



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE
AGUA CALIENTE SANITARIA Y
CLIMATIZACIÓN EN UNA ESCUELA DE
NATACIÓN EMPLAZADA EN BAJO
COMERCIAL EN LA CIUDAD DE CASTELLÓ**

AUTOR: CARMEN GÓMEZ DELICADO

TUTOR: FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

Curso Académico: 2018-19

RESUMEN

El Trabajo de Fin de Grado consiste en la realización de la memoria y cálculos para el abastecimiento de agua caliente sanitaria (ACS) y la climatización tanto del agua de dos piscinas climatizadas así como la climatización del ambiente de una instalación situada en la ciudad de Castelló. Para el proyecto, se formulará una previsión de la ocupación máxima de la instalación y horarios de ocupación, así como un estudio de los datos climatológicos. Se analizará la demanda de ACS y las necesidades de climatización. Con esta información, se calculará la demanda energética requerida para mantener las temperaturas y la humedad necesaria para satisfacer las necesidades de confort. Para cumplir con el Código Técnico, que exige para este tipo de instalaciones que un 50% de la demanda energética para el ACS y un 60% de la demanda energética para la climatización de los vasos provenga de energía renovable, se realizará un estudio de distintas alternativas renovables (colectores solares, caldera de biomasa y bomba de calor). Finalmente, la demanda energética se cubrirá con un recuperador, una bomba de calor deshumectadora, una bomba de calor y dos calderas de gas natural. El proyecto incluirá los esquemas de la instalación de agua fría y ACS, así como los elementos necesarios para su distribución y la climatización de los vasos.

Palabras Clave: Piscina climatizada, ACS instalación piscina, climatización vasos.

RESUM

El Treball de Fi de Grau consistix en la realització de la memòria i càlculs per a l'abastiment d'aigua calenta sanitària (ACS) i la climatització tant de l'aigua de dos piscines climatitzades així com la climatització de l'ambient d'una instal·lació situada en la ciutat de Castelló. Per al projecte, es formularà una previsió de l'ocupació màxima de la instal·lació i horaris d'ocupació, així com un estudi de les dades climatològiques en la ciutat de Castelló. S'analitzarà la demanda d'ACS i les necessitats de climatització. Amb esta informació, es calcularà la demanda energètica requerida per a mantindre les temperatures i la humitat necessària per a satisfer les necessitats de confort. Per a complir amb el Codi Tècnic, que exigix per a este tipus d'instal·lacions que un 50% de la demanda energètica per a l'ACS i un 60% de la demanda energètica per a la climatització dels gots provinga d'energia renovable, es realitzarà un estudi de distintes alternatives renovables (col·lectors solars, caldera de biomassa i bomba de calor). Finalment, la demanda energètica es cobrirà amb un recuperador, una bomba de calor deshumectadora, una bomba de calor i dos calderes de gas natural. El projecte inclourà els esquemes de la instal·lació d'aigua freda i ACS, així com els elements necessaris per a la seua distribució i la climatització dels gots.

Paraules clau: Piscina climatitzada, ACS instal·lació piscina, climatització gots

ABSTRACT

This Final Project consists of the memory and calculations for the sanitary hot water (HW) supply and the acclimatization of the water of two covered heated swimming pools as well as the acclimatization of the ambient of a building in Castelló. For the project, a forecast of the maximum occupancy will be made as well as a study of the climatological data of the city of Castelló. The HW demand and the needs of acclimatization will be analysed. With this information, the energetic demand required to maintain the proper temperature and humidity needed to satisfy the comfort necessities will be calculated. The *Código Técnico* demands for this type of installations that the 50% of the energy to produce HW and the 60% of the energy for the acclimatization of the swimming pools come from renewable energy so different alternatives will be explored (solar collectors, biomass boiler and heat pump). Finally, the energetic demand will be covered by a air heat exchanger, dehumidifier and two natural gas boilers). The project will include the installation schemes for cold water and HW as well as the elements needed for its distribution and the acclimatization of the swimming pools.

Keywords: Covered heated swimming pool, swimming pool installation HW, swimming pool HVAC

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

ÍNDICE

MEMORIA.....	1
CAPÍTULO 1. OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA.....	4
2.1 MOTIVACIÓN.....	4
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO 3. NORMATIVA APLICABLE.....	5
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO	6
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
4.2 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	7
4.3 DATOS CLIMATOLÓGICOS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS	9
4.4 ESTUDIO DE OCUPACIÓN	13
CAPÍTULO 5. NECESIDADES ENERGÉTICAS	15
5.1 DEMANDA DE ACS.....	15
5.1.1 Necesidades energéticas para el ACS.....	15
5.1.2 Volumen del acumulador y cobertura	17
5.2 NECESIDAD DE DESHUMIDIFICACIÓN	18
5.3 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS DE LAS PISCINAS.....	19
5.3.1 Pérdidas por evaporación	20
5.3.2 Pérdidas por radiación	20
5.3.3 Pérdidas por convección	21
5.3.4 Pérdidas por transmisión	21

5.3.5 Pérdidas por renovación del agua del vaso.....	22
5.3.6 Resumen de pérdidas en los vasos de las piscinas.....	22
5.3.6 Potencia para la puesta en marcha.....	23
5.4 DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL AMBIENTE	24
5.4.1 Pérdidas por ventilación.....	24
5.4.2 Pérdidas por cerramientos.....	25
5.4.3 Resumen de pérdidas para el acondicionamiento del aire.....	27
CAPÍTULO 6. APORTACIONES ENERGÉTICAS.....	28
6.1 RECUPERADOR DE CALOR DEL AIRE DE VENTILACIÓN.....	28
6.2 BOMBA DE CALOR DESHUMECTADORA.....	31
6.3 ESTUDIO DE POSIBILIDADES PARA SATISFACER EL PORCENTAJE MÍNIMO DE ENERGÍA DE ORIGEN RENOVABLE	32
6.2.1 Instalación solar térmica	33
6.2.2 Caldera de biomasa.....	38
6.2.3 Bomba de calor	40
6.4 SISTEMA DE APOYO.....	43
6.5 CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO TÉCNICO.....	45
CAPÍTULO 7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	50
7.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	50
7.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE FONTANERÍA.....	51
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
PRESUPUESTO	61
CAPÍTULO 1. PRESUPUESTO Y MEDICIONES	63
PLANOS.....	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1: Comportamiento de la bacteria causante de la Legionela en función de la temperatura según la Guía de Buenas Prácticas NTP 538</i>	12
<i>Gráfico 2: Ocupación de los vestuarios en función de la hora</i>	14
<i>Gráfico 3: Curva del rendimiento en función del caudal proporcionada por el fabricante</i>	29
<i>Gráfico 4: Curva del rendimiento del captador proporcionada por el fabricante</i>	35
<i>Gráfico 5: Distribución de la potencia a aportar por cada tecnología en verano, primavera-otoño e invierno</i>	43
<i>Gráfico 6: Distribución de la energía a aportar por cada tecnología en verano, primavera-otoño e invierno</i>	44
<i>Gráfico 7: Curva de grupo de bombeo</i>	56
<i>Gráfico 8: Curva de la bomba de recirculación</i>	56

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Resumen de la distribución de la superficie</i>	8
<i>Tabla 2: Parámetros para la recuperación del calor del aire en función de las horas de funcionamiento según el RITE</i>	9
<i>Tabla 3: Zonas climáticas de la provincia de Castelló según el HE4 del CTE</i>	10
<i>Tabla 4: Contribución solar mínima para la producción de ACS (%) en piscinas climatizadas según el HE4 del CTE</i>	10
<i>Tabla 5: Contribución solar mínima para la climatización de piscinas (%) en piscinas cubiertas según el HE4 del CTE</i>	10
<i>Tabla 6: Temperaturas medias secas anuales de la ciudad de Castelló según IDAE</i>	11
<i>Tabla 7: Temperaturas medias mensuales y anuales del agua de red según IDAE</i>	11
<i>Tabla 8: Ocupación diaria de las piscinas</i>	14
<i>Tabla 9: Estimación de la demanda de ACS en litros a 60°C según la sección 4 del Documento Básico HE del CTE</i>	16
<i>Tabla 10: Humedad absoluta del aire saturado en función de la temperatura</i>	19
<i>Tabla 11: Resumen de las pérdidas en los vasos de las piscinas</i>	23
<i>Tabla 12: Resumen de pérdidas para el acondicionamiento del aire</i>	27
<i>Tabla 13: Clase de filtración mínima para prefiltro y filtro en función de IDA y ODA según el RITE</i>	30

<i>Tabla 14: Irradiación mensual y media anual para Castellón obtenida por PVGIS.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 15: Pérdidas límite para colectores según la sección 4 del Documento Básico del CTE</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 16: Factor de ponderación para bombas de calor según la zona climática según la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios del IDAE</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 17: Factor de corrección para bombas de calor según la temperatura de condensación según la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios del IDAE</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 18: Factores de conversión de energía final a primaria en función del combustible según Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 19: Factores de emisión de CO₂ en función del combustible según Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 20: Eficiencias de los sistemas de referencia según el Documento Básico HE del CTE.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 21: Resumen del cumplimiento de emisiones de CO₂ para el método alternativo según lo establecido en el CTE.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 22: Resumen del cumplimiento de emisiones de CO₂ para el método prescriptivo según lo establecido en el CTE.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 23: Tabla de caudales mínimos para cada tipo de aparato según el Documento Básico HS5 del CTE.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 24: Dimensiones del armario del contador en función del diámetro nominal del contador extraído del Documento Básico HS5 del CTE</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 1: Ubicación geográfica según Google Maps</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 2: Coordenadas geográficas según Google Maps</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 3: Esquema de las pérdidas de calor en el vaso de las piscinas</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4: Esquema para el cálculo de la distancia entre colectores</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 5: Esquema para el cálculo de la elevación del colector</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 6: Porcentaje de energía útil descontando pérdidas por inclinación y orientación... </i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 7: Rango de funcionamiento de la bomba de calor.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 8: Modelación de la red de fontanería en EPANET.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 9: Zoom de las duchas de la modelación de la red de fontanería en EPANET.....</i>	<i>54</i>

MEMORIA

CAPÍTULO 1. OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es la descripción de la instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y la climatización de una instalación que cuenta con dos piscinas climatizadas destinadas al aprendizaje de natación para niños. Se ha buscado que este proceso se lleve a cabo respetando las condiciones de confort tanto de temperatura como de humedad propias para este tipo de instalaciones y el uso que se le va a dar. Los usuarios han de encontrarse cómodos, no deben tener frío ni calor como consecuencia de la temperatura, ni sensación de ahogo por el exceso de humedad. Para controlar estos parámetros se debe climatizar manteniendo en unos rangos la temperatura y la humedad del ambiente así como la temperatura del agua de las piscinas, es decir, se debe calentar el ambiente y el agua de las piscinas y ventilar.

Climatizar este tipo de instalaciones puede suponer un gran consumo energético debido sobre todo a la evaporación del agua de los vasos y, teniendo en cuenta la situación que vive el Planeta actualmente respecto a contaminación, calentamiento global y, generalmente, crisis energética, se han estudiado tecnologías con altos niveles de eficiencia que permitan cubrir la demanda energética para que el consumo pueda verse reducido buscando favorecer al medio ambiente. Por este motivo, otro de los objetivos es encontrar la mejor alternativa de suministro energético en cuanto a eficiencia energética.

No se puede obviar en este tipo de instalaciones la factibilidad y viabilidad económica ya que, si el proyecto no es rentable, no se realizará. Por lo que otro objetivo es calcular un presupuesto.

Atendiendo a la normativa vigente respecto a instalaciones térmicas en edificios que establece que un porcentaje de la energía necesaria para cubrir la demanda energética de ACS y la climatización de piscinas cubiertas debe ser de origen solar en aquellos edificios de nueva construcción, un objetivo más sería la implantación de esta tecnología u otra de origen renovable que cumpla con las condiciones establecidas en la normativa.

El suministro de ACS es uno de los puntos clave dentro de esta instalación no solo por lo citado anteriormente sino también por las presiones de consumo que deben ser aseguradas en todos los puntos de consumo y, el correcto dimensionado de las tuberías y bombas es fundamental para garantizar dicha presión tanto en duchas como lavabos.

Todos estos objetivos han de lograrse bajo un mismo marco: el cumplimiento de la normativa.

CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

2.1 MOTIVACIÓN

En este proyecto se ha realizado un estudio técnico y económico sobre la instalación de ACS y la climatización de una instalación que cuenta con dos piscinas climatizadas. Se trata de un proyecto fundamentalmente de carácter tecnológico ya que principalmente se van a realizar cálculos para seleccionar la maquinaria y la tecnología adecuada para cumplir los objetivos previamente citados. No obstante, el fin tiene un carácter lectivo y lúdico ya que las piscinas están dedicadas al aprendizaje de natación de niños. La instalación cuenta con una piscina pequeña destinada para matronatación con bebés mientras que la piscina más grande se emplea para impartir lecciones de natación a niños de 3 a 8 años.

En resumen, este Trabajo de Fin de Grado no solo cuenta con un carácter académico en cuanto a la obtención del título de Ingeniero de la Energía sino que también presenta un carácter tecnológico y social.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a las necesidades energéticas de la instalación para cubrir la demanda de ACS, las pérdidas energéticas de los vasos de las piscinas, las pérdidas energéticas por ventilación y las pérdidas energéticas por cerramientos, este tipo de instalaciones presentan un gran consumo energético. Por ello, este proyecto presenta un alto interés en cuanto a eficiencia energética ya que se buscan las tecnologías más eficientes tal que el consumo pueda verse reducido. Por otra parte, también tiene un gran interés medioambiental puesto que dependiendo de la tecnología empleada se contaminará más o menos.

CAPÍTULO 3. NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable a esta instalación está referida a las condiciones de confort, el suministro energético y la salud de los usuarios. Esta normativa queda recogida en los siguientes documentos:

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (Parte I).
- Documento Básico HS4 del Código Técnico de la Edificación relativo al “Suministro de Agua”.
- Documento Básico HE4 del Código Técnico de la Edificación relativo a la “Contribución Solar Mínima de Agua Caliente Sanitaria”.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO

En primer lugar, para hacer un desarrollo correcto del diseño y el dimensionamiento de la instalación, se han expuesto los datos necesarios. Se ha detallado la ubicación geográfica, se ha realizado una descripción del edificio y el uso que se le va a dar, se han expuesto los datos climatológicos correspondientes al emplazamiento en el que se sitúa la instalación así como las condiciones de confort recomendadas por la normativa y, en último lugar, se ha realizado un estudio de ocupación de la instalación que posteriormente ha servido de apoyo para realizar los cálculos de las necesidades energéticas.

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El edificio en el que se encuentra la instalación está ubicado en la calle Larra, nº 37 en Castelló, más concretamente, en la ubicación mostrada en las siguientes imágenes.



Ilustración 1: Ubicación geográfica según Google Maps



Castellón de la Plana
Castellón
39.978376, -0.047584

Ilustración 2: Coordenadas geográficas según Google Maps

4.2 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

La instalación se encuentra en un bajo comercial de 520 m² en la ciudad de Castelló. Todos los cerramientos verticales son colindantes con otros edificios a excepción de la fachada, de 16.88 metros, que da a la calle y está orientada al noroeste. Esta fachada cuenta con una puerta de emergencia de 1.10 metros, una persiana de 2 metros que dará acceso a la puerta principal de la instalación, también de 1.10 metros, y una ventana de cristal de 4.40 metros de largo por 2 metros de alto.

A cota cero del edificio se encuentra el hall al que se accede por la puerta principal. Este espacio está reservado para una pequeña recepción de 6.50 m², una zona de descanso habilitada con asientos y un espacio para dejar los carritos de los bebés que vayan a utilizar la piscina haciendo el uso de esta más cómodo para los padres. Dentro del hall también hay una zona que comprende las entradas a los vestuarios y la salida de emergencia que se encuentra elevada a 15 cm de altura. El hall da acceso a una zona ubicada a la misma cota y a otra zona a partir una rampa de 15 cm de altura. La primera zona se corresponde con el área habilitada para el fisioterapeuta. La segunda zona comprende un área de observación que cuenta con una cristalera de 4.20 metros a través de la cual los padres pueden visualizar a los niños que se encuentren la zona de playa recibiendo clases.

La zona reservada para fisioterapia cuenta con una sala que se emplea como consulta y sala de rehabilitación. A partir de aquí se puede acceder a un almacén en el que se guarda el material necesario para los distintos tratamientos, a un aseo con cisterna y lavabo, y a una estancia más pequeña en la que hay una camilla y un lavabo. En estos lavabos, al encontrarse lejos del acumulador y requerir tan poco caudal de ACS, el agua caliente es proporcionada por un termo eléctrico.

El vestuario femenino dispone de una cisterna, tres lavabos, siete duchas especiales para niños pequeños que cuentan con un muro para evitar que los padres se salpiquen cuando duchan a los niños y una zona habilitada para taquillas. Este vestuario cuenta con dos entradas, una mediante el hall y otra que da a la zona de acceso a la planta superior donde se encuentra la zona de playa. Esto permite que los usuarios puedan acceder al vestuario al llegar para prepararse para las clases y al salir para ducharse y cambiarse.

En el vestuario masculino es bastante parecido al femenino ya que cuenta con una cisterna, un lavabo y cinco duchas especiales para niños así como una zona habilitada para taquillas. También cuenta con dos accesos facilitando la entrada y salida de los usuarios cuando vayan a realizar las clases o cuando las hayan acabado.

A partir del área de visualización y los dos vestuarios se puede acceder a una estancia en la que se encuentra un ascensor para minusválidos y unas escaleras que dan a la zona de playa que se encuentra a cota 1.20 metros.

En la zona de playa se encuentran las dos piscinas con las que cuenta la instalación. Una de ellas, situada a la izquierda y más pequeña, tiene unas dimensiones de 6.5 x 4.5 x 1.2 metros mientras que la otra cuenta con unas dimensiones de 12.5 x 6 x 1.2 metros y ambas son empleadas para el aprendizaje de natación de niños. Esta zona también dispone de dos duchas para niños y dos duchas para bebés que cuentan también con agua caliente a partir del acumulador. A partir de esta zona también se puede acceder a un aseo que cuenta con una cisterna, una estancia en la que se encuentran las instalaciones para el mantenimiento del aire y un almacén en el que se guardará el material necesario para impartir las clases.

Mediante unas escaleras, desde la playa, se puede acceder a la segunda planta ubicada a cota 1.65 metros y está reservada para el acumulador y las calderas y resto de instalaciones.

En cuanto a la altura, la instalación está dividida en una primera planta, un altillo a cota 1.50 metros y una segunda planta a cota 3 metros, siendo la altura total de la instalación 5 metros. Respecto al techo, el altillo da al aire mientras que sobre el resto de superficie se encuentran ubicadas seis plantas de viviendas lo que conforma una azotea de 264 m². No obstante, para facilitar la comprensión se ha incluido el Plano 1 y el Plano 2.

En resumen, la superficie ocupada por cada estancia queda recogida en la siguiente tabla:

Tabla 1: Resumen de la distribución de la superficie

Hall	70 m ²
Área de visionado	10 m ²
Vestuario femenino	61 m ²
Vestuario masculino	49 m ²
Acceso piscinas	18 m ²
Sala de fisioterapia	33 m ²
Sala con camilla	13 m ²
Almacén	6 m ²
Aseo	4 m ²
Planta baja	264 m²
Playa-piscina	234 m ²
Sala de máquinas	12 m ²
Almacén	8 m ²
Aseo	3 m ²
Altillo	256 m²
Sala de máquinas	63 m ²
Primera planta	63 m²

4.3 DATOS CLIMATOLÓGICOS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS

A continuación se van a exponer los datos climatológicos y recomendaciones técnicas a cumplir por esta instalación obtenidos del IDAE, RITE y CTE. Se van a mostrar datos relacionados tanto con la climatización, con la caracterización de ACS y las condiciones de confort.

En primer lugar se van a citar las condiciones técnicas de obligado cumplimiento expuestas en el RITE (Code et al., 2006) teniendo en cuenta que se trata de una piscina climatizada.

- El caudal mínimo de ventilación para asegurar la calidad mínima de aire es para piscinas climatizadas 2.5 l/s por m² de playa y piscina.
- Cuando el caudal de aire de ventilación sea superior a 0.5 m³/s se debe recuperar parte del contenido energético del aire. En piscinas climatizadas, esta recuperación se debe realizar en función del caudal con los siguientes parámetros correspondientes a 6000 horas de funcionamiento anuales.

Tabla 2: Parámetros para la recuperación del calor del aire en función de las horas de funcionamiento según el RITE

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m ³ /s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		>12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000...4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000...6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

- La temperatura de las piscinas debe variar entre 24 y 30°C en función de su uso aunque se excluyen las piscinas de uso terapéutico.
- La temperatura seca del aire debe ser de 1 a 2 °C mayor que la temperatura del agua pero con un máximo de 30 °C. Esta medida sirve para compensar el efecto de enfriamiento que provoca la evaporación del agua de un cuerpo mojado.
- La humedad relativa se debe encontrar siempre por debajo del 65%. Esta medida sirve para evitar condensaciones.
- La puesta en marcha de las piscinas puede durar, como máximo, tres días.
- La contribución solar mínima establecida en el HE4 puede ser sustituida por otra tecnología renovable siempre que las emisiones de CO₂ de la alternativa sean menores que el método prescriptivo.

En segundo lugar, se van a citar los datos y las recomendaciones del CTE (Ministerio de Vivienda, 2013).

- Según la sección 4 del Documento Básico HE del CTE (Ministerio de Fomento, 2013), las principales ciudades de la provincia de Castelló cuentan con las siguientes zonas climáticas:

Tabla 3: Zonas climáticas de la provincia de Castelló según el HE4 del CTE

CASTELLON	Burriana	IV
	Castellon de la Plana	IV
	La Vall d'uiixo	IV
	Vila-Real	IV
	Vinaroz	IV

- La contribución solar mínima para la producción de ACS según la zona climática de Castelló se determina según la próxima tabla.

Tabla 4: Contribución solar mínima para la producción de ACS (%) en piscinas climatizadas según el HE4 del CTE

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

- La contribución solar mínima para la climatización de piscinas cubiertas según la zona climática de Castelló se determina según la próxima tabla.

Tabla 5: Contribución solar mínima para la climatización de piscinas (%) en piscinas cubiertas según el HE4 del CTE

Piscinas cubiertas	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
	30	30	50	60	70

Seguidamente, se muestran los datos climatológicos de la ciudad de Castelló extraídos de la Guía Técnica de Condiciones climáticas exteriores de proyecto (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), 2010).

- Las medias mensuales de temperatura seca (TA) y temperatura seca durante las horas solares (TASOL) en la localidad de Castelló se pueden consultar en la siguiente tabla.

Tabla 6: Temperaturas medias secas anuales de la ciudad de Castelló según IDAE

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20
Enero	10,6	12,8	148	293	1
Febrero	11,3	13,6	118	248	1
Marzo	13,8	15,9	73	197	5
Abril	16,1	18,2	32	129	12
Mayo	19,4	21,2	7	60	41
Junio	23,8	25,7	0	8	122
Julio	25,9	27,6	0	1	184
Agosto	26,0	27,8	0	1	188
Septiembre	23,0	25,1	0	10	101
Octubre	19,4	21,7	5	57	37
Noviembre	14,0	16,3	62	182	3
Diciembre	11,1	13,3	130	277	0

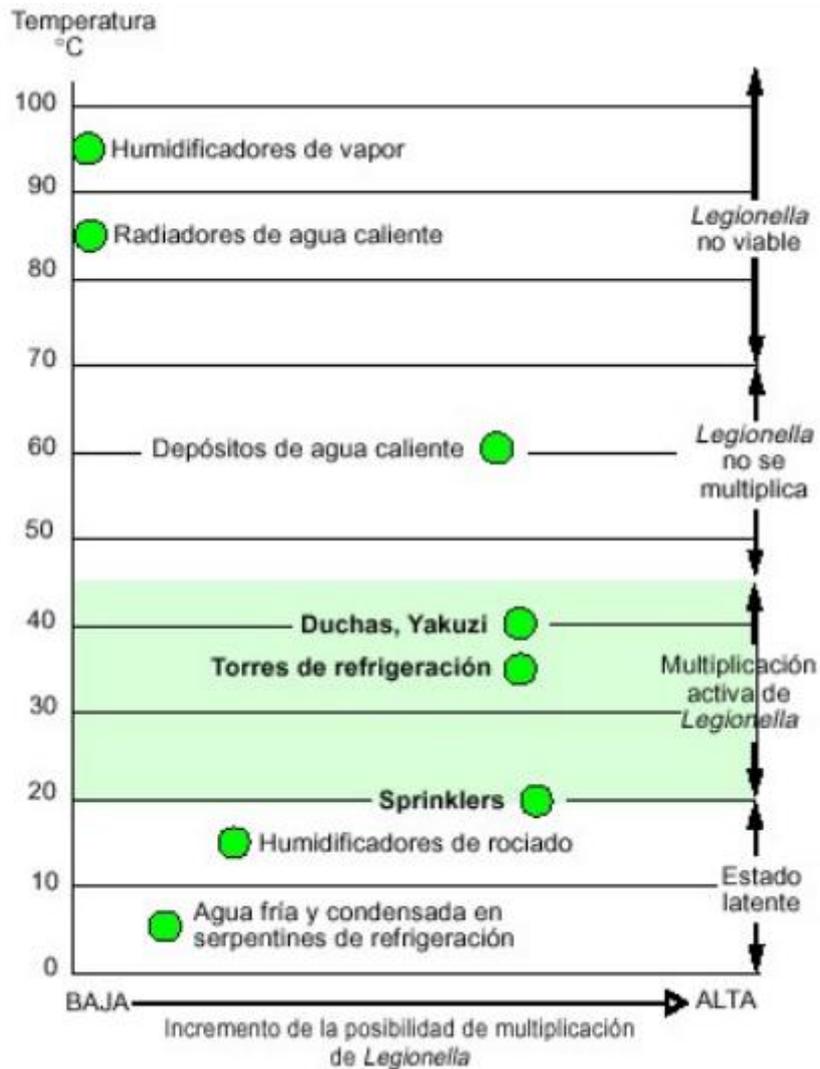
- La temperatura media mensual y anual del agua de red de la ciudad de Castelló también puede consultarse en la siguiente tabla. Este dato es importante ya que, dependiendo de esta, se necesitará más o menos energía para satisfacer la demanda de ACS.

Tabla 7: Temperaturas medias mensuales y anuales del agua de red según IDAE

	Temperatura del agua de la red (°C)												Media
	5	6	7	9	11	13	15	2	14	11	7	6	
Máximas	15	15	16	16	17	19	21	21	20	18	17	16	17
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7	13
Alicante	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12	15
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12	16
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9	14
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10	14
Bilbao	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10	13
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6	10
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	2	19	15	11	9	13
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12	16
Castellón	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11	15
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7	13
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10	15
La Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11	13
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Gerona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9	13
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8	13
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7	12
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12	16
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7	12
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9	15
Las Palmas	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16	17
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6	11

Por último, se muestran las recomendaciones para evitar la legionelosis teniendo en cuenta el comportamiento de la bacteria en función de la temperatura.

Gráfico 1: Comportamiento de la bacteria causante de la Legionela en función de la temperatura según la Guía de Buenas Prácticas NTP 538 (Hernández Calleja, 1999)



- La temperatura del agua de los acumuladores no debe ser inferior a 60°C.
- El sistema de retorno debe estar dimensionado de tal manera que el agua no descienda de los 50°C.
- El sistema de calentamiento debe ser capaz de aguantar hasta los 70°C para favorecer su desinfección.

4.4 ESTUDIO DE OCUPACIÓN

La demanda de ACS de la instalación está directamente relacionada con la ocupación de la misma por lo que previamente a su cálculo se va a realizar un estudio de ocupación que servirá de apoyo para determinar la demanda diaria necesaria a cubrir y el caudal máximo en las duchas teniendo en cuenta la simultaneidad del uso de las mismas.

En primer lugar, se va a proceder a explicar el uso que se le va a dar a cada una de las piscinas con las que cuenta la instalación. La piscina pequeña (6.5 x 4.5 m) es utilizada en su totalidad para clases de matronatación con bebés. Por otra parte, la piscina grande (12.5 x 6 m) se divide en tres calles de 2 metros para un mayor aprovechamiento de la misma. Por la mañana se emplea para el uso de actividades como natación para personas mayores. A primeras horas de la tarde, dos de las tres calles se utilizan para niños hasta 3 años y la calle restante para niños hasta 8 años. A partir de las 19:00 horas las tres calles son utilizadas por niños hasta 8 años. Durante las últimas horas de apertura, a partir de las 20:00 horas, la piscina grande es empleada de nuevo para actividades de natación para adultos.

La ocupación máxima de cada piscina varía en función del uso que se le vaya a dar. La piscina pequeña, al disponer de un solo uso, presenta siempre una ocupación máxima de 6 bebés. La piscina grande tiene una ocupación máxima de 8 personas por calle para las actividades de natación para mayores, una ocupación máxima de 5 niños por calle para las clases de natación a niños hasta 3 años y una ocupación máxima de 8 niños por calle para las clases de natación de niños hasta 8 años.

Se definen a continuación los horarios de clase establecidos:

- Las clases de matronatación tendrán una duración de 30 minutos.
- Las actividades de natación para mayores tendrán una duración de 45 minutos.
- Las clases de natación para niños hasta 3 años tendrán una duración de 30 minutos.
- Las clases de natación para niños hasta 8 años tendrán una duración de 45 minutos.

El horario de apertura de la instalación es de 8:00 a 22:00 horas. No obstante, para dimensionar la necesidad de ACS se debe tener en cuenta que no todos los horarios están ocupados. Para hacer la estimación se han hecho las siguientes suposiciones:

- En la piscina pequeña por la mañana se imparten dos clases de 30 minutos a partir de las 11:30 horas y ambas están completas. Por la tarde, de 16:30 a 18:30 horas se imparten otras cuatro clases también con la máxima ocupación.
- En la calle 1 de la piscina grande por la mañana a las 7:45 horas se imparte una clase de natación para mayores que alcanza la máxima ocupación. Por la tarde, de 17:30 a 19:00 horas se imparten tres clases a niños hasta 3 años y todas están completas. A las 19:00 horas esta calle sirve para dar una clase de natación a niños hasta 8 años y, por último, a las 20:00 horas se imparte una clase de natación para personas mayores aunque no se alcanza la ocupación máxima y solamente asisten 6 personas.
- En la calle 2 de la piscina grande no hay clases por la mañana y por la tarde se sigue el mismo horario que en la calle 1 de 17:30 a 19:45 horas. A partir de esta hora, esta calle queda vacía.

- En la calle 3 de la piscina grande tampoco se imparten clases por la mañana. En cambio, por la tarde se imparten clases de 17:30 a 19:45 horas a niños hasta 8 años. A partir de esta hora, la calle 3 también queda desocupada.

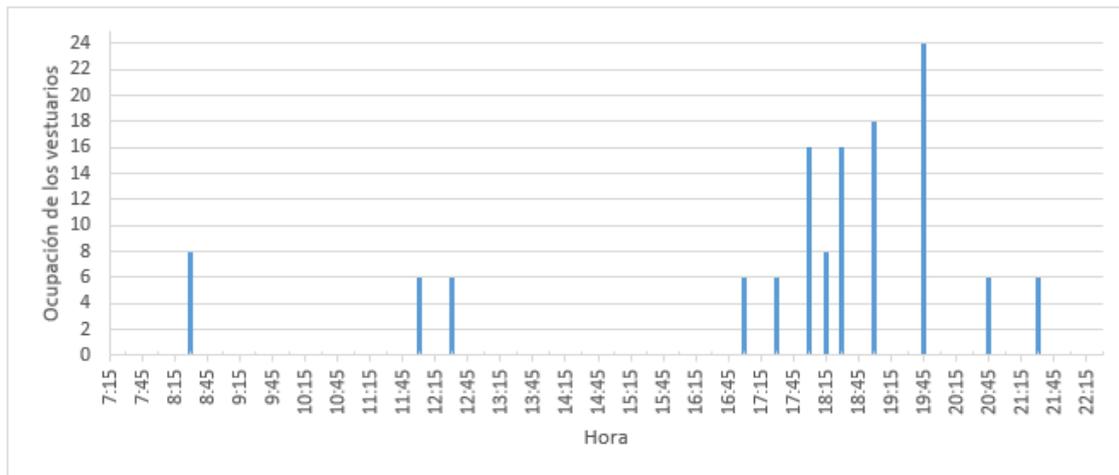
Como conclusión, teniendo en cuenta estos horarios, la ocupación diaria de cada una de las piscinas y sus calles es la mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 8: Ocupación diaria de las piscinas

Piscina pequeña	36
Calle 1	43
Calle 2	23
Calle 3	24
Total ocupación	126

En cuanto a los vestuarios, para calcular la máxima ocupación de los mismos se ha sumado la ocupación de cada piscina antes de que termine cada clase. De esta manera, la ocupación de los vestuarios depende tanto del número de clases que acaben a la vez como del número de alumnos por clase.

Gráfico 2: Ocupación de los vestuarios en función de la hora



Tal como se aprecia en el gráfico anterior la máxima ocupación de los vestuarios se produce a las 19:45 horas con un total de 24 personas. Otros datos de interés son la máxima ocupación acumulada durante una hora continuada (de 18:15 a 19:15 horas y de 19:00 a 20:00 horas en las que se estiman 42 usuarios de duchas) y la máxima ocupación acumulada durante dos horas continuadas (de 18:00 a 20:00 horas en las que se estiman 82 usuarios de duchas) ya que se emplean para el cálculo del acumulador posteriormente.

CAPÍTULO 5. NECESIDADES ENERGÉTICAS

El cálculo de las necesidades energéticas es fundamental para el dimensionamiento de una instalación. En este proyecto en concreto se van a estudiar tanto la demanda de ACS para los vestuarios, así como las necesidades de climatización de una piscina cubierta siendo estas la deshumidificación del aire del recinto como consecuencia de la evaporación del agua de los vasos, la necesidad energética para mantener la temperatura del agua de los vasos de las piscinas y la necesidad energética para mantener la temperatura del recinto en sí.

5.1 DEMANDA DE ACS

La primera necesidad a estudiar es la demanda de agua caliente sanitaria que va a ser empleada para las duchas y lavabos de la instalación tanto por los bañistas como por el socorrista. En función de un estudio de ocupación, la temperatura del agua del acumulador, la temperatura del agua de red, la temperatura del agua de las duchas y el volumen de agua diario necesario, se han determinado tanto la necesidad energética para satisfacer la demanda energética diaria como el volumen del acumulador.

5.1.1 Necesidades energéticas para el ACS

Los vestuarios, y más concretamente las duchas, suponen la principal fuente de consumo de ACS diaria. Por ello, para dimensionar la demanda se ha empleado el estudio de ocupación de las dos piscinas del que se ha obtenido un total de 126 ocupantes al día. Puesto que se ha considerado que el 100% de los usuarios van a utilizar las duchas, se han despreciado los consumos de ACS de todos los lavabos de la instalación y la ducha de los empleados. Este dato junto a la estimación del consumo de ACS a 60°C de vestuarios o duchas colectivas de la sección 4 del Documento Básico HE del CTE proporciona la demanda de ACS diaria a 60°C.

Tabla 9: Estimación de la demanda de ACS en litros a 60°C según la sección 4 del Documento Básico HE del CTE

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

En la tabla anterior se estima que la demanda de ACS a 60°C para vestuarios o duchas colectivas es de 21 litros por servicio lo que proporciona una demanda total de 2646 litros. Para calcular la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS se emplea, por tanto:

$$E_{ACS} = V_{ACS} \cdot Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot (T_{ACS} - R_{red})$$

V_{ACS}	Volumen total de ACS a 60°C	2646 l
Cp_{agua}	Calor específico del agua	1 kcal/(°C·kg)
ρ_{agua}	Densidad del agua	1 kg/l
T_{red}	Temperatura media anual del agua de la red	15°C
T_{ACS}	Temperatura del acumulador	60°C

El valor de la energía diaria y anual requerida para la satisfacer la demanda de ACS es teniendo en cuenta la que instalación se encuentra operativa 22 días al mes durante 11 meses:

$$E_{ACS} = 119070 \text{ kcal} = 138.12 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = 33425.33 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

5.1.2 Volumen del acumulador y cobertura

En el apartado anterior se ha determinado la energía necesaria para el suministro de ACS. Sin embargo, puesto que la demanda de este no es constante tal y como se muestra en el estudio de ocupación previamente realizado, se debe analizar la producción máxima de ACS en función de la potencia y el caudal punta, estudiar si la producción puede cubrir con las necesidades de ACS en los tramos horarios críticos y determinar el tamaño del acumulador para obtener una cobertura completa.

Por una parte se va a suponer una potencia final para la producción de ACS de 30 kW con lo que se calcula el caudal punta a suministrar de la siguiente manera:

$$Q = \frac{P}{Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot (T_{ACS} - T_{red})}$$

P	Potencia para el suministro de ACS	30 kW
Cp_{agua}	Calor específico del agua	4.18 kJ/(°C·kg)
ρ_{agua}	Densidad del agua	1 kg/l
T_{red}	Temperatura media anual del agua de la red	15°C
T_{ACS}	Temperatura del acumulador	60°C

$$Q = 0.16 \text{ l/s}$$

A continuación se determina la producción máxima de ACS a 60°C durante 1 hora y 2 horas:

$$P_{1h} = 576 \text{ l}$$

$$P_{2h} = 1152 \text{ l}$$

Por otra parte se determina el consumo de ACS durante los tramos críticos considerados en el estudio de ocupación en los que se alcanza la máxima ocupación acumulada:

$$C = N \cdot V_{ACS}$$

N_{1h}	Ocupación máxima acumulada durante una hora continuada	42 usuarios
N_{2h}	Ocupación máxima acumulada durante dos horas continuadas	82 usuarios
V_{ACS}	Volumen de ACS a 60°C para las duchas	21 l/usuario

$$C_{1h} = 882 \text{ l}$$

$$C_{2h} = 1722 \text{ l}$$

Se debe tener en cuenta que, con el objetivo de prevenir la legionelosis, se recomienda que la temperatura del agua en los acumuladores no sea inferior a 60°C por lo que para obtener los 40°C de temperatura en las duchas se mezclará agua de los acumuladores con agua de la red de suministro siendo la temperatura media anual de esta 15°C. Para determinar el nivel de cobertura de ACS suponiendo un acumulador de 500 litros se emplea la siguiente expresión:

$$\%_{cobertura} = \frac{P + V_{acum}}{C}$$

P_{1h}	Producción máxima de ACS a 60°C durante 1 hora	576 litros
P_{2h}	Producción máxima de ACS a 60°C durante 2 horas	1152 litros
V_{acum}	Volumen del acumulador	750 litros
C_{1h}	Consumo de ACS a 60°C durante 1 hora	882 litros
C_{2h}	Consumo de ACS a 60°C durante 2 horas	1722 litros

El porcentaje de cobertura del consumo de ACS durante 1 hora y 2 horas suponiendo una potencia final de 30 kW y un acumulador de 750 litros es la siguiente:

$$\%_{cobertura,1h} = 150 \%$$

$$\%_{cobertura,2h} = 110 \%$$

Como se puede observar durante los tramos horarios críticos toda la demanda puede cubrirse e incluso se produce un excedente que podría cubrir los picos que se pudieran producir.

5.2 NECESIDAD DE DESHUMIDIFICACIÓN

En el caso de ese proyecto, al tratarse de una piscina climatizada cubierta, parte del agua de los vasos se evapora como consecuencia de la diferencia entre la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua y la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura interior. El número de bañistas determina la masa evaporada en cuanto a que en primer lugar, cuanto mayor sea la interacción entre el agua de la piscina y el aire del ambiente, mayor será la evaporación y, en segundo lugar, el agua que los bañistas llevan sobre la piel cuando salen del vaso aumenta la evaporación también. Otros factores intervinientes en el proceso de evaporación del agua son la carga latente tanto de bañistas como ocupantes. Se han considerado 20 bañistas ya que es próximo a la máxima ocupación y 15 ocupantes que serían los padres de los alumnos. Para calcular la masa evaporada se puede emplear la fórmula de Bernier extrayendo los valores de la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura de las piscinas (26°C) y temperatura del aire interior (28°C) de la siguiente tabla:

Tabla 10: Humedad absoluta del aire saturado en función de la temperatura

T °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
W	0,0147	0,0155	0,0165	0,0177	0,0187	0,02	0,0213	0,0225	0,0240	0,0255	0,0270

$$M_e = (S \cdot 16 + 133 \cdot n) \cdot (W_e - G_a \cdot W_{as}) + 0.1 \cdot N$$

S	Superficie total de la lámina de agua de los vasos	104.25 m ²
n	Número de bañistas	20
W _e	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua	0.0213 kg _{ag} /kg _a
G _a	Grado de saturación	65%
W _{as}	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior	0.0240 kg _{ag} /kg _a
N	Número total de ocupantes	15

La masa evaporada teniendo en cuenta los dos vasos de las piscinas es:

$$M_e = 26.17 \text{ kg/h}$$

5.3 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS DE LAS PISCINAS

Las pérdidas energéticas de la piscina se traducen como pérdidas en forma de calor debidas a la evaporación, la radiación, la convección, la transmisión y la renovación del agua del vaso. Estas pérdidas se producen principalmente por la diferencia de temperaturas entre el agua de la piscina y el aire del ambiente, la humedad del aire en el ambiente, en nivel de ocupación de la piscina teniendo en cuenta tanto a bañistas como ocupantes y las características constructivas del vaso. En el siguiente esquema se muestra una representación de las pérdidas características en forma de calor de los vasos de las piscinas:

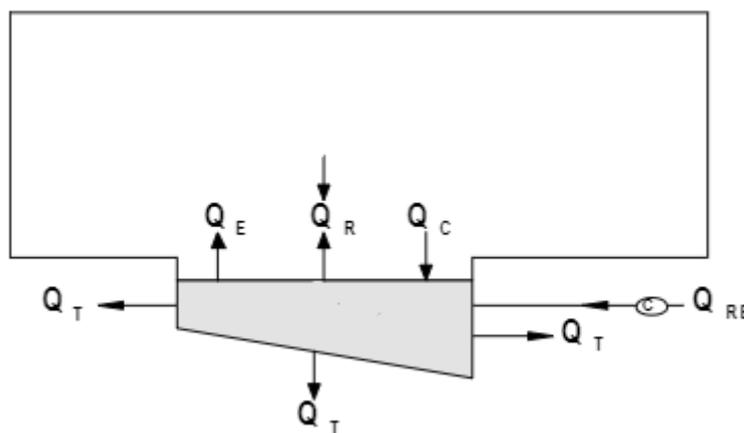


Ilustración 3: Esquema de las pérdidas de calor en el vaso de las piscinas

5.3.1 Pérdidas por evaporación

Cuando parte del agua del vaso se evapora, esta absorbe calor produciendo una disminución en la temperatura del agua restante por lo que, cuanto mayor sea la cantidad de agua evaporada, mayor será la disminución de temperatura y, por tanto, mayores serán las necesidades energéticas para mantener la temperatura del agua a los niveles deseados. Para calcular las pérdidas energéticas por evaporación se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_e = (S \cdot 16 + 133 \cdot n) \cdot (W_e - G_a \cdot W_{as}) \cdot C_{vap}$$

S	Superficie total de la lámina de agua de los dos vasos	104.25 m ²
n	Número de bañistas	20
W_e	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua	0.0213 kg _{ag} /kg _a
G_a	Grado de saturación	65%
W_{as}	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior	0.0240 kg _{ag} /kg _a
C_{vap}	Calor de vaporización del agua	677.8 Wh/kg

Los resultados obtenidos para las pérdidas por evaporación una vez realizados los cálculos son:

$$Q_e = 16721.05 \text{ W}$$

5.3.2 Pérdidas por radiación

En una piscina, las pérdidas por radiación se producen debido a la diferencia de temperaturas entre el agua de la piscina y la temperatura de los cerramientos del recinto. Normalmente, los cerramientos de las piscinas cubiertas suelen encontrarse a muy pocos grados por debajo de la temperatura del ambiente dependiendo siempre de la variedad de cerramiento por lo que estas pérdidas pueden considerarse despreciables. Para calcular las pérdidas energéticas producidas por la radiación se emplea la fórmula de Stefan-Boltzmann:

$$Q_r = S \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{ag}^4 - T_c^4)$$

S	Superficie total de la lámina de agua de los vasos	104.25 m ²
ε_a	Emisividad del agua	0.95
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	5.67·10 ⁻⁸ W/(m ² ·K ⁴)
T_{ag}	Temperatura del agua	299 K
T_c	Temperatura interior de los cerramientos	298 K

Las pérdidas por radiación obtenidas para las dos piscinas son:

$$Q_r = 597.42 \text{ W}$$

5.3.3 Pérdidas por convección

Al igual que las pérdidas por radiación, las pérdidas por convección en el caso de las piscinas climatizadas también son prácticamente despreciables ya que se trabaja con temperaturas muy próximas. Para calcular las pérdidas energéticas por convección en las piscinas se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_c = S \cdot [0.6246 \cdot (T_{ag} - T_a)^{4/3}]$$

S	Superficie total de la lámina de agua de los vasos	104.25 m ²
T_{ag}	Temperatura del agua	299 K
T_a	Temperatura del aire	301 K

Las pérdidas por convección calculadas para las piscinas son las siguientes:

$$Q_c = 164.07 \text{ W}$$

5.3.4 Pérdidas por transmisión

Las pérdidas por transmisión del vaso dependen tanto del material del mismo como del tipo de construcción empleado. En el caso de este proyecto, a pesar de encontrarse en un bajo comercial, el vaso, construido por una capa de aislante, otra de cemento y otra de azulejo, no se encuentra enterrado sino que ha sido construido sobre una elevación por lo que se puede considerar que está al aire dentro de un sótano. Puede que en invierno las temperaturas sean más bajas pero esto solamente afectará a la base de las piscinas por lo que se les ha puesto un aislante que hace que los cambios de temperatura sean menos bruscos.

$$Q_t = S_{c,v} \cdot C_t \cdot (T_{ag} - T_{c,e})$$

$S_{c,v}$	Superficie de los cerramientos del vaso	175.05 m ²
C_t	Coficiente de transmisión de las paredes del vaso	1.5 W/m ² ·°C
T_{ag}	Temperatura del agua	26°C
$T_{e,c,v}$	Temperatura exterior al cerramiento en verano	24°C
$T_{e,c,v}$	Temperatura exterior al cerramiento en primavera y otoño	21°C
$T_{e,c,v}$	Temperatura exterior al cerramiento en invierno	18°C

Las pérdidas de calor por transmisión en los dos vasos son:

$$Q_{t,v} = 525.15 \text{ W}$$

$$Q_{t,po} = 1312.88 \text{ W}$$

$$Q_{t,i} = 2100.60 \text{ W}$$

5.3.5 Pérdidas por renovación del agua del vaso

Se recomienda que, por razones higiénicas y de salud, se renueve un porcentaje del 5% del volumen de las piscinas diariamente (125.1 m^3) y, pese a que cierta cantidad de agua es extraída mediante los bañistas, la masa evaporada y los procesos que implican filtros y limpieza de fondos, esta cantidad es muy inferior al 5% recomendado.

La renovación del agua implica pérdidas en forma de calor debido a la diferencia de temperaturas entre el agua de las piscinas y el agua de red. Estas pérdidas pueden ser calculadas de la siguiente manera:

$$Q_{re} = \frac{V_r \cdot Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot (T_{agua} - T_{red})}{t}$$

V_r	Volumen renovado diariamente	6255 l
Cp_{agua}	Calor específico del agua	1.16 Wh/°C·kg
ρ_{agua}	Densidad del agua	1 kg/l
T_{agua}	Temperatura del agua de las piscinas	26°C
T_{red_v}	Temperatura del agua de la red de suministro en verano	19°C
T_{red_po}	Temperatura del agua de la red de suministro en primavera y otoño	14°C
T_{red_i}	Temperatura del agua de la red de suministro en invierno	11°C
t	Tiempo	24 h

Teniendo en cuenta estos datos las pérdidas energéticas por renovación de agua en los vasos de las piscinas son en verano, primavera-otoño e invierno, respectivamente:

$$Q_{re_v} = 2116.28 \text{ W}$$

$$Q_{re_po} = 3627.90 \text{ W}$$

$$Q_{re_i} = 4534.88 \text{ W}$$

5.3.6 Resumen de pérdidas en los vasos de las piscinas

Considerando todas las posibles pérdidas energéticas que pueden tener lugar en los vasos de las piscinas se estima la potencia de mantenimiento de la instalación para conservar la temperatura de los vasos. Esta potencia será la característica una vez la instalación se haya puesto en marcha y queda dividida de la siguiente manera en las distintas épocas del año:

Tabla 11: Resumen de las pérdidas en los vasos de las piscinas

	Verano	Primavera-Otoño	Invierno
Pérdidas por evaporación	16721.05 W	16721.05 W	16721.05 W
Pérdidas por radiación	597.42 W	597.42 W	597.42 W
Pérdidas por convección	164.07 W	164.07 W	164.07 W
Pérdidas por transmisión	525.15 W	1312.88 W	2100.60 W
Pérdidas por renovación	2116.28 W	3627.90 W	4534.88 W
Potencia de mantenimiento	20123.97 W	22423.32 W	24118.02 W

Considerando que la instalación se encuentra operativa 14 horas al día 22 días al mes todos los meses del año exceptuando agosto la energía necesaria para climatizar los vasos de las piscinas es en verano, primavera-otoño, invierno y anualmente, respectivamente:

$$E_{cv_v} = 12396.36 \text{ kWh}$$

$$E_{cv_po} = 41438.29 \text{ kWh}$$

$$E_{cv_i} = 22285.02 \text{ kWh}$$

$$E_{cv_t} = 76119.67 \text{ kWh}$$

5.3.6 Potencia para la puesta en marcha

Para la puesta a régimen de la instalación será necesaria una potencia distinta a la de mantenimiento ya que todos los vasos se llenan con agua de red que posteriormente debe ser calentada hasta 26°C para proceder a la utilización de la instalación. La duración de este proceso no debe superar los 3 días según el RITE y, cuanto mayor sea la duración, menor será la potencia necesaria para la puesta en marcha. La potencia necesaria puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{PM} = \frac{V \cdot C_{p_{agua}} \cdot \rho_{agua} \cdot (T_{agua} - T_{red})}{t}$$

V	Volumen total de agua para los vasos	125.10 m ³
$C_{p_{agua}}$	Calor específico del agua	1.16 Wh/°C·kg
ρ_{agua}	Densidad del agua	1000 kg/m ³
T_{agua}	Temperatura del agua de los vasos	26°C
T_{red}	Temperatura media anual del agua de la red de suministro	15°C
t	Tiempo	72 h

$$Q_{PM} = 22170.50 \text{ W}$$

5.4 DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL AMBIENTE

Dentro de las necesidades energéticas de la instalación es importante la climatización del ambiente del recinto. La temperatura de este, para cumplir las condiciones de confort establecidas en el RITE, debe encontrarse 1 o 2°C por encima de la temperatura de las piscinas para evitar la sensación de frío una vez que los bañistas hayan salido del agua, por lo que se adoptará una temperatura de 28°C. El aire ambiente ha de ser renovado hasta 2.5 l/s por m² de superficie de lámina de agua y playa según la normativa, posteriormente, calentado hasta 28°C y deshumidificado hasta mantener la humedad relativa del ambiente al 65%.

También hay que tener en cuenta que a la hora de impulsar el aire se puede producir el fenómeno de la condensación en aquellas superficies que se encuentren a una temperatura inferior a la temperatura de rocío y favorecer el fenómeno de la evaporación como consecuencia del flujo de aire, por lo que se recomienda vigilar las temperaturas de los cerramientos y evitar las corrientes de aire directas sobre la lámina de agua de los vasos de las piscinas y sobre los bañistas ya que la evaporación genera una sensación de frío.

Para caracterizar la demanda energética para la climatización del recinto se tendrán en cuenta tanto las pérdidas por ventilación como las pérdidas por los cerramientos.

5.4.1 Pérdidas por ventilación

La ventilación del recinto es necesaria para mantener unas condiciones de calidad del aire interior. Esta ventilación provoca pérdidas energéticas ya que supone la retirada de aire caliente y la incorporación de aire a temperatura exterior. El cálculo de estas pérdidas puede realizarse de la siguiente forma:

$$Q_{vent} = \dot{Q} \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot \rho_{aire} \cdot Cp_{aire}$$

\dot{Q}	Caudal de aire ventilado por superficie	9 m ³ /h·m ²
S	Superficie de lámina de agua y playa	234 m ²
T_{ext_v}	Temperatura del aire exterior en verano	25°C
T_{ext_po}	Temperatura del aire exterior en primavera y otoño	17°C
T_{ext_i}	Temperatura del aire exterior en invierno	12°C
T_{int}	Temperatura del aire interior	28°C
ρ_{aire}	Densidad del aire	1.2 kg/m ³
Cp_{aire}	Calor específico del aire	0.28 Wh/(°C·kg)

Las pérdidas por ventilación son en verano, primavera-otoño e invierno respectivamente:

$$Q_{vent_v} = 2115.80 \text{ W}$$

$$Q_{vent_po} = 7757.92 \text{ W}$$

$$Q_{vent_i} = 11284.24 \text{ W}$$

5.4.2 Pérdidas por cerramientos

Las pérdidas en los cerramientos hacen referencia a la energía transmitida por los mismos como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, las características constructivas de los mismos y la orientación de estos. Se recuerda que en piscinas cubiertas la temperatura interior de los cerramientos se encuentra muy por debajo de la temperatura del aire ambiente por lo que se ha considerado una temperatura de 25°C. Para calcular las pérdidas se ha realizado una clasificación en función de lo que rodea los distintos cerramientos y el coeficiente de conductividad térmica γ , empleando la siguiente fórmula, se ha obtenido:

$$Q_{cerr} = S \cdot K \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

Suelo:

Considerando una capa de forjado, una capa de aislante, una barrera impermeable, una capa de malla y el pavimento, se aproxima la transmitancia térmica.

S	Superficie de cerramiento	520 m ²
K	Coficiente de conductividad térmica	1 W/m ² ·°C
T_{int}	Temperatura interior de los cerramientos	25°C
$T_{ext\ v}$	Temperatura exterior de los cerramientos en verano	22°C
$T_{ext\ po}$	Temperatura exterior de los cerramientos en primavera y otoño	19°C
$T_{ext\ i}$	Temperatura exterior de los cerramientos en invierno	16°C

$$Q_{cerr,s,v} = 1560.00\ W$$

$$Q_{cerr,s,po} = 3120.00\ W$$

$$Q_{cerr,s,i} = 4680.00\ W$$

Paredes colindantes con otros locales:

Se consideran dentro de este grupo los cerramientos verticales colindantes con otros locales así como la parte del techo sobre la que están construidas las viviendas. Considerando una capa de ladrillo hueco y enlucido, se aproxima la transmitancia térmica.

S	Superficie de cerramiento	702 m ²
K	Coficiente de conductividad térmica	1.2 W/m ² ·°C
T_{int}	Temperatura interior de los cerramientos	25°C
$T_{ext\ v}$	Temperatura exterior de los cerramientos en verano	23°C
$T_{ext\ po}$	Temperatura exterior de los cerramientos en primavera y otoño	20°C
$T_{ext\ i}$	Temperatura exterior de los cerramientos en invierno	17°C

$$Q_{cerr,l_v} = 1684.80 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,l_po} = 4212.00 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,l_i} = 6739.20 \text{ W}$$

Fachada:

Considerando el acabado exterior, una capa de ladrillo hueco, una capa de aislante, una cámara de aire, otra capa de ladrillo hueco y el acabado interior por una parte y, la presencia de una ventana de 2 x 4.4 metros, la puerta de emergencia y la puerta principal, se aproxima el valor de la transmitancia térmica.

S	Superficie de cerramiento	85 m ²
K	Coficiente de conductividad térmica	1.5 W/m ² ·°C
T_{int}	Temperatura interior de los cerramientos	25°C
T_{ext_v}	Temperatura exterior de los cerramientos en verano	22°C
T_{ext_po}	Temperatura exterior de los cerramientos en primavera y otoño	14°C
T_{ext_i}	Temperatura exterior de los cerramientos en invierno	9°C

$$Q_{cerr,f_v} = 382.50 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,f_po} = 1402.50 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,f_i} = 2040.00 \text{ W}$$

Techo al aire:

Se consideran dentro de este grupo aquellos cerramientos horizontales cuya parte externa se encuentra en contacto con el aire. Considerando una capa de forjado, una capa de mortero, la barrera impermeable, el aislante térmico, la capa separadora, otra capa de mortero de agarre y el acabado porcelánico para exteriores, se aproxima el valor de la transmitancia térmica.

S	Superficie de cerramiento	256 m ²
K	Coficiente de conductividad térmica	1 W/m ² ·°C
T_{int}	Temperatura interior de los cerramientos	25°C
T_{ext_v}	Temperatura exterior de los cerramientos en verano	22°C
T_{ext_po}	Temperatura exterior de los cerramientos en primavera y otoño	14°C
T_{ext_i}	Temperatura exterior de los cerramientos en invierno	9°C

$$Q_{cerr,t_v} = 768.00 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,t_po} = 2816.00 \text{ W}$$

$$Q_{cerr,t_i} = 4096.00 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta estos resultados, las pérdidas en los cerramientos de toda la instalación suman en verano, primavera-otoño e invierno, respectivamente:

$$Q_{cerr_v} = 4395.30 \text{ W}$$

$$Q_{cerr_po} = 11550.50 \text{ W}$$

$$Q_{cerr_i} = 17555.20 \text{ W}$$

5.4.3 Resumen de pérdidas para el acondicionamiento del aire

Teniendo en cuenta las pérdidas por ventilación y cerramientos, la potencia necesaria para la climatización del aire de la instalación es:

Tabla 12: Resumen de pérdidas para el acondicionamiento del aire

	Verano	Primavera-Otoño	Invierno
Pérdidas por ventilación	2115.80 W	7757.92 W	11284.24 W
Pérdidas por cerramientos	4395.30 W	11550.50 W	17555.20 W
Potencia de climatización	6511.1 W	19308.42 W	28839.44 W

Considerando que la instalación se encuentra operativa 14 horas al día 22 días al mes todos los meses del año exceptuando agosto la energía necesaria para climatizar el aire ambiente es en verano, primavera-otoño, invierno y anualmente, respectivamente:

$$E_{ca_v} = 4010.84 \text{ kWh}$$

$$E_{ca_po} = 35681.84 \text{ kWh}$$

$$E_{ca_i} = 26647.64 \text{ kWh}$$

$$E_{ca_t} = 66340.32 \text{ kWh}$$

CAPÍTULO 6. APORTACIONES ENERGÉTICAS

La aportación energética de la instalación se realiza teniendo en cuenta la normativa actual. Por una parte, se lleva a cabo una recuperación del calor del aire expulsado para la ventilación como se establece en el RITE. También se emplea una bomba de calor deshumectadora que recuperará la masa evaporada de los vasos de las piscinas para producir energía. Por otra parte, tal y como se especifica en la Tabla 4 y Tabla 5, al tratarse de una piscina climatizada en Castelló, le corresponde un 50% de contribución solar mínima para la producción de ACS anual y un 60% también de contribución solar mínima para la climatización de las piscinas cubiertas. Esta contribución solar podrá ser sustituida por otra tecnología de energías renovables siempre y cuando la producción de CO₂ con este método sea menor que con el método prescriptivo. Por ello, se va a realizar un estudio con las distintas alternativas renovables como captadores solares, caldera de biomasa y bomba de calor empleando una caldera de gas natural como apoyo para cubrir el resto de la demanda.

6.1 RECUPERADOR DE CALOR DEL AIRE DE VENTILACIÓN

El RITE establece que, para instalaciones cuyo caudal de aire de ventilación sea superior a 0.5 m³/s, se debe recuperar la energía contenida en este mediante un sistema de climatización. En el caso de la presente instalación, al tratarse de una piscina climatizada, el caudal de ventilación debe ser de 9m³/h por metro cuadrado de superficie de lámina de agua y playa (234 m²) lo que proporciona un caudal de 0.59 m³/s.

Esta recuperación de calor, que se emplea para cubrir parte de la demanda energética del aire, se produce ya que el aire expulsado para la ventilación necesaria para cumplir las condiciones de salubridad en la instalación se encuentra a una temperatura superior a la del aire de entrada por lo que, mediante un intercambiador, se cederá calor del aire de salida al aire de entrada precalentándolo.

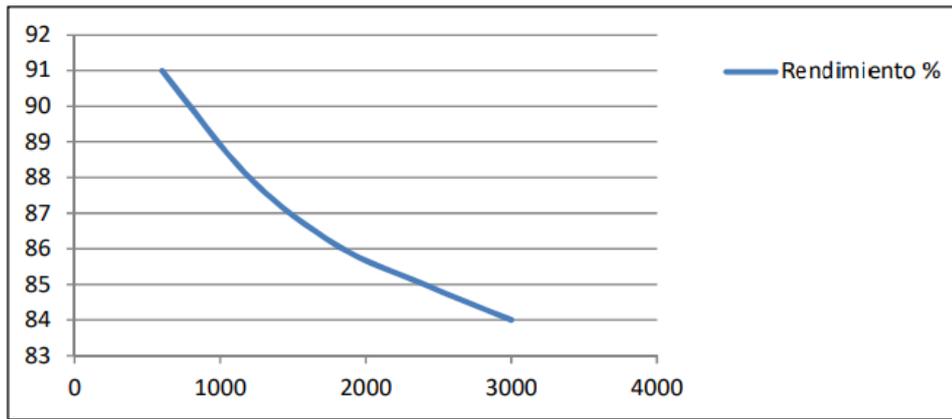
Para el caso de piscinas climatizadas los parámetros de eficiencia mínima de recuperación de calor sensible y pérdidas de presión se determinarán en función del caudal de aire considerando siempre más de 6000 horas de funcionamiento anuales. Estos parámetros son, según la Tabla 2, 50% y 180 Pa.

El recuperador elegido se trata de un recuperador de calor contraflujos ERP2018 de la marca TOSHIBA modelo VNMCC30 con las siguientes características:

- Estructura de aluminio extruido y esquinas de poliamida que le confieren resistencia y estanqueidad.

- Aislamiento termoacústico de 25 mm en lana de roca de densidad 40 kg/m³ (resistencia al fuego A1).
- Caudal máximo: 3000 m³/h.
- Ventilador de impulsión PLUG-FAN EC de potencia nominal 0.78 kW.
- Incluye bypass motorizado.
- Filtro F6+F8 en impulsión y F6 en extracción.
- Eficiencia nominal: 0.78.
- El rendimiento varía en función del caudal según el siguiente gráfico:

Gráfico 3: Curva del rendimiento en función del caudal proporcionada por el fabricante



El caudal de ventilación de esta instalación es 2106 m³/h por lo que el rendimiento está en torno a 85.5%. La diferencia de temperaturas variará mensualmente en función de la temperatura seca del ambiente del mes según la Tabla 6. Para una mayor precisión no se ha tenido en cuenta el mes de agosto para los cálculos ya que durante este mes la instalación permanece cerrada. Por tanto, la potencia recuperada como consecuencia de la instalación del recuperador de calor contraflujos se puede calcular de la siguiente forma:

$$P_{rc} = \dot{Q} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot \eta$$

\dot{Q}	Caudal de ventilación	2106 m ³ /h
ρ	Densidad del aire	1.2 kg/m ³
C_p	Calor específico del aire	0.28 Wh/(°C·kg)
T_{int}	Temperatura del aire interior	28°C
$T_{ext.v}$	Media de las temperaturas del aire exterior en verano	24.96°C
$T_{ext.po}$	Media de las temperaturas del aire exterior en primavera y otoño	17.30°C
$T_{ext.i}$	Media de las temperaturas del aire exterior en invierno	11.90°C
η	Rendimiento	85.50%

Teniendo en cuentas estos datos, y agrupando la potencia recuperada por meses en primavera y otoño, invierno y verano, la potencia recuperada por este sistema es:

$$P_{rc_v} = 1839.24 \text{ W}$$

$$P_{rc_{po}} = 6473.62 \text{ W}$$

$$P_{rc_i} = 9740.69 \text{ W}$$

Como se puede observar, la potencia recuperada es mucho mayor en invierno debido a la diferencia de temperaturas. La potencia recuperada por este sistema es térmica y habría que tener en cuenta la potencia del ventilador siendo esta 780 W a caudal nominal de 3000 m³/h. Considerando una evolución lineal de esta potencia consumida en función del caudal trasgado que, en este caso, es aproximadamente 2100 m³/h, la potencia eléctrica consumida por el ventilador es 546 W. Sin embargo, en este capítulo no se va a tener en cuenta ya que esa potencia se suministra eléctricamente.

Considerando que la instalación se encuentra operativa 14 horas al día 22 días al mes todos los meses del año exceptuando agosto la energía aportada por este método en verano, primavera-otoño, invierno y anualmente, respectivamente:

$$E_{rc_v} = 1132.97 \text{ kWh}$$

$$E_{rc_{po}} = 11963.25 \text{ kWh}$$

$$E_{rc_i} = 9000.40 \text{ kWh}$$

$$E_{rc_t} = 20096.62 \text{ kWh}$$

Un aspecto a tener en cuenta es la filtración del aire que se realiza en función de la calidad de aire que se necesite en el interior (IDA) y la calidad del aire exterior (ODA). En la siguiente tabla se muestra la clase de filtración mínima para el prefiltro y filtro según el RITE:

Tabla 13: Clase de filtración mínima para prefiltro y filtro en función de IDA y ODA según el RITE

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF*+F9	F7+GF+F9	F5 + F7	F5 + F6

Teniendo en cuenta que el RITE clasifica el aire interior de las piscinas como IDA2 (aire de buena calidad) y podría clasificar el aire exterior como ODA2 (aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes), los tipos de prefiltro y filtro a emplear son F6 y F8 respectivamente. Al tratarse de un recuperador de calor los prefiltros han de instalarse en la entrada del aire exterior y en la entrada de aire de expulsión. Estos filtros y prefiltros vienen incluidos en el recuperador elegido.

6.2 BOMBA DE CALOR DESHUMECTADORA

Otra de las aportaciones energéticas se realiza mediante la instalación de una deshumectadora que aprovecha la masa evaporada de los vasos de las piscinas para producir energía mediante la condensación del vapor. Gran cantidad de la energía necesaria para los vasos se debe a la evaporación del agua, así que reutilizando esta masa evaporada se puede decir que se recupera parte de la energía. El método empleado es aerotermia.

La selección de la deshumectadora se realiza en función de la masa evaporada que se quiere eliminar siendo en este caso 26.17 kg/h.

La deshumectadora elegida es el modelo Key DTS 3027 de la serie OCEAN de la marca Keyter que cuenta con las siguientes características:

- Potencia de deshumidificación: 27.7 kg/h.
- Potencia frigorífica: 39.9 kW.
- Potencia absorbida nominal: 10.1 kW.
- Potencia calorífica: 29.9 kW.
- Potencia calorífica en intercambiador de agua: 17 kW.
- Caudal de aire nominal: 7000 m³/h.
- Caudal agua: 2.9 m³/h.
- Intercambiador de recuperación de calor para calentamiento del agua del vaso de la piscina de acero incorporado.
- Cuenta con detección de filtro sucio.
- Apoyo de agua caliente mediante batería con una potencia calorífica de 70 kW y caudal de agua de 4 m³/h.
- Doble etapa de filtración G4+F6+F8.
- Dimensiones: 1800 x 1400 x 1800 mm.

De los parámetros proporcionados por el fabricante se determina que la potencia recuperada mediante la instalación de la deshumectadora es:

$$P_{rd} = 17 \text{ kW}$$

Considerando que la instalación se encuentra operativa 14 horas al día 22 días al mes todos los meses del año exceptuando agosto la energía recuperada por la deshumectadora en verano, primavera-otoño, invierno y anualmente, respectivamente:

$$E_{rd_v} = 10472 \text{ kWh}$$

$$E_{rd_{po}} = 31416 \text{ kWh}$$

$$E_{rd_i} = 15708 \text{ kWh}$$

$$E_{rd_t} = 57596 \text{ kWh}$$

6.3 ESTUDIO DE POSIBILIDADES PARA SATISFACER EL PORCENTAJE MÍNIMO DE ENERGÍA DE ORIGEN RENOVABLE

Con el objetivo de cumplir con las exigencias del RITE en cuanto a producción de ACS y climatización de piscinas cubiertas se determina la energía mínima a cubrir mediante energía solar teniendo en cuenta la demanda anual de ACS y de energía para climatización de los vasos.

Por una parte, en el caso del ACS la energía de origen solar debe ser la correspondiente al 50% de la demanda anual total y es calculada mediante la siguiente expresión:

$$E_{renACS} = E_{ACS} \cdot t \cdot \frac{F_{ren}}{100}$$

E_{ACS}	Energía diaria para ACS	138.12 kWh/día
t	Tiempo de funcionamiento anual	22 días al mes durante 11 meses
F_{ren}	Fracción renovable	50%

La aportación energética renovable anual para ACS ha de ser como mínimo:

$$E_{renACS} = 16712.52 \frac{kWh}{año}$$

Por otra parte, en el caso de la climatización de los vasos de las piscinas se calcula la fracción energética de origen solar que debe corresponderse al 60% de la energía demandada anualmente para este propósito.

$$E_{renVASOS} = E_{cv,t} \cdot \frac{F_{ren}}{100}$$

$E_{cv,t}$	Energía anual para climatización de los vasos	76119.67 kWh/año
F_{ren}	Fracción renovable	60%

La aportación energética renovable anual para la climatización de los vasos de las dos piscinas ha de ser como mínimo:

$$E_{renVASOS} = 45671.60 \frac{kWh}{año}$$

6.2.1 Instalación solar térmica

Como primera opción se va a estudiar una instalación solar térmica. Esta transforma la energía electromagnética en energía térmica. La radiación solar es empleada para calentar un fluidocaloportador mediante un captador solar que, posteriormente, transmitirá este calor al agua. Cuando este tipo de instalaciones se dedican para agua caliente sanitaria basta con emplear sistemas de baja temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$). En cuanto al captador, el tipo más empleado es el captador solar plano entre 1.4-3 m^2 de los que es útil para absorber energía una superficie menor si se tienen en cuenta los elementos de soporte y acoplamiento.

Para estimar la superficie de captación se ha consultado en PVGIS la irradiación recibida en cada mes en Castelló suponiendo una inclinación de los paneles de 40° (próxima a la latitud geográfica del emplazamiento). En cuanto a las pérdidas, puesto que los captadores solares se instalarían en la azotea del edificio, no se han considerado pérdidas por sombras en PVGIS.

Tabla 14: Irradiación mensual y media anual para Castellón obtenida por PVGIS

Month	H_h	H_{opt}	$H(40)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	2280	4030	4160	64	11.4	188
Feb	3250	5030	5140	56	11.0	142
Mar	4800	6130	6160	43	12.8	74
Apr	5740	6250	6190	28	15.1	25
May	6780	6560	6410	15	18.0	0
Jun	7510	6880	6680	8	21.7	0
Jul	7450	7000	6820	11	24.9	0
Aug	6440	6700	6600	23	25.3	0
Sep	5040	6090	6090	38	23.3	0
Oct	3780	5390	5470	52	20.1	22
Nov	2550	4330	4450	62	15.7	146
Dec	1980	3670	3790	66	12.3	199
Year	4810	5680	5660	36	17.6	796

H_h : Irradiation on horizontal plane ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{day}$)

H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{day}$)

$H(40)$: Irradiation on plane at angle: 40deg. ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{day}$)

I_{opt} : Optimal inclination (deg.)

T_{24h} : 24 hour average of temperature ($^{\circ}\text{C}$)

N_{DD} : Number of heating degree-days (-)

De la tabla anterior se pueden obtener datos tanto de la irradiación con el ángulo óptimo, que varía en función de cada mes, como de la irradiación con el ángulo de inclinación que previamente se ha seleccionado para la instalación (40°). Se puede observar un valor medio para cada mes del año y una media anual de irradiación que será el dato que se empleará para el cálculo de la superficie de captación. Puesto que se trata de un estudio de posibilidades el rendimiento de la instalación no se ha calculado sino que se ha aproximado a un 40%. Para determinar la superficie de captación se emplea la siguiente expresión:

$$S = \frac{E_{renACS} + E_{renVASOS}}{H_{40} \cdot \eta \cdot t}$$

E_{renACS}	Energía mínima anual de origen renovable para ACS	16712.52 kWh/año
$E_{renVASOS}$	Energía mínima anual de origen renovable para la climatización de los vasos	45671.60 kWh/año
H_{40}	Irradiación media anual con 40° de inclinación	5.66 kWh/(m ² ·día)
η	Rendimiento de la instalación	0.35%
t	Periodo de utilización anual del ACS	22 días al mes durante 11 meses

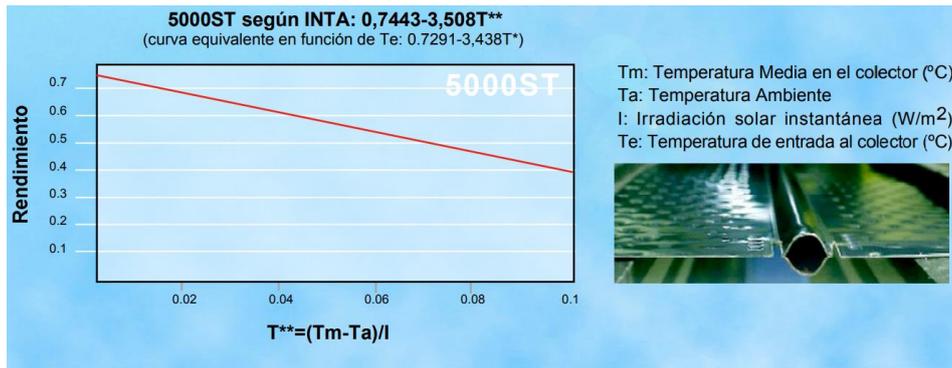
Sustituyendo en la ecuación se obtiene el siguiente resultado cuyo valor se corresponde con el área mínima que tendría que tener la superficie de captación.

$$S = 130.13 \text{ m}^2$$

Con el objetivo de calcular el número de captadores necesarios para satisfacer la parte de la demanda de ACS necesaria se han estudiado distintos captadores solares planos y se ha seleccionado el modelo 5000ST de la marca Gamesa que cuenta con las siguientes características:

- Sistema de aislamiento transparente TIM que reduce las pérdidas por el vidrio.
- Caja de aluminio anodizado de alta resistencia a la corrosión.
- Dimensiones: 2120 x 1050 x 86.2 mm.
- Superficie de captación: 2.1 m².
- Peso en vacío: 38 kg.
- Capacidad de colector: 1.85 l.
- Caudal recomendado: 50 l/(h·m²).
- Rendimiento: a determinar según la curva proporcionada por el fabricante.

Gráfico 4: Curva del rendimiento del captador proporcionada por el fabricante



Teniendo en cuenta la superficie de captación del modelo elegido (2.1 m²) y la superficie para satisfacer la demanda (130.12 m²), son necesarios 64 captadores solares. El fabricante, en la ficha técnica, establece que no se recomienda poner más de 6 captadores seguidos en paralelo por lo que la disposición elegida es 16 filas de 4 captadores en paralelo.

Uno de los factores a tener en cuenta en este tipo de instalaciones es la distancia entre filas de colectores ya que si no se separan lo suficiente pueden hacerse sombra entre sí y reducir la capacidad de absorción. Esta separación también supone una pérdida del espacio disponible en la azotea del edificio y se puede calcular, empleando el esquema próximo a modo de ayuda, de la siguiente manera:

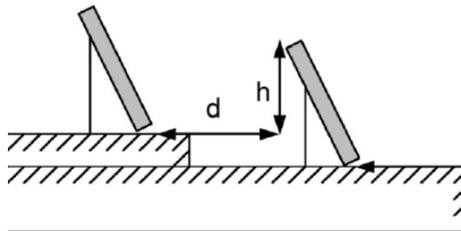


Ilustración 4: Esquema para el cálculo de la distancia entre colectores

$$d = \frac{h}{\tan(61 - lat)}$$

Siendo h , según el siguiente esquema:

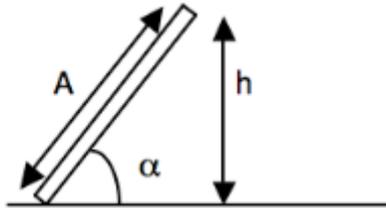


Ilustración 5: Esquema para el cálculo de la elevación del colector

$$h = A \cdot \sin \alpha$$

h	Elevación del colector	1.36 m
lat	Latitud del emplazamiento	40°
A	Altura del colector	2.12 m
α	Inclinación del colector	40°

Sustituyendo en las fórmulas anteriores se obtiene el siguiente valor para la distancia:

$$d = 3.55 \text{ m}$$

En cuanto al cálculo de pérdidas, el CTE establece unos valores máximos para pérdidas por orientación e inclinación, sombras y pérdidas totales que no se pueden superar en la sección 4 del Documento Básico HE.

Tabla 15: Pérdidas límite para colectores según la sección 4 del Documento Básico del CTE

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

Previamente se ha comentado que las pérdidas por sombras se consideran nulas ya que la instalación de los captadores se realizaría en la azotea del edificio donde no se encuentra ningún objeto que pueda ensombrecerlos. Por lo tanto, el porcentaje de pérdidas por sombras sería 0% cumpliendo con el valor límite para el caso general y el porcentaje total de pérdidas estaría integrado únicamente por las pérdidas de orientación e inclinación que se calculan empleando la siguiente ilustración:

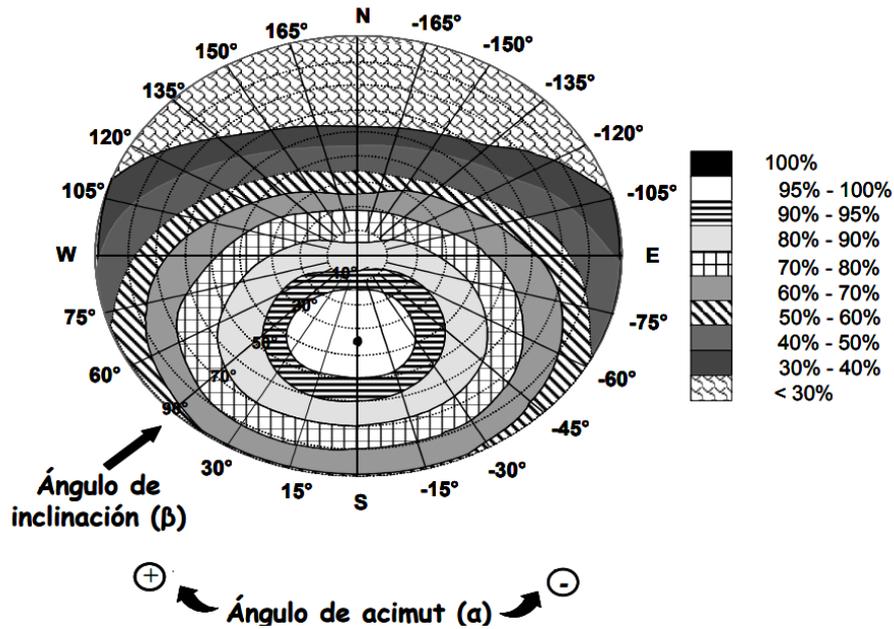


Ilustración 6: Porcentaje de energía útil descontando pérdidas por inclinación y orientación

Orientando las placas al sur (el ángulo acimut tiene un valor igual a 0°) con una inclinación igual a la latitud del emplazamiento (el ángulo de inclinación tiene un valor igual a 40°) se estima que el porcentaje de energía útil se encuentra entre 95% - 100%. Este valor cumple con el porcentaje límite de pérdidas por orientación e inclinación para el caso general de la Tabla 15 y, por tanto, también con el porcentaje total de pérdidas.

Para dimensionar la instalación solar térmica necesaria para cubrir la demanda energética se debe tener en cuenta que, según la sección 4 del documento básico HE del CTE, existe una relación entre el volumen de acumulación y el área de captación que es la que se expone a continuación:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Este volumen supondría la suma del volumen necesario para la producción de ACS y el volumen necesario para la climatización de los vasos y, debería encontrarse entre 6500 l y 23400 l según la afirmación anterior y el área de captación necesaria.

Para completar la instalación de este equipo habría que seleccionar un intercambiador situado entre el circuito primario de los paneles y el acumulador de ACS. Así mismo habría que dimensionar los tramos de tubería y seleccionar las bombas para el circuito primario. También habría que dimensionar los vasos de expansión para el circuito primario y secundario. Todo esto supone unos costes que, sumados al coste de los 64 captadores solares y los elementos de control, supone un elevado presupuesto si se tiene en cuenta que solo cubriría parte de la demanda energética.

En resumen, por una parte teniendo en cuenta la superficie de la azotea sí que sería posible la instalación de los captadores, estos aportarían la suficiente energía como para cubrir el 50% de la demanda anual de ACS y el 60% de la demanda energética para la climatización de los vasos de las piscinas, el coste de la materia prima sería nulo y no se producirían emisiones de CO₂. Por otra parte habría que realizar una petición a los demás vecinos de la finca para poder ocupar la azotea, el coste de la instalación sería bastante elevado y solamente cubriría una parte de la demanda de ACS y el resto tendría que cubrirse empleando una caldera de apoyo que funcionaría mediante gas natural por lo que esta opción es rechazada.

6.2.2 Caldera de biomasa

Como segunda opción se va a estudiar la instalación de una caldera de biomasa que suministre la demanda completa de ACS y climatización para los vasos ya que, según establece el RITE, la fracción solar únicamente podrá ser sustituida por otra tecnología renovable en caso de que la producción de CO₂ de este método prestacional en conjunto (el 100% de la demanda cubierta con biomasa) sea menor que la producción de CO₂ del método prescriptivo (parte de la demanda cubierta con colectores solares más otro porcentaje cubierto con la caldera de apoyo que emplea gas natural).

El tipo de biomasa empleado es pellets. Este combustible presenta un poder calorífico de 4.8 kWh/kg y una densidad de 700 kg/m³. Con estos datos se puede dimensionar la instalación calculando en un primer lugar la cantidad de pellets necesaria diariamente.

$$m = \frac{E_{ACS} + E_{cv,t}}{Pc \cdot \eta}$$

E_{ACS}	Energía anual para la producción de ACS	33425.33 kWh/año
$E_{cv,t}$	Energía anual para la climatización de los vasos	76119.67 kWh/año
Pc	Poder calorífico del pellet	4.8 kWh/kg
η	Rendimiento de la instalación	0.80

$$m = 28527.34 \frac{kg}{año}$$

Un aspecto importante a tener en cuenta en el caso de escoger este combustible es el volumen de almacenamiento del mismo. Se puede calcular el volumen necesario de la siguiente manera:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

m	Masa anual necesaria para cubrir el ACS	28527.34 kg/año
ρ	Densidad del pellet	700 kg/m ³

$$V = 40.75 \frac{m^3}{año}$$

Por otra parte, también hay que analizar el coste de la materia prima:

$$C = m \cdot p$$

m	Masa anual necesaria para cubrir el ACS	28527.34 kg/año
p	Precio de la tonelada de pellets	300 €/ton

$$C = 8558.20 \frac{€}{año}$$

Puesto que esta instalación sería empleada para satisfacer la demanda de ACS total y la demanda energética necesaria para climatización de los vasos, la caldera de pellets debería llegar a proporcionar la potencia en el caso más desfavorable siendo este invierno ya que la potencia requerida para la climatización de los vasos es mayor. Considerando un rendimiento de la instalación del 80% dicha potencia se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{cp} = \frac{P_{cv_i} + P_{ACS}}{\eta}$$

P_{ACS}	Potencia para la producción de ACS	30 kW
P_{cv_i}	Potencia para la climatización de los vasos en invierno	24.12 kW
η	Rendimiento de la instalación	0.80

$$P_{cp} = 54.12 \text{ kW}$$

Una posible opción para la caldera sería el modelo ECO-PK 70 de la marca Hargassner ya que su rango de potencias es el adecuado y además cuenta con las siguientes características:

- Rango de potencia: 20-70 kW.
- Eficiencia a carga máxima: 94.6 %.
- Eficiencia a carga parcial: 95.3 %.
- Capacidad calorífica máxima: 74.5 kW.

- Cuenta con encendido de bajo consumo (300W).
- Control del nivel de brasas.
- Limpieza del intercambiador.
- Indicador de consumo de pellets.
- Sistema anticondensados integrable.
- Sistema de eliminación de cenizas de parrilla y volátiles patentado.

En resumen, por una parte se cubriría la demanda energética necesaria sin necesidad de una caldera de apoyo, es una tecnología renovable, el coste de la materia prima no es muy elevado y en general el coste de la instalación es más barato que los captadores. Por otra parte, sí que se producen emisiones de CO₂ y se requiere gran cantidad de espacio para el almacenaje de pellets y la instalación de la caldera del que no se dispone por lo que esta opción también es rechazada.

6.2.3 Bomba de calor

Como última alternativa renovable se va a estudiar la instalación de una bomba de calor para cubrir parte de la demanda energética. Esta puede funcionar tanto para calefacción como para generación de ACS. El porcentaje mínimo de energía a cubrir por esta alternativa sigue siendo el establecido por el CTE, un 50% de la demanda energética anual para la producción de ACS y un 60% de la demanda energética anual para la climatización de los vasos de las piscinas. Teniendo en cuenta estas condiciones, el modelo seleccionado es el ERLQ016CV3 con unidad interior EHBX16CB3V de la línea ALTHERMA de la marca DAIKIN que cuentan con las siguientes características:

- Capacidad de calefacción: 16.10 kW.
- Capacidad de refrigeración: 13.12 kW.
- Consumo en calefacción: 3.83 kW.
- Consumo en refrigeración: 5.74 kW.
- COP: 4.2
- EER: 2.29
- Dimensiones: 1345 x 900 x 320 mm.
- Cuenta con los siguientes rangos de funcionamiento:

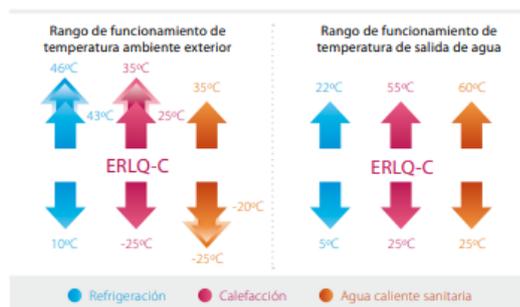


Ilustración 7: Rango de funcionamiento de la bomba de calor

Para que las bombas de calor sean consideradas de carácter renovable el coeficiente de eficiencia estacional de la bomba (SPF) debe ser mayor o igual a 2.5 tal y como se indica en la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios (Ministerio de Industria, 2014) . Puesto que el fabricante no ha proporcionado el SPF, este se puede calcular mediante un método alternativo proporcionado en la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios empleando el coeficiente de operación (COP), un factor de ponderación (FP) y un factor de corrección (FC).

El FP se calcula en función de la zona climática en la que se vaya a emplear la bomba de calor. En la siguiente tabla se muestran los distintos valores para el FP:

Tabla 16: Factor de ponderación para bombas de calor según la zona climática según la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios del IDAE

Fuente Energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

El FC se calcula en función de la temperatura de uso de la bomba de calor y la temperatura con la que fue calculada el COP. En la siguiente tabla se muestran los distintos valores para el FP:

Tabla 17: Factor de corrección para bombas de calor según la temperatura de condensación según la Guía de Prestaciones Medias Estacionales de las Bombas de Calor para Producción de Calor en Edificios del IDAE

Tª de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Por una parte, teniendo en cuenta que según el CTE Castelló pertenece a la zona climática B3 y que se trata de energía aerotérmica en equipos centralizados, el valor del FP extraído de las tablas anteriores es de 0.8. Por otra parte, puesto que tanto la temperatura de condensación como la temperatura del COP son 35°C, el valor del FC es igual a 1. Con estos datos y el COP se puede calcular el valor del SPF de la siguiente manera:

$$SPF = COP \cdot FP \cdot FC$$

<i>COP</i>	Coeficiente de operación	4.20
<i>FP</i>	Factor de ponderación	0.80
<i>FC</i>	Factor de corrección	1.00

$$SPF = 3.36$$

Este valor del SFP permite clasificar esta bomba de calor como tecnología renovable. De los parámetros anteriores se obtiene que la potencia de la bomba de calor es:

$$P_{bc} = 16.10 \text{ kW}$$

Considerando que bomba de calor se encuentra operativa 14 horas al día 22 días al mes todos los meses del año exceptuando agosto la energía aportada por la misma en verano, primavera-otoño, invierno y anualmente, respectivamente es:

$$E_{bc_v} = 9917.60 \text{ kWh}$$

$$E_{bc_{po}} = 29752.80 \text{ kWh}$$

$$E_{bc_i} = 14876.40 \text{ kWh}$$

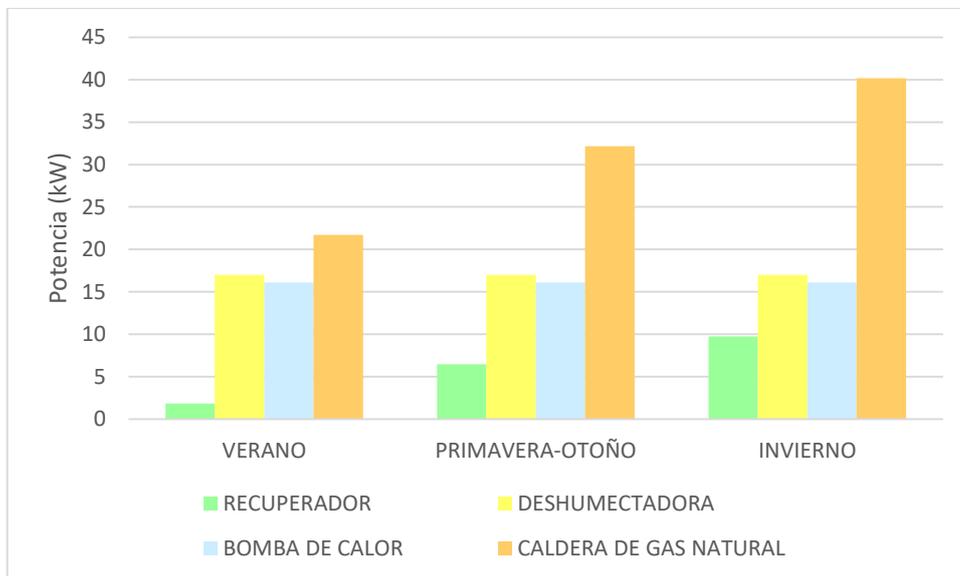
$$E_{bc_t} = 54546.80 \text{ kWh}$$

En resumen, el SPF de la bomba de calor es mayor a 2.5 por lo que se trata de una técnica renovable y resulta más económica que las anteriores. Sin embargo, esta alternativa no llega a cubrir el 50% de la demanda energética para la producción de ACS y el 60% de la demanda energética para la climatización de los vasos de las piscinas exigidos como mínimo por el CTE por sí sola. Por ello se complementa esta tecnología con la deshumectadora previamente desarrollada que también es considerada de origen renovable. De esta forma, sumando la energía aportada por las dos bombas de calor se supera la energía mínima de origen renovable.

6.4 SISTEMA DE APOYO

Como sistema de apoyo se emplea una caldera de gas natural que se destina a cubrir el consumo energético para la producción de ACS y se encarga de los picos de consumo para la climatización. Para determinar la potencia que debe ser capaz de suministrar la caldera de gas natural se calcula las potencias totales necesarias para cubrir la demanda energética en verano, primavera-otoño e invierno y se les restan las potencias aportada por el intercambiador de calor que aprovecha el caudal de ventilación, la deshumectadora y la bomba de calor. En el gráfico siguiente se muestra la distribución de la aportación de la potencia total en verano, primavera-otoño e invierno respectivamente:

Gráfico 5: Distribución de la potencia a aportar por cada tecnología en verano, primavera-otoño e invierno



Puesto que la potencia necesaria en verano es de 22 kW aproximadamente mientras que en invierno es de 40 kW aproximadamente se ha decidido instalar dos calderas de condensación que emplean gas natural como combustible de tal manera que en verano solamente una de ellas se encuentre en funcionamiento mientras que en primavera-otoño ambas funcionen estando una de ellas a media carga y en invierno funcionen las dos a carga completa.

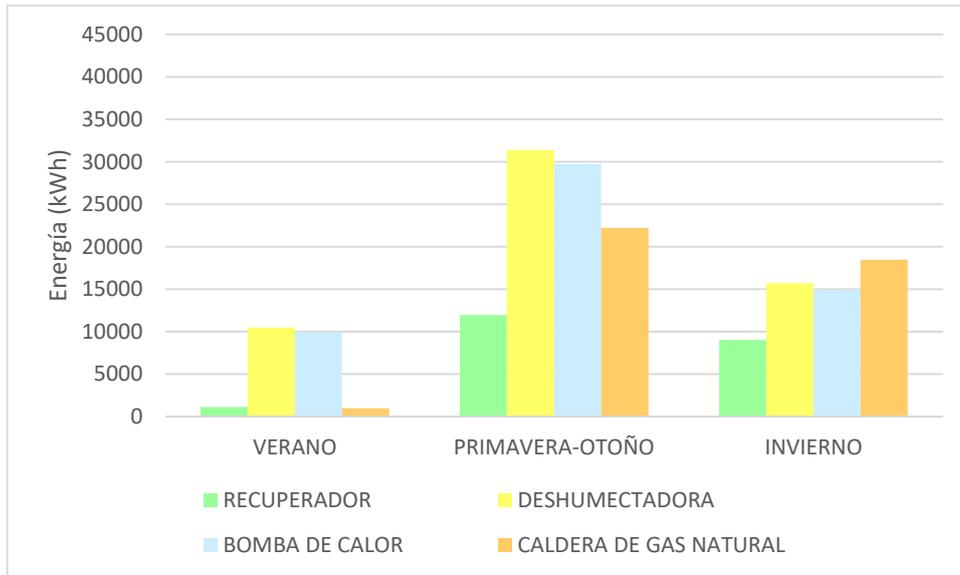
El modelo de caldera seleccionado es el ECOTEC PURE VMW ES 236 7-2 de la marca Vaillant, una caldera de condensación mural de gas natural que cuenta con las siguientes características:

- Potencia en calefacción: 19 kW.
- Potencia en agua caliente: 23 kW.
- Caudal de agua ($\Delta T=25K$): 13.80 l/min.
- Tipo de encendido electrónico.
- Rendimiento: 0.99
- Tipo de gas: gas natural.

- Dimensiones: 44 x 72 x 33.5 cm.
- Calificación energética: A

Mediante estas calderas se cubre la demanda energética restante que puede calcularse, al igual que la potencia, como la diferencia entre la energía demandada por la instalación y la energía aportada por las otras tecnologías. En el gráfico siguiente se muestra la distribución de la aportación energética total en verano, primavera-otoño e invierno:

Gráfico 6: Distribución de la energía a aportar por cada tecnología en verano, primavera-otoño e invierno



Las calderas de gas natural tienen que encargarse, por tanto, de suministrar 41645.59kWh y, teniendo en cuenta el rendimiento de la instalación y el poder calorífico del combustible, la cantidad de gas natural necesaria anualmente es:

$$v = \frac{E_{gn}}{Pc \cdot \eta}$$

E_{gn}	Energía a aportar por la caldera de gas natural	41645.59 kWh/año
Pc	Poder calorífico del gas natural	12.11 kWh/m ³
η	Rendimiento de la instalación	0.99

$$v = 3473.68 \frac{m^3}{año}$$

El coste de la materia prima anual se puede determinar realizando una estimación del precio:

$$C = \frac{E_{gn}}{\eta} \cdot p$$

E_{gn}	Energía a aportar por la caldera de gas natural	41645.59 kWh
p	Precio del kWh de gas natural	0.05 €/kWh
η	Rendimiento de la instalación	0.99

$$C = 2103.31\text{€/año}$$

6.5 CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO TÉCNICO

Como se ha mencionado antes, para que la energía de origen solar pueda ser sustituida por otra tecnología de carácter renovable, las emisiones de CO₂ de esta tecnología han de ser iguales o menores a las emisiones del método prescriptivo. A continuación se va a comprobar esta exigencia comparando la instalación de captadores solares empleando una caldera de gas natural como apoyo y la instalación de una bomba de calor empleando también una caldera de gas natural para cubrir el resto de la demanda energética.

Para el cálculo de las emisiones se debe determinar en un primer momento la energía final aportada por cada una de las opciones para lo que se utilizarán los siguientes coeficientes extraídos del documento Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España (Ministerio de Industria, 2016):

Tabla 18: Factores de conversión de energía final a primaria en función del combustible según Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

A continuación se deben aplicar los factores de emisión de CO₂ extraídos también del documento Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España y mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 19: Factores de emisión de CO₂ en función del combustible según Factores de Emisión de CO₂ y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Así mismo, se debe tener en cuenta que, puesto que no se han definido equipos para el servicio de climatización en el método prescriptivo por lo que, siguiendo el Documento Básico HE del CTE, se emplearán las siguientes eficiencias de los sistemas de referencia:

Tabla 20: Eficiencias de los sistemas de referencia según el Documento Básico HE del CTE

Tecnología	Vector energético	Rendimiento
Producción de calor	Gas natural	0,92
Producción de frío	Electricidad	2,00

Teniendo en cuenta que se emplea electricidad convencional peninsular y gas natural como fuentes energéticas, la justificación de la energía renovable consumida y las emisiones de CO₂ con las que cuenta la instalación pueden verse resumidas en las siguientes tablas:

Tabla 21: Resumen del cumplimiento de emisiones de CO₂ para el método alternativo según lo establecido en el CTE

	Método alternativo		
	Bomba de calor	Caldera de gas natural (99%)	Bomba de calor deshumectadora
Demanda energética (kWh)	54546.80	41645.59	57596.00
Eficiencia estacional del equipo	3.36	0.99	3.23
Fuente de energía	Electricidad	Gas natural	Electricidad
Consumo de energía final (kWh)	16234.17	42066.25	17831.58
Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	31721.56	50058.84	34842.90
Emisiones de CO ₂ (kg)	5373.51	10600.70	5902.25
Total emisiones (kg)	21876.46		

Tabla 22: Resumen del cumplimiento de emisiones de CO₂ para el método prescriptivo según lo establecido en el CTE

	Método alternativo	
	Captadores solares	Caldera de gas natural (ref.)
Demanda energética (kWh)	62384.12	91404.27
Eficiencia estacional del equipo	-	0.92
Fuente de energía	Sol	Electricidad
Consumo de energía final (kWh)	-	99352.47
Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	-	118229.44
Emisiones de CO ₂ (kg)	-	25036.82
Total emisiones (kg)	25036.82	

En resumen, el método alternativo de bomba de calor, bomba de calor deshumectadora y caldera del gas natural con rendimiento del 99% produce menos emisiones que el método prescriptivo de captadores solares más caldera de gas natural con rendimiento de referencia del 92%P. Por tanto, el método alternativo cumple el Código Técnico y, en definitiva, puede ser llevado a cabo. En ambos casos la energía producida por el recuperador ha sido descontada del total ya que es de obligada instalación y, por tanto, tendría que figurar en los dos métodos.

CAPÍTULO 7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

7.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

Una vez seleccionadas las distintas tecnologías que se encargan de cubrir las necesidades energéticas, se va a realizar una breve definición de la instalación para una mejor comprensión del funcionamiento y desarrollo de detalles.

Las calderas modulantes de gas natural, que cuentan con un regulador en cascada, se encuentran conectadas en paralelo a un desconector hidráulico y, desde ese punto surgen tres líneas distintas. La primera de ellas se dirige hacia el serpentín del acumulador de ACS para la producción de agua caliente para las duchas. La segunda de ellas se dirige hacia dos intercambiadores de las piscinas, uno para el vaso grande y otro para el vaso pequeño, para así calentar el agua de los vasos. Por último, la tercera de las líneas se dirige hacia la batería de la deshumectadora de 70 kW y hacia el recuperador de tal manera que se caliente el aire precalentado por el mismo. La bomba de calor produce agua caliente que es dirigida hacia otro intercambiador para el vaso grande. La deshumectadora aporta calor para la climatización del aire y, gracias a la batería, puede aportar calor a los vasos de las piscinas ya que está conectada a un tercer intercambiador para el vaso grande. Finalmente, el recuperador de calor aporta energía para el acondicionamiento del ambiente mediante el intercambio de calor entre el aire de ventilación y el aire exterior que precalienta. Se concluye diciendo que cada tecnología aportará una energía distinta en función de las necesidades de la instalación.

El acondicionamiento de aire, por otra parte, es realizado tanto por la deshumectadora como por el recuperador.

Para llevar a cabo la selección de los intercambiadores para cada vaso de las piscinas se ha realizado un cálculo independiente de la demanda energética de cada vaso llegando a las siguientes conclusiones:

- Siendo la etapa de invierno la de mayor consumo energético, se estima que la potencia máxima demandada para el calentamiento del vaso pequeño es 9200 W aproximadamente.
- Siendo la etapa de invierno la de mayor consumo energético, se estima que la potencia máxima demandada para el calentamiento del vaso grande es 14900 W aproximadamente.

Teniendo en cuenta esto, se ha escogido los siguientes intercambiadores:

- Para el vaso pequeño se ha seleccionado el intercambiador de calor tubular agua-agua AstralPool Waterheat Evo modelo TIT20kW que es capaz de aportar 10 kW a 60°C con

cuerpo y serpentín de titanio, presión de trabajo del circuito primario de 10 bar y presión de trabajo del circuito secundario de 3 bar.

- Para el vaso grande en relación con la caldera de gas natural se ha seleccionado el intercambiador de calor tubular agua-agua AstralPool Waterheat Evo modelo TIT40kW que es capaz de aportar 20 kW a 60°C con cuerpo y serpentín de titanio, presión de trabajo del circuito primario de 10 bar y presión de trabajo del circuito secundario de 3 bar.
- Para el vaso grande en relación con la batería de la deshumectadora se ha seleccionado el intercambiador de calor tubular agua-agua AstralPool Waterheat Evo modelo TIT40kW que es capaz de aportar 20 kW a 60°C con cuerpo y serpentín de titanio, presión de trabajo del circuito primario de 10 bar y presión de trabajo del circuito secundario de 3 bar.
- Para el vaso grande en relación con la bomba de calor se ha seleccionado el intercambiador de calor tubular agua-agua AstralPool Waterheat Evo modelo TIT40kW que es capaz de aportar 20 kW a 60°C con cuerpo y serpentín de titanio, presión de trabajo del circuito primario de 10 bar y presión de trabajo del circuito secundario de 3 bar.

Para terminar la instalación de climatización son necesarios conductos tanto para el circuito primario como el secundario de ventilación y distribución del agua caliente con sus respectivas bombas para circulación y válvulas. Teniendo en cuenta las dimensiones de la instalación y la distancia que hay entre la producción y el consumo de energía para climatización, se han estimado las longitudes de los conductos de tal manera que la velocidad de los fluidos por los mismos sea en torno a 1 m/s.

7.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE FONTANERÍA

Con el objetivo de asegurar un correcto funcionamiento de la instalación de fontanería que sea capaz de proporcionar el caudal de agua máximo demandado a la presión necesaria en los puntos de consumo se procede al estudio de la misma. En primer lugar se realiza una descripción de la instalación y la forma en la que discurre el agua por las tuberías y distintos elementos lo cual será complementario al Plano 1 y Plano 2 y, en segundo lugar, suponiendo unos datos de consumo se van a determinar ciertas características de algunos elementos como el diámetro de las tuberías, las bombas y la selección de válvulas.

El agua se proporciona a la instalación mediante una acometida desde la red de suministro realizando una hornacina en la fachada. A partir de la acometida se instala un armario del contador general que cuenta con los siguientes elementos: una llave de corte general, un filtro para el agua, un contador general, un racor de prueba, una válvula de retención y una llave de salida. El agua va discurriendo por tuberías de distintos diámetros hasta aquellos puntos de consumo que no necesiten agua descalcificada tales como cisternas, lavamanos y el punto de llenado de los vasos de las piscinas. Así mismo, discurre por una tubería hasta el altillo donde se hace pasar el agua por un descalcificador que cuenta con un depósito de salmuera. El agua descalcificada se acumula en un depósito y, tras pasar por un grupo de presión de caudal variable, que consigue mantener la presión constante independientemente del caudal del

caudal disponible, se bifurca. Uno de los sentidos que toma el agua es de nuevo hacia la planta baja para suministrar el agua fría descalcificada a las duchas. El otro camino hace llegar el agua hasta un depósito de ACS en el que el agua es calentada hasta 60°C. Desde aquí el agua caliente descalcificada es conducida mediante tuberías aisladas para mantener la temperatura hasta los puntos de consumo en los que es requerida, es decir, las duchas. Para evitar que el agua caliente quede estancada en las tuberías cuando no se consume y pierda temperatura se instala un sistema de retorno que funciona gracias a una bomba. De esta manera, el agua caliente que no es utilizada se devuelve al acumulador de ACS a través de tuberías también aisladas para ser recalentada cerrando así el circuito de fontanería.

Una vez descrito el circuito por el que discurre el agua es necesario analizar los puntos de consumo y los caudales mínimos que se requieren en cada punto. Para ello se recurre al Documento Básico HS5 del CTE (Ministerio de Fomento, 2017) del que se extrae la siguiente tabla que muestra los caudales mínimos para cada tipo de aparato.

Tabla 23: Tabla de caudales mínimos para cada tipo de aparato según el Documento Básico HS5 del CTE

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

La instalación cuenta con 16 duchas, 6 lavamanos y 4 inodoros con cisterna aunque simultáneamente se estima que en horario punta funcionan las 16 duchas, 2 cisternas y 2 lavamanos cuyos caudales son como mínimo los indicados en la tabla tanto para agua fría como para agua caliente. Estos caudales se han tomado como referencia tanto para las duchas, en las que se distingue entre agua caliente y agua fría, como para las cisternas y para los lavamanos. Otro punto de consumo de la instalación es el punto de llenado de los vasos de las piscinas que no se va a tener en cuenta ya que solamente requiere el máximo caudal durante la puesta en marcha de la instalación.

Una vez determinados los caudales para cada punto de consumo, empleando los al Plano 1 y Plano 2 realizados en AutoCAD (AutoDesk, 2014) en los que se muestra por dónde discurren las tuberías, se ha convertido este archivo empleando EpaCAD (Instituto Tecnológico del Agua, 2009) para poder modelar la red en EPANET (Environmental Protection Agency, 2014) y que el diseño de la instalación fuese visualmente más claro obteniendo el siguiente resultado:

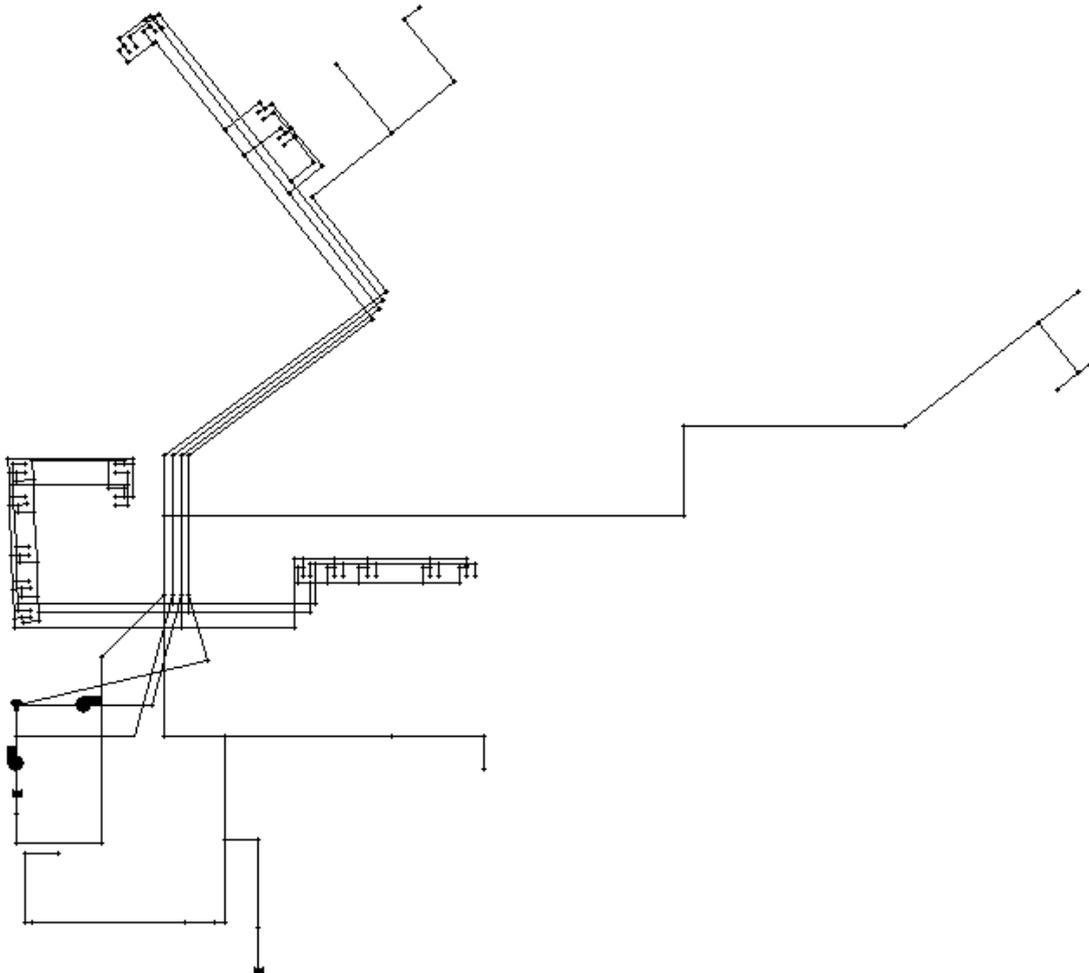


Ilustración 8: Modelación de la red de fontanería en EPANET

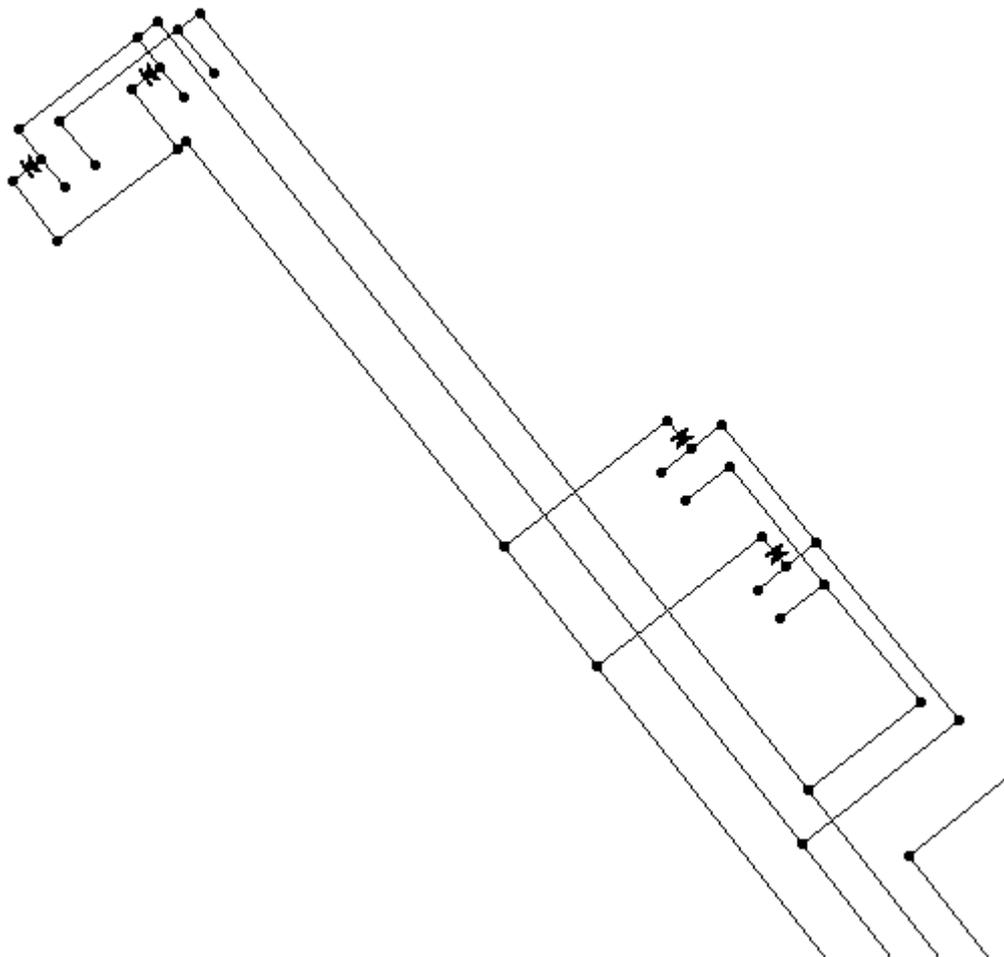


Ilustración 9: Zoom de las duchas de la modelación de la red de fontanería en EPANET

Así mismo, se han introducido las demandas de los puntos de consumo en el momento punta. Para simular pérdidas se ha incrementado la longitud de las tuberías en un 20% para considerar las pérdidas por codos, derivaciones, juntas, etc., se ha sumado 5 metros a la tubería de entrada del agua para simular las pérdidas por el contador y 10 metros a la tubería de antes del depósito de agua descalcificada para simular las pérdidas del descalcificador. También se han introducido los diámetros de las tuberías de tal manera que se alcance una velocidad adecuada en todas las tuberías y una presión adecuada en todos los puntos de consumo.

Estas presiones y velocidades adecuadas son, según el Documento Básico HS5 del CTE las siguientes:

- En todos los puntos de consumo la presión mínima debe superar los 100 kPa.
- En todos los puntos de consumo la presión máxima no debe superar los 500 kPa.
- La velocidad del agua que circula por las tuberías multicapa debe ser entre 0.5 y 3.5 m/s.

En definitiva, las características de algunos elementos de la instalación de fontanería se citan a continuación:

- Para determinar la cantidad de resina mínima del descalcificador se ha de tener en cuenta el consumo de agua descalcificada semanalmente que se corresponde con 126

duchas diarias de 37.8 litros entre agua fría y agua caliente 6 días a la semana. También se debe tener en cuenta la dureza del agua que, en el caso de Castelló, es 55ºhF. De esta manera, el volumen de resina del descalcificador es:

$$V_r = V_{agua} \cdot \frac{HF}{6}$$

V_{agua}	Volumen de agua descalcificada semanal	28.57 m ³
HF	Dureza del agua en Castelló	55ºhF

$$V_r = 261.89 \text{ l}$$

- El caudal mínimo del descalcificador se determina en función del consumo de agua descalcificada punta en 2 horas. De esta manera, si consideramos 82 duchas de 37.8 litros, el caudal del descalcificador se calcula de la siguiente manera:

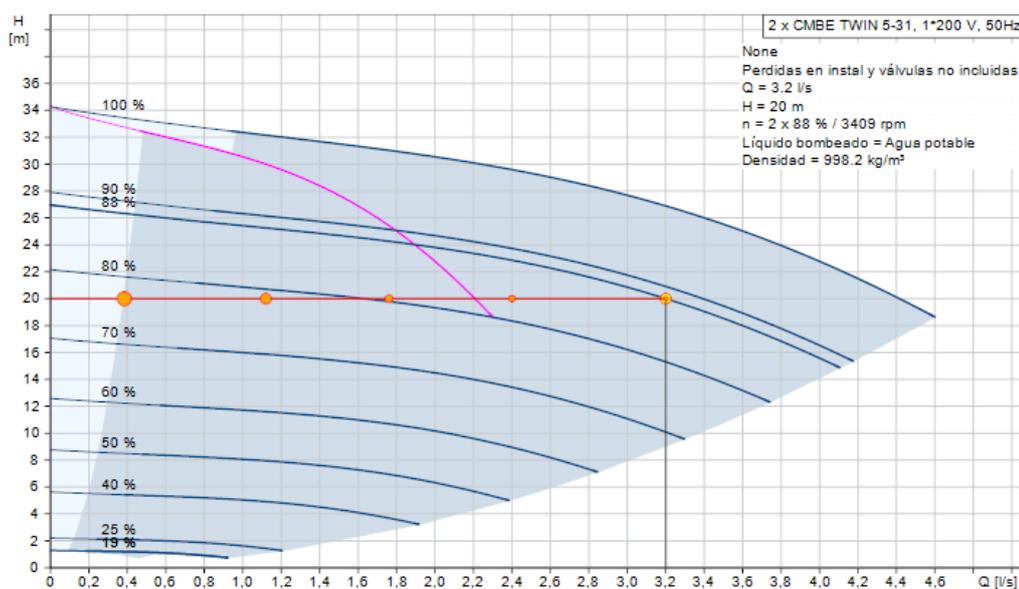
$$Q_d = V_{agua_2h} / 2$$

V_{agua}	Volumen de agua descalcificada para 2 horas	3099.6 l
------------	---	----------

$$V_r = 1549 \text{ l/h}$$

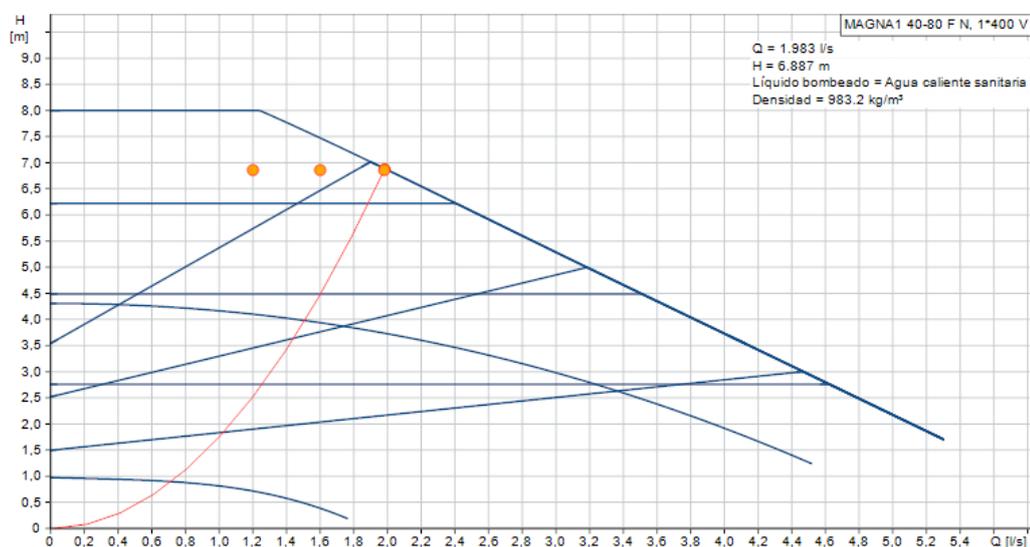
- El depósito de acumulación de agua descalcificada es, según lo descrito anteriormente, de 1000 l.
- El grupo de bombeo con variador, para asegurar unas presiones adecuadas en los puntos de consumo y unas velocidades normales en todas las tuberías, ha de proporcionar una altura de 20 independientemente del caudal suministrado ya que la demanda de agua para las duchas es bastante variable. Se ha seleccionado el modelo CMBE TWIN 5-31 de Grundfos que es un sistema de dos grupo de presión para el suministro de agua en aplicaciones domésticas y comerciales que permite mantener una presión constante en las tuberías independientemente del consumo de agua.

Gráfico 7: Curva de grupo de bombeo



- El depósito de acumulación de ACS ha de ser, tal y como se estableció en anteriores apartados, de 750 l.
- La bomba de retorno, para asegurar el movimiento constante de agua caliente por las tuberías, ha de suministrar una altura de 7 al caudal máximo, es decir, 2 l/s. Por ello se ha seleccionado la bomba MAGNA 40-80 F N de Grundfos que es una bomba circuladora para agua caliente sanitaria que presenta la siguiente curva:

Gráfico 8: Curva de la bomba de recirculación



- En las tuberías previas a los depósitos se han instalado sistemas antirretorno.
- Los diámetros de las tuberías se han indicado en el Plano 2 y Plano 3 para una mejor interpretación.
- El lugar donde deben instalarse válvulas de bola para aislar partes de la instalación así mismo se ha indicado en dichos planos.

- El contador general tiene un diámetro de 25 mm.
- El armario del contador tiene una dimensiones de 900 x 500 x 300 mm como consecuencia de la siguiente tabla:

Tabla 24: Dimensiones del armario del contador en función del diámetro nominal del contador extraído del Documento Básico HS5 del CTE

Dimensiones en mm	Diámetro nominal del contador en mm										
	Armario					Cámara					
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Largo	600	600	900	900	1300	2100	2100	2200	2500	3000	3000
Ancho	500	500	500	500	600	700	700	800	800	800	800
Alto	200	200	300	300	500	700	700	800	900	1000	1000

Para completar este apartado de fontanería se han instalado un vaso de expansión, una electroválvula para el llenado de las piscinas y dos armarios portasonda a tres niveles siendo estos el nivel de seguridad mínimo de bombeo, el nivel de llenado que se encarga de dar una señal a la electroválvula de llenado para asegurar el nivel de agua en los vasos de las piscinas, y el nivel de arranque forzado que se encarga de arrancar el grupo de bombeo cuando por fallo o rotura de la válvula antirretorno el vaso de compensación alcanza el nivel de desagüe. Por último se han seleccionado las griferías. Toda esta descripción, como se ha comentado previamente, es complementaria a los Planos 1 y 2 que han sido realizados a partir del plano original de la distribución de la instalación realizado por el arquitecto, Lucas Castellet Artero, añadiendo sobre el plano original los tramos de tuberías, válvulas, etc...

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Se concluye este Trabajo de Fin de Grado afirmando que es posible cubrir las necesidades energéticas de dos piscinas climatizadas respetando las condiciones de confort de temperatura y humedad haciendo que los usuarios de las mismas se encuentren cómodos a la par que se reduce el consumo energético buscando alternativas eficientes y de origen renovable.

Tras realizar el estudio de ocupación se determinó que la instalación cuenta con 126 ocupantes diariamente. La máxima ocupación durante una hora continuada es de 42 personas y la máxima ocupación durante dos horas continuadas es de 82 personas. Este estudio ha servido para calcular la demanda energética de ACS (33425.33 kWh/año), la potencia necesaria para este fin (30 kW) y el volumen de acumulación de agua caliente necesario para cubrir toda las necesidades en los picos de demanda (750 l).

En cuando a las necesidades energéticas para la climatización de los vasos de las piscinas y el ambiente, las potencias máximas necesarias se alcanzan en invierno siendo estas aproximadamente 24 kW y 29 kW respectivamente. Por otra parte, la energía anual necesaria para la climatización de los vasos es 76119.67 kWh mientras que para la climatización del ambiente se necesitan 66340.32 kWh suponiendo un funcionamiento de 14 horas diarias durante 22 días al mes y 11 meses al año.

Para cubrir estas necesidades energéticas se han empleado las siguientes tecnologías:

- Un recuperador de obligada instalación dado el caudal de ventilación que se encarga de recuperar el calor del aire de ventilación necesario para mantener unas condiciones de confort adecuadas. La potencia de este varía según la temperatura exterior pero se estima que puede recuperar unos 20096.62 kWh.
- Una deshumectadora que reutiliza la masa evaporada como consecuencia de la temperatura a la que se encuentran los vasos. El hecho de que reutilice esta masa evaporada es doblemente beneficioso ya que no solo sirve para generar energía sino porque eliminar esta masa evaporada también supondría un coste energético para la instalación que de esta manera no hay que afrontar. Esta cuenta con una potencia de intercambio de 17 kW y podría recuperar 57596 kWh.
- Una bomba de calor que puede considerarse renovable ya que su SPF se encuentra por encima de 2.5. Dicha bomba cuenta con una potencia de calefacción de 16.10 kW y podría recuperar 54546.80 kWh.
- Un sistema de apoyo integrado por dos calderas de gas natural modulantes de 23 kW cada una que aportarían 41645.59 kWh a la instalación.

Este conjunto de tecnologías cumple con la parte de la normativa que establece que un 50% de la energía necesaria para la producción de ACS y un 60% de la energía necesaria para el calentamiento de los vasos ha de ser energía de origen renovable. En este caso, tras realizar un

estudio de distintas tecnologías entre las que se encontraban los captadores solares, una caldera de biomasa y una bomba de calor, como ya se ha comentado, se ha empleado una bomba de calor. Esta ha podido sustituir al método prescriptivo según la normativa, es decir, captadores solares y una caldera de gas natural como apoyo, ya que empleando la bomba de calor, la deshumectadora y la caldera de gas natural como apoyo se producen menos emisiones de CO₂. Las otras alternativas fueron descartadas por motivos de coste o espacio.

También se concluye que las presiones de suministro en los puntos de consumo y las velocidades en las tuberías son las adecuadas según la normativa gracias a la selección del diámetro de las distintas tuberías y bombas que componen la instalación de fontanería.

Todos estos objetivos han sido logrados bajo un mismo marco: el cumplimiento de la normativa.

BIBLIOGRAFÍA

- AutoDesk. (2014). AutoCAD Software 2015.
- Code, T. B., Cte, S., Water, D. H., Tbc, T., Technical, S., Code, B., & Presidencia, M. D. E. L. a. (2006). RITE 2007. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. *Real Decreto*.
- Environmental Protection Agency. (2014). EPANET.
- Hernández Calleja, A. (1999). NTP 538 - Legionelosis: medidas de prevención y control en instalaciones de suministro de agua. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2010). Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto. In *Ahorro y eficiencia energética en climatización*.
- Instituto Tecnológico del Agua. (2009). *EpaCAD Software*
- Ministerio de Fomento. (2017). Documento Básico HS - Salubridad. In *Documento básico HS Salubridad*.
- Ministerio de Fomento, E. (2013). CTE DB HE. *Documento Básico HE Ahorro de Energía*.
- Ministerio de Industria. (2014). *Prestaciones Medias Estacionales*.
- Ministerio de Industria, E. y T. (2016). Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. *Documento Reconocido Del Reglamento de Instalaciones Térmicas En Los Edificios (RITE)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio de Vivienda. (2013). Código Técnico de la Edificación (CTE). *Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo*.

PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1. PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
	CAPÍTULO 01 CLIMATIZACIÓN SUBCAPÍTULO 01.01 Unidades de producción térmica			
01.01.01	Ud Bomba de calor 16,1 kW calor, 13,12 kW frío Suministro e instalación de bomba de calor para producción de calefacción y/o ACS tipo partido ERLQ016CV3/CW1 de Daikin o equivalente, de las siguientes características: Refrigerante: R-410a Capacidad frigorífica standard: 16,10 kW Capacidad calorífica standard: 13,12 kW Consumo en calefacción: 3,83 kW Consumo en refrigeración: 5,74 kW COP: 4,2 EER: 2,29 Incluso elementos de soportación, antivibratorios, interconexión frigorífica con tubería de cobre aislada con coquilla de espuma elastomérica y parte proporcional de refrigerante añadido en caso de resultar necesario, conexión eléctrica, tubería de desagüe de unidades hasta bajante de pluviales mas próxima, mando a distancia, plenum de descarga tronco piramidal realizado en Climaver Neto para conexión a conducto de impulsión, plenum de aspiración realizado en Climaver Neto con conexión para conducto de retorno y toma de aire fresco por compuerta de regulación, pequeño material y accesorios.	1,00	7819,16	7819,16
01.01.02	Ud Caldera condensación 23 kW Suministro de caldera de condensación Vaillant ECOTEC PURE VMW ES 236 7-2 o equivalente, para montaje en cascada, paja emisión de contaminantes <35mg/kwh en NOx (clase 5) y <10mg/kwh en CO, con las siguientes características: Potencia útil: 23 kW Rendimiento: 0,99 Incluso conexión hidráulico, eléctrico y de gas, grupo de seguridad, p.p de conductos de evacuación de humos, puesta en marcha, pruebas y verificaciones. Totalmente instalada y funcionando.	2,00	1328,77	2657,54

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
01.01.03	Ud Regulador para calderas en cascada Suministro e instalación de regulador para calderas Vaillant en cascada calorMATIC 630, incluyendo 4 sondas VR10 y sonda de ambiente exterior, incluyendo además acoplador BUS VR 32/3. Totalmente conectado, programado y funcionando			
		1,00	259,00	259,00
SUBCAPÍTULO 01.02 Unidades de tratamiento de aire				
01.02.01	Ud Deshumectadora 27,7 kg/h Suministro e instalación de unidad para deshumectación de aire Keyter DTS 3027 o equivalente, de las siguientes características: Potencia de deshumidificación: 27,7 kg/h Potencia frigorífica: 39,9 kW Potencia absorbida nominal: 10,1 kW Potencia calorífica: 29,9 kW Potencia calorífica intercambiador agua: 17 kW Con intercambiador de recuperación de calor para calentamiento indirecto de agua de vaso de piscina en acero inoxidable, incluso conexionado hidráulico y eléctrico, bancada de soporte anti vibratoria, conexionado de conductos de aire y tomas de free-cooling, puesta en marcha y pruebas de funcionamiento. Totalmente instalada, probada y funcionando.			
		1,00	19620,00	19620,00
01.02.02	Ud Recuperador de calor con batería Suministro e instalación de recuperador de calor contraflujos VNMCC30 de TOSHIBA o equivalente, con las siguientes características: Caudal máximo: 3000 m3/h Eficiencia nominal: 0,78 Dotado de bypass, cuadro de mandos para regulación de velocidad, filtración, kit de válvula motorizada para batería de agua caliente, actuadores para compuertas. Totalmente instalado, conexionado y funcionando.			
		1,00	6117,00	6117,00
SUBCAPÍTULO 01.03 Intercambiadores				
01.03.01	Ud Intercambiador de calor 20 kW Intercambiador de calor agua-agua AstralPool Waterheat Evo TIT-40 kW, con potencia de 20 kW a 60°C, dotado de puente de manómetros en primario y secundario, termómetros en salidas y entradas de agua. Totalmente instalado, probado y funcionando.			
		3,00	574,00	1722,00
01.03.02	Ud Intercambiador de calor 10 kW Intercambiador de calor agua-agua AstralPool Waterheat Evo TIT-40 kW, con potencia de 20 kW a 60°C, dotado de puente de manómetros en primario y secundario, termómetros en salidas y entradas de agua. Totalmente instalado, probado y funcionando.			
		1,00	595,00	495,00

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
01.04.01	m Canalización de polipropileno DN20 Canalización vista realizada con tubo de polipropileno copolímero (PP-R), apto para agua de consumo humano, estabilizado con fibra de vidrio y con capa intermedia de material reductor de la dilatación, Fusiotherm Faser o equivalente, 20mm de diámetro exterior y espesor de pared 4,4mm, serie S3.2/SDR 7.4, presión nominal de 20 atm y suministrado en barras de 4m de longitud. Aislada con coquilla de espuma elastomérica dotada de protección antimicrobiana, conductividad térmica 0,036 W/m°C y 30 mm de espesor. Incluso p.p. de elementos de sujeción y con un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones, accesorios y piezas especiales. Totalmente instalada, probada y señalizada.	19,00	15,05	285,95
01.04.02	m Canalización de polipropileno DN25 Canalización vista realizada con tubo de polipropileno copolímero (PP-R), apto para agua de consumo humano, estabilizado con fibra de vidrio y con capa intermedia de material reductor de la dilatación, Fusiotherm Faser o equivalente, 25mm de diámetro exterior y espesor de pared 3,5mm, serie S3.2/SDR 7.4, presión nominal de 20 atm y suministrado en barras de 4m de longitud. Aislada con coquilla de espuma elastomérica dotada de protección antimicrobiana, conductividad térmica 0,036 W/m°C y 30 mm de espesor. Incluso p.p. de elementos de sujeción y con un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones, accesorios y piezas especiales. Totalmente instalada, probada y señalizada.	59,00	16,65	982,85
01.04.03	m Canalización de polipropileno DN32 Canalización vista realizada con tubo de polipropileno copolímero (PP-R), apto para agua de consumo humano, estabilizado con fibra de vidrio y con capa intermedia de material reductor de la dilatación, Fusiotherm Faser o equivalente, 32mm de diámetro exterior y espesor de pared 4,4mm, serie S3.2/SDR 7.4, presión nominal de 20 atm y suministrado en barras de 4m de longitud. Aislada con coquilla de espuma elastomérica dotada de protección antimicrobiana, conductividad térmica 0,036 W/m°C y 30 mm de espesor. Incluso p.p. de elementos de sujeción y con un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones, accesorios y piezas especiales. Totalmente instalada, probada y señalizada.	42,00	21,55	905,10

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
01.02.04	m Canalización de polipropileno DN40 Canalización vista realizada con tubo de polipropileno copolímero (PP-R), apto para agua de consumo humano, estabilizado con fibra de vidrio y con capa intermedia de material reductor de la dilatación, Fusiotherm Faser o equivalente, 40mm de diámetro exterior y espesor de pared 5,5mm, serie S3.2/SDR 7.4, presión nominal de 20 atm y suministrado en barras de 4m de longitud. Aislada con coquilla de espuma elastomérica dotada de protección antimicrobiana, conductividad térmica 0,036 W/m°C y 30 mm de espesor. Incluso p.p. de elementos de sujeción y con un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones, accesorios y piezas especiales. Totalmente instalada, probada y señalizada	96,00	28,45	2731,20
01.02.05	Ud Desconectador hidráulico Suministro e instalación de desconectador hidráulico totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.	1,00	543,00	543,00
01.02.06	Ud Válvula de bola DN40 Suministro e instalación de válvula de bola roscada o para soldar DN40 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y verificada su estanqueidad	5,00	25,00	125,00
01.02.07	Ud Válvula de bola DN32 Suministro e instalación de válvula de bola roscada o para soldar DN32 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y verificada su estanqueidad	9,00	25,00	225,00
01.02.08	Ud Válvula de bola DN25 Suministro e instalación de válvula de bola roscada o para soldar DN25 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y verificada su estanqueidad	12,00	25,00	300,00
01.02.09	Ud Válvula de bola DN20 Suministro e instalación de válvula de bola roscada o para soldar DN20 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y verificada su estanqueidad	12,00	25,00	300,00

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
01.02.10 Ud	Válvula de bola DN15			
	Suministro e instalación de válvula de bola roscada o para soldar DN15 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y verificada su estanqueidad			
		4,00	25,00	100,00
01.02.10 Ud	Vaso de expansión			
	Suministro e instalación de vaso de expansión cerrado dotado de manómetro indicador de presión y válvula de seguridad, presión máxima 6 bar.			
		2,00	134,00	268,00
	TOTAL CAPÍTULO 01 CLIMATIZACIÓN			45555,30

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
CAPÍTULO 02 FONTANERÍA				
SUBCAPÍTULO 02.01 Distribución agua				
02.01.01	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN16 Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 16x2,0 mm, certificada por AENOR. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	46,5	10,21	474,77
02.01.02	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN20 Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 20x2,25 mm, certificada por AENOR. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	32	13,11	419,52
02.01.03	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN25 Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 25x2,5 mm, certificada por AENOR. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	17,5	15,73	275,28
02.01.04	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN32 Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 32x3,0 mm, certificada por AENOR. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles).	14	19,53	273,42
02.01.05	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN50 Tubería multicapa UPONOR MLC tubo blanco S, dimensión exterior y espesor pared 50x4,5 mm, certificada por AENOR. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	24,75	30,98	766,76

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
02.01.06	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN16 aislada Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 16x2,0 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	41,5	11,46	475,59
02.01.07	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN20 aislada Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 20x2,25 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	22	6,87	151,14
02.01.08	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN25 aislada Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 25x2,5 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	22	15,75	346,5
02.01.9	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN32 aislada Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 32x3,0 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	27	20,17	544,59

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
02.01.10	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN40 aislada Tubería multicapa UPONOR Uni Pipe PLUS blanco S en barra, dimensión exterior y espesor pared 40x4,0 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	1	24,48	24,48
02.01.11	m Tubería multicapa PERT-AL-PERT DN50 aislada Tubería multicapa UPONOR MLC tubo blanco S, dimensión exterior y espesor pared 50x4,5 mm, certificada por AENOR. Dotada con aislamiento exterior de polietileno de 6 mm con coeficiente de conductividad térmica $\lambda=0.040$ W/mK. Colocada en instalaciones interiores para agua fría y caliente de consumo humano con temperatura de trabajo en continuo entre 0-70 °C a una presión máxima continua de 10 bar. La temperatura a corto plazo puede llegar hasta 95 °C (100 h útiles). Totalmente instalada, probada y en funcionamiento.	3,5	30,98	108,43
02.01.12	Ud Válvula bola 2 (DN50) Válvula de bola roscada o para soldar DN50 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y comprobada según DB-HS4 del CTE.	6	35,94	215,64
02.01.13	Ud Válvula bola 1 (DN25) Válvula de bola roscada o para soldar DN25 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y comprobada según DB-HS4 del CTE.	5	14,16	70,8
02.01.14	Ud Válvula bola 3/4" (DN20) Válvula de bola roscada o para soldar DN20 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y comprobada según DB-HS4 del CTE.	5	10,85	54,25
02.01.15	Ud Válvula bola 1/2" (DN15) Válvula de bola roscada o para soldar DN15 con cuerpo y esfera de latón, asiento de PTFE, eje de acero y maneta de acero revistada de material plástico. Apta para una presión nominal de 16bar y una temperatura máxima de 120°C. Totalmente instalada y comprobada según DB-HS4 del CTE.	14	9,04	23,04

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
02.01.16	Ud Llave escd ø1/2 " para lavabo Llave de escuadra de calidad alta de 1/2'' de diámetro para monobloques lavabo y bidé totalmente instalada y comprobada.	6	19,75	118,50
02.01.17	Ud Llave escd ø1/2 " para inodoro Llave de escuadra de calidad alta de 1/2'' de diámetro para inodoro totalmente instalada y comprobada.	4	17,98	71,92
02.01.18	Ud Contador general agua DN25 Dotación completa para hornacina normalizada para contador general de agua, DN20 de diámetro, instalado en cámara impermeabilizada de 1.8x0.8x0.35 m., con 2 llaves de compuerta (1 entradas, 1 salidas), 1 válvulas de retención, grifo de comprobación, verificación primitiva, manguitos, pasamuros y parte proporcional de pequeño material y piezas de conexión, según NTE-IFF-17 y normas de la compañía suministradora.	1	90,41	90,41
02.01.19	Ud Válvula termostática Válvula mezcladora termostática para regulación de la temperatura, de latón niquelado, 3 bar de presión, presión máxima de trabajo de 6 bar, con mando de regulación de la temperatura entre 30°C y 60°C. Totalmente montada, conexionada y probada.	1	115,75	115,75
SUBCAPÍTULO 02.02 Vasos de compensación				
02.02.01	Ud Armario portasonda 3 niveles Armario portasonda para el control de 3 niveles en vaso de compensación, de la marca Astral Pool, completamente instalado.	2	1489,27	2978,54
02.02.02	Ud Electroválvula llenado ø1 1/2'' Electroválvula de llenado de acero inoxidable y latón de 1 1/2'' de diámetro, normalmente cerrada, rango de presión de 0 a 16 bar, para líquidos, gases neutros y agresivos, totalmente instalada, comprobada y en correcto estado de funcionamiento.	1	300,96	300,96
02.02.03	Ud Conjunto Cont ag fr chorro mult DN25 Contador de agua fría con marcado CE, tipo chorro múltiple, calibre 25mm, con dos puntos de rozamiento y lectura directa por segmentos rotatorios, pre-equipado para el emisor de impulsos, para voltaje vertical u horizontal, conforme a las especificaciones dispuestas en la norma UNE-EN 14154 "Contadores de agua", filtro con cuerpo de bronce, válvula de retención y antirretorno, totalmente instalado, comprobado y en correcto estado de funcionamiento.	1	148,58	148,58

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
SUBCAPÍTULO 02.03 Griferías				
02.03.01	Ud Grifería temporizada para lavabos gama media Grifo temporizado, acabado cromado, de gama media con limitador de caudal y enlaces de alimentación flexibles, para instalación en repisa, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
	Vestuario f. 3		3,00	
	Vestuario m. 1		1,00	
	Aseo fisio 1		1,00	
	Fisio 1		1,00	
		6	142,38	854,28
02.03.02	Ud Grifería temporizada para ducha Conjunto mezclador monobloque para ducha, temporizado, regulable, con rosetón, acabado cromado, instalación empotrada, conforme norma UNE 19703:2003 totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
	Vestuario f. 7		7,00	
	Vestuario m. 5		5,00	
	Piscinas 4		4,00	
		16	315,21	5043,36
SUBCAPÍTULO 02.04 Varios				
02.04.01	Ud Interacumulador agua caliente 750 litros Interacumulador vertical para instalación con serpentín fijo para producción de ACS de 750 litros de capacidad, con aislamiento térmico, termómetro, ánodo de magnesio y manguitos de acoplamiento, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento según DB HE-4 del CTE.			
		1	2129,66	2129,66
02.04.02	Ud Descalcificador agua 2 m3/h Descalcificador bi-bloc de 300 l de resina para el intercambio iónico, presión de trabajo de 1,5 a 6 bar, caudal de 2 m ³ /h, de 730x470x1360 mm, formado por botella de poliéster reforzado y depósito de sal, incluso válvula de conexión con bypass incorporado.			
		1	2457,24	2457,24
02.04.03	Ud Depósito de almacenamiento de agua 1000 litros Depósito de poliéster reforzado con fibra de vidrio, cilíndrico, de 1000 litros, incluyendo válvula de cierre con flotador, válvula de vaciado y rebosadero conectados hasta desagüe más próximo. Totalmente instalado, probado y funcionando.			
		1	477,09	477,09
02.04.04	Ud Grupo de bombeo 3,2 l/s con variador Grupo de bombeo para suministrar un caudal de 3,2 l/s a 20 mca de presión, compuesto por una electrobomba de 1,10 kW de potencia eléctrica de velocidad 2900 rp, incluso preostatos, manómetros, válvulas, colectores, latiguillos flexibles, sistema de control de alternancia continua según norma UNE-EN-60204-1 en diferentes materiales, con protección para funcionamientos en vacío, conectado y en correcto funcionamiento.			
		1	6307,00	6307,00

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IMP.
02.04.05	Ud Bomba 2 l/s			
	Bomba para suministrar un caudal de 2 l/s a 7 mca de presión, con protección para funcionamientos en vacío, conectado y en correcto funcionamiento			
		1	2322,50	2322,50
	TOTAL CAPÍTULO 02 FONTANERÍA			27628.76
	TOTAL			73184.06

PLANOS

