



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº

SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍAS RENOVABLES EN UN SPA

D. ÁLVAREZ DÍAZ, ADRIÁN
TUTOR: D. FERNANDEZ GARCÍA, FRANCISCO JAVIER

FECHA: JULIO 2020



ÍNDICE

1.- Introducción	9
1.1.- Objetivos	9
1.2.- Alcance	9
2.- Descripción del edificio	10
2.1.- Ubicación	10
2.2.- Distribución y zonas	10
2.2.1.- Guardería.....	10
2.2.2.- Vestíbulo de entrada.....	10
2.2.3.- Cafetería	10
2.2.4.- Recepción.....	11
2.2.5.- Despachos	11
2.2.6.- Vestuarios.....	11
2.2.7.- Pasillo distribuidor	11
2.2.8.- Salas de masaje	11
2.2.9.- Gimnasio	11
2.2.10.- Sala del socorrista	11
2.2.11.- Piscina	12
2.2.12.- Cubierta.....	12
2.2.13.- Zonas excluidas del estudio	12
2.3.- Dimensiones	12
2.4.- Cerramientos	13
2.4.1.- Cerramientos interiores	13
2.4.2.- Cerramientos exteriores	14
2.4.1.- Cerramientos de suelo y techo	16
3.- Ventilación.....	17
3.1.- Caudales de ventilación	17
3.1.1.- Zonas de ocupación constante.....	17
3.1.2.- Zona de la piscina climatizada.....	19
3.2.- Cálculo de conductos	20
3.2.1.- Método de cálculo	21



3.2.2.- Resultados	23
3.2.3.- Mediciones de la red de conductos	26
3.3.- Equipos	30
3.3.1.- Unidad de tratamiento de aire	30
3.3.1.- Control	32
3.3.2.- Rejillas de impulsión y retorno	32
4.- Climatización	34
4.1.- Cargas térmicas.....	34
4.1.1.- Método de cálculo.....	34
4.1.2.- Resultados obtenidos.....	41
4.2.- Equipos	41
4.2.1.- Fan-coils.....	42
4.2.2.- Climatizadores	43
4.3.- Cálculo y medición de tuberías.....	45
4.3.1.- Método de cálculo.....	45
4.3.2.- Resultados	47
4.3.3.- Mediciones	50
4.4.- Regulación y control.....	51
4.4.1.- Regulación de climatizadores y fan-coils	51
4.4.2.- Selección de válvulas	53
4.4.3.- Medición del sistema de regulación.....	56
5.- Climatización de la piscina	57
5.1.- Descripción	57
5.2.- Calculo energético de los vasos	57
5.2.1.- Deshumectación	57
5.2.2.- Pérdidas energéticas en el vaso de la piscina.....	60
5.2.3.- Pérdidas de los cerramientos exteriores	64
5.2.4.- Puesta en régimen de la piscina	64
5.3.- Ventilación.....	65
5.4.- Selección de equipos.....	65
5.4.1.- Deshumectadora.....	65
6.- Agua caliente sanitaria.....	71



6.1.- Cálculo y diseño de la instalación.....	71
6.1.1.- Cálculo de caudales instantáneos	71
6.1.2.- Cálculo de consumos	73
6.1.3.- Acumulación	75
6.2.- Instalación.....	78
6.2.1.- Distribución.....	78
6.2.2.- Cálculo de tuberías.....	78
6.2.3.- Pérdidas de carga en tuberías	82
6.2.4.- Bombas de circulación	83
6.2.5.- Bomba de recirculación	84
6.2.6.- Elementos auxiliares	85
6.3.- Mediciones.....	86
7.- Sistemas de generación.....	87
7.1.- Bombas de calor.....	87
7.1.1.- Bombas de calor aire-agua	87
7.1.2.- Bomba de calor de alta temperatura.....	88
7.2.- Elementos auxiliares	89
7.2.1.- Vasos de expansión.....	89
7.2.2.- Colectores.....	91
7.3.- Justificación de energía renovable	92
8.- Instalación solar	94
8.1.- Datos meteorológicos	95
8.2.- Configuración de los captadores.....	96
8.3.- Metodología de cálculo.....	96
8.3.1.- Elección de captador solar	97
8.3.2.- Diseño de la instalación solar.....	98
8.3.3.- Calculo demanda energética	98
8.3.4.- Radiación absorbida por el campo captador	99
8.3.5.- Parámetros adimensionales D1 y D2	102
8.3.6.- Factor de cobertura solar.....	105
8.4.- Elementos auxiliares	107
8.4.1.- Bomba de circulación.....	107



8.4.2.- Vaso de expansión	108
8.4.3.- Intercambiador	108
9.- Conclusiones	109
10.- Referencias.....	110



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Vista detalle del cerramiento interior [2].	13
Figura 2.2. Ejemplo de un muro cortina [3].	14
Figura 2.3. Vista detalle del cerramiento exterior [2].	15
Figura 2.4. Vista detalle del cerramiento de suelo y techo [2].	16
Figura 3.1. IDA según uso de la zona [6].	18
Figura 3.2. Necesidades de ventilación por persona según IDA [6].	18
Figura 3.3. X-CUBE COMPACT de TROX [8].	32
Figura 3.4. Rejilla de extracción 20-45-H de KOOLAIR [9].	32
Figura 3.5. Difusor rotación DQJA de SCHAKO [10].	33
Figura 4.1. Fan-coil 42NH749 de CARRIER.	42
Figura 4.2. Fan-coil 42GW300D de CARRIER.	43
Figura 4.3. Climatizador TKM 50 EASY de TROX.	44
Figura 4.4. Bomba de circulación ETALINE de KSB.	49
Figura 4.5. Reguladores VOLKOM 125 y VARS 355 de SCHAKO [15].	52
Figura 4.6. Válvulas TA-COMPACT-P y TA-MODULATOR de IMI [16].	54
Figura 4.7. Válvula CV 316GG DN 32 y válvula STAD DN 32 de IMI [16].	55
Figura 5.1. Distribución de las pérdidas en el agua del vaso.	63
Figura 5.2. Deshumectadora funcionando en modo de circuito cerrado.	66
Figura 5.3. Deshumectadora introduciendo aire exterior.	66
Figura 5.4. Esquema descriptivo de una bomba deshumectadora.	67
Figura 5.5. Diagrama psicométrico.	68
Figura 5.6. Bomba deshumectadora.	69
Figura 6.1. Deposito Lapesa [21].	77
Figura 6.2. Detalle de las tuberías [22].	78
Figura 6.3. Diámetros nominales proporcionados por el fabricante [22].	79
Figura 6.4. Bomba ETALINE de KSB [24].	84
Figura 6.5. Bomba CALIO THERM NC 20-15 de KSB [25].	85
Figura 7.1. Bomba de calor aire-agua 30RQS de CARRIER [26].	88
Figura 7.2. Bomba de calor de alta temperatura 61AF105 de CARRIER [27].	88
Figura 8.1. Mapa de las zonas climáticas de España.	94



Figura 8.2. Características técnicas de los captadores solares elegidos.....	97
Figura 8.3. Curva de rendimiento del captador solar elegido.	97
Figura 8.4. Energía aportada por la instalación solar.....	106
Figura 8.5. Bomba CALIO THERM NC de KSB [25].....	107



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Dimensiones de las zonas del spa.	12
Tabla 2.2. Datos técnicos del cerramiento interior.	13
Tabla 2.3. Datos técnicos del cerramiento exterior.	15
Tabla 2.4. Datos técnicos de los cerramientos de techo y suelo.	16
Tabla 3.1. Cálculos de ventilación en las zonas del spa.	19
Tabla 3.2. Cálculo de ventilación de la piscina.	20
Tabla 3.3. Resultados obtenidos del Gimnasio.	23
Tabla 3.4. Resultados obtenidos del Vestuario masculino.	23
Tabla 3.5. Resultados obtenidos del Vestuario femenino.	24
Tabla 3.6. Resultados obtenidos del Pasillo.	24
Tabla 3.7. Resultados obtenidos de la Piscina.	24
Tabla 3.8. Resultados obtenidos de la Guardería.	25
Tabla 3.9. Resultados obtenidos de las Oficinas.	25
Tabla 3.10. Resultados obtenidos de la Cafetería.	26
Tabla 3.12. Mediciones del sistema que da servicio al gimnasio.	26
Tabla 3.13. Mediciones del sistema que da servicio al pasillo distribuidor.	26
Tabla 3.14. Mediciones del sistema que da servicio al Vestuario masculino.	27
Tabla 3.15. Mediciones del sistema que da servicio al vestuario femenino.	27
Tabla 3.16. Mediciones del sistema que da servicio a la guardería.	28
Tabla 3.17. Mediciones del sistema que da servicio a las oficinas y la recepción.	28
Tabla 3.18. Mediciones del sistema que da servicio a la cafetería y el vestíbulo.	28
Tabla 3.19. . Mediciones del sistema que da servicio a la piscina.	29
Tabla 3.20. Mediciones totales de la instalación de ventilación del spa.	30
Tabla 3.11. Selección de UTA.	31
Tabla 4.1. Resultados del cálculo de las cargas térmicas.	41
Tabla 4.2. Selección de Fan-coil conductos.	42
Tabla 4.3. Selección de Fan-coils casetes.	43
Tabla 4.4. Selección de climatizador.	44
Tabla 4.5. Diámetros y longitud de tubería del circuito de refrigeración.	47
Tabla 4.6. Selección de aislamiento según RITE [14].	48



Tabla 4.7. Diámetros y longitud de tubería del circuito de calefacción.....	49
Tabla 4.8. Mediciones de equipos y tubería de climatización.	50
Tabla 4.9. Selección de regulador según caudal de aire primario impulsado.	52
Tabla 4.10. Selección de válvulas de control del circuito de refrigeración.	53
Tabla 4.11. Selección de válvulas de control del circuito de calefacción.	54
Tabla 4.12. Mediciones de los equipos de regulación.	56
Tabla 5.1. Temperatura del agua del vaso en función del uso de la piscina.	59
Tabla 5.2. Humedad del aire saturado.....	59
Tabla 5.3. Pérdidas energéticas del agua del vaso.	63
Tabla 6.1. Caudal instantáneo mínimo de agua fría según tipo de aparato [19].	72
Tabla 6.2. Coeficientes para el cálculo del caudal simultaneo [20].....	72
Tabla 6.3. Demanda de ACS según uso de edificio [1].	73
Tabla 6.4. Cálculo de la acumulación de ACS.....	76
Tabla 6.5. Cálculo del diámetro nominal de las tuberías de ACS.....	80
Tabla 6.6. Cálculo del diámetro nominal de las tuberías de AFS	81
Tabla 6.7. Cálculo de las pérdidas de carga en el circuito de ACS.....	82
Tabla 6.8. Cálculo de las pérdidas de carga en el circuito de AFS.	83
Tabla 6.9. Parámetros de selección de las bombas de circulación.....	83
Tabla 6.10. Diámetro de tubería en función del caudal recirculado [1].....	84
Tabla 6.11. Mediciones de la instalación de ACS y AFS.	86
Tabla 7.1. Datos necesarios para la selección de los equipos de generación.....	87
Tabla 8.1. Datos de partida.	94
Tabla 8.2. Datos meteorológicos de la zona.	95
Tabla 8.3. Cálculo de la energía demanda por la instalación de ACS.	99
Tabla 8.4. Factor de corrección solar según inclinación del captador [17].....	100
Tabla 8.5. Factor de corrección total de los captadores.	100
Tabla 8.6. Energía absorbida por el campo captador.	101
Tabla 8.7. Parámetros adimensionales D1 y D2.	104
Tabla 8.8. Factor de cobertura solar de la instalación.	105
Tabla 8.9. Energía aportada por la instalación solar.	106



1.- INTRODUCCIÓN

En este documento se detallará el diseño cálculo y estudio de las diferentes instalaciones de climatización, ventilación y agua caliente sanitaria presentes en un spa de gran tamaño situado en la ciudad de Gijón.

Para ello será necesario diferenciar las diferentes partes que componen este trabajo:

- Breve introducción en la que se definirán el alcance del proyecto, así como los objetivos a cumplir.
- Descripción del edificio en que se realizará la instalación.
- Cálculo de la ventilación y climatización de las diferentes partes de spa.
- Cálculo del agua caliente sanitaria (ACS).
- Funcionamiento detallado de las instalaciones.

1.1.- Objetivos

En el presente proyecto se busca realizar el diseño de las instalaciones de climatización, ventilación y ACS de un spa de gran tamaño, buscando la mayor eficiencia energética posible gracias al uso conjunto de diferentes energías renovables, como será la bomba de calor en la climatización o la energía solar térmica en el caso del ACS. También será de vital importancia asegurar que todas las instalaciones cumplen las normas impuestas por la legislación vigente.

1.2.- Alcance

Se busca realizar una instalación que constará de todos los elementos necesarios, materiales, equipos, mano de obra, entre otros, para la puesta en funcionamiento de las instalaciones que se diseñarán en el presente documento. Estas instalaciones son las siguientes:

- Instalación de ventilación.
- Instalación de climatización.
- Suministro de ACS.
- Equipos térmicos.
- Instalación térmica solar.



2.- DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

En este capítulo se aportan los datos, relativos al edificio estudiado, necesarios para el cálculo de las diferentes instalaciones.

2.1.- Ubicación

El edificio se encuentra en el Principado de Asturias, en la ciudad de Gijón, a la que correspondo una zona climática C1 tal y como se puede ver en la tabla B.1 del Documento básico HE: Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación [1].

2.2.- Distribución y zonas

El edificio cuenta con una única planta en la que se encuentran todas las instalaciones del spa, además, dispone de una cubierta de gran tamaño.

En los siguientes sub-apartados se detallarán las diferentes zonas a considerar.

2.2.1.- Guardería

La guardería es el local situado en la esquina sureste del spa. Se trata de un local de gran tamaño pensado para que los abonados puedan dejar a los menores a su cargo mientras hacen uso de las diferentes instalaciones del spa.

Esta zona cuenta con una gran cristalera en su fachada este para así obtener la mayor cantidad de luz natural posible, además dispone de dos aseos en su interior.

2.2.2.- Vestíbulo de entrada

El vestíbulo de entrada es el acceso al edificio. Situado al este, permite el acceso a las zonas de la cafetería y a la guardería, además en él se encuentra los tornos que permiten el acceso a las instalaciones del spa.

Esta zona también cuenta con una gran cristalera en su fachada este.

2.2.3.- Cafetería

La cafetería está situada en la esquina noreste del spa, dispone de una gran superficie y, al igual que las zonas anteriores, tiene una gran cristalera en su fachada este.

En esta zona nos encontramos la barra de bar, tras la cual se haya al acceso a la zona de cocina, que está excluida de este proyecto ya que en las cocinas solo se extrae a través de la campana de extracción, que deberá instalar el contratista encargado de realizar la cocina.

La cafetería, también dispone de unos aseos de uso público.



2.2.4.- Recepción

La recepción es una zona situada dentro del vestíbulo de entrada, junto a los tornos de acceso a las instalaciones deportivas. Esta zona actúa como oficina para el personal de recepción, que se encargará de gestionar el acceso a las zonas deportivas.

2.2.5.- Despachos

Junto a la recepción se encuentran los despachos, que son dos zonas de tamaño modesto, que serán destinadas al uso para el personal de administración del spa. A estos despachos, que están interconectados, se accede por el vestíbulo de entrada, tras pasar los tornos de acceso.

2.2.6.- Vestuarios

A través del vestíbulo de entrada también se accede a los vestuarios masculino, situado al norte, y femenino situado al sur. Estos vestuarios son simétricos, y dispondrán de los mismos equipos, con la salvedad de que se instalarán urinarios en el vestuario masculino.

Los vestuarios también actúan como acceso a las zonas deportivas del spa.

2.2.7.- Pasillo distribuidor

Pasillo de gran superficie que conecta los vestuarios con las diferentes zonas deportivas del spa.

2.2.8.- Salas de masaje

El spa dispondrá de tres salas de masaje situadas en el lado norte del edificio. Estas salas cuentan con una superficie modesta pero suficiente para acoger las camillas de masaje y el equipo pertinente.

2.2.9.- Gimnasio

Situado en la esquina noroeste del spa, cuenta con una superficie considerable. Requiere de una buena ventilación y climatización debido a la alta actividad de ocupación que habrá en su interior.

2.2.10.- Sala del socorrista

Zona situada junto a la piscina climatizada que se destinará a sala de socorro y zona de descanso de los socorristas de la piscina. Se accede a ella a través del pasillo distribuidor y cuenta con una ventana que permite observar el interior del recinto de la piscina.



2.2.11.- Piscina

Piscina climatizada semiolímpica situada en la esquina suroeste del edificio, cuenta con mayor altura que resto de zonas y tiene una gran cristalera en su fachada oeste y sur.

2.2.12.- Cubierta

El edificio cuenta con una cubierta de gran tamaño en la que se instalarán los diferentes equipos que dan servicio a las diversas instalaciones del spa.

Está cubierta dispone de dos alturas diferentes, teniendo la cubierta de la piscina una altura superior a la del resto del edificio, lo que resultará ideal para realizar en ella la instalación solar que se propondrá en apartados posteriores.

2.2.13.- Zonas excluidas del estudio

En el spa se encuentran diversas zonas, desde almacenes hasta locales de instalaciones, que no requieren ser considerados en este estudio, ya que no necesitan ser climatizados ni ventilados.

Por otro lado, el spa también dispone de dos saunas, que tampoco son objeto de este estudio, ya que las saunas son herméticas y vienen prefabricadas.

2.3.- Dimensiones

En apartado se indicarán las medidas de las zonas objeto de estudios antes descritas.

ZONA	SUPERFICIE m ²
Guardería	150,85
Vestíbulo de Acceso	89,05
Cafetería	113,81
Recepción	24,16
Despacho 1	22,97
Despacho 2	15,25
Vestuario Masculino	325,64
Vestuario Femenino	329,69
Pasillo Distribuidor	146,68
Sala del socorrista	17,11
Sala de masaje 1	17,26
Sala de masaje 2	15,76
Sala de masaje 3	15,01
Gimnasio	207,41
Piscina Climatizada	472,54

Tabla 2.1. Dimensiones de las zonas del spa.



2.4.- Cerramientos

En el edificio nos encontramos con los cerramientos del suelo y techo, los interiores y los exteriores, todos ellos se detallarán en los siguientes subcapítulos. Estos cerramientos serán de vital importancia para el cálculo de cargas que se realizará con la herramienta de cálculo de IMventa Ingenieros, CLwin [2].

2.4.1.- Cerramientos interiores

Los cerramientos interiores actúan como separación entre los espacios acondicionados.

A continuación, se muestran los datos constructivos de estos cerramientos.

- TABIQUE.F2: Tabicón ladrillo hueco 7 cm enlucido dos caras.
Transmitancias actuando como:
 - Cerramiento exterior $U = 2,4432 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
 - Partición interior $U = 2,0028 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

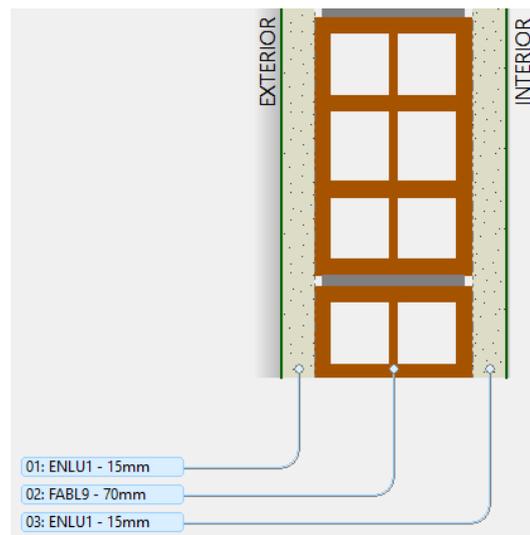


Figura 2.1. Vista detalle del cerramiento interior [2].

Nº	Material de la capa	Espesor (cm)	Masa (kg/cm ²)	Conduct. térmica (W/m·K)	Resist. térmica (m ² ·K/W)
1	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	1,50	17,3	0,5700	0,0263
2	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	7,00	65,1	0,3750	0,1867
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	1,50	17,3	0,5700	0,0263
	TOTAL	10,00	99,6		0,2393

Tabla 2.2. Datos técnicos del cerramiento interior.



2.4.2.- Cerramientos exteriores

Los cerramientos exteriores separan el exterior de los espacios acondicionados. En el local se pueden encontrar cerramientos de dos diferentes tipos.

2.4.2.1.- Muros cortina

Los muros cortina son módulos de doble acristalamiento con marco de aluminio, que se benefician de la radiación solar. Se instalarán en la zona de la piscina y en la fachada este del edificio.

- **MURO CORTINA/4-12-4** Módulo fijo doble vidrio bajo emisivo 4-12-4 marco aluminio con rotura de puente térmico con un 85% de porcentaje acristalado.
 - Transmitancia térmica del hueco: $1,800 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
 - Factor solar del hueco: 0,700



Figura 2.2. Ejemplo de un muro cortina [3].

2.4.2.2.- Fachada estándar

El muro de fachada estándar será el más común y tiene las características indicadas en la siguiente tabla.

- MUROEPC01 Fachada estándar de doble hoja con aislamiento y cámara de aire. Transmitancias actuando como:
 - Cerramiento exterior $U = 0,4696 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - Partición interior $U = 0,4506 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

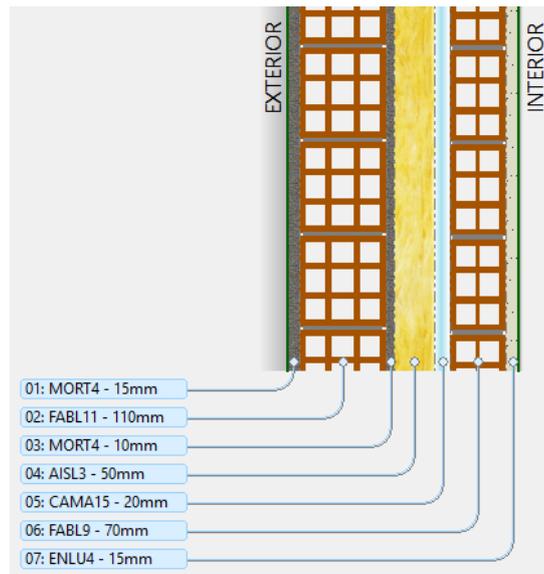


Figura 2.3. Vista detalle del cerramiento exterior [2].

Nº	Material de la capa	Espesor (cm)	Masa (kg/cm ²)	Conduct. térmica (W/m·K)	Resist. térmica (m ² ·K/W)
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1450 < d < 1600$	1,50	22,9	0,8000	0,0188
2	Tabicón de LH triple $[100 \text{ mm} < E < 110 \text{ mm}]$	11,00	101,2	0,4348	0,2530
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1450 < d < 1600$	1,00	15,3	0,8000	0,0125
4	EPS Poliestireno Expandido $[0,037 \text{ W}/[\text{mK}]]$	5,00	1,5	0,0375	1,3333
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm	2,00	-	-	0,1176
6	Tabicón de LH doble $[60 \text{ mm} < E < 90 \text{ mm}]$	7,00	65,1	0,3750	0,1867
7	Enlucido de yeso $d < 1000$	1,50	13,5	0,4000	0,0375
	TOTAL	29,00	219,4		1,9594

Tabla 2.3. Datos técnicos del cerramiento exterior.



2.4.1.- Cerramientos de suelo y techo

El cerramiento utilizado en el suelo y en techo del local presenta las siguientes características.

- FORJ-UNI-01 Entrevigado cerámico 30 cm + solado terrazo s/aislante + enfoscado 1,5 cm. Transmitancias actuando como:
 - Cubierta flujo ascendente $U = 1,9376 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - Forjado flujo descendente $U = 1,7062 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - Partición flujo ascendente $U = 1,7358 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - Partición flujo descendente $U = 1,3965 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

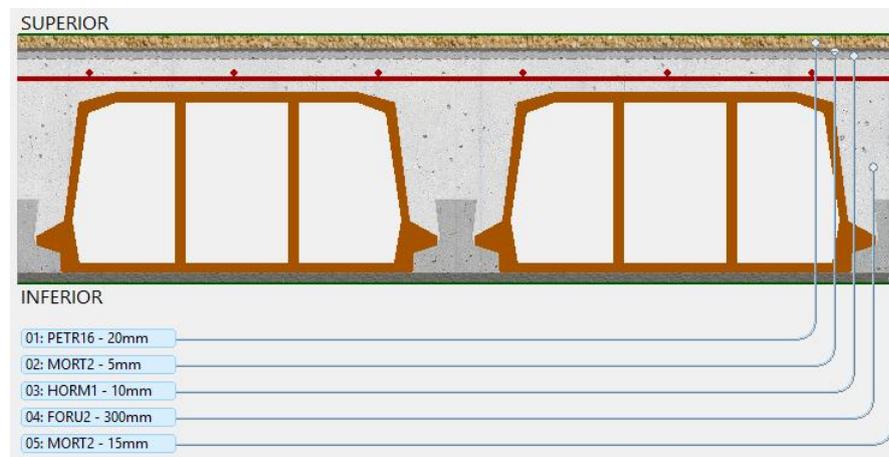


Figura 2.4. Vista detalle del cerramiento de suelo y techo [2].

Nº	Material de la capa	Espesor (cm)	Masa (kg/cm ²)	Conduct. térmica (W/m·K)	Resist. térmica (m ² ·K/W)
1	Piedra artificial	2,00	34,0	1,3000	0,0154
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	0,50	5,6	0,5500	0,0091
3	Hormigón armado 2300 < d < 2500	1,00	24,0	2,3000	0,0043
4	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	30,00	333,0	0,9375	0,3200
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1,50	16,9	0,5500	0,0273
	TOTAL	35,00	413,5		0,3761

Tabla 2.4. Datos técnicos de los cerramientos de techo y suelo.



3.- VENTILACIÓN

En este apartado se procederá al cálculo y diseño de una instalación de ventilación de las zonas que así lo requieran.

3.1.- Caudales de ventilación

El diseño de la ventilación de locales viene recogido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [4] y el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DBSI) del Código técnico de edificación (CTI) [5]. En estas normas viene definidos los siguientes conceptos que permiten el cálculo de los caudales de ventilación.

- Calidad del aire exterior: depende del entorno del que se toma el aire a impulsar. Hay cinco diferentes clasificaciones (ODA-1, ODA-2, ODA-3, ODA-4 y ODA-5).
- Calidad del aire interior: depende de la calidad del aire objetivo en los locales a ventilar. Existen cuatro clasificaciones de calidad alta a baja (IDA 1, IDA 2, IDA 3 e IDA 4).
- Método de cálculo: Existen diversos métodos de cálculo, en este caso se usará el método de la Tasa de ventilación por persona en todas las zonas, salvo en la zona de la piscina que requiere de un tratamiento especial.

Tal y como se ha mencionado se dividirá el cálculo de los caudales dos zonas, que serán:

- Zonas de ocupación constante.
- Zona de la piscina climatizada.

3.1.1.- Zonas de ocupación constante

En este apartado se calculará el caudal de ventilación usando el método de Tasa de ventilación por persona, obteniendo la densidad de ocupación de cada zona en función de su uso previsto, a través del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DBSI) en su Sección SI 3 [5].

El método de cálculo utilizado es el siguiente:

- Se obtiene la densidad de ocupación de la tabla 2.1 DBSI en m²/persona.
- Se calcula la ocupación de la zona con la siguiente formula:

$$Ocupación = \frac{\text{Densidad de ocupación } \left(\frac{m^2}{\text{persona}}\right)}{\text{Superficie } (m^2)}$$



- Se ajusta la ocupación obtenida para que siempre sea un número entero.
- Se obtiene el IDA y, por tanto, la tasa de ventilación de la zona, de las tablas 12 y 15 de la guía del IDEA: Instalaciones de climatización con equipos autónomos [6].

IDA 1	Aire de óptima calidad: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	Aire de buena calidad: oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
IDA 3	Aire de calidad media: edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
IDA 4	Aire de calidad baja: no se debe aplicar.

Figura 3.1. IDA según uso de la zona [6].

Categoría	l/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Figura 3.2. Necesidades de ventilación por persona según IDA [6].

- Por último, se calcula el caudal de ventilación con la siguiente fórmula:

$$Q_{VENTILACION} = Ocupación \cdot Tasa\ de\ ventilación$$

Siguiendo este procedimiento de cálculo en las diferentes zonas de spa, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 3.1.

En dicha tabla pueden verse ocupaciones que no se corresponden con la realidad, siendo estas muy elevadas para las zonas correspondientes, aun así, son las ocupaciones máximas recogidas en el Documento Básico: Seguridad en caso de incendio [5], por lo que cumpliendo el caudal mínimo de aire primario calculado con estas ocupaciones se garantiza que la instalación siempre cumplirá, ya que nunca habrá mayor número de personas.



ZONA	SUPERFICIE	OCUPACIÓN MÁXIMA m ² /persona	OCUPACIÓN MÁXIMA personas	IDA	AIRE PRIMARIO m ³ /h
Guardería	150,85	5,0	31	1	2.232,0
Vestíbulo de Acceso	89,05	2,0	45	2	2.025,0
Cafetería	113,81	1,5	76	3	2.188,8
Recepción	24,16	10,0	3	2	135,0
Circulaciones	78,7	2,0	40	3	1.152,0
Despacho 1	22,97	10,0	3	2	135,0
Despacho 2	15,25	10,0	2	2	90,0
Vestuario 1	325,64	3,0	110	3	2.232,0
Vestuario 2	329,69	3,0	110	3	2.232,0
Pasillo	146,68	5,0	30	2	1.350,0
Sala socorrista	17,11	10,0	2	1	144,0
Sala de masaje 1	17,26	10,0	2	3	57,6
Sala de masaje 2	15,76	10,0	2	3	57,6
Sala de masaje 3	15,01	10,0	2	3	57,6
Gimnasio	207,41	5,0	42	3	1.209,6

Tabla 3.1. Cálculos de ventilación en las zonas del spa.

Cabe mencionar que algunas zonas del local como almacenes, circulaciones o zonas de instalaciones no necesitan de una impulsión de aire fresco, y en algunas de estas zonas se realizará la extracción de zonas circundantes.

De igual manera en los aseos de todo el local se realizarán extracciones con el fin de generar una depresión que evite que los gases y olores se transmitan a otras zonas.

3.1.2.- Zona de la piscina climatizada

La zona de la piscina requiere un tratamiento especial, ya que tal y como indica el RITE [4], su ventilación será de 2,5 dm³/s por metro cuadrado de superficie de lámina de agua y de la playa, añadiéndole a este caudal el necesario para controlar la humedad relativa y manteniendo una depresión de entre 20 y 40 Pa con los locales circundantes.

Con ello podemos calcular el primer caudal de ventilación para la piscina, que será revisado en capítulos posteriores.

$$Q_{VENTILACION} = 2,5 \frac{l}{s} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot S_{PISCINA}$$



USO	SUPERFICIE	IDA	A. PRIMARIO m ³ /h
Piscina	472,54	2	4.252,9

Tabla 3.2. Cálculo de ventilación de la piscina.

De igual manera se deben tener en cuenta los espectadores, monitores y socorristas que pudieran estar en la playa de la piscina, estimándose que habrá entre 15 y 20 personas. añadiendo 900 m³/h al caudal anterior, obteniendo un caudal de ventilación total de 5.153 m³/h.

Además, la normativa indica que debe colocarse un recuperador de calor y que deben realizarse de 3 a 8 renovaciones del aire interior por hora.

Por lo tanto, se ha decidido que el caudal de ventilación de la piscina será de 8.600 m³/h, cubriendo holgadamente el caudal mínimo, teniendo margen por si se tuviera un mayor número de personas en la playa y permitiendo realizar 2 renovaciones del volumen del recinto por hora.

3.2.- Cálculo de conductos

Con los caudales de ventilación ya conocidos es necesario calcular los conductos y rejillas utilizados en la distribución del aire. Para el diseño de los conductos es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- Se debe evitar una sección del conducto muy pequeña, ya que esto provocaría altas velocidades que generarían ruido y pérdidas de carga.
- Se debe tener en consideración la altura disponible para la instalación de los conductos.

Para el cálculo de estos conductos se utilizará un programa de cálculo de ventilación llamado DAWin, desarrollado por iMventa Ingenieros [7]. Este programa calcula las dimensiones de los conductos una vez se le defina el trazado del circuito, las rejillas de impulsión y extracción y el caudal de las mismas.

Además de las dimensiones de los conductos también indica las presiones necesarias, así como los caudales totales de impulsión y expulsión y ofrece una medición de los conductos a instalar.



3.2.1.- Método de cálculo

Las fórmulas de cálculo que se han utilizado son las expuestas en el manual ASHRAE HANDBOOK . FUNDAMENTALS 1997 editado por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. y en el Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación DTIE 5.01 editado por ATECYR, de las cuales reproducimos las más importantes:

3.2.1.1.- Pérdidas de presión por fricción:

$$\Delta P_f = f \cdot \frac{L}{Dh} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \text{ y utilizando la ecuación de Blasius } f = 0,173 \cdot \alpha \cdot Re^{-0,18} \cdot Dh^{-0,04}$$

se obtiene la ecuación para el aire húmedo:

$$\Delta P_f = \alpha \cdot 14,1 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot \frac{v^{1,82}}{Dh^{1,22}}$$

Esta ecuación es válida para temperaturas comprendidas entre 15,0 °C y 40,0 °C, presiones inferiores a la correspondiente a una altitud de 1.000,00 m. Y humedades relativas comprendidas entre 0% y 90%.

Siendo:

- ΔP_f : Pérdidas de presión por fricción en Pa.
- f : Factor de fricción (adimensional).
- ϵ :: Rugosidad absoluta del material en mm.
- Dh : Diámetro hidráulico en m.
- v : Velocidad en m/s.
- Re : Número de Reynolds (adimensional).
- L : Longitud total en m.
- α : Factor que depende del material utilizado (adimensional).

3.2.1.2.- Pérdidas de presión por singularidades:

$$\Delta P_s = Co \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Siendo:

- ΔP_s : Pérdidas de presión por singularidades en Pa.
- Co : coeficiente de pérdida dinámica (adimensional).
- v : Velocidad en m/s.
- ρ : Densidad del aire húmedo kg/m³.

Los coeficientes Co de pérdida de carga dinámica se tienen tabulados para los distintos tipos de accesorios normalmente utilizados en las redes de conductos.



3.2.1.3.- Pérdidas de presión total, estática y dinámica:

La pérdida de presión total en un sistema se obtiene como la suma de las pérdidas por fricción a lo largo de los conductos, más las pérdidas en las singularidades situadas en el camino más desfavorable, incluyendo en este grupo todas las transformaciones, los filtros, compuertas, plenum, etc. y la boca final.

$$\Delta P_t = \sum \Delta P_f + \sum \Delta P_s$$

Siendo:

- ΔP_t : Pérdidas de presión totales en Pa.
 ΔP_f : Pérdidas de presión por fricción en Pa.
 ΔP_s : Pérdidas de presión por singularidades en Pa.

En cualquier punto de la instalación es posible obtener la presión estática como diferencia entre la presión total y la presión dinámica:

$$P_{st} = P_t - \rho \frac{v^2}{2}$$

Siendo:

- P_{st} : Presión estática.
 P_t : Presión total.
 v : Velocidad en m/s.
 ρ : Densidad del aire húmedo kg/m³.

3.2.1.4.- Métodos de dimensionamiento:

El circuito de impulsión se ha calculado usando el método de Rozamiento constante. Para el dimensionado del circuito de retorno se ha utilizado el método de Rozamiento constante.

El método del rozamiento constante consiste en calcular los conductos de forma que la pérdida de carga por unidad de longitud en todos los tramos del sistema sea idéntica. El área de la sección de cada conducto está relacionada únicamente con el caudal de aire que transporta, por tanto, a igual porcentaje de caudal sobre el total, igual área de conductos.

La presión estática necesaria en el ventilador se calcula teniendo en cuenta la pérdida de carga en el tramo de mayor resistencia y la ganancia de presión debida a la reducción de la velocidad desde el ventilador hasta el final de este tramo.



3.2.2.- Resultados

Se ha decidido separar en la instalación de ventilación en 8 sistemas diferentes, que darán servicio a diferentes zonas en función de sus necesidades. Estos sistemas se nombran en función de las zonas principales donde dan servicio, y son los siguientes:

- Sistema Gimnasio.
- Sistema Vestuario masculino.
- Sistema Vestuario femenino.
- Sistema Pasillo.
- Sistema Piscina.
- Sistema Guardería.
- Sistema Oficinas.
- Sistema Cafetería.

La distribución en el spa de estos sistemas puede observarse en el documento: “Planos”.

3.2.2.1.- Sistema Gimnasio

Este sistema únicamente da servicio al gimnasio, donde se impulsará el aire por el centro la sala, y se extraerá en los bordes. Este sistema irá alimentado por un climatizador que sea capaz de compensar las cargas térmicas que se calcularán en el siguiente capítulo. La instalación se realizará en Climaver. Los resultados obtenidos del cálculo de conductos son los siguientes:

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	1.209,6	172,48	193,96
Extracción	1.209,6	147,54	169,02

Tabla 3.3. Resultados obtenidos del Gimnasio.

3.2.2.2.- Sistema Vestuario masculino

En este sistema se establecerá una impulsión por el centro de la sala, mientras que la extracción se realizará por las zonas húmedas. Debido a la humedad presente en esta zona la instalación se realizará con conductos de chapa circular. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	2.232	41,40	65,02
Extracción	2.232	54,26	77,88

Tabla 3.4. Resultados obtenidos del Vestuario masculino.



3.2.2.3.- Sistema Vestuario femenino

Este sistema es simétrico al anterior, por lo que presenta las mismas características y la instalación está realizada con los mismos materiales. Los resultados obtenidos en este caso son los siguientes:

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	2.232	42,62	66,24
Extracción	2.232	69,37	92,98

Tabla 3.5. Resultados obtenidos del Vestuario femenino.

3.2.2.4.- Sistema Pasillo

Este sistema da servicio a la zona del pasillo que conecta los vestuarios con las instalaciones del spa, así como a las cabinas de masaje y a la oficina del socorrista. La peculiaridad de este sistema es que cuenta con varios fan-coils, que se detallarán en el capítulo de climatización, pero a efectos de cálculo es necesario considerarlos aquí. Para ello se situará una rejilla de impulsión genérica, pero en la situación real este caudal se inyectaría directamente al fan-coil.

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	1.350	232,51	256,24
Extracción	1.350	138,10	162,22

Tabla 3.6. Resultados obtenidos del Pasillo.

3.2.2.5.- Sistema Piscina

El sistema de ventilación se realiza mediante una bomba deshumectadora, que se ocupará de forma conjunta de la climatización, la ventilación y la deshumectación del recinto de la piscina. Los resultados obtenidos del cálculo de conductos son los siguientes:

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	7.000	61,27	84,69
Extracción	8.000	15,76	27,52

Tabla 3.7. Resultados obtenidos de la Piscina.



Cabe mencionar que el caudal impulsado es mayor que el calculado en el apartado anterior, esto será justificado en el capítulo 5, donde se tratarán todos los temas relacionados con la piscina climatizada.

Además, se extrae un mayor caudal del que se impulsa, para generar una depresión en el recinto, tal y como se justificará en el capítulo correspondiente a la climatización de la piscina.

3.2.2.6.- Sistema Guardería

Para la zona de la guardería se ha decidido realizar una instalación similar a la propuesta en la zona del gimnasio. Esta instalación se alimentará de un climatizador y estará realizada en Climaver.

Al igual que en sistemas anteriores, se impulsará por el centro de la sala y se retornará una parte del aire de extracción en los aseos de esta zona.

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	2.232	80,96	109,53
Extracción	2.232	206,88	223,56

Tabla 3.8. Resultados obtenidos de la Guardería.

3.2.2.7.- Sistema Oficinas

Este sistema se encarga de alimentar los fan-coils que se instalarán en los dos despachos de spa, además del fan-coil que se instalará en la recepción. La instalación se alimentará con una UTA y se realizará en Climaver. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	360	48,33	60,22
Extracción	360	168,99	180,88

Tabla 3.9. Resultados obtenidos de las Oficinas.

3.2.2.8.- Sistema Cafetería

Este el sistema más extenso del spa se encargará de la ventilación de la cafetería y del vestíbulo de entrada. Irá alimentado por un climatizador y se realizará en Climaver. Los resultados obtenidos del cálculo de conductos son los siguientes:



Red	Caudal m ³ /h	Presión estática Pa	Presión total Pa
Impulsión	5.409	89,30	107,94
Extracción	5.641	73,79	94,06

Tabla 3.10. Resultados obtenidos de la Cafetería.

Además, en este sistema se aprovechará en retorno para la extracción de los aseos públicos adyacentes a la cafetería, de forma que se genere una pequeña depresión en ellos para evitar la salida de olores hacia la zona de la cafetería.

3.2.3.- Mediciones de la red de conductos

En el presente apartado se recogerán las mediciones y elementos necesarios para realizar la instalación de los conductos de ventilación del spa.

3.2.3.1.- Sistema Gimnasio.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 310	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x200	4
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	211,18

Tabla 3.11. Mediciones del sistema que da servicio al gimnasio.

3.2.3.2.- Sistema Pasillo.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 200x100	3
ud	KOOLAIR DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE-315	5
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 600x200	5
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 250x100	1
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 700x500	1
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 600	2
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	313,06

Tabla 3.12. Mediciones del sistema que da servicio al pasillo distribuidor.



3.2.3.3.- Sistema Vestuario masculino.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 500	6
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 400x200	6
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 180 mm	39,07
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 224 mm	14,85
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 315 mm	2,78
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 355 mm	9,89
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 400 mm	0,40
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 280 mm	21,50

Tabla 3.13. Mediciones del sistema que da servicio al Vestuario masculino.

3.2.3.4.- Sistema Vestuario femenino.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 400x200	6
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 500	6
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 180 mm	39,11
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 400 mm	0,40
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 355 mm	12,00
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 224 mm	14,85
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 315 mm	2,78
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 280 mm	20,43

Tabla 3.14. Mediciones del sistema que da servicio al vestuario femenino.



3.2.3.5.- Sistema Guardería.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 500	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x300	3
ud	KOOLAIR 2015 - GPD - Boca de extracción GPD-125	2
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	214,98

Tabla 3.15. Mediciones del sistema que da servicio a la guardería.

3.2.3.6.- Sistema Oficinas.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 250x100	2
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 200x100	1
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	93,76

Tabla 3.16. Mediciones del sistema que da servicio a las oficinas y la recepción.

3.2.3.7.- Sistema Cafetería.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 500	4
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 600	5
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x300	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 500x300	4
ud	KOOLAIR 2015 - GPD - Boca de extracción GPD-80	3
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	525,79

Tabla 3.17. Mediciones del sistema que da servicio a la cafetería y el vestíbulo.



3.2.3.8.- Sistema Piscina.

Las mediciones de este sistema se muestran a continuación.

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 600	10
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 500x300	10
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 280 mm	3,34
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 355 mm	7,83
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 500 mm	15,91
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 800 mm	26,33
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 630 mm	24,10
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 560 mm	9,16
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 710 mm	5,42
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext ø 400 mm	3,36

Tabla 3.18. . Mediciones del sistema que da servicio a la piscina.

3.2.3.9.- Total

Unidades	Descripción	Medición
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 310	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x200	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 200x100	4
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 600	17
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 500x300	14
ud	SCHAKO DQJA-SR-Z-SAK 500	20
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 400x200	12
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 250x100	3
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x300	7
ud	KOOLAIR DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE 125	4
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 600x200	5
ud	KOOLAIR GPD - Boca de extracción GPD-125	2
ud	KOOLAIR GPD - Boca de extracción GPD-80	3



Unidades	Descripción	Medición
ud	KOOLAIR 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 700x500	1
ud	KOOLAIR DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE-315	4
m2	Conducto R-Fibra-UNE Fibra Climaver Plus (más 10% recortes)	1.341,95
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 280 mm	49,64
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 224 mm	30,60
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 355 mm	29,46
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 500 mm	15,91
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 800 mm	26,33
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 630 mm	24,10
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 180 mm	78,18
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 315 mm	8,16
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 400 mm	5,71
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 90 mm	0,30
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 560 mm	9,26
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 710 mm	5,42
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 140 mm	6,49
m	Conducto C-Chapa-UNE-Ext \varnothing 200 mm	4,38

Tabla 3.19. Mediciones totales de la instalación de ventilación del spa.

3.3.- Equipos

Es este apartado se realizará la selección de todos los equipos necesarios para la instalación de ventilación en el spa.

3.3.1.- Unidad de tratamiento de aire

Una vez realizados los cálculos de los conductos, y conocidos los caudales y presiones que tendrán estos se pueden elegir los ventiladores adecuados para cubrir la demanda de ventilación de sistema.

Dado que el RITE [4] exige una recuperación de calor cuando el caudal total de ventilación supera los 1.800 m³/h, se elegirá también un recuperador que aporte entorno a un 70% de recuperación.

Estos dos requisitos se ven cubiertos con la instalación de una UTA (Unidad de Tratamiento de Aire), en cada uno de los sistemas estudiados. Estas unidades cuentan con



los ventiladores necesarios además de un recuperador de calor y las baterías de frío y calor que se encargarán de atemperar el aire.

Cabe mencionar que de los 8 sistemas estudiados solo en 2 se separarán las labores de climatización y ventilación, en el pasillo y en los despachos, los que realizarán la climatización a través de fan-coils y la ventilación la llevará una UTA.

A la hora de elegir una UTA es necesario tener en consideración una serie de características:

- Localización del edificio.
- Temperatura de impulsión del aire primario en verano e invierno.
- Tipo de recuperador de calor a instalar.
- Inclusión de sección de humectación.

Además, es necesario tener en cuenta el caudal y la presión de impulsión y extracción de la red a la que dará servicio la UTA. Estos datos se han obtenido en los cálculos de los diferentes sistemas realizados anteriormente.

Sistema	Caudal m ³ /h	Presión Impulsión Pa	Presión retorno Pa	UTA Elegida
Pasillo	1.350	356,24	162,22	X-CUBE R4200
Oficinas	360	60,22	180,88	

Tabla 3.20. Selección de UTA.

Dado el pequeño caudal de uno de los sistemas se ha decidido instalar una única UTA, que dará servicio a ambos sistemas.

La UTA elegida es la X-CUBE COMPACT R4200 del fabricante TROX [8]. Cuenta con un recuperador rotativo que cubre las necesidades de recuperación y un caudal de 4.200 m³, más que suficiente para dar servicio a ambos sistemas. Los datos técnicos de esta UTA puedes verse en el Anexo 2: “Documentación de los equipos”.



Figura 3.3. X-CUBE COMPACT de TROX [8].

3.3.1.- Control

Para el control de los sistemas de ventilación en cada zona se instalarán sondas de CO₂ para determinar la necesidad de ventilar.

Además, se tendrá en cuenta las cargas de refrigeración y calefacción de la zona a ventilar, que se verá en el siguiente capítulo.

3.3.2.- Rejillas de impulsión y retorno

Para la instalación de ventilación se han decidido instalar las rejillas de retorno 20-45-H de KOOLAIR [9] que dispone de varios tamaños en función del caudal.



Figura 3.4. Rejilla de extracción 20-45-H de KOOLAIR [9].



Para el circuito de impulsión se han elegido los difusores rotacionales DQJA, de Fabricante SCHAKO [10]. Que cuenta con diferentes diámetros en función del caudal a impulsar.

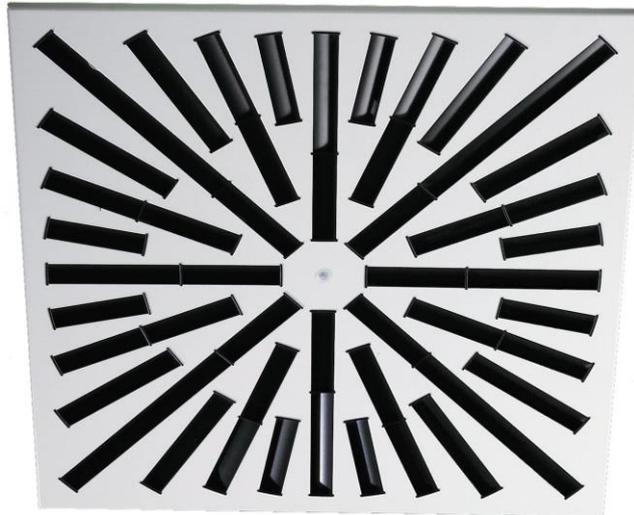


Figura 3.5. Difusor rotación DQJA de SCHAKO [10].



4.- CLIMATIZACIÓN

En este apartado se procede a calcular y diseñar un sistema de climatización de todas las zonas del spa que disponen de las condiciones de humedad y temperatura normales indicadas en el RITE [4] (24 °C en verano y 22 °C en invierno). La piscina, por otro lado, requiere un tratamiento especial y se calculará en el capítulo siguiente.

La climatización busca conseguir unas condiciones de humedad y temperatura que resulten adecuadas. Para ajustar la temperatura es necesario aportar las cargas de refrigeración y calefacción adecuadas, por lo que inicialmente es necesario calcular las cargas térmicas del local,

Con las cargas térmicas calculadas se procederá a diseñar la instalación, indicando que equipos se instalaran y que potencias tendrán los mismos, así como la disposición y el tamaño de las tuberías.

4.1.- Cargas térmicas

En el cálculo de las cargas térmicas influyen varios factores.

- Tipo de cerramiento y orientación de este.
- Ubicación del local.
- Temperatura interior y exterior.
- Ventilación.
- Recuperación de calor.
- Ocupación.
- Iluminación, equipos electrónicos, etc.

Para el cálculo de las cargas térmicas del local se utilizará el programa de cálculo CLWin desarrollado por iMventa Ingenieros [2]. Este programa calcula las cargas térmicas partiendo de un plano del local en el que se delimiten las zonas y de los factores antes mencionado, introducidos como datos.

Una vez calculado, proporcionará resultados detallados de las cargas térmicas del edificio estudiado.

4.1.1.- Método de cálculo

Se sigue el método de las Series Temporales Radiantes (RTSM), desarrollado por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.) y publicado por primera vez en Handbook of fundamentals en 2001.



4.1.1.1.- Ganancias térmicas instantáneas

El primer paso consiste en el cálculo para cada mes y cada hora de la ganancia de calor instantánea debida a cada uno de los siguientes elementos:

4.1.1.2.- Ganancia solar cristal

Insolación a través de acristalamientos al exterior.

$$Q_{GAN,t} = n \times Fps \times [E_D \times A_{sol} \times FS(\theta) + (E_d + E_r) \times A \times FS_d]$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$	=	Ganancia instantánea de calor sensible (vatios)
A	=	Área total de la superficie acristalada (m ² C)
A_{sol}	=	Área de la superficie acristalada con radiación solar directa (m ²)
$FS(\theta)$	=	Factor solar para ángulo de incidencia θ de la radiación solar
FS_d	=	Factor solar para radiación difusa
Fps	=	Factor de protección solar por elementos adicionales de sombra
n	=	Nº de unidades de ventanas del mismo tipo
E_D	=	Radiación directa sobre superficie inclinada (vatios/m ²)
E_d	=	Radiación difusa (vatios/m ²)
E_r	=	Radiación reflejada (vatios/m ²)

4.1.1.3.- Transmisión paredes y techos

Cerramientos opacos al exterior, excepto los que no reciben los rayos solares. La ganancia instantánea para cada hora se calcula suponiendo que la transferencia de calor se realiza en modo transitorio, de forma periódica y unidimensional, utilizando los Factores de respuesta periódicos normalizados (CTSFs):

$$Q_{GAN,t} = \sum_{n=0}^{23} c_j \cdot UA \cdot (t_{sa,t-n\Delta} - t_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$	=	Ganancia de calor sensible en el ambiente a través de la superficie interior del techo o pared soleado (w)
A	=	Área de la superficie interior (m ²)
U	=	Transmitancia térmica del cerramiento (W/m ² ·K)
$T_{sa,t-n\Delta}$	=	Temperatura sol aire en el instante t-nΔ



Δ	=	Incremento de tiempos igual a 1 hora.
t_{ai}	=	Temperatura del espacio interior supuesta constante
c_n	=	Factor de respuesta para la hora n

Los coeficientes CTSFs de cada tipo constructivo se obtienen por el método del volumen finito implícito unidimensional (FVM) en función de las distintas capas de materiales que lo componen.

La temperatura sol-aire sirve para corregir el efecto de los rayos solares sobre la superficie exterior del cerramiento:

$$t_{sa} = t_{ec} + \alpha \times \frac{I_t}{h_o} - \varepsilon \times \frac{\Delta R}{h_o} \times \cos(90^\circ - \beta)$$

Donde:

T_{sa}	=	Temperatura sol-aire para un mes y una hora dadas (°C)
T_{ec}	=	Temperatura seca exterior corregida según mes y hora (°C)
I_t	=	Radiación solar incidente en la superficie (w/m ²)
h_o	=	Coefficiente de termotransferencia de la superficie (w/m ² °C)
α	=	Absorbencia de la superficie a la radiación solar (depende del color)
β	=	Ángulo de inclinación del cerramiento respecto de la vertical (horizontales 90°)
ε	=	Emitancia hemisférica de la superficie.
ΔR	=	Diferencia de radiación superficie/cuerpo negro (w/m ²)

4.1.1.4.- Transmisión excepto paredes y techos

Cerramientos al interior

Ganancias instantáneas por transmisión en cerramientos opacos interiores y que no están expuestos a los rayos solares.

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_l - t_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$	=	Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
K	=	Coefficiente de transmisión del cerramiento (w/m ² ·°C)
A	=	Área de la superficie interior (m ²)
t_l	=	Temperatura del local contiguo (°C)
t_{ai}	=	Temperatura del espacio interior supuesta constante (°C)



Acristalamientos al exterior

Ganancias instantáneas por transmisión en superficies acristaladas al exterior.

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_{ec} - t_{ai})$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 K = Coeficiente de transmisión del cerramiento ($w/m^2 \cdot ^\circ C$)
 A = Área de la superficie interior (m^2)
 t_{ec} = Temperatura exterior corregida ($^\circ C$)
 t_{ai} = Temperatura del espacio interior supuesta constante ($^\circ C$)

Puertas al exterior

Un caso especial son las puertas al exterior, en las que hay que distinguir según su orientación:

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_l - t_{ai})$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 K = Coeficiente de transmisión del cerramiento ($w/m^2 \cdot ^\circ C$)
 A = Área de la superficie interior (m^2)
 t_{ai} = Temperatura del espacio interior supuesta constante ($^\circ C$)
 t_l = Para orientación Norte: Temperatura exterior corregida ($^\circ C$).

Excepto orientación Norte: Temperatura sol-aire para el instante t ($^\circ C$)

4.1.1.5.- Calor interno

Ocupación (personas)

Calor generado por las personas que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número de personas y del tipo de actividad que están desarrollando.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:



- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 Q_s = Ganancia sensible por persona (w). Depende del tipo de actividad
 n = Número de ocupantes
 Fd_t = Porcentaje de ocupación para el instante t (%)

Se considera que 67% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

$$Q_{GANI,t} = Q_l \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

- $Q_{GANI,t}$ = Ganancia de calor latente en el instante t (w)
 Q_l = Ganancia latente por persona (w). Depende del tipo de actividad
 n = Número de ocupantes
 Fd_t = Porcentaje de ocupación para el instante t (%)

Alumbrado

Calor generado por los aparatos de alumbrado que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 Q_s = Potencia por luminaria (w). Para fluorescente se multiplica por 1'25.
 n = Número de luminarias.
 Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

Aparatos eléctricos

Calor generado por los aparatos exclusivamente eléctricos que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 Q_s = Ganancia sensible por aparato (w). Depende del tipo.
 n = Número de aparatos.
 Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)



Se considera que el 60% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

Aparatos térmicos

Calor generado por los aparatos térmicos que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 Q_s = Ganancia sensible por aparato (w). Depende del tipo.
 n = Número de aparatos.
 Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

Se considera que el 60% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

$$Q_{GANI,t} = Q_l \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

- $Q_{GANI,t}$ = Ganancia de calor latente en el instante t (w)
 Q_l = Ganancia latente por aparato (w). Depende del tipo
 n = Número de aparatos
 Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

Aire exterior

Ganancias instantáneas de calor debido al aire exterior de ventilación. Estas ganancias pasan directamente a ser cargas de refrigeración.

$$Q_{GAN,t} = 0'34 \times f_a \times V_{ae_s} \times 0'01 \times Fd_t \times (t_{ec} - t_{ai})$$

Donde:

- $Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)
 f_a = Coeficiente corrector por altitud geográfica.
 V_{ae} = Caudal de aire exterior (m³/h).
 t_{ec} = Temperatura seca exterior corregida (°C).
 t_{ai} = Temperatura del espacio interior supuesta constante (°C)



Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

Se considera que el 100% del calor sensible aparece por convección.

$$Q_{GAN,t} = 0'83 \times f_a \times V_{ae_s} \times 0'01 \times Fd_t \times (X_{ec} - X_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

f_a = Coeficiente corrector por altitud geográfica.

V_{ae} = Caudal de aire exterior (m³/h).

X_{ec} = Humedad específica exterior corregida (gr agua/kg aire).

X_{ai} = Humedad específica del espacio interior (gr agua/kg aire)

Fd_t = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

4.1.1.6.- Cargas de refrigeración

La carga de refrigeración depende de la magnitud y naturaleza de la ganancia térmica instantánea, así como del tipo de construcción del local, de su contenido, tipo de iluminación y de su nivel de circulación de aire.

Las ganancias instantáneas de calor latente, así como las partes correspondientes de calor sensible que aparecen por convección pasan directamente a ser cargas de refrigeración.

Las ganancias debidas a la radiación y transmisión se transforman en cargas de refrigeración por medio del método de las series radiantes temporales (RTSM):

$$Q_{REF,t} = r_0 \times Q_{GAN,t} + r_1 \times Q_{GAN,t-\Delta} + r_2 \times Q_{GAN,t-\Delta 2} + \dots + r_{23} \times Q_{GAN,t-\Delta 23}$$

$Q_{REF,t}$ = Carga de refrigeración para el instante t (w)

$Q_{GAN,t}$ = Ganancia de calor en el instante t (w)

Δ = Incremento de tiempos igual a 1 hora.

$r_0, r_1 \dots r_{23}$ = Factores RTF.

Se utilizan dos juegos de factores RTF, uno para las ganancias solares y otro para las no solares. Estos coeficientes se obtienen en función de la geometría de cada zona y de la composición de los cerramientos que la delimitan.



4.1.2.- Resultados obtenidos

A través del método descrito, se calculan las cargas de refrigeración y calefacción de todas las zonas que se van a climatizar, obteniéndose los siguientes resultados

Descripción	Carga Refrigeración (W)	Carga Calefacción (W)
GUARDERÍA	20.666	15.434
VESTÍBULO DE ACCESO	31.118	17.925
CAFETERIA	29.787	12.436
RECEPCION	1.656	2.579
ASEOS	1.149	3.834
COCINA	907	1.767
DESPACHO 1	1.805	1.761
DESPACHO 2	1.682	1.114
VESTUARIO 1	25.849	25.276
VESTUARIO 2	26.142	25.453
PASILLO	8.067	11.246
SALA DEL SOCORRISTA	1.682	2.572
SALA DE MASAJE 1	1.553	1.953
SALA DE MASAJE 2	1.555	1.843
SALA DE MASAJE 3	1.544	1.605
GIMNASIO	20.749	13.658

Tabla 4.1. Resultados del cálculo de las cargas térmicas.

Puede verse en los resultados que las zonas con grandes cristalerías, como la guardería o la cafetería, tienen elevadas cargas de refrigeración, pero su carga de calefacción es menor de la esperada, debido a la ganancia de energía térmica a través de la radiación solar que incide por dichas cristalerías.

Por otro lado, en el gimnasio nos encontramos con cargas de calefacción menores debido a la actividad física que allí realizan los ocupantes de dicha zona.

4.2.- Equipos

Una vez calculadas las cargas de refrigeración y calefacción, se escogerán los equipos de climatización que aportarán dichas cargas para mantener unas condiciones de habitabilidad adecuadas.

Para ello será necesario instalar unidades interiores y unidades exteriores que aporten la energía a las interiores o bien que aportan las cargas directamente.

Como unidades interiores se usarán fan-coils, que se instalarán en la cafetería, la guardería, los despachos, las salas de masaje y los pasillos y vestíbulos. por otro lado, como unidades exteriores habrá bombas de calor, para suministrar energía de refrigeración



y calefacción a diversos equipos, climatizadores para aportar cargas térmicas a las zonas de los vestuarios y el gimnasio y UTAs, ya mencionadas en el capítulo de ventilación.

Toda la instalación se realizará a 4 tubos lo que permitirá cubrir la demanda de calor o frío en cada recinto.

4.2.1.- Fan-coils

Para la instalación de climatización se han elegido equipos de la marca CARRIER [11], que se dividirán en conductos y casetes en función del tamaño de la zona a climatizar y de la carga térmica de la misma.

Estos equipos se conectarán a la red de conductos de aire primario, permitiendo así realizar las funciones de ventilación y climatización simultáneamente.

4.2.1.1.-

4.2.1.2.- Conductos

En la instalación de climatización del spa solo se instalará un fan-coil de este tipo, que se situará en la zona del pasillo de acceso a las instalaciones. El fan-coil elegido en este caso es el modelo 42NH749, cuyas principales características se muestran en el Anexo 2: “Documentación de los equipos”.

Fan-coils	Carga de Refrigeración (kW)	Carga de Calefacción (kW)	Modelo
Pasillo	8,07	11,26	42NH749

Tabla 4.2. Selección de Fan-coil conductos.



Figura 4.1. Fan-coil 42NH749 de CARRIER.



4.2.1.3.- Casetes

En las zonas que presenten una carga térmica menor se instalaran fan-coils tipo casete. Todas las zonas que se han elegido para instalar este tipo de fan-coils presentan unas cargas térmicas similares, por lo que se instalará el mismo modelo en todas.

El fan-coil elegido es el modelo 42GW300D del fabricante CARRIER. Los datos técnicos de estén fan-coil pueden verse en el Anexo 2: “Documentación de equipos”.

Fan-coils	Carga de Refrigeración (kW)	Carga de Calefacción (kW)	Modelo
Recepción	1,66	2,58	42GW300D
Despacho 1	1,80	1,76	42GW300D
Despacho 2	1,68	1,11	42GW300D
Sala de Masaje 1	1,55	1,95	42GW300D
Sala de Masaje 2	1,55	1,84	42GW300D
Sala de Masaje 3	1,54	1,60	42GW300D
Sala del socorrista	1,67	2,57	42GW300D

Tabla 4.3. Selección de Fan-coils casetes.



Figura 4.2. Fan-coil 42GW300D de CARRIER.

4.2.2.- Climatizadores

Para escoger los climatizadores que se instalarán en el gimnasio y los vestuarios es necesario conocer los caudales de ventilación de dichas zonas, ya obtenidos anteriormente en el apartado 3.1. También será necesario conocer las cargas térmicas, de refrigeración y calefacción, calculadas en el apartado 4.1, lo que permitirá dimensionar las baterías de calor y frío de los climatizadores.



A modo de resumen se presenta en la siguiente tabla las principales características en tener en cuenta en las zonas donde se instalarán los climatizadores, así como el climatizador elegido que cumpla dichas características.

Zona	Caudal (m ³ /h)	P. Refrigeración (kW)	P. Calefacción (kW)	Climatizador elegido
Gimnasio	1.210	20,75	13,66	TKM 50 EASY 2
Vestuario 1	2.232	25,85	25,28	TKM 50 EASY 2
Vestuario 2	2.232	26,14	25,46	TKM 50 EASY 2
Guardería	2.232	20,67	15,43	TKM 50 EASY 2
Cafetería	5.366	60,61	30,36	TKM 50 EASY 5

Tabla 4.4. Selección de climatizador.

El climatizador elegido para todas las zonas es el TKM 50 EASY del fabricante TROX [12], el cual permite variar el tamaño de la batería de frío y calor en función de las necesidades, siendo en este caso un tamaño 2 para todos los casos excepto para la cafetería, donde se necesitará un tamaño 5 para suplir las cargas de la zona.

Tanto la ficha técnica del equipo como la tabla de selección de baterías se pueden ver en el Anexo 2: “Documentación de los equipos”.



Figura 4.3. Climatizador TKM 50 EASY de TROX.



4.3.- Cálculo y medición de tuberías

En este apartado se calculará y dimensionará la instalación de tuberías que darán servicio a los diferentes equipos de climatización instalados. Para ello se obtendrán los diámetros de los diferentes tramos de tubería a instalar, así como la longitud de tubería de cada tipo.

Es importante tener en cuenta una serie de consideraciones:

- La instalación será a 4 tubos.
- Las tuberías serán de polipropileno (PPR) ya que presentan un gran aislamiento térmico, son muy resistentes a altas temperaturas y debido a su baja rugosidad disminuyen la pérdida de carga.
- El RITE [4] obliga a recubrir las tuberías de agua fría y caliente de un aislante térmico.
- También se considerarán válvulas de corte y equilibrado.

El cálculo de tuberías se realizará con la herramienta de cálculo ICWin desarrollada por iMventa Ingenieros [13]. En este programa se introduce, las unidades interiores, unidades exteriores y valvulería necesarias para la instalación y se selecciona el tipo de tubería de la instalación.

También se debe indicar el tipo de instalación que se busca realizar, siendo en este caso climatización por agua.

Una vez introducidos los datos y realizado el cálculo, el programa, aportará datos sobre el caudal y la pérdida de carga que deberán aportar las bombas de recirculación e indicará el diámetro de tubería necesario para evitar una pérdida de carga elevada y el aislamiento necesario para que no se encuentren grandes pérdidas en el circuito.

4.3.1.- Método de cálculo

4.3.1.1.- CÁLCULO DE LA BOMBA DE CIRCULACIÓN

El caudal que debe suministrar la bomba de circulación viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{860 \cdot P}{1000 \cdot \Delta t \cdot C_e \cdot \gamma}$$

Donde:

C_e = Calor específico del agua = 1,0 Kcal/h·Kg·°C

γ = Peso específico del agua = 1,0 Kg/dm³

Δt = Salto térmico en °C

P = Potencia térmica en vatios



Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías se ha tenido en cuenta la fórmula de Prandtl-Colebrook y se limita la pérdida de carga por unidad de longitud de tubería a 40,0 mm.c.a./m.

Las pérdidas de carga en las baterías y válvulas se calculan por medio de los gráficos del fabricante.

4.3.1.2.- MÉTODO DE CÁLCULO PARA TUBERÍAS

El principio de cálculo es el siguiente:

1- Determinación del caudal de cada tramo, de final a origen, en función de los emisores o receptores a los que alimenta:

$$Q = \frac{860 \cdot P}{1000 \cdot \Delta t \cdot C_e \cdot \gamma}$$

Donde:

C_e = Calor específico del agua = 1,0 Kcal/h·Kg·°C

γ = Peso específico del agua = 1,0 Kg/dm³

Δt = Salto térmico en °C

P = Potencia térmica en vatios

Se tienen en cuenta los siguientes modos de funcionamiento:

- Refrigeración salto térmico -5,0°C y potencias individuales simultáneas.
- Calefacción salto térmico 5,0 °C y potencias individuales máximas.

2- Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías se ha tenido en cuenta la fórmula de Prandtl-Colebrook.

$$V = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot J} \cdot \log_{10} \left(\frac{k_a}{371 \cdot D} + \frac{251 \cdot \nu}{D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot J}} \right)$$

Donde:

J = Pérdida de carga, en m.c.a./m;

D = Diámetro interior de la tubería, en m;

V = Velocidad media del agua, en m/s;

Q_r = Caudal por la rama en m³/s;

k_a = Rugosidad uniforme equivalente, en m.;

ν = Viscosidad cinemática del fluido, (1'31x10⁻⁶ m²/s para agua a 10°C);

g = Aceleración de la gravedad, 9'8 m/s²;

3- Determinación de los diámetros de tubería en base a admitir una pérdida de carga máxima por unidad de longitud de tubería igual a 40,0 mm.c.a./m.

4- Se tienen en cuenta las longitudes equivalentes a tubería recta de igual diámetro en los accesorios (tes, codos...) y válvulas conectados entre tuberías, para calcular las pérdidas de carga que producen.



5- Cálculo de la pérdida de carga a provocar en cada válvula de equilibrado para obtener la distribución de caudales supuesta inicial.

4.3.2.- Resultados

En este apartado se presentarán los cálculos obtenidos, diferenciando entre refrigeración y calefacción.

4.3.2.1.- Refrigeración

Tras los cálculos realizados se obtiene el diámetro de las tuberías adecuado para evitar una pérdida de carga elevada y el aislamiento de estas tuberías que evita pérdidas térmicas considerables.

Unidades	Descripción	Medición
m	Tubería PPR-CT INSTALL 20x14,40	43,20
m	Tubería PPR-CT INSTALL 40x32,6	33,13
m	Tubería PPR-CT INSTALL 25x18	19,50
m	Tubería PPR-CT INSTALL 32x23,20	29,41
m	Tubería PPR-CT INSTALL 50x40,8	86,70
m	Tubería PPR-CT INSTALL 75x61,4	25,34
m	Tubería PPR-CT INSTALL 90x73,6	26,18
m	Tubería PPR-CT INSTALL 63x51,4	35,52
m	Tubería PPR-CT INSTALL 110x90	3,29
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=20mm de espesor 20mm	43,20
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=40mm de espesor 30mm	33,13
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=25mm de espesor 20mm	19,50
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=32mm de espesor 20mm	29,41
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=50mm de espesor 30mm	86,70
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=75mm de espesor 30mm	25,34
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=90mm de espesor 30mm	26,18
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=63mm de espesor 30mm	35,52
m	Aislamiento tubería \varnothing -ext=110mm de espesor 40mm	3,29

Tabla 4.5. Diámetros y longitud de tubería del circuito de refrigeración.



Para la elección del aislamiento se utiliza la tabla de selección del RITE [4], que depende de la temperatura del fluido

	Interior Edificios				Exterior edificios			
	Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)			Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
		40...60	>60...100	>100...180		40...60	>60...100	>100...180
Fluidos calientes	D ≤ 35	25	25	30	D ≤ 35	35	35	40
	35 ≤ D ≤ 60	30	30	40	35 ≤ D ≤ 60	40	40	50
	60 < D ≤ 90	30	30	40	60 < D ≤ 90	40	40	50
	90 < D ≤ 140	30	40	50	90 < D ≤ 140	40	50	60
	140 < D	35	40	50	140 < D	45	50	60
Fluidos fríos	Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)			Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
		>-10...0	>0...10	<10		>-10...0	>0...10	<10
	D ≤ 35	30	25	20	D ≤ 35	50	40	40
	35 ≤ D ≤ 60	40	30	20	35 ≤ D ≤ 60	60	50	40
	60 < D ≤ 90	40	30	20	60 < D ≤ 90	60	50	50
90 < D ≤ 140	50	40	30	90 < D ≤ 140	70	60	50	
140 < D	50	40	30	140 < D	70	60	50	

Tabla 4.6. Selección de aislamiento según RITE [14].

También, el programa de cálculo proporciona los datos necesarios para realizar la selección de la bomba de circulación.

- Caudal: 29,890 m³/h.
- Presión: 12,635 m.c.a.

4.3.2.2.- Calefacción

Análogamente a los descrito anteriormente se obtiene los resultados del circuito de calefacción.

Unidades	Descripción	Medición
m	Tubería PPR-CT INSTALL 20x14,40	24,44
m	Tubería PPR-CT INSTALL 25x18	28,43
m	Tubería PPR-CT INSTALL 50x40,8	44,35
m	Tubería PPR-CT INSTALL 32x23,20	39,24
m	Tubería PPR-CT INSTALL 63x51,4	39,78
m	Tubería PPR-CT INSTALL 90x73,6	26,18
m	Tubería PPR-CT INSTALL 75x61,4	28,92
m	Tubería PPR-CT INSTALL 40x32,6	76,31
m	Tubería PPR-CT INSTALL 110x90	3,29
m	Aislamiento tubería ø-ext=20mm de espesor 25mm	24,44
m	Aislamiento tubería ø-ext=25mm de espesor 25mm	28,43



Unidades	Descripción	Medición
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=50mm de espesor 30mm	44,35
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=32mm de espesor 25mm	39,24
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=63mm de espesor 30mm	39,78
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=90mm de espesor 30mm	26,18
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=75mm de espesor 30mm	28,92
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=40mm de espesor 30mm	76,31
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=110mm de espesor 30mm	3,29

Tabla 4.7. Diámetros y longitud de tubería del circuito de calefacción.

De igual manera, se obtienen los datos necesarios para la selección de la bomba.

- Caudal: 34,327 m³/h
- Presión: 14,015 m.c.a.

4.3.2.3.- Selección de bombas de circulación.

Ambos circuitos presentan la necesidad de bombas similares, por lo que se instalará el mismo modelo en ambos circuitos, aunque variarán los tamaños de las mismas.

- Para el circuito de refrigeración se instalará una bomba ETALINE 050-050-250, capaz de aportar los casi 30 m³/h y 13 m.c.a. necesarios para el circuito.
- Para el circuito de calefacción se instalará una bomba ETALINE 050-050-160, Capaz de aportar los casi 35 m³/h y 13 m.c.a. necesarios para el circuito.



Figura 4.4. Bomba de circulación ETALINE de KSB.

Las fichas técnicas y las curvas de todas las bombas instaladas pueden verse en el Anexo 2: “Documentación de los equipos”.



4.3.3.- Mediciones

En este apartado se recogen las mediciones de equipos y tubería de la climatización.

Unidades	Descripción	Medición
ud	Climatizador TKM 50 EASY TROX	5
ud	Fan-coil 42GW300D CARRIER	7
ud	Fan-coil 42NH749 CARRIER	1
ud	Bomba de circulación ETALINE KSB	2
m	Tubería PPR-CT INSTALL 20x14,40	67,64
m	Tubería PPR-CT INSTALL 25x18	47,93
m	Tubería PPR-CT INSTALL 32x23,20	68,65
m	Tubería PPR-CT INSTALL 40x32,6	109,44
m	Tubería PPR-CT INSTALL 50x40,8	131,05
m	Tubería PPR-CT INSTALL 63x51,4	75,3
m	Tubería PPR-CT INSTALL 75x61,4	54,26
m	Tubería PPR-CT INSTALL 90x73,6	52,36
m	Tubería PPR-CT INSTALL 110x90	6,58
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=20mm de espesor 20mm	43,2
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=25mm de espesor 20mm	19,5
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=32mm de espesor 20mm	29,41
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=20mm de espesor 25mm	24,44
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=25mm de espesor 25mm	28,43
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=32mm de espesor 25mm	39,24
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=40mm de espesor 30mm	109,44
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=50mm de espesor 30mm	131,05
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=63mm de espesor 30mm	75,3
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=75mm de espesor 30mm	54,26
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=90mm de espesor 30mm	52,36
m	Aislamiento tubería ϕ -ext=110mm de espesor 30mm	6,58

Tabla 4.8. Mediciones de equipos y tubería de climatización.



4.4.- Regulación y control

En este apartado se tratará todo lo relacionado con la regulación y control de los equipos de climatización para garantizar un comportamiento adecuado de la instalación.

El control de la instalación se definirá por dos diferentes términos:

- **CO₂:** Será necesario establecer un control de CO₂, que depende directamente de la ocupación. Cuando la concentración de CO₂ alcance los niveles máximos será necesario reducir dicha concentración mediante la impulsión de aire. Se establecerá que la concentración de CO₂ es admisible siempre que se sitúe entre 300 y 900 partes por millón por encima de la exterior.
- **Temperatura:** También será necesario establecer un riguroso control de la temperatura de las diferentes zonas, para regularla cuando sea necesario. Se considera una temperatura adecuada de 24 °C en verano y 22 ° en invierno, tal y como se ha mencionado con anterioridad.

En base a estos dos términos o parámetros, se pueden encontrar cuatro diferentes situaciones en el local.

- Temperatura no adecuada y concentración de CO₂ fuera de los valores permisibles. En este caso será necesario climatizar y ventilar el local.
- Temperatura adecuada y concentración de CO₂ fuera de los valores permisibles. En este caso solo será necesario ventilar el local.
- Temperatura no adecuada y concentración de CO₂ en el rango permitido. En este caso se deberá climatizar el local.
- Temperatura adecuada y concentración de CO₂ dentro del rango permitido. En este caso no es necesario realizar ninguna operación.

4.4.1.- Regulación de climatizadores y fan-coils

Los climatizadores y fan-coils realizan conjuntamente la climatización y ventilación de un recinto, por lo que su control resulta sencillo.

Para la regulación de la ventilación, el climatizador, dispone de una sonda de CO₂ conectada a su sistema de control y que varía el caudal de aire introducido en función de las necesidades.

Para la regulación de temperatura, se debe variar la potencia de refrigeración o calefacción que el climatizador o fan-coil aporta al local. Para ello se realiza una regulación del agua que llega al climatizador, según el siguiente procedimiento:

- Una bomba de circulación impulsa el agua hacia los climatizadores.
- A los climatizadores y fan-coils se les instalará una válvula de equilibrado en el retorno para igualar las pérdidas de presión y que llegue a ellos el caudal adecuado.



- En la impulsión de los últimos climatizadores se instalará una válvula de tres vías, que permita recircular una parte equivalente al 20% del caudal de impulsión para así regular la temperatura y disponer de un caudal circulando por el circuito.

Para regular el caudal de aire impulsado a un fan-coils es necesario instalar un regulador de caudal, que actuará de compuerta entre los conductos de impulsión de aire primario y el retorno de aire del fan-coil.

En este caso se instalarán reguladores de SCHAKO, que variarán en modelo y tamaño según el caudal de aire primario introducido a los fan-coils.

Los diferentes modelos y tamaños seleccionados se muestran en la siguiente tabla.

Fan-coils	Caudal (m ³ /h)	Regulador
Recepción	135	VOLKOM 125
Despacho 1	135	VOLKOM 125
Despacho 2	90	VOLKOM 125
Sala de Masaje 1	58	VOLKOM 125
Sala de Masaje 2	58	VOLKOM 125
Sala de Masaje 3	58	VOLKOM 125
Sala del socorrista	144	VOLKOM 125
Pasillo	3330	VARs 355

Tabla 4.9. Selección de regulador según caudal de aire primario impulsado.



Figura 4.5. Reguladores VOLKOM 125 y VARs 355 de SCHAKO [15].



4.4.2.- Selección de válvulas

En este apartado se escogerá la valvulería necesaria para los circuitos de refrigeración y calefacción. Toda la valvulería elegida será de la empresa IMI Hydronic Engineering [16].

4.4.2.1.- Válvulas de control

Las válvulas de equilibrado y control se eligen en función del caudal de impulsión que llega al aparato. La selección puede verse en las siguientes tablas en función del equipo al que pertenecen, y del sistema al que dan servicio.

Equipo	Refrigeración	
	Caudal (l/h)	Válvula
Gimnasio	3.569	TA-COMPACT-P 32
Vestuario Masculino	4.434	TA-MODULATOR 40
Vestuario Femenino	4.496	TA-MODULATOR 40
Cafetería/vestíbulo	10.489	TA-MODULATOR 50
Guardería	3.554	TA-COMPACT-P 32
Recepción	274	TA-COMPACT-P 15
Despacho 1	310	TA-COMPACT-P 15
Despacho 2	291	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 1	268	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 2	268	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 3	261	TA-COMPACT-P 15
Pasillo	1.389	TA-COMPACT-P 25
Sala del socorrista	285	TA-COMPACT-P 15

Tabla 4.10. Selección de válvulas de control del circuito de refrigeración.



Equipo	Calefacción	
	Caudal (l/h)	Válvula
Gimnasio	2.348	TA-COMPACT-P 32
Vestuario Masculino	4.351	TA-MODULATOR 40
Vestuario Femenino	4.373	TA-MODULATOR 40
Cafetería/vestíbulo	5.249	TA-MODULATOR 40
Guardería	2.654	TA-COMPACT-P 32
Recepción	437	TA-COMPACT-P 15
Despacho 1	298	TA-COMPACT-P 15
Despacho 2	303	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 1	276	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 2	315	TA-COMPACT-P 15
Sala de Masaje 3	317	TA-COMPACT-P 15
Pasillo	3.709	TA-MODULATOR 40
Sala del socorrista	427	TA-COMPACT-P 15
Piscina	9.300	TA-MODULATOR 50

Tabla 4.11. Selección de válvulas de control del circuito de calefacción.



Figura 4.6. Válvulas TA-COMPACT-P y TA-MODULATOR de IMI [16].



4.4.2.2.- Válvulas de tres vías

Las válvulas de tres vías son las encargadas de recircular una parte del caudal de impulsión por el circuito.

Para el circuito de refrigeración, la válvula debe ser capaz de recircular al menos 6.000 l/h, para ello se instalará en la impulsión del climatizador que da servicio a la cafetería el vestíbulo, que es el que cuenta con un caudal de impulsión mayor, de en torno a 10.000 l/h, más que suficiente para cumplir el caudal de recirculación mínimo.

Para el circuito de calefacción, se necesita un caudal de recirculación mayor, dado que en este circuito también tenemos la deshumectadora de la piscina, que se calculará en el capítulo siguiente, y solo demandará cargas de calefacción. En este caso se necesita un caudal de recirculación mínimo de 7.000 l/h, en este caso este caudal mínimo se cumple instalando una válvula de tres vías en la impulsión del climatizador de la zona de cafetería y vestíbulo, y una segunda válvula en el climatizador de la guardería.

En ambos casos se instalará la misma válvula, una CV 316 GG DN 32.

Estas válvulas deben ir acompañadas de una válvula de equilibrado de regulación manual que deben tener el mismo diámetro nominal que la válvula de tres vías. El modelo elegido para estas válvulas es el STAD DN 32.



Figura 4.7. Válvula CV 316GG DN 32 y válvula STAD DN 32 de IMI [16].



4.4.3.- Medición del sistema de regulación

En este apartado se recogen las mediciones del capítulo de climatización.

Unidades	Descripción	Medición
ud	TA-COMPACT-P 15	14
ud	TA-COMPACT-P 25	1
ud	TA-COMPACT-P 32	4
ud	TA-MODULATOR 40	6
ud	TA-MODULATOR 50	2
ud	CV 316 GG DN 32	2
ud	STAD DN 32	2
ud	Regulador de caudal VOLKOM 125 SCHAKO	7
ud	Regulador de caudal VARS 355 SCHACKO	1

Tabla 4.12. Mediciones de los equipos de regulación.



5.- CLIMATIZACIÓN DE LA PISCINA

En este apartado se calculará y diseñará la bomba que se ocupará de la climatización de la zona correspondiente a la piscina cubierta, ya que los conductos y tuberías necesarios se calcularon en los capítulos correspondientes.

5.1.- Descripción

El local cuenta con una piscina semiolímpica de 312,5 m² de superficie del vaso, con una profundidad media de 2 metros, situada en un local de 472,5 m² y una altura de 6 metros.

5.2.- Calculo energético de los vasos

Debido a la interacción prolongada que sufre el vaso de la piscina con el entorno, este sufre una serio de pérdidas energéticas que implican una disminución de la temperatura del agua del vaso. Estas pérdidas deben ser compensadas con la instalación térmica de la piscina y se pueden dividir en:

- Evaporación del agua del vaso.
- Calor radiado por las diferencias de temperatura.
- Convección entre agua y aire.
- Renovación del agua del vaso.
- Transmisión de calor del agua del vaso.

Antes de realizar el cálculo de las perdidas en el vaso de la piscina, necesitamos calcular la cantidad de agua evaporada para justificar la necesidad de deshumectación.

5.2.1.- Deshumectación

En una piscina, el chapoteo de los bañistas provoca que el contacto entre el agua y el aire se produzca en régimen turbulento, lo que favorece la evaporación del agua del vaso. En vista de esto podemos afirmar que dicha evaporación se incrementa en función del número de bañistas y de la intensidad de su actividad. También debe tenerse en cuenta la carga latente de los ocupantes y la humedad del aire ventilado, ya que ambos factores pueden suponer un incremento de la humedad absoluta del local y, por tanto, aumentar la necesidad de deshumectación. Por último, debe considerarse el confort de los bañistas.

- En vista de estas consideraciones, podremos fijar los siguientes objetivos.
- Mantener una temperatura y humedad adecuadas.
- Mantener la temperatura del vaso de la piscina en el valor idóneo.
- Garantizar una ventilación de aire mínima.
- Evitar la aparición de condensaciones en los diferentes cerramientos del local.



5.2.1.1.- Cálculo de la masa de agua evaporada

Para este cálculo usaremos la fórmula de Bernier, la cual se compone de la suma de dos términos.

- Evaporación del agua sin agitación.
- Evaporación del agua asociada a la actividad de los bañistas.

$$Me = S \cdot ((16 + 133 \cdot n) \cdot (We - Ga \cdot Was)) + 0.1 \cdot N$$

Dónde:

Me	Flujo másico de agua evaporada (kg/h)
S	Superficie del vaso de la piscina (m ²)
We	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina (kgagua/kgaire)
Was	Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior (kgagua/kgaire)
Ga	Grado de saturación
n	Número de ocupantes por m ² del vaso de la piscina
N	Número de espectadores

Según la formula, la masa de agua evaporada depende de la diferencia de la humedad absoluta del aire saturado, a temperatura del vaso, y la humedad absoluta del aire saturado a la temperatura ambiente. Por lo tanto, se puede afirmar que, a mayor temperatura del agua del vaso y menor temperatura del ambiente, mayor será la cantidad de agua evaporada.

Esto se debe a que cuanto mayor sea la temperatura del agua del vaso, mayor será su humedad absoluta en la saturación, y, por lo tanto, mayor será la evaporación. Por otro lado, si la temperatura del ambiente disminuye, o lo hace su humedad relativa, también aumentará la evaporación. Por tanto, resulta conveniente que la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente no sea muy notable.

Esta consideración ya viene reflejada en el RITE [4], el cual indica que la temperatura del ambiente en una piscina deber ser entre 1 y 2 grados mayor que la temperatura del vaso de dicha piscina, siendo como máximo 30 grados. De igual manera, indica que la humedad absoluta debe ser menor del 65%, con el fin de evitar condensaciones en los cerramientos. Y, por último, muestra la temperatura adecuada para el agua de la piscina en función de su tipo de uso, tal y como se puede ver en la siguiente tabla.



Competición	24 °C
Entrenamiento	26 °C
Enseñanza y recreo	25 °C
Disminuidos físicos	29 °C
Piscina infantil	30 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32 °C
Mujeres embarazadas	30 - 32 °C

Tabla 5.1. Temperatura del agua del vaso en función del uso de la piscina.

Para el spa objeto de estudio, la piscina viene designada como piscina semiolímpica de entrenamiento y enseñanza, dado que la temperatura correspondiente a un uso de entrenamiento resulta más restrictiva, se usará esa para los cálculos.

Por lo tanto, se tienen los siguientes datos de partida:

- Ocupantes en la piscina: 50
- Espectadores: 10
- Superficie del vaso: 312,5 m²
- Temperatura ambiente: 28 °C
- Temperatura del agua del vaso: 26 °C
- Humedad relativa: 65%

Conociendo las temperaturas del vaso y del ambiente, se puede obtener la humedad absoluta del aire saturado a través de la siguiente tabla.

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	0,024	0,0255	0,027

Tabla 5.2. Humedad del aire saturado.

Y, aplicando la fórmula de Bernier, se obtiene el siguiente resultado.

$$Me = 312,5 \cdot ((16 + 133 \cdot 0,16) \cdot (0,213 - 0,65 \cdot 0,24)) + 0,1 \cdot 20 = 68,405 \text{ kg/h}$$



5.2.2.- Pérdidas energéticas en el vaso de la piscina

Tal y como se mencionó anteriormente y con la cantidad de agua evaporada calculada, se puede proceder con el cálculo de las pérdidas en el vaso de la piscina, que se dividirán en:

- Pérdidas por evaporación del agua de los vasos.
- Pérdidas por radiación.
- Pérdidas por convección.
- Pérdidas por conducción.
- Pérdidas por renovación del agua del vaso.

5.2.2.1.- Pérdidas por evaporación

Para poder evaporarse, el agua absorbe calor, que absorbe del resto del agua que no cambia de fase, haciendo que se reduzca la temperatura del agua que queda en el vaso. Por lo tanto, cuanto mayor sea la cantidad de agua evaporada, mayor será la aportación de energía necesaria para mantener la temperatura del agua del vaso.

Las pérdidas por evaporación se pueden calcular según la siguiente fórmula.

$$Q_{eva} = M_e \cdot C_v$$

Donde,

C_v Calor latente de evaporación (626, 9 Wh/kg)

5.2.2.2.- Pérdidas por radiación

Estas pérdidas son las producidas entre los cerramientos que rodean el vaso y el agua de este. Para su cálculo sería necesario obtener los factores de forma de dichos cerramientos, pero dado que el caso de estudio se trata de una piscina cubierta, donde estas pérdidas suelen ser despreciables debido a que la temperatura de los cerramientos suele ser muy próxima a la del agua del vaso, se utilizará la fórmula estándar de la transmisión de calor por radiación.

$$Q_{RAD} = -S \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_v^4 + T_c^4)$$



Donde,

- S Superficie del vaso del agua (m²)
- σ Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴)
- ε Emisividad, 0,95 para el agua
- T_v Temperatura del agua del vaso (K)
- T_c Temperatura de los cerramientos (K)

5.2.2.3.- Pérdidas por convección

Las pérdidas por convección son las producidas entre el agua de vaso y el aire del ambiente, gracias al movimiento del fluido. Al igual que las pérdidas por radiación, cuando se trata de una piscina cubierta, estas pérdidas pueden considerarse despreciables debido que, tal como se explicó anteriormente, la temperatura del ambiente debe ser, por normativa, 1 o 2 grados superior a la del agua del vaso, además, al ser esta temperatura superior a la del agua, se pararía a hablar de ganancia en lugar de pérdida.

La ganancia obtenida por convección se calcula según las siguientes formulas.

$$Q_{conv} = h \cdot (T_a - T_v) \cdot S$$

$$h = 0,6246 \cdot (T_a - T_v)^{1/3}$$

Donde,

- T_a Temperatura del ambiente (°C)
- T_v Temperatura del agua del vaso (°C)
- S Superficie del vaso (m²)
- h Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²K)

5.2.2.4.- Pérdidas por conducción

Las pérdidas por conducción son las producidas por el contacto del agua con las paredes del vaso y dependen de las características de los elementos constructivos del mismo.

$$Q_{cond} = C_t \cdot S \cdot (T_v - T_{cex})$$

Donde,

- C_t Coeficiente de transmisión de los muros (W/m² °C)
- S Superficie del cerramiento del vaso (m²)
- T_v Temperatura del agua del vaso (°C)
- T_{cex} Temperatura en el exterior del cerramiento (°C)



Sabiendo que,

- El coeficiente de transmisión de los cerramientos de la piscina corresponde al de una base de hormigón con una capa de azulejos: $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- La superficie de cerramiento del vaso se calcula tomando la profundidad media del propio vaso, que este caso es de 2 metros, obteniendo así una superficie de $462,5 \text{ m}^2$.
- La temperatura en el exterior del cerramiento se supone aproximadamente igual a la temperatura de la superficie terrestre, que corresponde con una temperatura de $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.2.2.5.- Pérdidas por renovación del agua del vaso

Tal y como indica la normativa vigente, cada día ha de renovarse un 5% del volumen de agua de la piscina. Debido a esta renovación, se producen unas pérdidas térmicas importantes, que dependerán en mayor medida de la diferencia de temperatura entre el agua de la red y el agua del vaso. Estas pérdidas pueden calcularse a través de la siguiente expresión.

$$Q_{ren} = V_{ren} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \frac{(T_v - T_{red})}{24}$$

Donde,

V_{ren} Volumen de agua del vaso renovado (m^3)

ρ Densidad del agua (kg/m^3)

C_p Calor específico del agua ($\text{Wh/kg}^\circ\text{C}$)

T_{red} Temperatura del agua de red

Sabiendo que,

- El volumen de agua renovado de la piscina supone un 5% del total, que se calcula usando una profundidad media de 2 metros.
- La densidad del agua tiene toma valor de 1000 kg/m^3 , y el calor específico del agua es de $1,16 \text{ Wh/kg}^\circ\text{C}$.
- La temperatura del agua de red varía a lo largo de los meses del año. Para el cálculo se tomará el valor más restrictivo, es decir el mínimo, 9°C , obtenido del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura [17].



5.2.2.6.- Pérdidas energéticas en el vaso totales

Tras realizar los cálculos anteriormente descritos, se presenta en la siguiente tabla los resultados del cálculo de las pérdidas energéticas en el vaso de la piscina.

PÉRDIDAS ENERGETICAS EN EL VASO DE LA PISCINA (W)	
EVAPORACIÓN	41.629,29
RADIACIÓN	1.793,52
CONVECCIÓN	-491,84
CONDUCCIÓN	3.468,75
RENOVACIÓN	25.471,67
TOTAL	71.871,39

Tabla 5.3. Pérdidas energéticas del agua del vaso.

Estas pérdidas causan una disminución continua de la temperatura del agua de los vasos, por lo que es necesario diseñar una instalación térmica que aporte la energía necesaria para cubrir los casi 80 kW de pérdidas.

A continuación, se muestra una representación gráfica de las pérdidas donde puede observarse que las pérdidas más importantes son las de evaporación y renovación. Cabe mencionar que la situación estudiada representa, tal y como se indicó en los apartados anteriores, la situación más desfavorable.

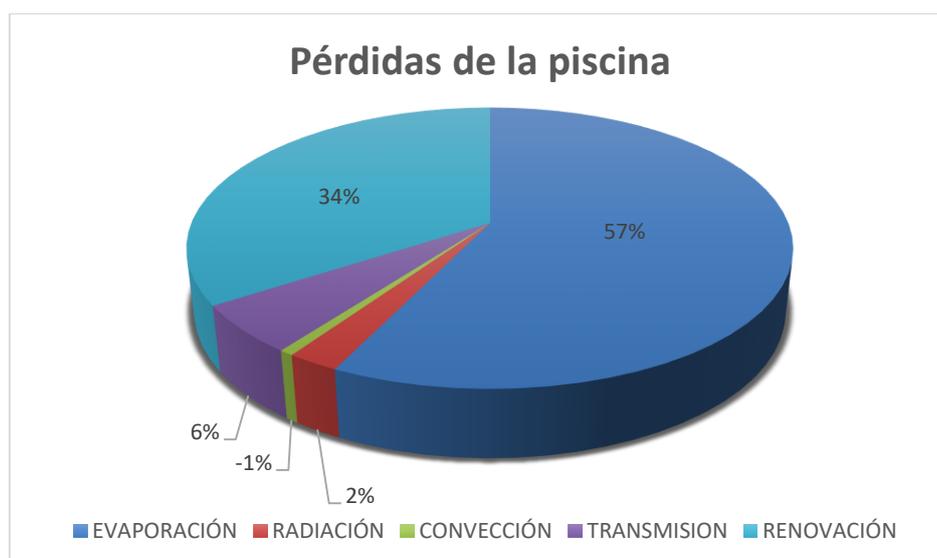


Figura 5.1. Distribución de las pérdidas en el agua del vaso.



5.2.3.- Pérdidas de los cerramientos exteriores

Estas pérdidas se calculan según el método descrito en el apartado 4.1.1, variando las condiciones en la zona estudiada para que sean de 28 °C y 65% HR, obteniéndose así una carga térmica de calefacción de 66,48 kW.

5.2.4.- Puesta en régimen de la piscina

Además de las pérdidas encontradas en los vasos de la piscina, es necesario considerar la potencia necesaria para llenar el vaso de la piscina, es decir, para llevar la temperatura del agua del vaso hasta su temperatura adecuada (26 °C). Esta potencia suele ser mayor a la de las pérdidas, por lo que resulta más importante en el diseño de los equipos de generación térmica.

Para el cálculo de la potencia de puesta en régimen se puede utilizar la siguiente fórmula.

$$Q_{reg} = V \cdot \rho \cdot C_e \cdot \frac{(T_v - T_{red})}{t}$$

Donde,

V	Volumen del vaso de la piscina (m ³)
ρ	Densidad del agua (kg/m ³)
Cp	Calor específico del agua (Wh/kg°C)
Tv	Temperatura del agua del vaso (°C)
Tred	Temperatura del agua de red (°C)
t	Tiempo de puesta en régimen (h)

Sabiendo que,

- Al igual que en apartados anteriores, la densidad y el calor específico del agua son de 1000 kg/m³ y 1,16 Wh/kg°C respectivamente.
- En este caso se utilizará la temperatura media de la red en lugar de la más desfavorable, ya que resulta más común que las piscinas se llenen en el mes de septiembre, por lo que la temperatura de red tiene un valor de 10 °C.
- El tiempo de puesta en régimen debe ser adecuado para poder llenar la piscina rápidamente si se diera el caso, pero sin que eso implique una potencia excesiva. En este caso se ha estipulado un tiempo de puesta en régimen de 4 días.



Aplicando las formula anterior, obtenemos la siguiente potencia de puesta en régimen.

$$Q_{reg} = (312,5 \cdot 2)m^3 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,16 \frac{Wh}{kg^{\circ}C} \cdot \frac{(26 - 9)^{\circ}C}{96 h} \cdot 1000 = 128,39 kW$$

Esta potencia será la que limite la potencia máxima del equipo térmico que deba dar servicio a la deshumectadora.

5.3.- Ventilación

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, en la IT 1.1.4.2.3 del RITE [4] indica que, para una piscina cubierta, su ventilación será de 2,5 dm³/s por metro cuadrado de superficie de lámina de agua y de la playa, añadiéndole a este caudal el necesario para controlar la humedad relativa y manteniendo una depresión de entre 20 y 40 Pa con los locales circundantes. Obteniendo así un caudal mínimo de 4.253 m³/h.

De igual manera se deben tener en cuenta los espectadores, monitores y socorristas que pudieran estar en la playa de la piscina, como ya se mostró en apartados anteriores, añadiendo 900 m³/h al caudal anterior.

Además, la normativa indica que debe colocarse un recuperador de calor y que deben realizarse de 3 a 8 renovaciones del aire interior por hora.

Por lo tanto, se ha decidido que se realizarán 3 renovaciones por hora lo que resultará en un caudal de aproximadamente 8.600 m³/h, que será el caudal mínimo que permite renovar el volumen del recinto de la piscina 3 veces en una hora.

5.4.- Selección de equipos

En este apartado, y con los datos previamente calculados se procederá a seleccionar los equipos necesarios para el tratamiento del aire en la piscina climatizada.

5.4.1.- Deshumectadora

Para el tratamiento del aire en la piscina climatizada se hay decido instalar una bomba deshumectadora, que realizará las siguientes funciones:

- Extracción del aire húmedo del recinto de la piscina.
- Filtrado del aire.
- Eliminación de parte de la humedad del aire.
- Precaentamiento del agua del vaso con el calor extraído en la deshumectación.
- Impulsión del aire atemperado al interior del local.



Las bombas deshumectadoras funcionan a través de la condensación, el aire húmedo aspirado desde la piscina por el ventilador de retorno pasa a través del evaporador, donde es enfriado hasta una temperatura inferior a la temperatura de rocío, es este proceso, la humedad del aire se condensa, y el agua producto de esa transformación se recoge en una bandeja, llamada bandeja de condensación. El ahora, ahora seco y frío se hace pasar por una batería de condensación donde se vuelve a calentar y es enviado de nuevo al recinto de la piscina.

Este aire estará a una temperatura superior a la de entrada de modo que irá calentando el ambiente en el recinto de la piscina. Por lo tanto, es necesario, no solo controlar la humedad, sino también la temperatura y la pureza del aire.

El calor sobrante de la operación de deshumectación es aprovechado para, junto con otras fuentes de calor, calentar el agua del vaso de la piscina.

Las bombas deshumectadoras más actuales, como la que se elegirá para esta instalación, cuenta con un sistema de control avanzado, que les permite conocer las necesidades de renovación del aire del local y así también realizar funciones de ventilación. Gracias a este sistema de control, la deshumectadora, puede trabajar de dos formas diferentes:

- A modo de circuito de deshumectación cerrado, cuando no se requiere ventilación, se deshumectará el aire interior y se volverá a impulsar al recinto.

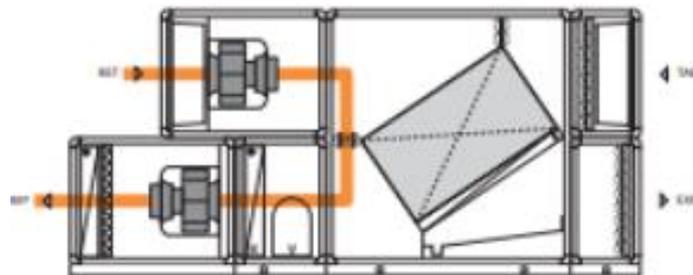


Figura 5.2. Deshumectadora funcionando en modo de circuito cerrado.

- A modo de circuito abierto, cuando se requiera ventilación, introduciendo aire exterior, mezclándolo con el interior.

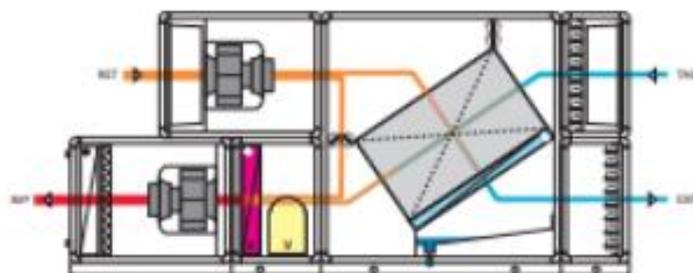


Figura 5.3. Deshumectadora introduciendo aire exterior.



Cuando la deshumectadora introduce al recinto aire exterior, parte de las necesidades de deshumectación se suplen al mezclar el aire interior con el introducido.

Por ello los cálculos para las necesidades de deshumectación se ha realizado suponiendo un funcionamiento en circuito de deshumectación cerrado, ya que es el caso más restrictivo.

En la siguiente figura se muestra un esquema de funcionamiento de una bomba deshumectadora.

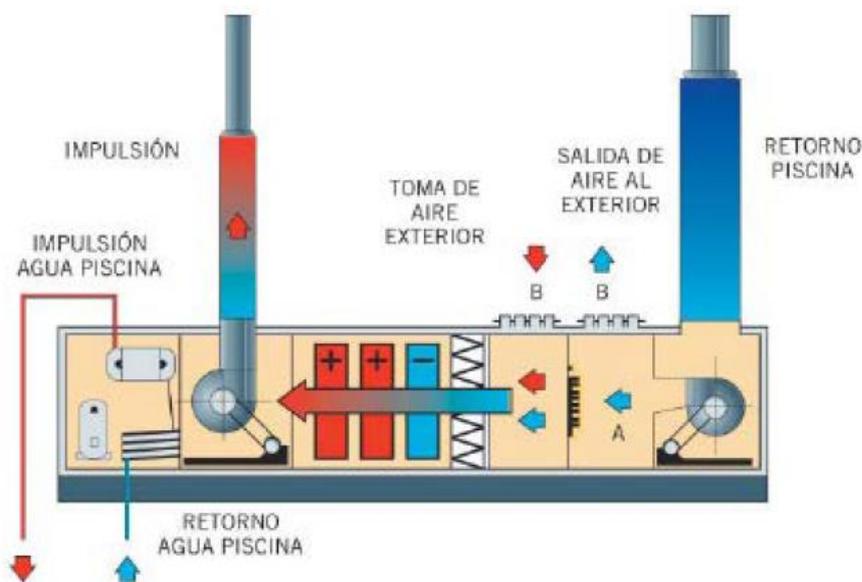


Figura 5.4. Esquema descriptivo de una bomba deshumectadora.

Para la selección de una bomba deshumectadora es necesario calcular previamente la potencia necesaria para la deshumectación. Para realizar dichos cálculos se parte de los siguientes datos:

- Caudal de aire: 11.500 m³/h
- Necesidad de deshumectación: 68,405 kg/h
- Entrada de aire a la bomba (1): 28 °C y 65% HR
 - $w_1 = 15,5$ g agua/ kg aire
 - $h_1 = 67,5$ kJ/kg aire
 - $\rho_1 = 1,143$ kg/ m³
- Salida de aire teórica de la bomba (2): 2 °C y 100% HR

Partiendo de estos datos se obtiene la humedad real a la salida de la bomba (3):

$$w_3 = w_1 - \frac{Ma \cdot 1000}{Q \cdot \rho_1} = 15,5 - \frac{68,405 \cdot 1000}{8.600 \cdot 1,143} = 8,54 \frac{\text{g agua}}{\text{kg aire}}$$



Utilizando un diagrama psicrométrico se une con una recta el punto 1 y el 2 y se dibuja una horizontal a la humedad del punto 3 hasta que corte la línea que une 1-2, ese punto se corresponde con las condiciones del aire a la salida de la bomba.

- Salida real de la bomba (3): 8,5 °C y 100% HR
 - $w_3 = 8,54$ g agua/ kg aire
 - $h_3 = 33,5$ kJ/kg aire

Por último, se calcula la potencia frigorífica:

$$P_F = \frac{Q \cdot \rho_1}{3600} \cdot (h_1 - h_3) = \frac{8.600 \cdot 1,143}{3600} \cdot (67,5 - 33,5) = 92,84 \text{ kW}$$

Análogamente, se calcula la potencia requerida para calentar el aire deshumectado hasta la temperatura de impulsión:

- Aire de salida calentado (4): 28 °C y 35% HR
 - $w_4 = 8,54$ g agua/ kg aire
 - $h_4 = 50$ kJ/kg aire

$$P_C = \frac{Q \cdot \rho_1}{3600} \cdot (h_4 - h_3) = \frac{8.600 \cdot 1,143}{3600} \cdot (50 - 33,5) = 45,05 \text{ kW}$$

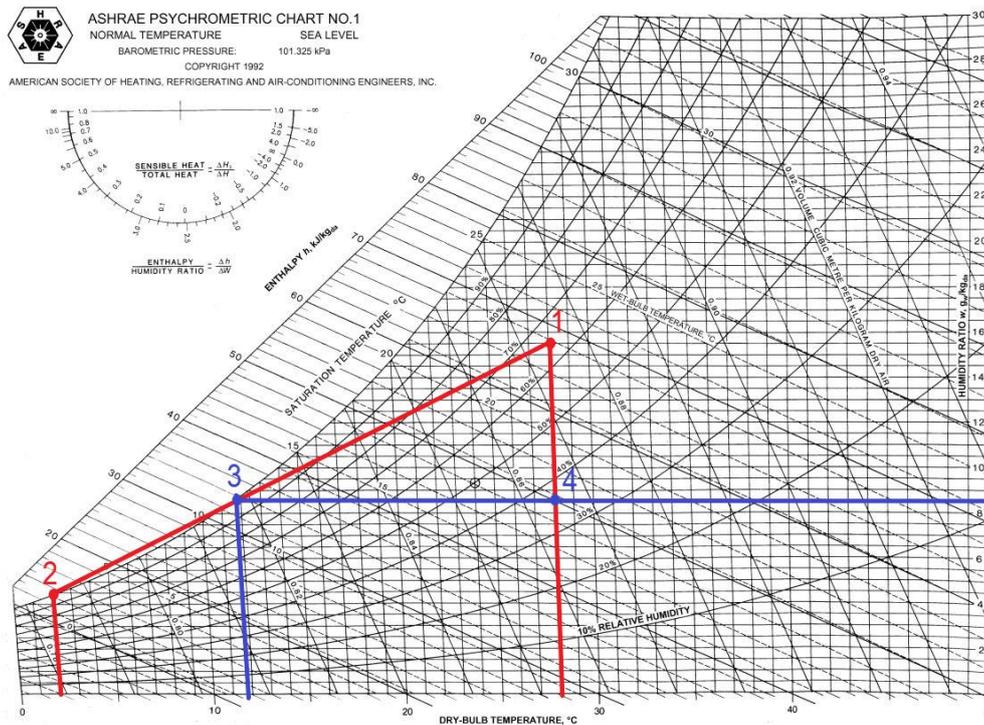


Figura 5.5. Diagrama psicrométrico.



Por lo tanto, la deshumectadora aportará una potencia frigorífica de 92,84 kW para poder deshumectar los 68,405 kg/h requeridos, y será necesario aportar una potencia calorífica de 74 kW para mantener el agua del vaso a la temperatura adecuada, y una potencia calorífica de 45,05 kW para calentar el aire hasta la temperatura de impulsión.

Con estos datos ya se puede proceder a la elección de la bomba deshumectadora. Para el caso estudiado se ha escogido un equipo del fabricante RHOSS, distribuido por SEDICAL, modelo DTESY 294 NEXT AIR [18].



Figura 5.6. Bomba deshumectadora.

De igual manera se puede obtener la potencia de condensación sobrante que sería aprovechable para calentar el agua del vaso. Para ello será necesario conocer el COP de la bomba deshumectadora y calcular la potencia de condensación de la misma, a través de la siguiente expresión.

$$P_{COND} = \frac{COP}{COP - 1} \cdot P_F = \frac{4,87}{4,87 - 1} \cdot 92,84 = 116,83 \text{ kW}$$

Parte de la potencia obtenida de la condensación se usará en volver a calentar a la temperatura del recinto (P_C), mientras que la sobrante será la que se podrá aprovechar para el calentamiento del agua del vaso (P_{APRO}).

$$P_{APRO} = P_{COND} - P_C = 116,83 - 45,05 = 71,78 \text{ kW}$$

Por lo que la bomba deshumectadora proporcionará 72 kW que se usarán para calentar el agua del vaso de la piscina, compensando la totalidad las pérdidas producidas en él.



Con todos estos datos conocidos solo restaría calcular los ahorros energéticos producidos por el aprovechamiento de la energía obtenida de la deshumectadora.

Para ello es necesario conocer el consumo de energía para el calentamiento de ACS y la energía necesaria para compensar las pérdidas del agua del vaso de la piscina.

- El consumo energético del ACS será de aproximadamente 222.600 kWh anuales, tal y como se justificará en capítulos posteriores.
- Las pérdidas en la piscina suponen 72 kW, estimando un funcionamiento medio de 10 horas al día, los 365 días del año se obtienen:

$$E_{PV} = 72 \text{ kW} \cdot 10 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 262.800 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, el ahorro energético producido por la deshumectadora sobre el total de la energía destinada al calentamiento del ACS es de:

$$\% \text{Ahorro deshumec} = \frac{262.800}{262.800 + 222.600} \cdot 100 = 54,14 \%$$

Este porcentaje, junto con el que aportará la instalación solar térmica que se calculará en el capítulo 8, será suficiente para cumplir la condición de que el 70% de la energía destinada a ACS sea de origen renovable.



6.- AGUA CALIENTE SANITARIA

Para el cálculo del suministro de agua caliente sanitaria, y de las necesidades energéticas del mismo se han obtenido los valores pertinentes del Código técnico de Edificación (CTE) en su documento básico DB HS [19].

La instalación a realizar cuenta con dos vestuarios de gran tamaño, así como varios aseos en la zona de cafetería y guardería, además de dos lavabos en la sala de socorro de los socorristas. En total se tiene:

- 27 lavabos.
- 40 duchas.
- 28 inodoros con cisterna.
- 7 urinarios con presto.

A la hora de realizar una instalación de ACS, es de vital importancia tener en cuenta la legionela. Esta bacteria se halla en medios acuáticos y cuenta con una alta supervivencia, siendo su hábitat ideal agua con temperaturas entre los 25 y 45 °C. Para eliminarla es necesario elevar la temperatura del agua a los 70 °C, por lo que es de vital importancia que se cumplan las siguientes directrices.

- Los depósitos de acumulación deben poder elevar su temperatura a 70 °C para su desinfección.
- De igual manera, la red de tuberías de ACS debe permitir circular por su interior agua a 70 °C.
- La temperatura en el punto más alejado de la red no puede ser menos de 50 °C.

6.1.- Cálculo y diseño de la instalación

En este subapartado se procede a calcular y diseñar la instalación de agua caliente sanitaria.

6.1.1.- Cálculo de caudales instantáneos

Los caudales instantáneos son el sumatorio de los caudales de todos los aparatos de la instalación, multiplicados por un coeficiente de simultaneidad que se obtiene del documento básico de salubridad, en su sección HE 4: Suministro de agua [19].



Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría	Caudal instantáneo mínimo de ACS
	[dm ³ /s]	[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	-

Tabla 6.1. Caudal instantáneo mínimo de agua fría según tipo de aparato [19].

$$Q_c = n^\circ \text{ duchas} \cdot 0,1 + n^\circ \text{ lavabos} \cdot 0,065 = 40 \cdot 0,1 + 27 \cdot 0,065 = 5,755 \text{ l/s}$$

Con estos datos, y aplicando la siguiente formula, obtenemos el caudal simultaneo.

$$Q_c = A \cdot Q_t^B + C$$

Donde,

Q_t Caudal total (l/s)

A, B y C Coeficientes recogidos en la tabla 6.2

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q_s	Q_t	A	B	C
Escuelas, polideportivos	→ Sin límite	≤1,5	1,000	1,000	0,000
		≤20	4,400	0,270	-3,410
		>20	-22,500	-0,500	11,500

Tabla 6.2. Coeficientes para el cálculo del caudal simultaneo [20].

Aplicando la formula anterior se obtienen los siguientes resultados.

$$Q_c = 4,40 \cdot 5,755^{0,27} - 3,41 = 3,648 \text{ l/s}$$



6.1.2.- Cálculo de consumos

Para calcular el consumo de ACS a 60 °C se debe utilizar los datos encontrados en una tabla del anejo F del documento básico HE4: Ahorro de energía del CTE [1], donde se muestra el consumo diario por persona en función del criterio de demanda.

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

Tabla 6.3. Demanda de ACS según uso de edificio [1].

En el caso estudiado se trataría del criterio de demanda Vestuarios/Duchas colectivas y Gimnasio, ambos con un caudal de 21 litros/día persona.

Además, para poder estimar el consumo, es necesario conocer la afluencia del local. Dado que es un local de nueva construcción, se tomará como referencia, locales de características similares en localizaciones cercanas, obteniendo así una afluencia estimada de 500 personas al día.

Con los datos aportados se obtiene un consumo de ACS a 60 °C de 10.500 litros al día. Además, habría que considerar que los usuarios no usarán el ACS a una temperatura tan elevada, sino que se estima que se usará a una temperatura media de 40 °C, con eso y con la temperatura mínima del agua de red, se puede calcular el consumo a la nueva temperatura.

$$D_{40^{\circ}\text{C}} = \frac{D_{60^{\circ}\text{C}} \cdot (60 - T_{\text{AFCH}})}{38 - T_{\text{AFCH}}}$$



Donde,

$D_{60^{\circ}\text{C}}$ Consumo de ACS a 60°C (l/día)

$D_{40^{\circ}\text{C}}$ Consumo de ACS a 40°C (l/día)

T_{AFCH} Temperatura mínima del agua de red (9°C)

Aplicando la formula anterior se obtiene:

$$D_{40^{\circ}\text{C}} = \frac{10.500 \text{ l/día} \cdot (60^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C})}{40^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C}} = 17.274 \text{ l/día}$$

La energía demanda para el calentamiento del ACS en los supuestos anteriores se calcula según las siguientes formulas.

$$E_{60^{\circ}\text{C}} = D_{60^{\circ}\text{C}} \cdot (60 - T_{\text{AFCH}}) \cdot C_p$$

Donde,

C_p Calor específico del agua ($1,16 \text{ Wh/kg}^{\circ}\text{C}$)

$D_{60^{\circ}\text{C}}$ Consumo de ACS a 60°C (l/día)

T_{AFCH} Temperatura mínima del agua de red (9°C)

Aplicando la anterior formula con los datos conocidos se obtiene:

$$E_{60^{\circ}\text{C}} = \frac{10.500 \text{ l/día} \cdot (60 - 9)^{\circ}\text{C} \cdot 1,16 \text{ Wh/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{l}}{1000} = 621,18 \text{ kWh/día}$$

De igual manera la energía necesaria para suplir el consumo a una temperatura inferior será la misma ya que el ACS se producirá a 60°C y se mezclará con agua de red para obtener la temperatura de consumo buscada.

$$E_{40^{\circ}\text{C}} = \frac{17.274 \text{ l/día} \cdot (40 - 9)^{\circ}\text{C} \cdot 1,16 \text{ Wh/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{l}}{1000} = 621,18 \text{ kWh/día}$$



6.1.3.- Acumulación

Para la instalación también se diseñará un sistema de acumulación capaz de cubrir la demanda en hora punta. Es necesario que el sistema diseñado cumpla con las condiciones de funcionamiento estipuladas, ya mencionadas anteriormente.

- Temperatura de agua acumulada de al menos 60 °C.
- Temperatura del agua en el punto más alejado de la red de al menos 50 °C.
- Capacidad de aumentar la temperatura por encima de los 70 °C para su desinfección.

En el diseño de este sistema, es necesario considerar que la energía aportada por el sistema ha de ser la misma que la consumida en hora punta. La potencia a instalar se puede calcular con la siguiente expresión.

$$P_{\text{CALDERAS}} = [Q_{\text{PUNTA}} \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AFCH}}) - V_{\text{ACUMULACION}} \cdot (T_{\text{ACUMULACION}} - T_{\text{AFCH}}) \cdot F_{\text{USO ACUMULACION}}] \cdot \frac{1,16}{\eta_{\text{PRDACS}}}$$

Donde,

Q_{PUNTA}	Consumo en hora punta
T_{ACS}	Temperatura de uso del ACS (°C)
T_{AFCH}	Temperatura del agua de red (°C)
$V_{\text{ACUMULACION}}$	Volumen total de acumulación (l)
$F_{\text{USO ACUMULACION}}$	Factor de uso del volumen acumulado
η_{PRDACS}	Rendimiento de producción de ACS

Antes de aplicar la fórmula es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones.

- En polideportivos, el consumo en hora punta se estima un 30% del consumo diario, 3150 l/día.
- La temperatura de red mínima en la zona del local es de 9 °C.
- La temperatura de acumulación será de 70 °C, aunque su temperatura de uso sea de 60 °C, para poder desinfectarse, como ya se mencionó en apartados anteriores.
- El rendimiento de producción de ACS tiene en cuenta las pérdidas por acumulación, intercambio, recirculación y distribución. Se estima entorno al 80%.
- El factor de uso del volumen acumulado tiene en cuenta el volumen del depósito no utilizable donde la temperatura es menor a la de uso por mezclas de agua fría y caliente. Este factor se calcula según la siguiente expresión.

$$F_{\text{USO ACUMULACION}} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{H}{D}$$



Donde,

H Altura de depósito (m)

D Diámetro del depósito (m)

- Además, debe considerarse que los depósitos se conectan en serie solo se aplica este factor a uno, mientras que si se conectan en paralelo es necesario aplicarlo a todos.

Una vez detalladas estas consideraciones se debe realizar los cálculos para diferentes porcentajes de acumulación y considerar cuál de ellos se adecua más al caso estudiado.

Si se diera el caso de tener que instalar más de un depósito, estos se conectarían en serie, ya que así se reduce la zona de mezcla y se aprovecha en mayor medida la estratificación, a pesar de que se obtendrán conexiones más complejas y una pérdida de carga mayor.

A continuación, se realizarán una serie de cálculos, donde se variará el porcentaje de acumulación para poder escoger la opción que más se adapte a las condiciones de la instalación.

Porcentaje de acumulación	50%	80%	100%
CAPACIDAD DE ACUMULACION	1575	2520	3150
ALTURA DEL DEPOSITO (D)	1,83	2,305	2,7
DIAMETRO DEL DEPOSITO (H)	1,36	1,66	1,3
VOLUMEN DEPOSITO	1500	2500	3500
F USO ACUMULACION	0,818	0,824	0,921
P CALDERAS	124.364	50.648	-52.105
T CALENTAMIENTO	1,04	4,24	-5,16
T CALENTAMIENTO REAL	1,04	2,00	2,00
P CALDERAS RECALCULADA	-	110.563	154.788

Tabla 6.4. Cálculo de la acumulación de ACS.



Tal y como puede verse en la tabla obtenemos dos supuestos que no pueden aplicarse a la realidad. Con una acumulación del 80% obtenemos un tiempo de calentamiento de más de 4 horas, lo que resulta inviable en la práctica, por lo que se asigna un tiempo de calentamiento de 2 horas y se recalcula la potencia.

De igual manera, con una acumulación del 100% obtenemos un tiempo de calentamiento y una potencia negativos, cosa imposible de aplicar a la realidad, así que de nuevo se asigna un tiempo de calentamiento de 2 horas y se recalcula la potencia.

En vista de los resultados, se puede afirmar que una acumulación de un 80% resulta ser el más adecuado de los casos, obteniendo una potencia de calderas de 110 kW con un tiempo de calentamiento de 2 horas y un depósito de acumulación de 2.500 litros.

Cabe mencionar que para el cálculo de la potencia se ha usado la temperatura de red del mas más desfavorable de todo el año, lo que quiere decir que el resto del año la instalación cumplirá sobradamente los requisitos.

6.1.3.1.- Depósito de acumulación.

El depósito elegido es un MXV2500 con serpentín del fabricante LAPESA [21] con capacidad para 2.500 litros. Este depósito permite el calentamiento del agua hasta 90 °C, más que suficiente para evitar la legionela, además es capaz de soportar hasta 8 bares de presión.



Figura 6.1. Deposito Lapesa [21].



6.2.- Instalación

En este apartado se diseñará la instalación de ACS y AFS, mostrando la disposición de esta, calculando los diámetros de tubería necesarios y los demás elementos de importancia.

6.2.1.- Distribución

El ACS se generará en la cubierta del edificio, ya sea a través de las bombas de calor o de la instalación solar que se propondrá más adelante.

En la instalación propuesta, la distribución se produce en su totalidad por el centro del edificio, donde se sitúan todos los vestuarios, baños y aseos. Tal y como puede verse en el Plano de la instalación de ACS del Anexo 2: “Planos”.

Para esta instalación se han elegido tuberías de polipropileno PPR del fabricante ABN modelo INSTAL CT FASER RD [22].



Figura 6.2. Detalle de las tuberías [22].

6.2.2.- Cálculo de tuberías

El proceso de cálculo del diámetro de las tuberías es el siguiente:

- Desde el punto más alejado de la instalación se sigue la tubería y se van contando los elementos en cada tramo a los que es necesarios suministrar ACS, AFS o las dos.
- Una vez conocidos los elementos de los diferentes tramos se calcula el caudal instantáneo total de cada tramo, según los coeficientes vistos en la 6.2.
- Tras esto se calcula el coeficiente de simultaneidad K, para cada tramo, que nunca podrá ser menor del 20%, según la siguiente formula:

$$K = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

Dónde,



n Número de aparatos por tramo.

- Con el coeficiente K y el caudal total se obtiene el caudal simultaneo de cada tramo.

$$Q_e = K \cdot Q_t$$

- Una vez conocido el caudal simultaneo de cada tramo se supone una velocidad (en torno a 1 m/s), que permitirá calcular una estimación de la sección (S_n) y el diámetro interior necesarios (\varnothing_{int}).

$$S_{n_e} = \frac{Q_e}{V} \qquad \varnothing_{int_e} = 2 \sqrt{\frac{S_{n_e}}{\pi}}$$

- Con el diámetro interior estimado se selecciona el diámetro nominal de tubería inmediatamente superior de entre los valores proporcionados por el fabricante.

GAMA DE PRODUCTO				
CÓDIGO	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR (mm)	Serie/SDR	LONGITUD (m)
DOCTF32020000	20	2.8	3.2/7.4	4,0
DOCTF32025000	25	3.5	3.2/7.4	4,0
DOCTF32032000	32	4.4	3.2/7.4	4,0
DOCTF50040000	40	3.7	5/11	4,0
DOCTF50050000	50	4.6	5/11	4,0
DOCTF50063000	63	5.8	5/11	4,0
DOCTF50075000	75	6.8	5/11	4,0
DOCTF50090000	90	8.2	5/11	4,0
DOCTF50110000	110	10.0	5/11	4,0
DOCTF50125000	125	11.4	5/11	5,8
DOCTF50160000	160	14.6	5/11	5,8
DOCTF50200000	200	18.2	5/11	5,8
DOCTF50250000	250	22.7	5/11	5,8
DOCTF50315000	315	28.6	5/11	5,8
DOCTF50400000	400	36.3	5/11	5,8
DOCTF80075000	75	4.5	8/17	5,8
DOCTF80090000	90	5.4	8/17	5,8
DOCTF80110000	110	6.6	8/17	5,8
DOCTF80125000	125	7.4	8/17	5,8
DOCTF80160000	160	9.5	8/17	5,8
DOCTF80200000	200	11.9	8/17	5,8
DOCTF80250000	250	14.8	8/17	5,8
DOCTF80315000	315	18.7	8/17	5,8
DOCTF80400000	400	23.7	8/17	5,8
DOCTF80500000	500	29.7	8/17	5,8

*Longitudes de tubo bajo demanda: barras hasta 13 m

Figura 6.3. Diámetros nominales proporcionados por el fabricante [22].

- Una vez seleccionado el diámetro nominal, y con el espesor también el interior real, haciendo el proceso contrario al antes descrito, se recalcula la sección necesaria y la velocidad real.

$$\varnothing_{int_r} = DN - 2e \qquad S_{n_r} = \frac{\pi \cdot \varnothing_{int_r}^2}{4} \qquad V_r = \frac{Q_e}{S_{n_r}}$$



A continuación, se muestra unas tablas en la que se han realizado todos los cálculos antes descritos para cada uno de los diferentes tramos de la instalación, tanto para ACS como para AFS.

ACS	Lavabo	Ducha	N Número de elementos	Qt Caudal total (l/s)	K Coeficiente de simultaneidad	Qe Caudal estimado (l/s)	Qe Caudal estimado (m3/s)	Ve Velocidad estimada (m/s)	Sn Sección necesaria (m2)	Ø int n Diámetro interior necesario (mm)	DN Diámetro nominal (mm)	Ø int r Diámetro interior real (mm)	Sr Sección real (m2)	Vr Velocidad real (m/s)
P-R	2	0	2	0,13	100%	0,13	0,00013	1,00	0,000130	13	20	14,4	0,0002	0,80
P-Q	1	0	3	0,195	71%	0,14	0,00014	1,00	0,000138	13	20	14,4	0,0002	0,85
N-P	1	0	4	0,26	58%	0,15	0,00015	1,00	0,000150	14	20	14,4	0,0002	0,92
N-O	6	0	10	0,65	33%	0,22	0,00022	1,00	0,000217	17	25	18	0,0003	0,85
H-N	3	4	17	1,245	25%	0,31	0,00031	1,00	0,000311	20	32	23,2	0,0004	0,74
H-I	0	0	17	1,245	25%	0,31	0,00031	1,00	0,000311	20	32	23,2	0,0004	0,74
I-J	6	0	23	1,635	21%	0,35	0,00035	1,00	0,000349	21	32	23,2	0,0004	0,82
I-K	1	0	24	1,7	21%	0,35	0,00035	1,00	0,000354	21	32	23,2	0,0004	0,84
K-L	0	0	24	1,7	21%	0,35	0,00035	1,00	0,000354	21	32	23,2	0,0004	0,84
K-M	2	0	26	1,83	20%	0,37	0,00037	1,00	0,000366	22	32	23,2	0,0004	0,87
D-H	3	0	29	2,025	20%	0,41	0,00041	1,00	0,000405	23	32	23,2	0,0004	0,96
D-E	0	0	29	2,025	20%	0,41	0,00041	1,00	0,000405	23	32	23,2	0,0004	0,96
E-G	0	7	36	2,725	20%	0,55	0,00055	1,00	0,000545	26	40	29	0,0007	0,83
E-F	2	6	44	3,455	20%	0,69	0,00069	1,00	0,000691	30	50	36,2	0,0010	0,67
B-D	0	10	54	4,455	20%	0,89	0,00089	1,00	0,000891	34	50	36,2	0,0010	0,87
B-C	0	7	61	5,155	20%	1,03	0,00103	1,00	0,001031	36	50	36,2	0,0010	1,00
A-B	0	6	67	5,755	20%	1,15	0,00115	1,00	0,001151	38	63	45,8	0,0016	0,70

Tabla 6.5. Cálculo del diámetro nominal de las tuberías de ACS.



AFS	Lavabo	Inodoro	Ducha	Uirinario	N Número de elementos	Qt Caudal total (l/s)	K Coeficiente de simultaneidad	Qe Caudal estimado (l/s)	Qe Caudal estimado (m3/s)	Ve Velocidad estimada (m/s)	Sn Sección necesaria (m2)	Ø int n Diámetro interior necesario (mm)	DN Diámetro nominal (mm)	Ø int r Diámetro interior real (mm)	Sr Sección real (m2)	Vr Velocidad real (m/s)
P-R	2	1	0	0	3	0,3	100%	0,30	0,0003	1,00	0,000300	20	32	26,2	0,0005	0,56
P-Q	1	11	0	1	16	1,7	26%	0,44	0,0004	1,00	0,000439	24	32	26,2	0,0005	0,81
N-P	1	0	0	0	17	1,8	25%	0,45	0,0005	1,00	0,000450	24	32	26,2	0,0005	0,83
N-O	6	0	0	6	29	3,6	20%	0,72	0,0007	1,00	0,000720	30	50	36,2	0,0010	0,70
H-N	3	6	4	0	42	5,3	20%	1,06	0,0011	1,00	0,001060	37	63	45,8	0,0016	0,64
H-I	0	0	0	0	42	5,3	20%	1,06	0,0011	1,00	0,001060	37	63	45,8	0,0016	0,64
I-J	6	0	0	0	48	5,9	20%	1,18	0,0012	1,00	0,001180	39	63	45,8	0,0016	0,72
I-K	1	5	0	0	54	6,5	20%	1,30	0,0013	1,00	0,001300	41	63	45,8	0,0016	0,79
K-L	0	3	0	0	57	6,8	20%	1,36	0,0014	1,00	0,001360	42	63	45,8	0,0016	0,83
K-M	2	2	0	0	61	7,2	20%	1,44	0,0014	1,00	0,001440	43	63	45,8	0,0016	0,87
D-H	3	0	0	0	64	7,5	20%	1,50	0,0015	1,00	0,001500	44	63	45,8	0,0016	0,91
D-E	0	0	0	0	64	7,5	20%	1,50	0,0015	1,00	0,001500	44	63	45,8	0,0016	0,91
E-G	0	0	7	0	71	8,9	20%	1,78	0,0018	1,00	0,001780	48	75	54,4	0,0023	0,77
E-F	2	0	6	0	79	10,3	20%	2,06	0,0021	1,00	0,002060	51	75	54,4	0,0023	0,89
B-D	0	0	10	0	89	12,3	20%	2,46	0,0025	1,00	0,002460	56	90	65,4	0,0034	0,73
B-C	0	0	7	0	96	13,7	20%	2,74	0,0027	1,00	0,002740	59	90	65,4	0,0034	0,82
A-B	0	0	6	0	102	14,9	20%	2,98	0,0030	1,00	0,002980	62	90	65,4	0,0034	0,89

Tabla 6.6.Cálculo del diámetro nominal de las tuberías de AFS

6.2.3.- Pérdidas de carga en tuberías

Una vez conocido el diámetro nominal de las tuberías para todos los tramos de la instalación es necesario calcular las pérdidas de carga por rozamiento que se producirán en esos tramos.

Para calcular estas pérdidas de carga se usará la fórmula de Hazen-Williams [23].

$$hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \frac{L}{D^{4,87}}$$

Dónde,

- Q Caudal simultaneo en el tramo estudiado (m³/s)
- C Coeficiente de fricción de Hazen-Williams (150 para PPR)
- D Diámetro interior de la tubería (m)
- L Longitud del tramo (m)

Además, se supone que los accesorios implican un 25% más de pérdida de carga.

ACS	Qe Caudal (m ³ /s)	Ø int r Diámetro interior real (mm)	L Longitud (m)	Acc Accesorios (%)	C Constante PPR	Pc/m Pérdida de carga por m (m.c.a/m)	Pct Pérdida de carga de la tubería (m.c.a)	PcT Pérdida de carga total (m.c.a)
P-R	0,00013	14,4	4,44	25	150	0,059	0,261	0,327
P-Q	0,00014	14,4	4,15	25	150	0,066	0,272	0,341
N-P	0,00015	14,4	3,48	25	150	0,077	0,267	0,334
N-O	0,00022	18	8,51	25	150	0,051	0,435	0,544
H-N	0,00031	23,2	20,42	25	150	0,029	0,593	0,742
H-I	0,00031	23,2	2,42	25	150	0,029	0,070	0,088
I-J	0,00035	23,2	8,78	25	150	0,036	0,315	0,393
I-K	0,00035	23,2	11,04	25	150	0,037	0,408	0,510
K-L	0,00035	23,2	0	25	150	0,037	0,000	0,000
K-M	0,00037	23,2	7,11	25	150	0,039	0,279	0,349
D-H	0,00041	23,2	14,24	25	150	0,047	0,674	0,842
D-E	0,00041	23,2	1,91	25	150	0,047	0,090	0,113
E-G	0,00055	29	9,35	25	150	0,028	0,259	0,323
E-F	0,00069	36,2	17,11	25	150	0,015	0,250	0,312
B-D	0,00089	36,2	18,03	25	150	0,023	0,421	0,526
B-C	0,00103	36,2	9,2	25	150	0,031	0,281	0,352
A-B	0,00115	45,8	13,29	25	150	0,012	0,159	0,198
GENERAL ACS	0,00115	-	153,48	25	150	0,005	0,765	6,295

Tabla 6.7. Cálculo de las pérdidas de carga en el circuito de ACS.

AFS	Qe Caudal (m3/s)	Ø int r Diámetro interior real (mm)	L Longitud (m)	Acc Accesorios (%)	C Constante PPR	Pc/m Pérdida de carga por m (m.c.a/m)	Pct Pérdida de carga de la tubería (m.c.a)	PcT Pérdida de carga total (m.c.a)
P-R	0,0003	26,2	6,98	25	150	0,0150	0,105	0,131
P-Q	0,0004	26,2	15,16	25	150	0,030	0,461	0,576
N-P	0,0005	26,2	3,48	25	150	0,032	0,111	0,138
N-O	0,0007	36,2	8,51	25	150	0,016	0,134	0,167
H-N	0,0011	45,8	24,22	25	150	0,010	0,248	0,310
H-I	0,0011	45,8	2,42	25	150	0,010	0,025	0,031
I-J	0,0012	45,8	8,78	25	150	0,012	0,110	0,137
I-K	0,0013	45,8	11,54	25	150	0,015	0,173	0,216
K-L	0,0014	45,8	2,82	25	150	0,016	0,046	0,057
K-M	0,0014	45,8	6,1	25	150	0,018	0,110	0,138
D-H	0,0015	45,8	14,24	25	150	0,019	0,277	0,347
D-E	0,0015	45,8	1,91	25	149	0,020	0,038	0,047
E-G	0,0018	54,4	9,35	25	150	0,012	0,108	0,135
E-F	0,0021	54,4	17,11	25	150	0,015	0,260	0,324
B-D	0,0025	65,4	18,03	25	150	0,009	0,155	0,194
B-C	0,0027	65,4	9,2	25	150	0,010	0,097	0,121
A-B	0,0030	65,4	13,29	25	150	0,012	0,163	0,204
GENERAL AFS	0,0030	-	173,14	25	150	0,012	2,045	3,273

Tabla 6.8. Cálculo de las pérdidas de carga en el circuito de AFS.

6.2.4.- Bombas de circulación

Para la circulación del agua por la instalación, no se suele instalar bombas de circulación, ya que la presión de acometida suele ser suficiente. Aun así, y como se desconoce dicha presión, se calcularán las bombas de circulación pertinentes. Estas bombas deben ser capaces de mover el caudal necesario y de superar las pérdidas de carga totales, que son la suma de:

- Pérdidas de carga por rozamiento, calculadas en el apartado anterior.
- Pérdidas de carga singulares, que según el CTE suponen un 30% de las pérdidas de carga por rozamiento.

Circuito	Pérdidas de carga por rozamiento	Pérdidas de carga singulares	Pérdidas de carga totales	Caudal
	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	m ³ /h
ACS	6,295	1,889	8,184	4,14
AFS	3,273	0,982	4,255	10,80

Tabla 6.9. Parámetros de selección de las bombas de circulación.

Pese a la diferencia de caudal presente entre los dos circuitos se ha decidido instalar el mismo modelo de bombas en ambos casos, pero con diferentes tamaños.

La bomba elegida para el circuito de ACS es la ETALINE 032-032-160 del fabricante KSB [24].

Para el circuito de AFS se ha elegido una bomba modelo ETALINE 040-040-160 del fabricante KSB [24].



Figura 6.4. Bomba ETALINE de KSB [24].

6.2.5.- Bomba de recirculación

Según el documento básico HS Salubridad [19] el caudal recirculado ha de ser al menos un 10 % del caudal de alimentación.

$$Q_r = 0,1Q_e = 0,1 \cdot 1,15 = 0,115 \text{ l/s}$$

El diámetro de las tuberías de recirculación se calcula según la siguiente tabla.

Tubería y caudal de ACS recirculado	
Diametro tubería (mm)	Caudal recirculado (l/h)
DN 15	140
DN 20	300
DN 25	600
DN 32	1.100
DN 40	1.800
DN 50	3.300

Tabla 6.10. Diámetro de tubería en función del caudal recirculado [1].

Para el caudal calculado de 0,115 l/s, que corresponden a 414,4 l/h se tiene un diámetro de tubería DN 32.

De manera análoga a lo mostrado en el apartado 6.2.3 se calculan las pérdidas de carga por rozamiento en el circuito de recirculación, obteniendo así los siguientes valores:

- Caudal: 0,414 m³/h
- Presión: 0,575 m.c.a.

La bomba elegida para dar servicio al circuito de recirculación es la CALIO THERM NC 20-15 de KSB [25]. Los datos técnicos, así como las curvas de esta bomba pueden verse en el Anexo 2: “Documentación de los equipos”.

- Caudal máximo: 9 m³/h
- Presión máxima: 7 m.c.a.



Figura 6.5. Bomba CALIO THERM NC 20-15 de KSB [25].

6.2.6.- Elementos auxiliares

Además de los elementos antes mencionados, la instalación de ACS también necesitará de diversos elementos auxiliares para funcionar adecuadamente, tales como:

- Válvulas antirretorno.
- Válvulas de corte.
- Válvulas termostáticas.

6.3.- Mediciones

Las mediciones de este capítulo pueden verse en la siguiente tabla.

Unidades	Descripción	Medición
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø20	12,07
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø25	8,51
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø32	91,54
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø40	9,35
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø50	52,85
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø63	85,32
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø75	26,46
m	Tubería PPR ABN INSTAL CT FASER RD Ø90	40,52
m	Aislamiento tubería Ø 20 de espesor 25mm	12,07
m	Aislamiento tubería Ø 25mm de espesor 25mm	8,51
m	Aislamiento tubería Ø 32mm de espesor 25mm	91,54
m	Aislamiento tubería Ø 40mm de espesor 30mm	9,35
m	Aislamiento tubería Ø 50mm de espesor 30mm	52,85
m	Aislamiento tubería Ø 63mm de espesor 30m	85,32
m	Aislamiento tubería Ø 75mm de espesor 30mm	26,46
m	Aislamiento tubería Ø 90mm de espesor 40mm	40,52
ud	Bomba AFS ETALINE 032-032-160	1
ud	Bomba ACS ETALINE 040-040-160	1
ud	Bomba recirculación CALIO THERM NC 20-15	1
ud	Valvulería necesaria	1

Tabla 6.11. Mediciones de la instalación de ACS y AFS.

7.- SISTEMAS DE GENERACIÓN

Para suplir las demandas de calor y frío de la instalación se procederá a instalar bombas de calor. Para la selección de dichas bombas, en apartados anteriores, se ha determinado las demandas de calor y frío de cada instalación, obteniéndose los siguientes resultados.

Instalación	Carga	Potencia (kW)	Simultaneidad
Climatización	Frio	174,52	80%
	Calor	201,52	80%
Piscina	Calor	128,39	80%
ACS	Calor	110,56	90%

Tabla 7.1. Datos necesarios para la selección de los equipos de generación.

7.1.- Bombas de calor

Se utilizarán diferentes bombas de calor para cubrir la demanda de energía térmica del spa.

7.1.1.- Bombas de calor aire-agua

Este tipo de bomba se usará para la generación de frío y calor necesario para la climatización de las diferentes zonas del spa. Para ello se instalarán dos bombas de este tipo, que cederán la energía al aire, evaporando o condensando según las demandas de la instalación.

Este tipo de bombas solo pueden funcionar en frío o calor, por ello se instalarán dos unidades, lo que permitirá cubrir la demanda de calor y frío simultáneamente.

El modelo elegido para estas bombas es el 30RSQ140 de CARRIER [26], estas bombas en conjunto suplen la demanda de energía de la climatización del edificio y de la deshumectadora.

Además, permitirán aportar calor al precalentamiento del ACS, función que realizarán juntamente con la instalación solar que se propondrá en el capítulo siguiente.



Figura 7.1. Bomba de calor aire-agua 30RQS de CARRIER [26].

7.1.2.- Bomba de calor de alta temperatura

Para el calentamiento del ACS, desde la temperatura del precalentamiento, hasta los 60 °C, se instalará una bomba de calor de alta temperatura.

El modelo elegido para la bomba de calor de alta temperatura es el 61AF105 de CARRIER [27], que tendrá potencia suficiente para elevar la temperatura del agua al punto necesario.



Figura 7.2. Bomba de calor de alta temperatura 61AF105 de CARRIER [27].

7.2.- Elementos auxiliares

Además de los generadores, se necesitarán una serie de elementos auxiliares para el correcto funcionamiento de la instalación, estos elementos son:

- Depósitos de acumulación, del volumen calculado en capítulos anteriores.
- Vasos de expansión.
- Intercambiadores de calor, para realizar el intercambio de energía entre los diferentes focos de la instalación.
- Colectores, para almacenar la energía de calefacción y de refrigeración, minimizando así los efectos de inercia en los aparatos.
- Bombas de circulación, para transportar el fluidos por los circuitos.
- Filtros, para evitar daños en el circuito.
- Dispositivos de medida: termómetros, manómetros, contadores...
- Valvulería necesaria.

7.2.1.- Vasos de expansión

En las tuberías, al aumentar la temperatura también se produce un aumento del volumen de agua que circula por su interior. Esto provoca un incremento de la presión en la red de tuberías, los vasos de expansión serán los encargados de compensar este incremento para que los elementos del circuito no se dañen.

Un vaso de expansión es un recipiente o depósito de agua que se conecta a la red de tuberías. Este depósito lleva en su interior una membrana elastómera que forma una cámara de aire u otro gas, como el nitrógeno. Cuando la presión aumenta, el gas se comprime y aumenta el volumen de agua del vaso de expansión, aliviando así el incremento de volumen en el circuito.

Para calcular el volumen del vaso de expansión se puede utilizar la siguiente expresión, según la norma UNE 100155:2004 [15]:

$$V_{VE} = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Dónde,

V_{VE} Volumen útil del vaso de expansión (l)

V Volumen total de circuito (l)

C_e Coeficiente de dilatación del fluido

C_p Coeficiente de presión del gas utilizado

Para calcular el coeficiente de dilatación del fluido se puede usar la siguiente expresión:

$$C_e = (3.24 \cdot T^2 + 102,13 \cdot T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Dónde,

T Temperatura máxima de funcionamiento del circuito (°C)

Para calcular el coeficiente de presión del gas se puede usar la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{PM}{PM - Pm}$$

Dónde,

PM Presión máxima del vaso de expansión

Pm Presión mínima de trabajo

Será necesario instalar un vaso de expansión por cada circuito que tengamos en la instalación, en el caso de la climatización, será un vaso para el circuito de calefacción y otro para el circuito de refrigeración, que tienen los siguientes volúmenes de agua circulando por la red de tuberías:

- Calefacción: 458 litros.
- Refrigeración: 455 litros.

Además, deberá considerarse también el volumen de agua que circula por las bombas de calor, que será de 600 litros adicionales, 300 por cada bomba y 900 litros más por cada colector.

Por último, es necesario establecer un volumen de seguridad que se estima en un 20% del total.

Con estas consideraciones se obtiene un volumen total de agua en los circuitos de

$$Vagua_{calor} = (458 + 300 + 900) \cdot 1,2 = 1.990 \text{ litros}$$

$$Vagua_{frio} = (455 + 300 + 900) \cdot 1,2 = 1.986 \text{ litros}$$

Una vez conocido el volumen de agua, y para facilitar la selección del vaso de expansión se utilizará la herramienta de cálculo para vasos de expansión desarrollada por SEDICAL [16].

Los datos necesarios para el cálculo son los siguientes:

- Volumen: Se considerará un volumen de aproximadamente 2.000 litros para cada circuito.
- Se considera una temperatura máxima de 55 °C.
- Se considera una presión de tarado de la válvula de seguridad de 6 bar.

Con estos valores se obtiene un vaso de expansión de 100 litros para cada circuito. Este vaso de expansión ira colocado junto a colector de los circuitos de refrigeración y calefacción respectivamente. (238 €)

Además, se deben instalar vasos de expansión en el tercer colector y en el circuito de la bomba de calor de alta temperatura.

El tercer colector tiene un caudal algo inferior que los otros, por lo que el caudal que circula por su circuito será algo menor. En este caso se calcula de el vaso de expansión de la misma forma que los anteriores, obteniéndose un vaso de expansión de 80 litros.

El circuito de la bomba de calor de alta temperatura es un circuito cerrado, por lo que también requiere de vaso de expansión. En este caso se obtiene un vaso de 18 litros.

7.2.2.- Colectores

La elección del colector se hace en función del mayor diámetro de tubería que le llega. Lo más común suele ser que dispongan de un diámetro entre 3 y 4 veces el diámetro máximo de tubería.

Por otro lado, la longitud no se suele representar, pero se elige en función de las tuberías que se van a conectar al colector, manteniendo una distancia mínima entre ellas.

La instalación diseñada en este proyecto dispone de 3 colectores, 2 de calor y uno de frío, siendo uno de calor y frío para las bombas de calor aire-agua, y un tercero para aprovechar la energía obtenida de la deshumectadora.

Los colectores elegidos para las bombas de calor son de 12”, ya que el diámetro máximo de tubería que les llega es de aproximadamente 4”, por otro lado, el colector restante será de 10 “ pulgadas, ya que el diámetro de tubería máximo que le llega es de aproximadamente 3”.

7.3.- Justificación de energía renovable

Como se había dicho anteriormente, el Código Técnico de la Edificación, en la sección HE4 de su documento básico HE: “Ahorro de energía”, exige un porcentaje mínimo (70%) de energías renovables para el ACS y para la climatización de las piscinas.

Este porcentaje ya se verá cumplido por la energía recuperada en la deshumectadora, y por la instalación solar que se propondrá en el capítulo siguiente, aun así, se busca un edificio lo más energéticamente eficiente posible, por ello se justificará que la energía aportada por las bombas de calor sea considerada como energía renovable.

Para ello hay que calcular el SPF, un valor que cuando supera el 2,5 indica que la energía de las bombas se puede considerar renovable. Para calcular este parámetro se acude al documento del IDAE “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” [30], donde se muestra la siguiente fórmula:

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

Dónde,

COP Dato del fabricante

FP Factor de ponderación

FC Factor de corrección

Los factores de corrección dependen de la fuente energética, de la zona climática de la instalación y de la temperatura de condensación de la bomba de calor.

De todas formas, en ese mismo documento se muestra en su anexo 1 los COP de las bombas de calor necesarios para considerarse energía renovable, tabulados según fuente de energía, zona climática y temperatura, por lo que no es necesario realizar los cálculos.

En el caso estudiado, se dispone de una bomba de calor para el ACS que cuenta con un COP de 3,16 para 60 °C, con un factor de ponderación de 0,8 y un factor de corrección de 1.

$$SPF = 3,16 \cdot 0,8 \cdot 1 = 2,53$$

Como puede verse el SPF es mayor que 2,5, por lo que parte de la energía generada por esta bomba contaría como renovable. Para calcular el porcentaje de la energía que se considera renovable se debe acudir a la directiva 2009/28 CE del parlamento europeo [31], en la que se recoge la fórmula necesaria:

$$E_{RES} = Q_{USABLE} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

De esta forma se obtiene un porcentaje de energía renovable de la bomba de calor de:

$$E_{RES} = 110 \text{ kW} \cdot \left(1 - \frac{1}{2,53}\right) = 66,52 \text{ kW}$$

Esto es equivalente a decir que el 60% de la energía producida por la bomba de calor de alta temperatura cuenta como energía renovable.

Esta energía, junto con la obtenida de la deshumectadora y la producida por la instalación solar que se diseñará, superarán holgadamente el valor mínimo del 70% de energía renovable para ACS.

8.- INSTALACIÓN SOLAR

Con el fin de obtener un local lo más energéticamente eficiente posible, se va a estudiar la instalación de un sistema de captación solar, que se encargará de cubrir una parte de la demanda energética mínima exigida por la normativa actual, el DB-HE4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria, que para el caso estudiado es del 70%.

A continuación, se muestran los datos de partida para el diseño de la instalación solar térmica.

LOCALIZACIÓN	
Provincia	Asturias
Localidad	Oviedo
Datos climáticos	Atlas Radiación solar 2012 AEMET [28]
Zona Climática	1
Latitud	43°
Altitud	232

Tabla 8.1. Datos de partida.

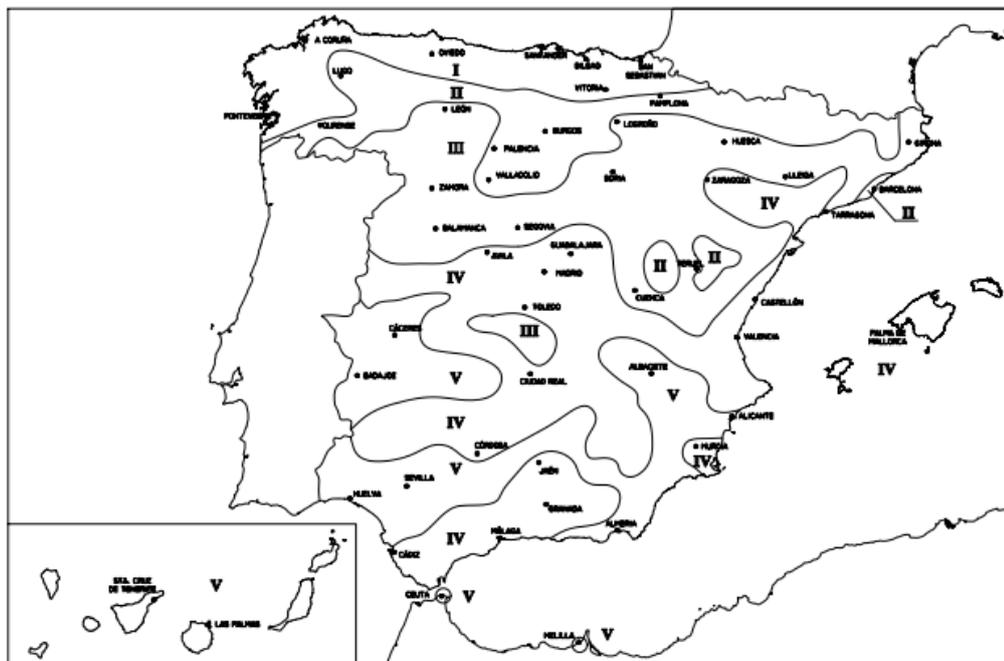


Figura 8.1. Mapa de las zonas climáticas de España.

Dado que las bases de datos no presentan datos para la localidad de la instalación, Gijón, para la realización de los cálculos pertinentes se tomarán los datos de la capital de la provincia, Oviedo, que serán similares.

Es importante a la hora de realizar el diseño de la instalación de captación solar tener en cuenta la protección contra sobrecalentamientos. En la normativa se indica en ningún mes del año la energía producida por el sistema de captación puede superar el 110% de la energía demandada, y que, de igual manera, no puede superar el 100% de esta durante más de tres meses consecutivos.

8.1.- Datos meteorológicos

En la siguiente tabla se muestran los datos meteorológicos de partida para el cálculo de la instalación de captación solar.

MES	Tª media del agua de red (°C)	Tª media mensual en horas diurnas (°C)	Radiación horizontal (MJ/m²/día)	Radiación horizontal (kWh/m²/día)
ENERO	9	9	6,38	1,77
FEBRERO	9	10	8,76	2,43
MARZO	10	11	12,98	3,61
ABRIL	10	12	16,08	4,47
MAYO	12	15	17,99	5,00
JUNIO	14	18	19,25	5,35
JULIO	15	20	19,07	5,30
AGOSTO	16	20	17,30	4,81
SEPTIEMBRE	15	19	14,78	4,11
OCTUBRE	13	16	9,88	2,74
NOVIEMBRE	10	12	6,74	1,87
DICIEMBRE	9	10	5,37	1,49

Tabla 8.2. Datos meteorológicos de la zona.

Estos datos han sido extraídos del “Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura” del IDEA [17] y del “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT” [32].

8.2.- Configuración de los captadores

En el CTE está recogida la inclinación mínima y máxima para cada latitud en función de las pérdidas permisibles máximas. Estas pérdidas varían con el azimut α , que es ángulo entre la proyección horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano.

Para el caso estudiado se dispone de una cubierta elevada, situada encima de la piscina climatizada, donde los captadores pueden ser instalados en su azimut ideal (0° Sur) y la proyección de sombras sobre los captadores es nula, ya que no se encuentran obstáculos cercanos que tengan mayor altura que la cubierta elevada.

Por otro lado, la inclinación de los captadores viene dada por la latitud de la instalación, siendo el valor óptimo del ángulo de inclinación el mismo que la latitud, en este caso 43° .

En este caso es imposible realizar una instalación con esta inclinación, ya que no se dispone de suficiente superficie en esta cubierta como para que se pueda instalar el número de captadores deseados a la inclinación óptima sin que estos provoquen sombras unos sobre otros.

Por ello se propone una inclinación de 20° , ya que, al disminuir la inclinación de los captadores, también disminuye la separación entre las filas de captadores de la instalación y de esta forma si se puede instalar la distribución deseada.

8.3.- Metodología de cálculo

Para el diseño de la instalación solar térmica se utilizará el método de cálculo F-chart [17], de que se obtendrán la contribución solar al aporte de calor total necesario para satisfacer las demandas térmicas.

Este método se basa en el cálculo de variables adimensionales de la instalación solar térmica que se usan en el cálculo del factor de cobertura solar, según la siguiente fórmula.

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

El procedimiento de cálculo a seguir es el siguiente:

- Se calcula la demanda de energía necesaria para suplir las necesidades de ACS.
- Se obtiene la radiación solar absorbida por el campo captador.
- Se calculan los parámetros adimensionales D_1 y D_2
- Se calcula el factor de cobertura solar f para cada mes del año.

8.3.1.- Elección de captador solar

Para la instalación solar se ha decidido usar unos captadores de la marca TERMICOL, modelo T20MS [29] cuyas principales características pueden verse en la siguiente imagen.

Modelos / Models / Modelo	Verticales / Vertical / Verticais		Horizontales / Horizontal / Horizontais	
	T20MS	T25MS	T20MSH	T25MSH
Longitud / Length / Comprimento (mm)	2.130	2.130	970	1.200
Anchura / Width / Largura (mm)	970	1.200	2.130	2.130
Long. Absorb. / Absor. Length. / Comprimento de absor. (mm)	2.088	2.057	950	1.180
Espesor / Thickness / Espessura (mm)	83	83	83	83
Área bruta / Gross Area / Área bruta (m ²)	2,1	2,5	2,1	2,5
Área neta / Aperture Area / Área de abertura (m ²)	1,9	2,4	1,9	2,4
Peso en vacío / Empty Weight / Peso Vazio (kg)	32	39	34	38
Capacidad de fluido / Capacity / Capacidade de Fluido (liters)	1,29	1,27	1,25	1,42
Potencia pico / Peak power / Potência máxima (Wp)	1.518	1.911	1.518	1.911
Marco / Frame / Caixa	Aluminio / Aluminum / Alumínio			
Cubierta / Cover Material / Material de cobertura	Vidrio templado 3,2 mm / Tempered solar glass 3,2 mm / Vidro solar temperado 3,2 mm			
Aislamiento / Insulation / Isolamento	Lana de vidrio 40 mm / 40 mm Glass wool / Lã de vidro 40 mm			

Figura 8.2. Características técnicas de los captadores solares elegidos.

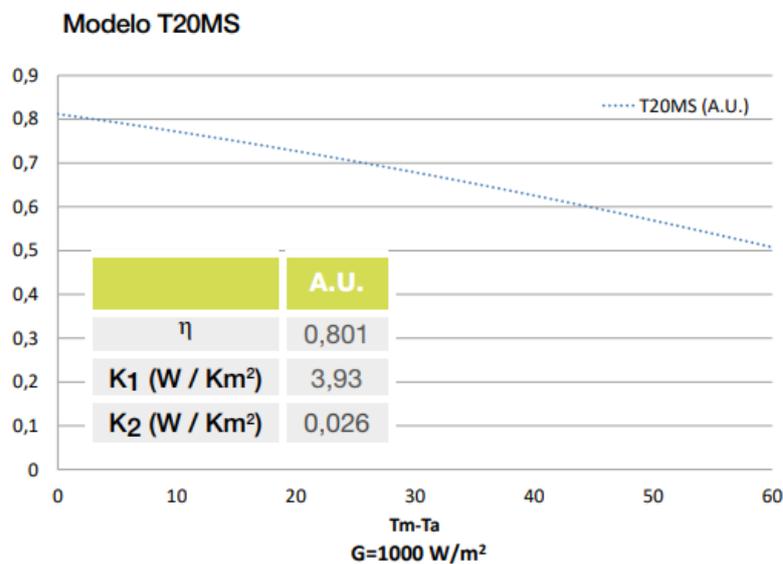


Figura 8.3. Curva de rendimiento del captador solar elegido.

8.3.2.- Diseño de la instalación solar

Para aportar parte de la carga calorífica de ACS consumida en es spa se estudiará instalar 40 captadores dispuestos en 4 filas de 10 captadores cada fila, que se situarán en la cubierta elevada de la piscina, donde se dispone de unas condiciones óptimas para la instalación.

La energía obtenida de los captadores se almacenará en uno o varios depósitos de acumulación.

La ocupación del spa variará a lo largo del año, a pesar de eso y para dimensionar la instalación, se supondrá una ocupación del 100% constante a lo largo del año.

8.3.3.- Calculo demanda energética

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesario mensual para calentar el agua destinada al consumo, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q_a = C_e \cdot C \cdot N \cdot (t_{ac} - t_r)$$

Dónde,

Q_a Carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (J/mes)

C_e Calor específico del agua (J/kg°C)

C Consumo diario de ACS (l/día)

N Número de días del mes

t_{ac} Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r Temperatura del agua de red (°C)

Sabiendo que:

- El calor específico del agua es de 4,187 J/kg°C.
- El consumo de ACS es de 10.500 l/día.
- La temperatura de acumulación es de 60 °C.
- La temperatura de red para cada mes se mostró anteriormente.

Estas cargas se obtendrán en J/mes, pero para facilitar su visualización se convertirán a kWh/mes. Además, se les aplicará una mayoración para compensar las pérdidas térmicas del circuito de la instalación solar. Se estima que estas pérdidas suponen un 4%, por lo que la mayoración será del mismo valor.

DEMANDA POR CONSUMO A.C.S	T^a media del agua de red	Energía necesaria por consumo de ACS	Mayoración pérdidas del circuito
Mes	°C	kWh	kWh
Ene	9	19.257	20.027
Feb	9	17.393	18.089
Mar	10	18.879	19.634
Abr	10	18.270	19.001
May	12	18.124	18.849
Jun	14	16.808	17.481
Jul	15	16.991	17.671
Ago	16	16.614	17.278
Sep	15	16.443	17.101
Oct	13	17.746	18.456
Nov	10	18.270	19.001
Dic	9	19.257	20.027
Total Anual	-	214.051	222.613

Tabla 8.3. Cálculo de la energía demanda por la instalación de ACS.

8.3.4.- Radiación absorbida por el campo captador

Para obtener la radiación solar incidente en la superficie inclinada de un captador se toman los datos del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Solares Térmicas de baja temperatura del IDAE [17] y el Atlas de Radiación solar 2012 [28] ya recogidos anteriormente en la tabla 8.2.

Para obtener el factor de corrección por inclinación es necesario acudir al anexo X del pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura [17], donde se puede encontrar este factor tabulado según latitud e inclinación.

LATITUD = 43°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38

Tabla 8.4. Factor de corrección solar según inclinación del captador [17].

Una vez conocido el factor de corrección, se puede obtener la radiación solar incidente absorbida por los captadores. En el caso estudiado, y por temas de disposición de espacio, se ha decidido colocar 40 captadores, colocados en 4 filas de 10 captadores cada una, que irán situados en la cubierta de la piscina, ya que esta zona permite un azimut óptimo sin presencia de sombras.

FACTOR DE CORRECCIÓN	Factor de corrección por inclinación	Factor de corrección por orientación	Factor de corrección por sombras	Factor de corrección total
Mes	-	-	-	-
Ene	1,28	1,00	1,00	1,28
Feb	1,22	1,00	1,00	1,22
Mar	1,16	1,00	1,00	1,16
Abr	1,09	1,00	1,00	1,09
May	1,05	1,00	1,00	1,05
Jun	1,03	1,00	1,00	1,03
Jul	1,05	1,00	1,00	1,05
Ago	1,10	1,00	1,00	1,10
Sep	1,19	1,00	1,00	1,19
Oct	1,29	1,00	1,00	1,29
Nov	1,35	1,00	1,00	1,35
Dic	1,33	1,00	1,00	1,33
Media Anual	1,18	1,00	1,00	1,18

Tabla 8.5. Factor de corrección total de los captadores.

Para calcular la energía absorbida por el campo captador se utiliza la siguiente expresión:

$$Ea = S_c \cdot F'_r(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N$$

Dónde,

- S_c Superficie de captación (m)
- R_1 Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m²)
- N Número de días del mes
- $F'_r(\tau\alpha)$ Factor adimensional, que se calcula según la siguiente expresión.

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_r} \right] \cdot \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

Dónde,

- $F_r(\tau\alpha)_n$ Factor de eficiencia óptica del captador (Obtenido del fabricante, 0,812)
- $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ Modificador del ángulo de incidencia (0,96 para superficie transparente sencilla y 0,94 para superficie transparente doble)
- F'_r/F_r Factor de corrección del captador-intercambiador (0,95)

ENERGIA ABSORBIDA POR CAPTADORES	Radiación horizontal incidente diaria por unidad de área	Número de días del mes	Radiación horizontal incidente diaria por unidad de área	Factor de corrección total	Radiación solar incidente corregida por unidad de área	Energía absorbida por el campo captador
Mes	kWh/m ² dia	-	kWh/m ² mes	-	kWh/m ² mes	kWh/mes
Ene	1,77	31	54,87	1,45	70,34	3.896
Feb	2,43	28	68,04	1,33	83,13	4.605
Mar	3,61	31	111,91	1,19	129,64	7.181
Abr	4,47	30	134,10	1,05	146,05	8.090
May	5,01	31	155,31	0,95	162,66	9.010
Jun	5,35	30	160,50	0,91	165,24	9.153
Jul	5,30	31	164,30	0,95	172,44	9.552
Ago	4,81	31	149,11	1,06	163,92	9.080
Sep	4,11	30	123,30	1,24	146,58	8.120
Oct	2,74	31	84,94	1,45	109,73	6.078
Nov	1,87	30	56,10	1,59	75,84	4.201
Dic	1,49	31	46,19	1,57	61,52	3.408
Media Anual	3,27	-	99,38	1,23	123,92	6.865

Tabla 8.6. Energía absorbida por el campo captador.

8.3.5.- Parámetros adimensionales D1 y D2

El parámetro D_1 se calcula como la relación entre la energía absorbida por la placa de los captadores planos y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes.

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el campo captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

El parámetro D_2 se calcula como la relación de las pérdidas de energía en el captador con la carga calorífica del mes.

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

Para calcular la energía perdida por el captador se puede utilizar la siguiente expresión.

$$Ep = S_c \cdot F'_r U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Dónde,

S_c	Superficie de captación (m ²)
t_a	Temperatura media mensual del ambiente (°C)
Δt	Periodo de tiempo considerado (s)
K_1	Factor de corrección por almacenamiento
K_2	Factor de corrección para ACS

$$F'_r U_L = F_r U_L (F'_r / F_r)$$

Dónde,

$F'_r U_L$	Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)
------------	---

El factor de corrección por almacenamiento, K_1 , se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$K_1 = [kg \text{ acumulación} / (75S_c)]^{-0,25}$$

$$37,5 < (kg \text{ acumulación}) / (m^2 \text{ captación}) < 300$$

Para poder calcular este factor es necesario conocer el volumen de acumulación solar, según lo indicado en el CTE.

$$50 < V/A < 180$$

Dónde,

V Volumen del depósito de acumulación solar

A Área de captación

Los captadores escogidos cuentan con una superficie de captación de 1,87 m² cada uno por lo que el volumen de acumulación debería cumplir la siguiente condición.

$$93,5 < V < 336,6$$

Si se tomará una relación de 75, que se considera la óptima, se obtendría un volumen de acumulación por captador de 140,25 litros. Por lo que el factor de corrección K_1 sería:

$$K_1 = [140,25 / (75 \cdot 1,87)]^{-0,25} = 1$$

Como se ha dicho anteriormente, se ha decidido instalar 40 captadores solares, por lo que el volumen de acumulación para esos 40 captadores debería estar comprendido en el siguiente intervalo:

$$3.740 < V < 13.464$$

Al igual que antes, si se tomará la relación óptima de 75, se tendría un volumen de 5.610 litros. A la hora de la práctica sería imposible encontrar un depósito de acumulación que cuente justo con el volumen óptimo, así que se instalará un depósito de 6.000 litros, por lo que el factor de corrección K_1 sería:

$$K_1 = [6.000 / (75 \cdot 40 \cdot 1,87)]^{-0,25} = 0,983$$

El depósito elegido en este caso es el mismo modelo que para el ACS, pero de 6.000 litros, un MXV6000 de LAPESA [21].

Por otro lado, para calcular el factor de corrección para ACS, K_2 , se utiliza la siguiente fórmula:

$$K_2 = 11,6 + 1,18t_{ac} + 3,86t_r - 2,32t_a / (100 - t_a)$$

Dónde,

t_{ac} Temperatura mínima del ACS (°C)

t_r Temperatura del agua de red (°C)

t_a Temperatura media mensual del ambiente (°C)

El resultado del cálculo de estos parámetros puede observarse en la siguiente tabla:

PARAMETROS D1 Y D2	Relación radiación absorbida y energía demandada	Factor de corrección por almacenamiento	Factor de corrección para ACS según su temperatura	Energía mensual perdida por el campo captador	Relación entre energía perdida y demanda mensual
	D ₁	K ₁	K ₂	kWh/mes	D ₂
Ene	0,19	0,98	1,06	22.229	1,11
Feb	0,25	0,98	1,04	19.594	1,08
Mar	0,37	0,98	1,07	22.049	1,12
Abr	0,43	0,98	1,06	20.819	1,10
May	0,48	0,98	1,10	21.689	1,15
Jun	0,52	0,98	1,15	21.159	1,21
Jul	0,54	0,98	1,17	21.684	1,23
Ago	0,53	0,98	1,22	22.576	1,31
Sep	0,47	0,98	1,19	21.503	1,26
Oct	0,33	0,98	1,14	22.045	1,19
Nov	0,22	0,98	1,06	20.819	1,10
Dic	0,17	0,98	1,04	21.694	1,08
Media Anual	0,37	0,98	1,11	21.488	1,16

Tabla 8.7. Parámetros adimensionales D1 y D2.

8.3.6.- Factor de cobertura solar

Una vez calculados los parámetros adimensionales D_1 y D_2 , se puede proceder al cálculo del factor de cobertura solar a través de la antes mencionada.

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

FACTOR DE COBERTURA SOLAR	Relación radiación absorbida y energía demandada	Relación entre energía perdida y demanda mensual	Porcentaje de energía aportado por el sistema solar
Mes	D_1	D_2	f
Ene	0,19	1,11	12,11%
Feb	0,25	1,08	17,81%
Mar	0,37	1,12	27,39%
Abr	0,43	1,10	32,63%
May	0,48	1,15	36,58%
Jun	0,52	1,21	39,87%
Jul	0,54	1,23	41,10%
Ago	0,53	1,31	39,44%
Sep	0,47	1,26	35,68%
Oct	0,33	1,19	23,80%
Nov	0,22	1,10	14,67%
Dic	0,17	1,08	9,98%
Media Anual	0,37	1,16	27,52%

Tabla 8.8. Factor de cobertura solar de la instalación.

Con el factor de cobertura solar ya se puede proceder al cálculo de la energía aportada por la instalación de captación solar según la siguiente formula:

$$Q_u = f \cdot Q_a$$

Dónde,

Q_a Carga calorífica de ACS

ENERGIA APORTADA	Energía necesaria por consumo de ACS	Energía aportada por la instalación solar	Energía aportada por sistema de apoyo
Mes	kWh	kWh	kWh
Ene	20.027	2.426	17.601
Feb	18.089	3.222	14.867
Mar	19.634	5.378	14.256
Abr	19.001	6.200	12.801
May	18.849	6.896	11.953
Jun	17.481	6.969	10.512
Jul	17.671	7.262	10.408
Ago	17.278	6.814	10.464
Sep	17.101	6.101	11.000
Oct	18.456	4.393	14.063
Nov	19.001	2.788	16.213
Dic	20.027	1.999	18.028
Total Anual	222.613	60.447	162.166

Tabla 8.9. Energía aportada por la instalación solar.

Por lo tanto, la instalación solar propuesta cubrirá un 27,52% de la demanda energética de ACS del spa, generando aproximadamente 60 kWh anuales.

En todo momento este sistema debe ser apoyado por la bomba de calor de alta temperatura que se encargará de generar el resto de energía demandada por la instalación de ACS.

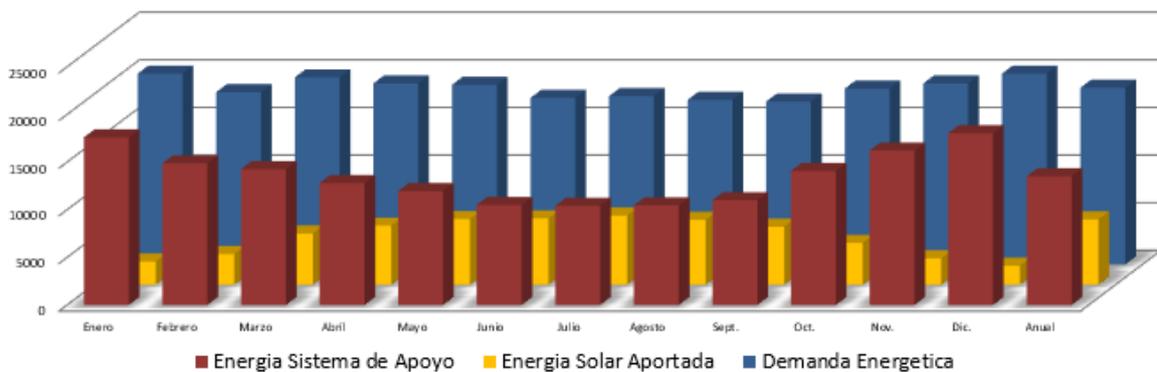


Figura 8.4. Energía aportada por la instalación solar.

8.4.- Elementos auxiliares

Además de los ya mencionados captadores solares y del depósito acumulador, la instalación requiere de una serie de elementos auxiliares.

- Bomba de circulación.
- Vaso de expansión.
- Intercambiador de placas.

8.4.1.- Bomba de circulación

Para elegir la bomba de circulación del circuito de la instalación se usa la herramienta de cálculo de KSB ya mencionada en otros capítulos. En este caso se dispone de los siguientes datos:

- Caudal: 3 m³/h.
- Presión: 0,7 m.c.a.

En este caso el modelo elegido es el CALIO THERM NC 25-40 del fabricante KSB [25].



Figura 8.5. Bomba CALIO THERM NC de KSB [25].

8.4.2.- Vaso de expansión

El circuito de la instalación solar es cerrado, por lo que requerirá de la instalación de un vaso de expansión. Su cálculo se realizará de la misma manera que en apartado 7.2.1.

En este caso se dispone de un volumen en el circuito de 52 litros, y realizando los cálculos anteriores se obtiene un vaso de 18 litros.

8.4.3.- Intercambiador

También será necesario instalar un intercambiador, que trasladará la energía absorbida por el campo captador al circuito de ACS. Este intercambiador debe tener una potencia de intercambio de 45 kW, y debe calentar el agua hasta los 45 °C. Para elegirlo se acude a una herramienta de cálculo diseñada por SEDICAL [29].

Con todo este se obtiene un intercambiador modelo UFP-32/H-C PN-10.

9.- CONCLUSIONES

En este documento se ha estudiado el cálculo y diseño de las instalaciones de ventilación, climatización y ACS para un spa de gran tamaño, verificando el cumplimiento de la legislación vigente y buscando obtener una instalación energéticamente muy eficiente.

Se ha tratado de diseñar una instalación lo más limpia y eficiente energéticamente posible, aprovechando las tecnologías de generación de energía térmicas renovables existentes, tales como las bombas de calor, o la instalación solar térmica diseñada.

Gracias a estas tecnologías se ha podido aprovechar al máximo la energía térmica recuperada del proceso de deshumectación de la piscina climatizada, y utilizarla en compensar las pérdidas producidas en el vaso de la misma, que de otra forma supondría un aporte energético importante por parte de los equipos de generación. El ahorro de energía que supone el aprovechamiento de la energía producida en la deshumectación ronda el 55% de la energía necesaria para el calentamiento del agua.

De igual manera la instalación solar aporta un ahorro de casi un 30% de la energía demandada por la instalación de ACS. De todas formas, la energía restante sería producida por la bomba de calor, que como se mostró en esta memoria, también se considera energía renovable, por lo que, en esta instalación, la energía producida para el ACS será entono al 90% renovable.

Si se quisiera obtener un edificio que fuese completamente alimentado por energías renovables debería estudiarse la procedencia de la energía eléctrica que alimentará los equipos de generación descritos en este documento.

10.- REFERENCIAS

- [1] Documento Básico HE Ahorro de Energía, 20 Diciembre 2019. Disponible en:
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.
[Último acceso: 14 Mayo 2020].
- [2] IMventa Ingenieros CLwin, [En línea]. Disponible en :
<https://www.imventa.com/clwin>. [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- [3] AD Editorial Team, «Plataforma Arquitectura,» 2011. Disponible en :
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-77161/en-detalle-muro-cortina>.
[Último acceso: 2 Junio 2020].
- [4] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), 20 Julio 2007.
Disponible en :
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx>. [Último acceso: 7 Mayo 2020].
- [5] Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DBSI) del Código técnico de edificación (CTE), Disponible en :
<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-seguridad-caso-incendio.html>.
[Último acceso: 5 Mayo 2020].
- [6] Guía IDAE: Instalaciones de climatización con equipos autónomos. Disponible en :
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf.
[Último acceso: 5 Mayo 2020].
- [7] IMventa Ingenieros DAwin, Disponible en:
<https://www.imventa.com/dawin>. [Último acceso: 21 Mayo 2020].
- [8] SERIE X-CUBE COMPACT, Disponible en :
<https://www.trox.es/unidades-de-tratamiento-de-aire/x-cube-compact-fd6e8b25bde813d7>.
[Último acceso: 25 Junio 2020].

- [9] Rejillas de Retorno 25-45-H de KOOLAIR, Disponible en :
<https://www.koolair.com/catalogo/rejillas-de-retorno-20-45-h/>.
[Último acceso: 30 Junio 2020].
- [10] Difusor rotacional DQJA de SCHAKO, Disponible en :
<https://schako.com/es/schako-products/ddifusor-rotacional-de-techo-dqja-dqjr/>.
[Último acceso: 30 Junio 2020].
- [11] CARRIER, Disponible en:
http://www.carrier.es/products/product_families.htm.
[Último acceso: 28 Junio 2020].
- [12] TKM 50 EASY, Disponible en:
<https://www.trox.es/unidades-de-tratamiento-de-aire/tkm-50-easy-9c518cc4efd9fb4c>.
- [13] Imventa Ingenieros ICwin, Disponible en :
<https://www.imventa.com/icwin>. [Último acceso: 19 Junio 2020].
- [14] ISOVER, «Aislamiento de tuberías,» 2018.
- [15] Reguladores de caudal SCHAKO, Disponible en :
<https://schako.com/es/schako-product-category/volumenstromregler/>.
[Último acceso: 5 Julio 2020].
- [16] IMI Hydronic Engineering, Disponible en :
<https://www2.imi-hydronic.com/es/>.
- [17] IDAE, «Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura,» 2009.
- [18] Sedical, *Catálogo de sistemas de deshumectación*.
- [19] Documento Básico DB-HS: Salubridad, Disponible en :
<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-salubridad.html>.
[Último acceso: 16 Mayo 2020].
- [20] IDAE, «Agua caliente sanitaria central».
- [21] Depositos Lapesa, Disponible en :
<http://www.lapesa.es/sites/default/files/tacse.pdf>. [Último acceso: 25 Junio 2020].

- [22] Tubería PPR ABN UNSTAL CT FASER RD, Disponible en :
<https://www.abnpipesystems.com/productos/instal-ct-faser-rd-sistema-de-presion/>.
[Último acceso: 16 Junio 2020].
- [23] Hazen-Williams, Disponible en :
https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Hazen-Williams.
[Último acceso: 20 Junio 2020].
- [24] Bomba ETALINE de KSB, Disponible en :
<https://products.ksb.com/es-es/productos/sistemas-de-bombeo-y-bombas/bombas-de-circulaci%C3%B3n/in-line-con-empaquetadura/etaline-20580>.
[Último acceso: 30 Junio 2020].
- [25] Bomba CALIO THERM NS de KSB, Disponible en :
<https://products.ksb.com/es-es/productos/sistemas-de-bombeo-y-bombas/bombas-de-circulaci%C3%B3n/calio-therm-nc-31752>. [Último acceso: 30 Junio 2020].
- [26] Bomba de calor aire-agua 30RQS de CARRIER, Disponible en :
http://www.carrier.es/products/Chiller_HeatPumps/30RQS039-160.php.
[Último acceso: 3 Julio 2020].
- [27] Bomba de calor de alta temperatura de CARRIER, [En línea]. Disponible en :
http://www.carrier.es/products/Chiller_HeatPumps/61AF022-105.php.
[Último acceso: 3 Julio 2020].
- [28] Norma UNE 100155:204.
- [29] Sedical Software, Disponible en : <https://www.sedical.com/software>.
[Último acceso: 8 Julio 2020].
- [30] IDAE “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios”. Disponible en :
https://www.fempa.es/usuario/documentos/20161207131039_prestaciones-medias-estacionales-bombas-de-calor_IDAE.pdf. [Último acceso: 08 Julio 2020].
- [31] Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, Disponible en :
<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>. [Último acceso: 09 Julio 2020].

- [32] Atlas Radiación solar 2012 AEMET, Disponible en :
https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf. [Último acceso: 2 Julio 2020].
- [33] Termicol T20ms, Disponible en :
<https://termicol.es/productos/captadores/>. [Último acceso: 2 Julio 2020].