, necesaria para mantener las condiciones de confort de temperatura y humedad en una piscina climatizada.

Hay que recordar que lo que diferencia este tipo de instalaciones de cualquier otro local residencial o comercial a climatizar es, en primer lugar el elevado nivel de evaporación de agua de los vasos que

enfria el aire, por el proceso de deshumectación, y en segundo lugar que los ocupantes tienen un grado de vestimenta muy bajo. Como regla general se aconseja que la temperatura del aire se sitúe siempre uno o dos grados por encima de la del agua y la humedad relativa en torno al 65%. El uso de la deshumectadora evita también que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.

Otro aspecto específico que hay que garantizar, para obtener unas condiciones de confort adecuadas es el mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de piscina ya que el agua tiende a enfriarse si no se realiza un aporte energético externo.

Podemos encontrar diversos factores por los que el agua pierde calor:

- P_{evap} = pérdidas por evaporación del agua del vaso
- P_{rad} = pérdidas por radiación de calor
- P_{ev} = pérdidas por convección de calor
- P_{cond} = pérdidas por conducción
- P_{renov} = pérdidas por renovación del agua del vaso

El proceso de evaporación de agua del vaso provoca una pérdida de calor en la piscina, lo que genera una demanda energética necesaria para compensarla y así mantener la temperatura del vaso constante. Cuanta más evaporación exista más se enfriará el agua de la piscina y mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma. El cálculo de las **pérdidas por evaporación** se lleva a cabo con la siguiente expresión:

$$P_{evap} = \frac{\dot{m}}{1000} [r + 4.186(t_{wm} - t_{wa})]$$

Donde

\dot{m}_r es el gasto másico de agua evaporada (g/s)

r es el calor latente del agua a la temperatura a la que se encuentra (kJ/kg)

t_{wm} es la temperatura media del agua de la piscina (°C)

t_{wa} es la temperatura de red (°C)

Las **pérdidas por radiación** de la superficie de la lámina de agua hacia los cerramientos del recinto se calculan mediante la fórmula de Stefan Boltzmann:

$$P_{rad} = 0,00567 \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{t_{ws} + 273,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{RM} + 273,15}{100} \right)^4 \right] \cdot S_w$$

Donde

t_{ws} es la temperatura superficial del agua de la piscina (°C)

t_{RM} es la temperatura radiante media de los cerramientos del local (°C)



ε es la emitancia media de la lámina de agua (estimada en 0,87)

S_w es la superficie de la lámina de agua (m^2)

Las **pérdidas por convección** de la lámina de agua hacia el aire del ambiente representen el intercambio de calor del vaso con el aire ambiente.

$$P_{cv} = 0,003181 \cdot V^{0,8} \cdot (t_{ws} - t_{BS}) \cdot S_w$$

Donde

t_{BS} es la temperatura de bulbo seco del aire ambiente ($^{\circ}C$)

V es la velocidad media del aire ($0,2 m^2/s$)

Las **pérdidas por conducción** a través de las paredes del vaso de la piscina son la que se tendrían si las paredes laterales del vaso se encuentran en contacto con el aire. En el caso de que el vaso de la piscina esté excavado sobre el suelo, sus paredes no estarían en contacto con el aire y estas pérdidas serían despreciables.

$$P_{cond} = k \cdot \frac{t_{wm} - t_{BS}}{1000} \cdot S_p$$

Donde

k es la transmitancia de las paredes ($W/m^2 K$)

S_p es la superficie lateral del vaso (m^2)

La normativa en la que residen las competencias higiénico-sanitarias establece la necesaria renovación diaria del agua del vaso de la piscina en un mínimo del 2,5% del volumen del vaso. La temperatura de renovación es la temperatura diaria media mensual ($^{\circ}C$) de agua fría, que se encuentra en la Apéndice B del CTE-Documento Básico HE 2014, BOE 219¹³. Las **pérdidas por renovación** se calculan:

$$P_{renov} = \frac{\dot{m}_{renov}}{3600} \cdot C_{p H_2O} \cdot (t_{wm} - t_{wa})$$

Dónde:

\dot{m}_{renov} es el gasto masico de agua de renovación (g/s)

C_p es el calor específico del agua

Las pérdidas analizadas anteriormente serán compensadas mediante el aporte energético de una caldera, de manera que en cada instante se puede determinar la temperatura del agua del vaso mediante la siguiente expresión:

¹³ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511



$$(M - \dot{m}_{cald} \cdot t) \cdot t_i + \dot{m}_{cald} \cdot t \cdot t_{cald} = M \cdot t_f$$

Donde

M la masa del agua contenida en el vaso de la piscina

\dot{m}_{cald} es el gasto másico de agua caliente aportada desde la caldera

t_i la temperatura inicial en un lapso de tiempo del vaso de la piscina

t_f temperatura al final del lapso de tiempo del vaso de la piscina

t el lapso de tiempo

Método Mirza Mohammed Shah

Para evaluar las pérdidas por evaporación del vaso de la piscina, que como se explicará con más detalle en el apartado 111 representan casi el 70% de las pérdidas totales, se utilizara el método propuesto por Mirza Mohamed Shah en el documento “*MethodsforCalculation of EvaporationfromSwimming Pools and OtherWaterSurfaces*¹⁴”.

En el artículo el científico compara su correlación con los métodos clásicos tradicionales y demuestra empíricamente que se ajusta mucho mejor a lo que ocurre en la realidad. Los métodos anteriores como el de ASHRAE sobredimensionaban sobremanera las pérdidas por evaporación, en alrededor del 200%.

Para el cálculo de la masa evaporada, cuando la piscina no está ocupada, Shah plantea dos ecuaciones distintas, la primera ecuación hace referencia a la evaporación debida al efecto de la convección natural, la segunda a la evaporación causada por las corrientes de aire producidas por el sistema de ventilación del edificio. En particular se calculan:

$$E_0 = C \rho_w (\rho_r - \rho_w)^{1/3} (W_w - W_r)$$

$$E_0 = b(p_w - p_r)$$

Donde

ρ_w y W_w son la densidad y la humedad específica del aire respectivamente a temperatura de saturación del agua

ρ_r y W_r son la densidad y la humedad específica del aire a temperatura y humedad ambiente

p_w y p_r son la presión parcial de vapor de agua en el aire tanto a la temperatura de saturación del agua como a la temperatura y humedad ambiente

C=35

b= 0.00005

Además, este modelo también ha sido propuesto para piscinas ocupadas. Cuando una piscina tiene bañistas, la superficie de la lámina de agua se incrementa debido al movimiento de agua que éstos

¹⁴<http://www.mmshah.org/publications/ASHRAE%202014%20Evaporation%20paper.pdf>



producen. Para tener en cuenta el efecto del número de ocupantes, Shah desarrolla una nueva ecuación que relaciona la masa de agua evaporada con ocupación y la masa de agua evaporada para una piscina sin ocupación. Para esta relación utiliza un nuevo parámetro N^* que atiende a la relación N/A número de ocupantes entre el área del vaso.

$$E_{occ}/E_0 = 1.9 - 21(\rho_r - \rho_w) + 5.3N^*$$

Para valores del parámetro N^* inferiores a 0.05, el cálculo de la relación E_{occ}/E_0 se hará una interpolación lineal entre E_{occ}/E_0 para $N^*=0$ y $N^*=0.05$.

8. Modelado del sistema

Para modelar completamente el comportamiento energético de la piscina se ha utilizado el software TRNSYS, un programa computacional con una estructura apropiada para simular sistemas energéticos con comportamiento dinámico. TRNSYS permite elegir un *type* desde una amplia biblioteca de componentes y cada componente modela una parte del sistema. La biblioteca estándar incluye aproximadamente 150 modelos que van desde bombas a edificios multizona, pasando por turbinas de viento, electrolizadores, procesadores de datos meteorológicos, rutinas de economía o equipos básicos de climatización con las nuevas tecnologías emergentes. Pero también es posible escribir su propio componente.

Desde la versión 17 está incluido en la biblioteca el *type 79*, que permite una fácil y directa conexión con el programa de modelación *W_editor*. Este nuevo programa permite utilizar un lenguaje de programación, el lenguaje *W*, de fácil sintaxis, muy cerca al popular lenguaje de MatLab. Además la posibilidad de modificar el modelo sin la necesidad de crear cada vez la librería del componente en debug y release, crear la *dll* y el *type*, como era necesario hacer en las pasadas versiones, simplifica de mucho el trabajo del programador.

En la siguiente parte se irán definiendo todos los equipos térmicos de la piscina de Archenatal como está, utilizando cada vez el *type* más adecuado, el edificio utilizando el *TRNBUILD*, herramienta de TRNSYS que permite la simulación energética de un edificio multizona y por fin el vaso, creando en este caso un nuevo componente que simule el comportamiento de la piscina, definiendo sus entradas, salidas, parámetros, así como la introducción de su modelo matemático.



8.1. Descripción de los componentes utilizados



Componente número bañistas y temperatura de red

Estos types, permiten introducir valores variables en el tiempo de manera escalonada, ya sea el número de bañistas o la temperatura del agua de red. Se encuentran en TRNSYS enmarcados en las llamadas “*forcingsfunctions*”. En particular el número de los bañista varía dentro de un día con un pico mayor por la tarde, ver la imagen siguiente a la izquierda, mientras la temperatura media mensual del agua de red, comentada anteriormente, es fijada por la normativa con valores diferentes para cada meses del año, ver imagen siguiente a la derecha.

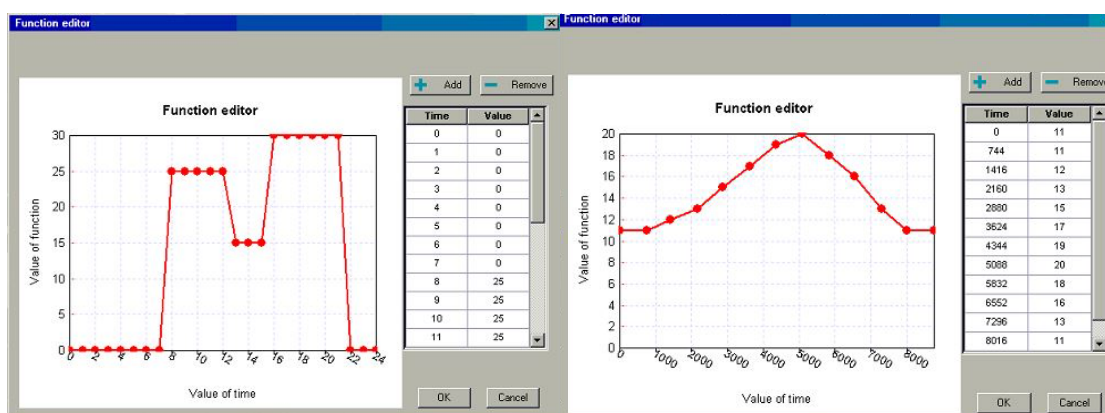


Ilustración 13. Forcingsfunctions, número de bañistas y temperatura media mensual del agua de red



Componente caldera y depósito de inercia

El componente caldera toma un cierto caudal del vaso de la piscina y le eleva la temperatura hasta la temperatura de consigna del depósito de inercia, con el cual ésta conexasionada. La caldera tiene una potencia de 160 kW trabajando hasta una *set temperature* de 90 °C, mientras el depósito de inercia con una capacidad de 5.000 litros hasta los 55°C y una variación de +/- 5 °C.

Una aclaración es necesaria sobre la potencia de la caldera. En la piscina Archena, como dicho anteriormente, está instalada una caldera de biomasa policombustible de 250 kW, para satisfacer las tres demandas energéticas, ACS calefacción del vaso y calefacción del aire interior. La caldera que se está modelando en este caso es utilizada únicamente para la calefacción del agua de la piscina y por esta razón tiene una potencia inferior.



Componente captador solar

Se trata de la superficie formada por captadores solares térmicos que aportarán energía térmica al vaso de la piscina. El comportamiento energético de los captadores viene definido por su curva de



rendimiento y por los valores de caudal y temperatura a la entrada. También requiere del nivel de radiación incidente que se obtiene del componente de datos meteorológicos.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
3	Fluid specific heat	4.190		kJ/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Efficiency mode	3		-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Tested flow rate	0.011111		kg/s.m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Intercept efficiency	0.80		-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Efficiency slope	4.5		W/m ² .K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Efficiency curvature	0.013889		W/m ² .K ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Optical mode 2	2		-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10	1st-order IAM	0.2		-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Inlet temperature	20.0		C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Inlet flowrate	5		kg/s	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Ambient temperature	10.0		C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Incident radiation	0.		kJ/hr.m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Total horizontal radiation	0.0		kJ/hr.m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Horizontal diffuse radiation	0.0		kJ/hr.m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Ground reflectance	0.2		-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Incidence angle	45.0		degrees	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 14. Características del campo solar



Type3b **Componente bomba de circulación**

Se trata de bombas de circulación definidas por el caudal de impulsión y las características del fluido (en nuestro caso, agua). Son utilizadas en los circuitos primario y secundario de la instalación solar térmica, con un caudal máximo de 18.000 kg/hr y una potencia máxima de 2 kW y en los circuitos primario y secundario de la caldera, con un caudal máximo de 10.800 kg/hr y una potencia máxima siempre de 2 kW.



Type5b **Componente intercambiador de calor**

Se utiliza un intercambiador de calor (de placas) para conectar el circuito primario con el secundario de la instalación solar térmica. Otro intercambiador conectado en serie con el primo, permite el intercambio de calor desde la caldera hasta el vaso. Las características técnicas son: temperatura de entrada 60°C, caudal de entrada 100 kg/hr, temperatura de salida 40°C, caudal de salida 100 kg/hr, coeficiente de transferencia de calor global 10.000 W/K.



Weather data **Componente tiempo**

Este componente lee datos meteorológicos externos a intervalos de tiempo regulares. El type calcula por ejemplo la temperatura efectiva del cielo, la radiación solar difusa y global para superficies inclinadas u horizontales, y los pone a disposición de los otros componentes. Los archivos de tiempo distribuidos con TRNSYS 17 incluyen más de 1.000 ubicaciones en más de 150 países (directorio "Meteonorm" distribuido bajo licencia Meteotest). Para España están disponibles diversos lugares y entre ellos Murcia/ San Javier, que se ha tomado como referencia:



No	Location	Lat [°N]	Lon [°E]	Elev [m]	SR	FileName
Spain (ES)						
238	Almeria Airp.	36.85	-2.38	21	0	ES-Almeria-Airp-84870.tm2
239	Barcelona Airp.	41.28	2.07	6	0	ES-Barcelona-Airp-81810.tm2
240	Barcelona City	41.42	2.13	175	0	ES-Barcelona-City-81800.tm2
241	Bilbao/Sondica	43.30	-2.93	34	0	ES-Bilbao-Sondica-80250.tm2
242	Caceres	39.47	-6.33	405	0	ES-Caceres-82610.tm2
243	La Coruna	43.37	-8.42	67	0	ES-La-Coruna-80010.tm2
244	Logrono/Agoncillo	42.45	-2.33	363	1	ES-Logrono-Agoncillo-80840.tm2
245	Madrid/Barajas	40.45	2.55	582	1	ES-Madrid-Barajas-82210.tm2
246	Murcia/San Javier	37.78	-0.80	3	1	ES-Murcia-San-Javier-84330.tm2
247	Palma De Mallorca	39.55	2.62	8	1	ES-Palma-De-Mallorca-83010.tm2
248	Santander	43.47	-3.82	65	1	ES-Santander-80230.tm2
249	Sevilla	37.42	-5.90	34	1	ES-Sevilla-83810.tm2
250	Toledo	39.88	-4.05	516	1	ES-Toledo-82720.tm2
251	Valencia	39.48	-0.38	13	0	ES-Valencia-82850.tm2
252	Valencia Airp.	39.50	-0.47	62	0	ES-Valencia-Airp-82840.tm2

Ilustración 15. Lugares españoles disponibles para el tiempo



Type93 **Componente registro de datos**

Este componente registra en memoria valores de las variables de un periodo de cálculo para ser utilizadas en periodos posteriores.



Type24 **Componente integrador**

Este componente integra (suma) un valor resultado del cálculo a lo largo de todo el periodo analizado (normalmente el año completo). Da como resultado el valor acumulado en cada instante. Es utilizado para conocer el consumo de energía al cabo del año.



Type23 **Componente Control PID y Control diferencial**

Estos componentes simulan el funcionamiento de un controlador proporcional, integral y diferencial. El PID está utilizado para dar la señal de control a la caldera, y para control el correcto funcionamiento del vaso. El control diferencial para modular el sistema de captación solar.



Building **Componente Edificio**

Utilizando la herramienta TRNBUILD, se crea un edificio especificando las zonas térmicas que componen el mismo. Una interface de Windowspermite de dimensionar correctamente el edificio, definiendo la orientación, los tipos y los materiales de las paredes y de los cerramientos (imagen 16), el tipo de uso, las ganancias internas (imagen 17), el sistema de calefacción y de refrigeración (imagen 18). Finalmente TRNSYS crearáun esquema en el que se simula el comportamiento complejo del edificio.



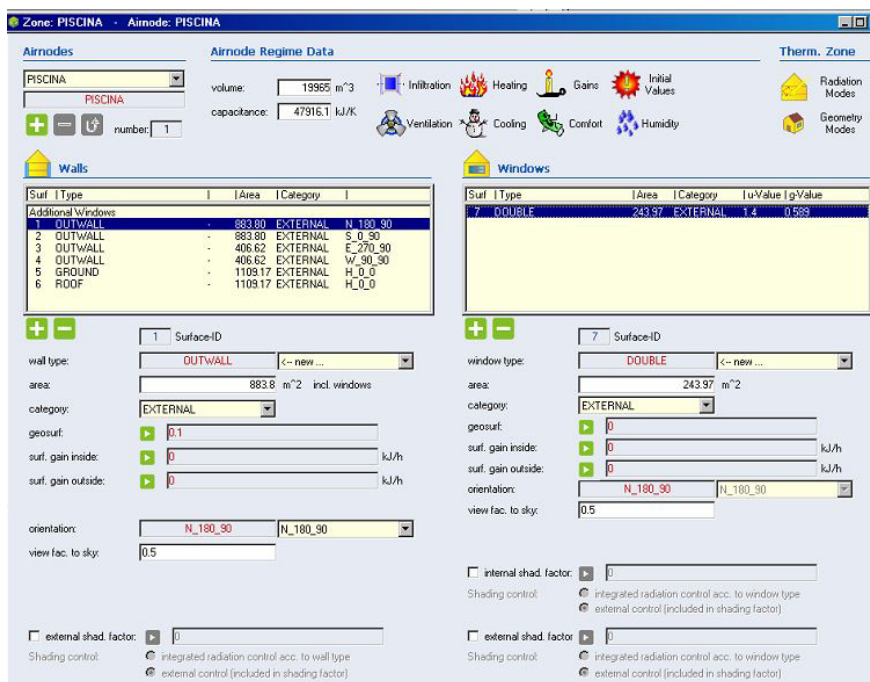


Ilustración 16. TRNBUILD, ventana características paredes y cerramientos

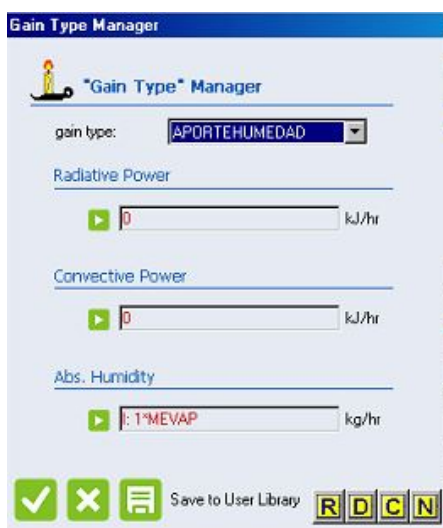


Ilustración 17. TRNBUILD, ventana ganancias internas

Como se observa entre las ganancias del edificio se ha añadido el aporte de humedad. El *Mevap* que aparece en la imagen superior, representa la masa de agua evaporada desde la lámina del vaso y se aplica al edificio como input externo. El mecanismo entre vaso y edificio es dúplice: el edificio alimenta el vaso con la humedad relativa en el ambiente y el vaso alimenta el edificio con la ganancia de humedad correspondiente al gasto másico de agua evaporada.



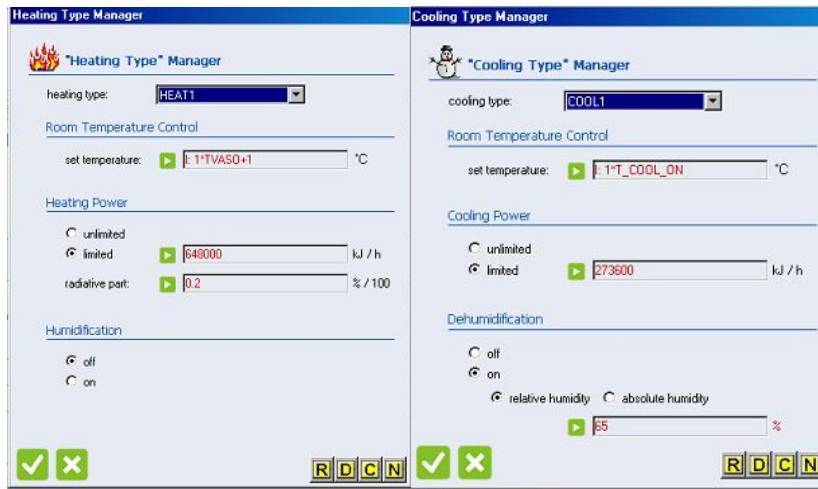


Ilustración 18. TRNBUILD, ventanas equipos de calefacción y refrigeración



Componente vaso de la piscina

Se trata del componente creado para simular el comportamiento del vaso de la piscina, cuyo proceso se ha detallado en el apartado siguiente 8.1.1. Este componente muestra la energía que es necesaria aportar al vaso para mantener sus condiciones térmicas óptimas.

Una vez introducidos y descritos los componentes de la instalación a modelar, el siguiente paso es la conexión de todos los elementos citados. El resultado se ve en la imagen 19, un esquema global de la actual piscina climatizada de Archena. En el esquema tenemos diferentes tipos de línea para el conexionado:

- Línea azul: corresponde al agua fría.
- Línea roja: corresponde al agua caliente.
- Línea naranja: corresponde al agua parcialmente fría.
- Línea azul claro: corresponde al balance de humedad entre vaso piscina y edificio.
- Línea negra: todas las otras conexiones.



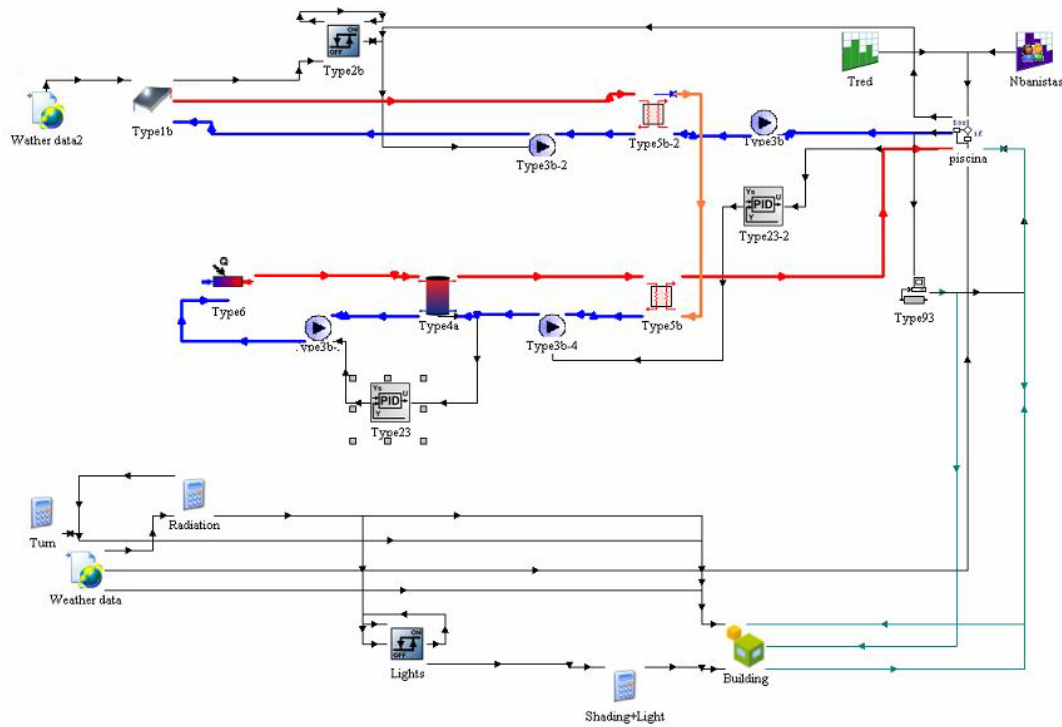


Ilustración 19. Esquema de la piscina climatizada de Archena

8.1.1. Creación del type“Piscina”

Un type que simule el comportamiento energético de una piscina climatizada no existe en la biblioteca de TRNSYS, y por esta razón se ha creado uno nuevo utilizando la herramienta del W_editor.

El objetivo del modelado es conseguir mediante las ecuaciones de balance energético una caracterización del funcionamiento de un vaso climatizado y de esta forma comprobar y simular su comportamiento en una instalación real. Para ello se han definidos una serie de inputs o variables de entrada, algunos parámetros y las salidas.

El modelo matemático transformado en código W, que se ha utilizado se propone en las siguientes páginas.



Tint = in (1) % temperatura ambiente piscina °C
 Hrambiente = in (2) % humedad edificio piscina %
 Altura = in (3) % altura desde el mar edificio piscina m
 Ancho = in (4) % ancho vaso piscina m
 Largo = in (5) % largo vaso piscina m
 Profundidad = in (6) % profundidad media piscina m
 Tred = in (7) % temperatura agua de red °C
 Tpiscina = in (8) % temperatura agua piscina °C
 nbanistas = in (9) % numeros de banistas
 anchoplaya = in (10) % anchura playa m
 Vaire = in (11) % velocidad aire m/s
 emitancia = in (12) % emitancia superficie agua
 Upared = in (13) % trasmittancia paredes edificio W/m2K
 exc = in (14) % vaso enterado
 ratiorenov = in (15) % % renovacion diaria
 Tcaldera = in (16) % temperatura caldera °C
 mcaldera = in (17) % caudal caldera kg/h
 T exterior = in (18) % temperatura exterior
 Tpar = in (19) % temperatura paredes de la piscina

%temperaturas

Tamb = Tint+273.15
 Tagua = Tpiscina+273.15
 Tpared = Tpar+273.15
 Tsotano = (Tint+Tpiscina)/2+273.15

%ambiente

Pabsoluta = 101325*exp(-0.0001184*Altura) %Pa

a = 5800.2206

b = 1.3914993

c = 0.04860239

d = 4.1764768*10^-5

e = 1.4452093*10^-8

f = 6.5459673

Pparcialambiente = (HRambiente/100)*(exp(-a/Tamb+b-c*Tamb+d*Tamb^2-e*Tamb^3+f*Ln(Tamb))) %Pa

waire = (621.98*Pparcialambiente/(Pabsoluta-Pparcialambiente))/1000 %kg/kg

%agua

Psatagua = exp (-a/Tagua+b-c*Tagua+d*Tagua^2-e*Tagua^3+f*Ln(Tagua)) %Pa

wagua = (621.98*Psatagua/(Pabsoluta-Psatagua))/1000 %kg/kg

ragua = 347*(374.15-Tpiscina)^(1/3)-2 %kJ/kg

%densidades

vespamb = 287.055*Tamb/(Pabsoluta-Pparcialambiente)*1000 %l/kg

vespagua = 287.055*Tagua/(Pabsoluta-Psatagua)*1000 % l/kg

roamb = 1/vespamb *1000 %g/l= kg/m3

roagua = 1/vespagua*1000 %g/l= kg/m3

%parametro diferencia de densidad

diferenciaD = (roamb-roagua)

trace ('diferenciaD=', diferenciaD)

%parametro diferencia de presion

diferenciaP = Psatagua-Pparcialambiente

trace ('diferenciaP=', diferenciaP)

%caracteristicas piscina

SupPiscina = Largo * Ancho

Volumen = SupPiscina * Profundidad

N = nbanistas/SupPiscina

%Eounocupied

IF (diferenciaD < 0)

diferenciaD = 0

ELSE

diferenciaD = diferenciaD

END

Eo1 = 35*roagua*(diferenciaD)^(0.33333333)*(wagua-waire)%evaporationby natural convection kg/m2h

Eo2 = 0.00005*(Psatagua-Pparcialambiente) %evaporationdue to convectionby air currents kg/m2h

Eo = max (Eo1, Eo2)%kg/m2h

% E/Eo

```
IF (diferenciaD< 0)
diferenciaD = 0
ELSE
diferenciaD = diferenciaD
END
```

```
IF (N >= 0.05)
ratio = 1.9-(21*diferenciaD)+5.3*N
ELSE
ratio = 1.9-(21*diferenciaD)+5.3*0.05+(1-(1.9-(21*diferenciaD)+5.3*0.05))*(N-0.05)/(0-0.05)
end
```

%total masa de agua evaporada por evaporacion

```
mevap = abs( Eo*ratio*Suppiscina) %kg/h
```

%perdidas

```
pevap= (mevap/3.6)*(ragua+4.186*(Tpiscina-Tred))/1000 %kW
```

```
pconv = 0.00318*Vaire^0.8*(Tpiscina-Tsotano)*SupPiscina%kW
trace ('pconv=', pconv)
if pconv> 0
pconv = pconv
else
pconv = 0
end
```

```
prad = 0.00567*emitancia*((Tagua/100)^4-(Tpared/100)^4)*SupPiscina%kW
trace ('prad=', prad)
if prad> 0
prad = prad
else
prad = 0
end
```

```
SupParPiscina = 2*(Largo+Ancho)*Profundidad
IF (exc == 1)
pcond= 0
ELSE
pcond = Upared*(Tpiscina-Tsotano)/1000*SupParPiscina%kW
END
trace ('pcond=', pcond)
if (pcond>0)
pcond = pcond
else
pcond = 0
end
```

%renovacion

```
mrenov=Volumen*ratiorenov/100/24 %m3
Prenov=(mrenov)*4.186*(Tpiscina-Tred)/3.6
```

%perdidas totales

```
Ptotal= pevap+pconv+prad+pcond+prenov%kW
```

```
V=Volumen*1000
Tf= ((V-mcaldera)*Tpiscina+mcaldera*Tcaldera)/V
```

```
Tfin= Tf-Ptotal*3600/V/4.185
```

%outputs

```
out (1) = mevap%kg/h
out (2) = pevap%kW
out (3) = Ptotal%kW
out (4) = Tfin%°C
out (5) = pconv%kW
out (6) = prad%kW
out (7) = pcond%kW
out (8) = prenov%kW
out (9) = Tf%°C
```



9. Validación del modelo

Para la validación del componente nos apoyaremos en datos reales de la Piscina Municipal de Archena, recogidos cada día en los meses octubre, noviembre y diciembre de 2015 y los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del año 2016.

Estos datos, que nos han sido facilitados por el personal de la instalación, recogen entre otros la temperatura del agua de la piscina, la humedad relativa y la temperatura en el interior del edificio, el número de bañistas o el aporte de energía que se realiza en el vaso datos necesarios de introducir en nuestro modelo para su validación.

Los datos reales se resumen en la siguiente tabla:

Meses	Energía caldera(kWh)	Energía solar(kWh)	Total (kWh)
Octubre	8.960,66	27,89	8.988,55
Noviembre	21.959,15	7.743,03	29.702,18
Diciembre	32.874,19	5.116,69	37.990,88
Enero	35.224,36	6.820,73	42.045,10
Febrero	32.359,77	6.134,72	38.494,49
Marzo	30.042,17	8.691,55	38.733,72
Abril	23.995,73	8.099,52	32.095,24
Mayo	10.885,89	8.010,02	18.895,91
Junio	247,09	6.819,60	7.066,69
TOTAL	196.549,01	57.463,74	254.012,75

Tabla 8. Datos energéticos mensuales reales de la piscina de Archena

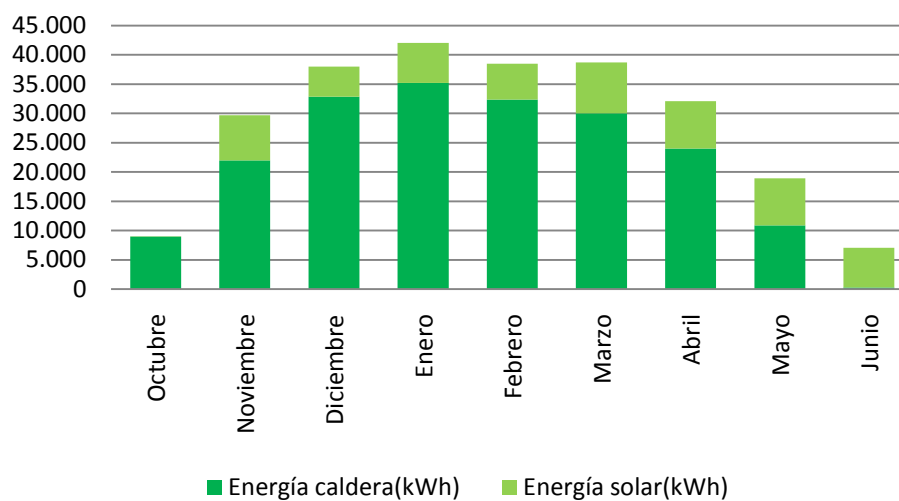


Gráfico 8. Balance energético real de la piscina de Archena

Como se puede observar los datos del mes de octubre 2015, y de los meses de mayo y junio 2016 se destacan bastante respecto a los otros meses, con valores anormales debidos aparos o anomalías en el sistema de control y consiguiente fallos en los registros de datos. Por esta razón se ha considerado oportuno no tratar estos meses raros, validando el modelo en el periodo de referencia noviembre-abril.

Los resultados energéticos obtenidos con el modelado en TRNSYS en el periodo de referencia, son:

Meses	Piscina Real			Piscina Modelada			Error total (%)
	Energía caldera(kWh)	Energía solar(kWh)	Total (kWh)	Energía caldera(kWh)	Energía solar(kWh)	Total (kWh)	
Noviembre	21.959,15	7.743,03	29.702,18	22.825,00	12.343,00	35.168,00	18,4%
Diciembre	32.874,19	5.116,69	37.990,88	26.149,00	12.935,00	39.084,00	2,9%
Enero	35.224,36	6.820,73	42.045,10	26.204,00	14.050,70	40.254,70	-4,3%
Febrero	32.359,77	6.134,72	38.494,49	20.107,80	14.331,30	34.439,10	-10,5%
Marzo	30.042,17	8.691,55	38.733,72	20.427,20	18.329,60	38.756,80	0,1%
Abril	23.995,73	8.099,52	32.095,24	18.197,90	17.260,40	35.458,30	10,5%
TOTAL	176.455,37	42.606,24	219.061,61	133.910,90	89.250,00	223.160,90	1,9%

Tabla 9. Datos energéticos reales y datos energéticos de la piscina modelada en TRNSYS

Observando la tabla, constatamos como la energía suministrada da la caldera al vaso de la piscina del modelo sale bastante similar a la real, mientras que la energía producida da la instalación solar térmica en el modelo es el doble de la condición actual. A tal propósito es importante remarcar que en los parámetros que definen el campo de captación solar, no se han tenido en cuenta eventuales perdidas, ni de distribución y mal aislamiento de las tuberías, ni de mal mantenimiento (la instalación real tiene 7 años). Además en la piscina Archena una parte del aporte solar está destinado al calentamiento del agua sanitaria para las duchas.

Si se mira el comportamiento global del modelo se puede observar como el error total representa solo el 1,9% del total, y en general solo supera el +/- 10% en el mes de Noviembre.

Esto se explica si se considera que el factor de aporte total, considerando el periodo de referencia noviembre-abril es el 40%, y que apenas influye en la demanda total de la piscina.



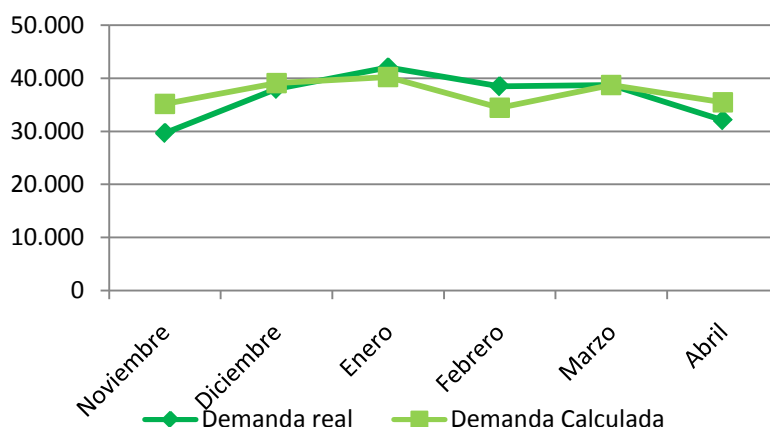


Gráfico 9. Gráfico comparativo entre la demanda real registrada y la calculada

Otro tipo de validación se puede hacer considerando en el detalle las pérdidas del vaso, analizadas en el apartado 7.1 y calculadas mediante las ecuaciones en el código del type piscina. Desglosando la energía de cada mes en distintas fracciones de la carga, evaporación, conducción, radiación, convección, renovación, se obtiene:

Meses	Noviembre			Diciembre			Enero		
	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)
Evap	26.138,2	69,0%	19,0%	29.347,7	68,2%	9,1%	29.664,1	68,1%	2,4%
Erad	2.946,7	7,8%	2,14%	4.021,5	9,3%	1,2%	4.198,2	9,6%	0,3%
Erenov	8.802,1	23,2%	6,4%	9.677,5	22,5%	3,0%	9.671,3	22,2%	0,8%
Econv	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%
Econd	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%
Ettotal	37.887	100,0%	27,56%	43.047	100,0%	13,3%	43.533	100,0%	3,5%

Meses	Febrero			Marzo			Abril		
	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)	Energía (kWh)	Fracción (%)	Error relativo (%)
Evap	26.623,3	68,8%	0,36%	28.344,8	69,9%	3,3%	26.438,9	71,9%	10,53%
Erad	3.528,0	9,1%	0,04%	3.368,6	8,3%	0,4%	2.631,4	7,2%	1,05%
Erenov	8.523,1	22,0%	0,1%	8.837,4	21,8%	1,0%	7.727,0	21,0%	3,1%
Econv	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%
Econd	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,00	0,0%	0,0%
Ettotal	38.674	100,0%	0,5%	40.551	100,0%	4,7%	36.797	100,0%	14,7%

Tabla 10. Separación de las diferentes fracciones de la carga para el type piscina



Se puede ver que sólo intervienen 3 grandes partidas: evaporación, radiación y renovación. Las pérdidas de evaporación se verificaron con los resultados sacados del artículo de Shah, y de hecho se obtienen valores de error relativo inferiores a lo que comenta el estudioso, de 14%. Solo el mes de noviembre sigue siendo un mes raro con un error relativo del 19%.

Si se analizan las diferentes fracciones de carga el porcentaje mayor, cerca el 70%, es representado da las perdidas por evaporación, seguidas por las pérdidas de renovación, entre 21-23%, y por último aparecen las perdidas por radiación, 7-9 %. El porcentaje nulo de las pérdidas de convección es debido a que la diferencia de temperatura entre vaso y aire con la cual se trabaja en una piscina climatizada es muy pequeña, mientras él de las pérdidas de conducción se obtiene considerando despreciables las pérdidas de un vaso enterrado.

A la vista de estos datos, es fácil concluir, que desde el punto de vista de ahorro energético, es importante actuarsobre las pérdidas por evaporación, por ejemplo colocando una manta térmica durante las horas de no utilización de la piscina, como también se ha visto en la primera parte de este trabajo.

10. Curva de aprendizaje

Una vez creado nuestro modelo validado y comprobado su fiabilidad, vamos a proceder a la simulación del año entero para conocer la energía demandada al cabo del año. Se obtiene una energía total anual de 394 Mwh y un factor de aporte solar de 52,58%, cerca al porcentaje de 60% fijado en el Código Técnico de la Edificación para la zona IV:

	kWh
Energía Solar	186.838,65
Energía Caldera	207.192,30
Energía Total	394.030,95

Tabla 11. Energía demandada anual

Finalmente el último objetivo de esta segunda parte del trabajo, es la creación de un **control predictivo** que a través la lecturadel fichero de datosde la radiación totaldel día siguiente permita la modulación de la caldera durante la noche, con el paro anticipado de la máquina.

Si, por ejemplo, el día de mañana va a ser un día soleado con mucha radiación se aprovechará al máximo esta energía solar, suspendiendo del trabajo la caldera de biomasa por algunas horas durante la noche. A través de un cálculo sencillo es posible entonces conocer la energía solar producida mañana y lograr una reducción en la energía aportada por la caldera.



Para ello es necesario conocer la correlación que interviene entre la irradiación solar total incidente sobre los paneles y la energía solar producida del campo de captadores de 200 m² posicionado en la cubierta de la piscina. En este sentido el cálculo en TRNSYS de la evolución, en los 365 días del año, de las dos variables permite adquirir una nube de puntos, tal como se aprecia en el gráfico 10, da la cual se extraerá la información buscada.

El ajuste lineal o regresión lineal relaciona los dos parámetros a través de una recta de ecuación:

$$y = 0,6209 x - 94,85$$

Donde x exprime la irradiación diaria (kWh), variable independiente, y la y exprime la energía solar producida en el mismo día (kWh), variable dependiente.

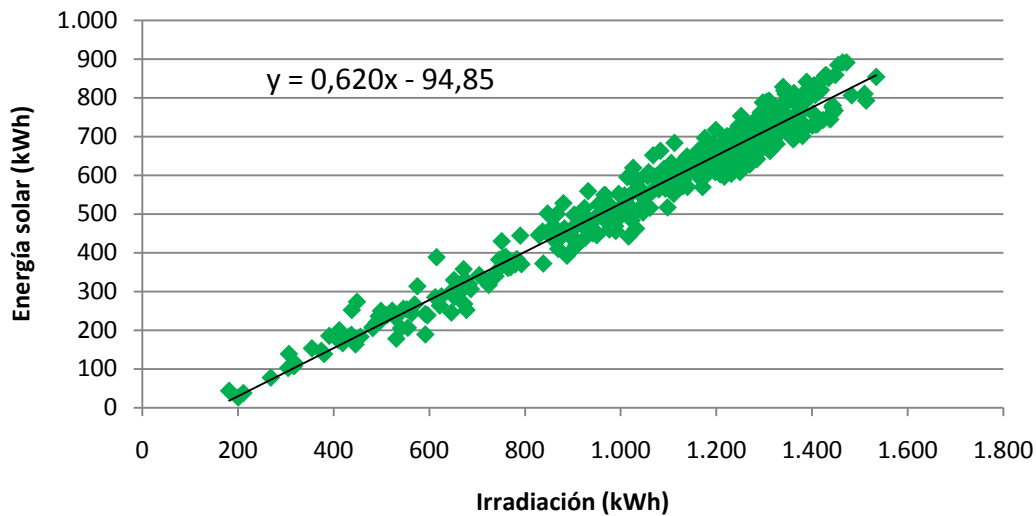


Gráfico 10. Curva de aprendizaje

En la tabla siguiente se propone los valores de energía solar que obtenemos al realizar la aproximación y el relativo error porcentual.

Irradiación diaria (kWh)	Energía solar diaria (kWh)		
	Valor real	Valor modelo	Error porcentual (%)
268,970	77,63	72,172	7,56%
555,404	206,06	249,998	-17,57%
622,281	263,42	291,474	-9,63%
1.175,446	614,65	634,956	-3,20%
1.211,813	629,12	657,557	-4,32%

Tabla 12. Estudio del ajuste lineal

Como se observa apenas se produce variación para valores elevados de irradiación diaria, mientras que al disminuir de la irradiación el valor se destaca un poco desde el valor real, aunque no de manera exagerada.



11. Creación del type“Control predictivo”

El siguiente paso a realizar es la implementación de todas las informaciones adquiridas anteriormente en la herramienta W_editor, modelando el type que permitirá el control sobre la instalación de manera inteligente. Este nuevo control predictivo sustituirá el control diferencial PID, type 23-2, que anteriormente vigilaba y controlaba el vaso de la piscina en TRNSYS.

Antes de programar el control en el editor, hay que remarcar que según las características del vaso para elevar de 1 grado Celsius la temperatura del agua de la piscina se necesitan 726 kWh. Por medio de esta información es posible crear 3 escenarios aleatorios con los cuales tomar la decisión de parar la caldera antes o después.

Tal como se hizo precedentemente el código en lenguaje de programación W se propone en la siguiente página.

El nuevo esquema de la piscina de Archena es representado en la imagen 20.

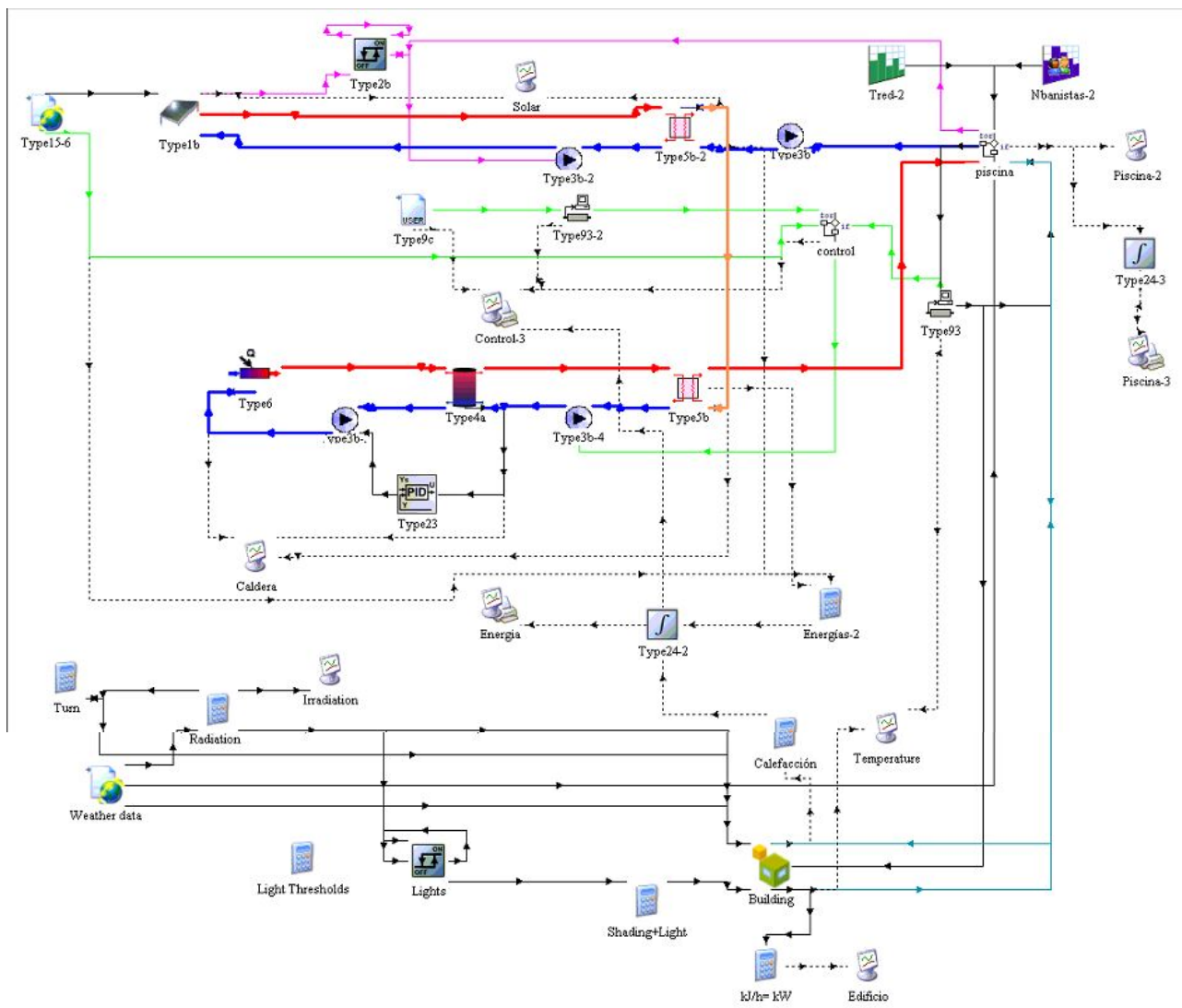


Ilustración 20. Esquema de la piscina climatizada de Archena con el control predictivo



Respecto a la instalación anterior se ha introducido el bloque del control conectado con líneas verde.



Type9d

Componente lectores de datos

Este componente de carácter general puede leer muchos tipos diferentes de archivos y poner las informaciones a disposición de los otros componentes. Los datos deben ser a intervalos de tiempo constantes. Pertenece a los types enmarcados en los llamados “data readers”.

Este nuevo componente examina y lee un fichero de texto, que almacena las informaciones sobre la irradiación total diaria del lugar que se está considerando. Atención la irradiación se tiene que poner en kWh/m² de captadores solares.

La conexión entre este componente y el type 93-2, registro de datos, hace sí que la irradiación leída no sea la irradiación actual, si no la del día siguiente.



```
radiacion      = in (1) % radiacion directa
area           = in (2) % area colectores
Tconsigna= in (3) % temperatura consigna del vaso
Tvaso         = in (4) % temperatura calculada del vaso
Horadeldia    = in (5) % hora del dia
```

%energia solar

```
irr= radiacion*area
Esolar=0.6209*irr-94.85 %lineal 200mq
Esol=0.6069*irr-112.72 %linal 240mq
```

%control diferencial

```
if (0.00<=Horadeldia)&(Horadeldia<=10.00)
Esolarmanana= Esolar
end
A=Esolarmanana/2/726 trace ('A=', A)
```

```
IF (Tconsigna<= Tvaso)
```

```
ControlsignalA=0
```

```
ControlsignalB=0
```

```
ELSE
```

```
controlsignalA=1
```

```
if ((controlsignalA==1)&(4.00<=Horadeldia)&(Horadeldia<=10.00)&(A>=1))
controlsignalB=0
```

```
elseif ((controlsignalA==1)&(6.00<=Horadeldia)&(Horadeldia<=10.00)&(A>=0.5))
controlsignalB=0
```

```
elseif ((controlsignalA==1)&(8.00<=Horadeldia)&(Horadeldia<=10.00)&(A>=0.25))
controlsignalB=0
```

```
else
```

```
controlsignalB=1
```

```
end
```

```
end
```

```
out (1)= Esolar
```

```
out (2)= ControlsignalB
```

```
out (3)= A
```

12. Resultados