



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Máster**

**CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**ALUMNO**

Adrián Álvarez Riola

**TUTOR**

Alberto Arce Ceinos

**FECHA**

SEPTIEMBRE 2017

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el cálculo de las necesidades energéticas para la climatización de una piscina pública cubierta con bomba de calor, así como el dimensionamiento de la instalación solar térmica necesaria para la producción de agua caliente sanitaria.

Las condiciones del recinto serán de 27°C y un 65% de humedad relativa mientras que el agua del vaso de la piscina se mantendrá a 25°C.

En la primera parte de este trabajo se hará una estimación de las potencias necesarias, tanto para la climatización del vaso como del aire del recinto, en las condiciones más desfavorables. Una vez obtenidas las potencias se procederá con la selección de los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación y se realizará un esquema general de la misma.

Posteriormente se dimensionará la instalación solar térmica y la caldera de apoyo necesaria para cumplir con la demanda energética de agua caliente sanitaria.

Finalmente se hará un estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por la instalación.

## RESUMO

O presente traballo consiste no cálculo das necesidades enerxéticas para a climatización dunha piscina pública cuberta con bomba de calor, así coma o dimensionamento da instalación solar térmica necesaria para a produción de auga quente sanitaria.

As condicións do recinto serán de 27°C e un 65% de humidade relativa mentres que a auga do vaso da piscina manterase a 25°C.

Na primeira parte deste traballo farase una estimación das potencias necesarias, tanto para a climatización do vaso coma do aire do recinto, nas condicións máis desfavorables. Unha vez obtidas as potencias procederase coa selección dos equipos necesarios para o correcto funcionamento da instalación e realizarase un esquema xeral da mesma.

Posteriormente dimensionarase a instalación solar térmica e a caldeira de apoio necesaria para cumprir coa demanda enerxética de auga quente sanitaria.

Finalmente farase un estudio das emisións de CO<sub>2</sub> emitidas pola instalación.

## ABSTRACT

The present work consists in the calculation of the energy needs for the conditioning of a public indoor swimming pool with heat pump, as well as the dimensioning of the solar thermal installation necessary for the production of domestic hot water.

The room conditions will be 27°C and 65% relative humidity while the water in the swimming pool basin will be maintained at 25°C.

In the first part of this work, an estimation of the necessary loads will be made, for the air conditioning of the swimming pool basin and the air of the enclosure, in the most unfavorable conditions. Once obtained, the loads will proceed with the selection of the necessary equipment for the correct operation of the installation and a general scheme will be realized.

Subsequently, the solar thermal installation and the support boiler necessary to accomplish with the energy demand of domestic hot water will be dimensioned.

Finally, a study of the CO<sub>2</sub> emissions emitted by the installation will be done.

## ÍNDICE GENERAL

- **Documento 1:** Memoria
  - **Anexo 1:** Cálculos
  - **Anexo 2:** Estudio Básico de Seguridad y Salud
  
- **Documento 2:** Planos
  
- **Documento 3:** Presupuesto
  
- **Documento 4:** Pliego de Condiciones



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Documento**

**MEMORIA**

## ÍNDICE

1	Introducción .....	1
1.1	Funcionamiento de la bomba de calor .....	1
1.2	Tipos de bomba de calor.....	3
1.3	Refrigerantes .....	3
2	Objetivos del proyecto.....	5
3	Antecedentes .....	6
4	Normativa aplicable.....	7
5	Descripción del edificio y condiciones de diseño.....	8
6	Condiciones climáticas exteriores .....	9
7	Demanda de energía del agua de la piscina .....	12
7.1	Pérdidas por evaporación .....	12
7.2	Pérdidas por radiación .....	13
7.3	Pérdidas por convección.....	14
7.4	Pérdidas por renovación .....	14
7.5	Pérdidas por transmisión .....	16
7.6	Potencia de puesta a régimen .....	16
7.7	Resultados.....	16
7.8	Potencia media mensual.....	17
8	Demanda de energía del aire del recinto.....	19
8.1	Envolvente térmica del edificio.....	19
8.1.1	Cerramientos en contacto con el aire exterior .....	21
8.1.2	Particiones interiores .....	22
8.1.3	Huecos y lucernarios .....	23
8.1.4	Factor solar modificado de huecos y lucernarios .....	24
8.1.5	Resultados.....	27
8.2	Carga térmica por transmisión .....	30
8.3	Carga térmica por infiltración .....	30
8.4	Ganancias por iluminación.....	32
8.5	Ganancias por radiación solar.....	32
8.6	Caudal de aire .....	34
8.7	Control de la humedad.....	35
8.8	Recuperación de calor .....	36

8.9 Cálculo de las propiedades del aire de impulsión .....	38
8.10 Acondicionamiento en invierno .....	39
8.10.1 Resultados con 10 bañistas .....	40
8.10.2 Resultados con 30 bañistas .....	41
8.10.3 Resultados con 60 bañistas .....	42
8.11 Acondicionamiento en verano .....	43
8.11.1 Resultados con 10 bañistas .....	44
8.11.2 Resultados 30 bañistas .....	45
8.11.3 Resultados 60 bañistas .....	46
8.12 Necesidades de acondicionamiento medias mensuales .....	48
9 Distribución de aire .....	49
9.1 Método de cálculo .....	49
9.1.1 Pérdida de carga por curvas .....	51
9.1.2 Pérdidas por cambio de sección .....	52
9.1.3 Pérdidas de carga por derivación .....	54
9.1.4 Incremento de presión estática .....	55
9.1.5 Pérdida de carga total .....	55
9.2 Resultados .....	55
9.2.1 Impulsión .....	55
9.2.2 Extracción .....	57
10 Selección de equipos .....	59
10.1 Intercambiador de calor de la piscina .....	59
10.2 Unidad de tratamiento de aire (UTA) .....	60
10.3 Enfriadora de agua .....	68
10.4 Bomba de calor .....	72
11 Esquema de la instalación .....	77
12 Agua Caliente Sanitaria (ACS) .....	78
12.1 Tipos de captadores solares .....	78
12.2 Dimensionado de la instalación solar .....	81
12.2.1 Demanda energética de ACS y volumen de acumulación .....	81
12.2.2 Zona climática y contribución solar mínima .....	83
12.2.3 Límite de pérdidas por orientación, inclinación y sombras .....	84
12.2.4 Pérdidas por orientación e inclinación .....	84
12.2.5 Pérdidas por sombras .....	87
12.2.6 Rendimiento de un captador solar plano .....	90
12.2.7 Método de F-Chart .....	91
12.2.8 Conexiones de los captadores solares .....	93



12.2.9 Distancia mínima entre filas .....	93
12.2.10 Estructura soporte .....	94
12.2.11 Sistema de intercambio de calor entre captación y acumulación .....	94
12.2.12 Fluido de trabajo .....	94
12.2.13 Tuberías .....	95
12.2.14 Bombas .....	96
12.2.15 Purga de aire .....	97
12.3 Resultados.....	97
12.3.1 Método de F-Chart.....	97
12.3.2 Resultados CHEQ4 .....	98
12.4 Sistema de apoyo .....	103
12.5 Esquema de la instalación .....	104
12.6 Selección de equipos.....	106
12.6.1 Captador solar .....	106
12.6.2 Interacumuladores .....	107
12.6.3 Caldera.....	109
12.7 Sistema eléctrico y de control .....	110
12.8 Sistema de monitorización .....	111
13 Consumo de energía, emisiones de CO <sub>2</sub> y coste económico.....	112
13.1 Coste económico .....	114
13.2 Justificación de sustitución de instalación solar térmica.....	114
14 Conclusiones .....	116
15 Bibliografía.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor .....	2
Figura 2. Diagrama $P-h$ .....	2
Figura 3. Diagrama $P-h$ de funcionamiento del refrigerante R407c .....	4
Figura 4. Rosa de los vientos. ....	11
Figura 5. Pérdidas de calor en el vaso de la piscina. ....	12
Figura 6. Envoltente térmica de un edificio .....	20
Figura 7. Orientaciones de las fachadas .....	20
Figura 8. Espacios habitables en contacto con espacios no habitables.....	23
Figura 9. Diagrama psicrométrico invierno 10 bañistas .....	41
Figura 10. Diagrama psicrométrico invierno 30 bañistas .....	42

Figura 11. Diagrama psicrométrico invierno 60 bañistas .....	43
Figura 12. Diagrama psicrométrico verano 10 bañistas .....	45
Figura 13. Diagrama psicrométrico verano 30 bañistas .....	46
Figura 14. Diagrama psicrométrico verano 60 bañistas .....	48
Figura 15. Ejemplo de dimensiones $V$ , $G$ y $R$ .....	52
Figura 16. Coeficiente para pérdidas de carga por cambio de sección .....	53
Figura 17. Cálculo de la presión dinámica .....	54
Figura 18. Características del intercambiador. ....	59
Figura 19. Esquema de la instalación .....	77
Figura 20. Colector solar plano de parrilla .....	79
Figura 21. Captador solar de tubos de vacío .....	79
Figura 22. Funcionamiento tubo de vacío heat pipe .....	80
Figura 23. Captador solar de cilindro parabólico .....	80
Figura 24. Ángulos de inclinación y azimut .....	85
Figura 25. Figura para el cálculo de los límites de orientación a latitud $41^{\circ}$ N .....	86
Figura 26. Límites de inclinación para $\alpha = 15^{\circ}$ y latitud $41^{\circ}$ N .....	86
Figura 27. Diagrama de trayectorias del sol .....	88
Figura 28. Tipos de conexiones, a) serie, b) paralelo, c) serie-paralelo .....	93
Figura 29. Distancia mínima entre filas de captadores .....	94
Figura 30. Contribución solar F-Chart .....	98
Figura 31. CHEQ4: Localización .....	99
Figura 32. CHEQ4: Configuración .....	99
Figura 33. CHEQ4: Demanda .....	100
Figura 34. CHEQ4: Solar/Apoyo .....	100
Figura 35. CHEQ4: Otros parámetros .....	101
Figura 36. Esquema de la instalación de ACS .....	105
Figura 37. Tratamiento térmico para la prevención de la legionelosis .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura del agua en piscinas función del uso del vaso .....	8
Tabla 2. Condiciones de proyecto de calefacción (temperatura seca exterior máxima) .....	10
Tabla 3. Condiciones de proyecto de refrigeración (temperatura seca exterior máxima) .....	10
Tabla 4. Condiciones de proyecto de refrigeración (temperatura húmeda exterior máxima) .....	10
Tabla 5. Valores medios mensuales .....	10
Tabla 6. Zonas climáticas de la Península Ibérica .....	11

Tabla 7. Temperatura diaria media mensual del agua de la red .....	15
Tabla 8. Cerramientos en contacto con espacios no climatizados .....	16
Tabla 9. Pérdidas del agua de la piscina .....	17
Tabla 10. Potencia media mensual del vaso de la piscina .....	18
Tabla 11. Resistencias térmicas cerramientos en contacto con aire exterior en $m^2K/W$ .....	21
Tabla 12. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en $m^2K/W$ .....	22
Tabla 13. Coeficiente de reducción de temperatura $b$ .....	22
Tabla 14. Transmitancia térmica lineal en huecos $\Psi_p$ y $\Psi_v$ .....	24
Tabla 15. Absortividad del marco $\alpha$ para radiación solar .....	24
Tabla 16. Factor sombra para obstáculos de fachada: Voladizo .....	25
Tabla 17. Factor sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo .....	25
Tabla 18. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lamas horizontales .....	25
Tabla 19. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lamas verticales .....	26
Tabla 20. Factor sombra para obstáculos de fachada: Toldos .....	26
Tabla 21. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lucernarios .....	26
Tabla 22. Transmitancias térmicas .....	27
Tabla 23. Porcentaje de huecos y factor solar modificado .....	29
Tabla 24. Valores límite de transmitancias y factor solar modificado para la zona C1 .....	30
Tabla 25. Coeficientes de orientación .....	30
Tabla 26. Clasificación de huecos según su permeabilidad .....	31
Tabla 27. Factor de corrección $k$ .....	33
Tabla 28. Clases de filtración .....	34
Tabla 29. Eficiencia mínima de la recuperación de calor .....	37
Tabla 30. Exigencias de eficiencia de la norma ErP .....	38
Tabla 31. Carga de calor sensible en calefacción .....	39
Tabla 32. Resultados calefacción 10 bañistas .....	40
Tabla 33. Resultados calefacción con 30 bañistas .....	41
Tabla 34. Resultados con 60 bañistas .....	42
Tabla 35. Carga de calor sensible en refrigeración .....	44
Tabla 36. Resultados refrigeración 10 bañistas .....	44
Tabla 37. Resultados refrigeración 30 bañistas .....	45
Tabla 38. Resultados refrigeración 60 bañistas .....	47
Tabla 39. Necesidades de acondicionamiento medias mensuales .....	48
Tabla 40. Dimensiones de conductos con 0,05 mmca/m de pérdida de carga .....	49
Tabla 41. Relaciones para calcula la longitud equivalente en curvas de $90^\circ$ .....	51
Tabla 42. Coeficiente de pérdidas en derivaciones .....	55
Tabla 43. Características de los conductos de impulsión .....	55

Tabla 44. Pérdidas de carga en impulsión.....	57
Tabla 45. Características de los conductos de extracción .....	57
Tabla 46. Pérdidas de carga en extracción.....	58
Tabla 47. Demanda de ACS a 60°C .....	82
Tabla 48. Zonas climáticas en función de la radiación solar global media diaria anual.....	83
Tabla 49. Contribución solar mínima anual para ACS en % .....	83
Tabla 50. Contribución solar mínima para climatización de piscinas cubiertas en % .....	84
Tabla 51. Límite de pérdidas por orientación, inclinación y sombras .....	84
Tabla 52. Tablas de referencia para el cálculo de pérdidas por radiación .....	88
Tabla 53. Proporción de anticongelante. ....	95
Tabla 54. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios .....	96
Tabla 55. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios .....	96
Tabla 56. Resultados F-Chart.....	97
Tabla 57. Factores de paso a consumo de energía final a consumo de energía primaria ..	112
Tabla 58. Factores de paso a consumo de energía primaria a CO2 .....	112
Tabla 59. Consumos y emisiones del sistema de calentamiento del agua de la piscina .....	113
Tabla 60. Consumos y emisiones del sistema de acondicionamiento de aire .....	113
Tabla 61. Emisiones y energía primaria de un sistema auxiliar con caldera de gas.....	115

## 1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética está muy en boga hoy en día y que está cobrando una gran importancia a la hora de diseñar cualquier edificación o instalación de cualquier tipo. Además, debido a la escasez de recursos fósiles y a la cada vez mayor preocupación por reducir las emisiones contaminantes, no sólo es importante optimizar el uso de la energía, sino conseguir que esa energía venga de fuentes limpias y sostenibles.

En el caso de una piscina climatizada, la eficiencia energética es algo muy importante ya que es una instalación compleja que necesita una gran cantidad de energía y si no se hace un diseño correcto puede usarse mayor energía de la necesaria con el consiguiente impacto económico y ambiental. Para este tipo de instalaciones resulta muy adecuada la instalación de equipos de bomba de calor, ya que cuentan con un gran rendimiento energético y no emiten directamente CO<sub>2</sub> (la bomba de calor consume energía eléctrica, por lo que indirectamente emite más o menos CO<sub>2</sub> dependiendo de la fuente de la que se obtenga la electricidad que consume) ni compuestos contaminantes (más allá de posibles pequeñas fugas de refrigerante).

### 1.1 Funcionamiento de la bomba de calor

Una bomba de calor es esencialmente una máquina térmica que opera según un ciclo termodinámico, el ciclo de compresión de vapor. El objetivo de la máquina frigorífica es extraer calor de un foco de baja temperatura (espacio a refrigerar) y transferirlo a un foco caliente (ambiente exterior). Por contra, el propósito de la bomba de calor es extraer calor de un foco frío (habitualmente el aire exterior) y transferirlo a un foco más caliente (espacio a calefactar). La bomba de calor puede ser reversible, de forma que funcione como máquina frigorífica en verano y como bomba de calor en invierno.

La bomba de calor está formada por cuatro partes fundamentales:

- **Evaporador:** es un intercambiador de calor (serpentín) por el cual circula el refrigerante líquido de la bomba de calor a baja presión, absorbiendo calor del foco frío y evaporándose en el proceso.
- **Compresor:** el vapor a baja presión procedente del evaporador se comprime, consumiendo de este modo trabajo y aumentando su presión.
- **Condensador:** es otro intercambiador de calor por el que circula el vapor a alta presión que cede calor a su paso y se condensa saliendo en estado líquido.
- **Válvula de expansión:** el refrigerante líquido proveniente del condensador sufre una brusca bajada de presión a su paso por la válvula de expansión y vuelve a entrar en el evaporador cerrando de este modo el ciclo.

En las bombas de calor reversibles una válvula se encarga de invertir el ciclo, de forma que el evaporador pasa a ser el nuevo condensador y el antiguo condensador pasa a realizar la función del evaporador.

En la Figura 1 puede verse un esquema general del proceso descrito y en la Figura 2 se ilustra el ciclo termodinámico (ciclo de compresión de vapor) que sigue la bomba de calor en un diagrama  $P-h$  (presión-entalpía).

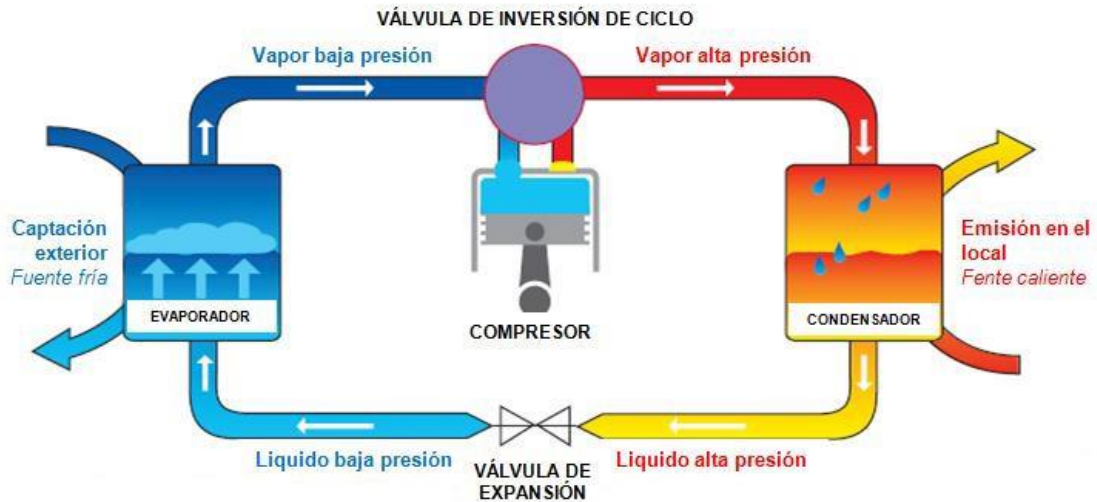


Figura 1. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor. [\[http://www.tecnologia-industrial.es/BOMBA%20DE%20CALOR.htm\]](http://www.tecnologia-industrial.es/BOMBA%20DE%20CALOR.htm)

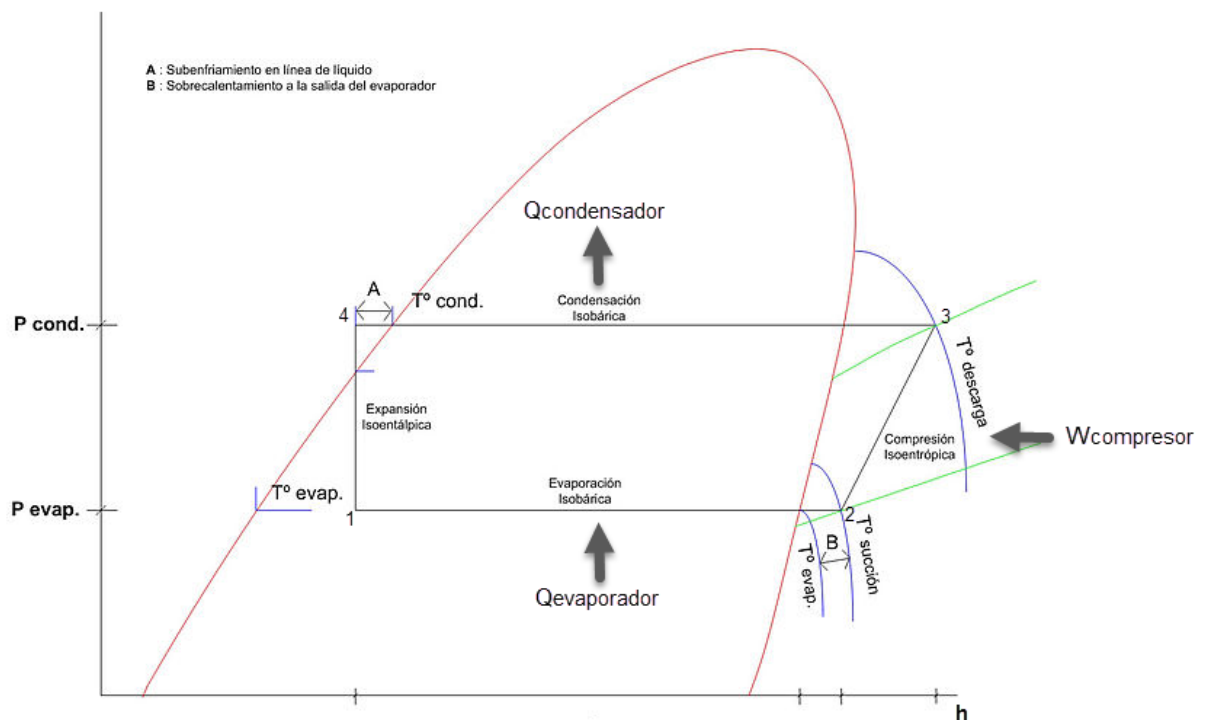


Figura 2. Diagrama P-h. [\[https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_Ph\]](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_Ph)

Al rendimiento de una bomba de calor se le denomina COP (Coefficient Of Performance) y es el cociente entre el calor cedido por el condensador y el trabajo del compresor (trabajo introducido al sistema).

$$COP = \frac{Q_{condensador}}{W_{compresor}} \quad (1)$$

El valor del COP es superior a la unidad y su valor habitual está entre 3 y 4 ya que, como se observa claramente en el diagrama  $P-h$ , el calor cedido por el condensador es superior al trabajo del compresor.

El rendimiento de una bomba de calor aumenta a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre el foco frío y el foco caliente (mayor calor cedido y extraído), por lo que interesa que la temperatura del foco frío se mantenga lo más constante posible a lo largo del año, ya que si su temperatura aumenta (la temperatura del foco caliente será por lo general una constante) el rendimiento bajará.

Análogamente, cuando la bomba de calor opera como máquina frigorífica, el rendimiento se calcula como el calor absorbido por el evaporador entre el trabajo del compresor. A este rendimiento se le llama EER (Efficiency Energy Rate) y su valor es similar al del COP.

$$EER = \frac{Q_{evaporador}}{W_{compresor}} \quad (2)$$

Por tanto se llega a la conclusión de que la bomba de calor es una gran opción cuando se necesita climatizar un ambiente, ya que cuenta con un gran rendimiento y en el caso de contar con una máquina reversible pueden satisfacerse las necesidades de calefacción en invierno y refrigeración en verano con un solo aparato.

## 1.2 Tipos de bomba de calor

Además de en reversibles y no reversibles, las bombas de calor se clasifican en función del tipo de foco del cual extraen y al cual ceden calor. Se diferencian así los siguientes tipos:

- **Aire-aire:** extraen calor del aire exterior y lo ceden al aire del espacio a climatizar. Son el tipo de bombas más habituales.
- **Aire-agua:** extraen calor del aire exterior y lo ceden a una corriente de agua de calefacción. Son muy utilizadas en instalaciones de calefacción por suelo radiante.
- **Agua-agua:** extraen calor de una corriente de agua (acuífero subterráneo o río) y lo ceden a un caudal de agua de calefacción. Este tipo de bombas cuentan con un COP superior al de las bombas de aire, ya que la temperatura de la corriente de agua se mantiene mucho más constante a lo largo del año.
- **Agua-aire:** similar al tipo anterior pero cediendo el calor al aire del espacio a climatizar en vez de a un caudal de agua de calefacción.
- **Geotérmicas:** extraen el calor del subsuelo, cuya temperatura permanece casi constante a lo largo del año, y lo ceden a una corriente de agua de calefacción o bien directamente al aire.

En este trabajo se utilizará una bomba de calor aire-agua que extraerá calor del aire exterior y lo cederá a una corriente de agua que servirá para calentar el aire del recinto de la piscina y el agua del vaso.

## 1.3 Refrigerantes

Los refrigerantes deben tener las propiedades necesarias para realizar de forma adecuada el ciclo termodinámico. Para ello deben ser capaces de evaporar a temperaturas bajas, del orden de  $-10^{\circ}\text{C}$  y condensar a mayor presión y temperaturas del orden de los  $40^{\circ}\text{C}$ . Además de estas propiedades deben tener otra serie de cualidades:

- No deben ser perjudiciales para la atmósfera, dañando la capa de ozono o aumentando el efecto invernadero, ni ser nocivos para la salud de las personas.

Los refrigerantes que contienen cloro como los CFC (Cloro, Flúor, Carbono) y los HCFC (Hidrógeno, Cloro, Flúor, Carbono) han sido prohibidos por causar daños en la capa de ozono y sustituidos por los HFC (Hidrógeno, Flúor, Carbono).

- Deben ser químicamente inertes tanto puros como en mezcla.
- Inertes ante los materiales con los que tienen contacto como tuberías, sellos, juntas...
- No reaccionar desfavorablemente ante los aceites lubricantes y presentar una satisfactoria solubilidad en ellos.
- Deben tener un elevado coeficiente de transferencia de calor por conducción.

Los refrigerantes más utilizados a día de hoy en aplicaciones de climatización son el R131a, R407c, R410a, R507 y R600a.

En la Figura 3 se muestra un diagrama  $P-h$  del funcionamiento del ciclo de una bomba de calor en las condiciones de invierno y verano con refrigerante R407c.

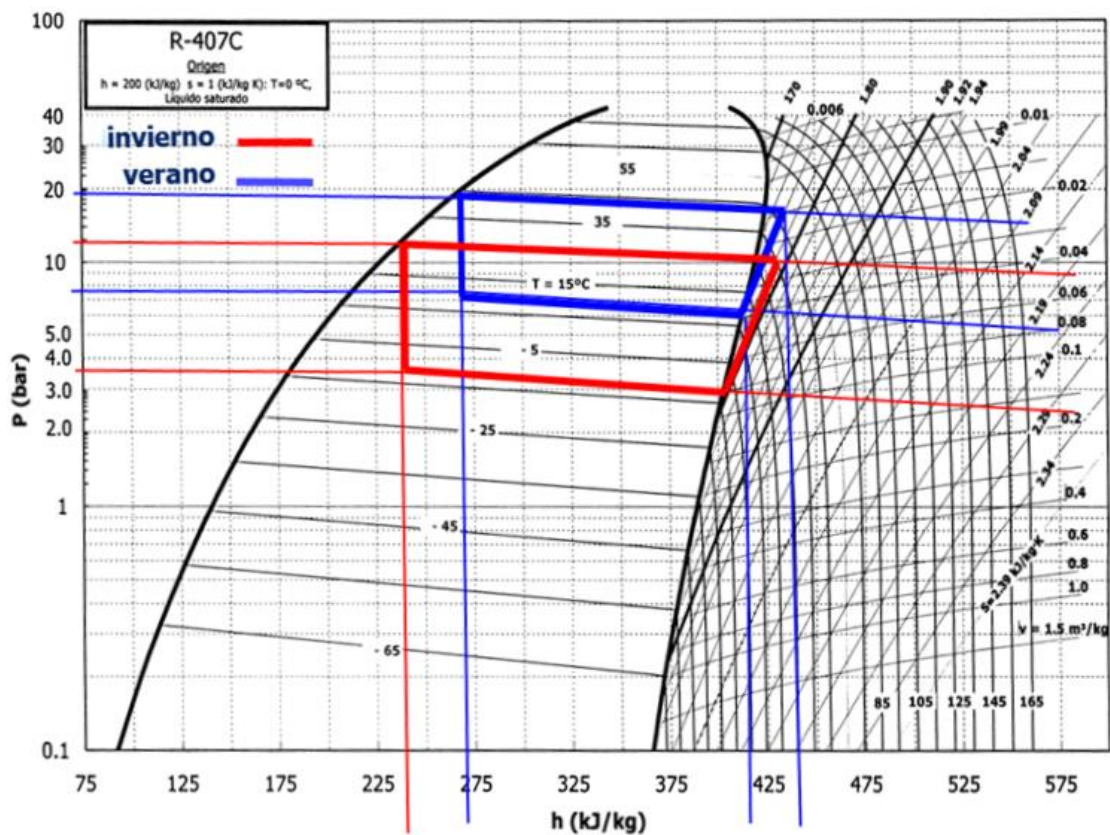


Figura 3. Diagrama P-h de funcionamiento del refrigerante R407c.  
[\[https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor\]](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor)



## 2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Estimar las necesidades energéticas para la climatización del vaso de una piscina cubierta y del aire del recinto.
- Seleccionar los equipos necesarios y realizar un esquema general de la instalación.
- Calcular la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y dimensionar la instalación solar térmica y la caldera de apoyo necesaria para satisfacer la demanda.
- Finalmente se realizará un estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por la instalación.

### **3 ANTECEDENTES**

Para la realización de este trabajo se parte de una piscina pública cubierta ubicada en la ciudad de A Coruña.

Se trata de un edificio de nueva construcción para cuya realización se ha seguido el Código Técnico de la Edificación y del cual se conocen todos los planos y elementos constructivos necesarios para el correcto desarrollo de este trabajo.

## 4 NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable a la realización de este proyecto es la siguiente:

- **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)** en su versión actualizada de septiembre de 2013 (Real Decreto 1027/2007 del 20 de Julio).
- **Código Técnico de la Edificación (CTE)** especialmente el **Documento Básico HE Ahorro de energía (DBHE)** y el **Documento Básico HS Salubridad (DBHS)** (Real Decreto 314/2006 del 17 de Marzo).
- Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los **criterios técnico-sanitarios de las piscinas**.
- Decreto 103/2005, do 6 de maio, polo que se establece a **regulamentación técnico-sanitario de piscinas de uso colectivo**.
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo, conocida como **norma de Ecodiseño o ErP (Energy related Products)**.

Además de estas normas también se han seguido los siguientes documentos publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):

- Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos.
- Guía técnica de agua caliente sanitaria central.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.

## 5 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y CONDICIONES DE DISEÑO

El edificio de la piscina está construido con estructura de hormigón y cubierta pesada transitable, en una sola planta con sótano. En el sótano se sitúan las instalaciones necesarias para la depuración y mantenimiento del vaso de la piscina. En la planta baja se encuentra la recepción, el vaso de la piscina con sus playas correspondientes, los vestuarios de los usuarios y del personal de la piscina y una sala que hace las funciones de almacén.

En el documento Planos adjunto a este trabajo pueden verse los planos con la distribución en planta del edificio y sus alzados correspondientes. Por otro lado, en el apartado 8.1.5 se encuentra una descripción detallada de los materiales y composición de los cerramientos

El vaso de la piscina tiene unas dimensiones de 25 m de largo, 12 m de ancho y una profundidad media de 1,8 m. Está compuesto por 6 calles de 2 m de ancho cada una.

El RITE especifica que la temperatura del agua en piscinas climatizadas debe estar comprendida entre 24 y 30°C. La Instrucción Técnica complementaria (ITE) 10.2.1.2 del antiguo documento del RITE de 1998 establecía la siguiente tabla de temperaturas en función del uso del vaso:

Tabla 1. Temperatura del agua en piscinas función del uso del vaso.

Uso principal		Temperatura del agua (°C)
Público	recreo	25
	chapoteo	24
	enseñanza	25
	entrenamiento	26
	competición	24
Privado		25/26

Por tanto, teniendo en cuenta que el vaso estudiado en este trabajo es de uso recreativo, se elige una temperatura del agua de **25°C**.

Por otra parte, el RITE actual establece en su Instrucción Técnica (IT) 1.1.4.1.2 que la temperatura seca del aire de los locales que alberguen piscinas climatizadas se mantendrá entre 1°C y 2°C por encima de la del agua del vaso, con un máximo de 30°C, y que la humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65%, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones.

De este modo la temperatura de diseño para el aire del recinto serán **27°C** y su humedad relativa un **65%** durante todo el año.

Se climatizará el recinto donde se encuentra el vaso de la piscina, considerando los vestuarios y otras habitaciones anexas como espacios no climatizados.

## 6 CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTERIORES

Las condiciones climáticas exteriores han sido extraídas de la Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto del IDAE, la cual recoge los datos de las diversas estaciones meteorológicas pertenecientes a la Agencia Española de Meteorología que han podido facilitar registros horarios de temperatura ambiente con una antigüedad mínima de 10 años.

Para este proyecto los datos que interesan son los de la estación completa de A Coruña, cuyo código identificativo es el 1387.

Se distingue entre datos necesarios para calefacción y refrigeración, utilizando el concepto de nivel percentil (porcentaje de horas anuales en los que la temperatura de la localidad es sobrepasada por un cierto valor, es decir, el valor de la temperatura seca de una localidad con un nivel percentil del 0,4 % supone que un número de horas de  $24 \cdot 365 \cdot 0,4 / 100 = 35$  h la temperatura de dicha localidad está por encima de este valor).

A continuación se definen las nomenclaturas que aparecen en las Tablas 2, 3, 4 y 5:

**TS<sub>99,6</sub>**: temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99,6%.

**TSMIN**: temperatura seca (°C) mínima registrada en la localidad.

**HUMcoin**: Humedad relativa media coincidente (%) (se da a la vez que se tiene el nivel percentil del 99% en temperatura seca).

**THC<sub>0,4</sub>**: temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 0,4%.

**THC<sub>1</sub>**: temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 1%.

**THC<sub>2</sub>**: temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 2%.

**TSMAX**: temperatura seca (°C) máxima registrada en la localidad.

**TSC<sub>0,4</sub>**: temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 0,4%.

**TSC<sub>1</sub>**: temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 1%.

**TSC<sub>2</sub>**: temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 2%.

**TS<sub>99</sub>**: temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99%.

**OMDC**: oscilación media diaria (°C) (máxima-mínima diaria) de los días en los que alguna de sus horas están dentro del nivel percentil del 99%.

**TS<sub>0,4</sub>**: temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%.

**TS<sub>1</sub>**: temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 1%.

**TS<sub>2</sub>**: temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 2%.

**OMDR**: oscilación media diaria (°C) (máxima-mínima diaria) de los días en los que alguna de sus horas están dentro del nivel percentil del 1%.

**TH<sub>0,4</sub>**: temperatura húmeda (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%.

**TH<sub>1</sub>**: temperatura húmeda (°C) de la localidad con percentil del 1%.

**TH<sub>2</sub>**: temperatura húmeda (°C) de la localidad con un percentil del 2%.

**OMA**: oscilación media anual de temperatura seca (°C).

**TTERR:** temperatura media mensual del terreno (°C) a una profundidad de 20 cm.

Se define como la diferencia de la temperatura seca con un nivel percentil del 0,4% respecto a la temperatura seca con un 99,6%, es decir:

$$OMA = TSC (0,4\%) - TS (99,6\%)$$

**TA:** temperatura seca media mensual (°C).

**TASOL:** temperatura seca media mensual durante las horas de sol (°C).

**RADH:** radiación media diaria sobre superficie horizontal en forma mensual (kWh/m<sup>2</sup>).

**GD\_15:** grados día de calefacción con base 15/15 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 15°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores negativos (se expresa finalmente en número absoluto dicho valor).

**GD\_20:** grados día de calefacción con base 20/20 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 20°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores negativos (se expresa finalmente en número absoluto dicho valor).

**GDR\_20:** grados día de refrigeración con base 20/20 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 20°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores positivos.

**Tabla 2. Condiciones de proyecto de calefacción (temperatura seca exterior máxima).**

TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)
0,6	4,4	5,6	8,0	77	21,6

**Tabla 3. Condiciones de proyecto de refrigeración (temperatura seca exterior máxima).**

TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
34,5	26,0	20,5	24,3	19,8	23,0	19,2	10,8

**Tabla 4. Condiciones de proyecto de refrigeración (temperatura húmeda exterior máxima).**

TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)
20,6	26,1	19,8	24,8	19,2	23,6

**Tabla 5. Valores medios mensuales**

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20 (°C)	GDR_20 (°C)	RADH (kWh/m <sup>2</sup> día)	TTERR (°C)
Enero	11,0	11,8	128	280	0	1,5	11,0
Febrero	10,9	12,0	119	257	0	2,5	10,9
Marzo	12,5	13,6	89	234	1	3,4	12,5
Abril	12,7	13,7	77	219	0	4,6	12,7
Mayo	14,9	15,8	34	160	2	5,6	14,9
Junio	17,6	18,5	5	86	12	6,2	17,6
Julio	18,8	19,7	1	53	16	6,2	18,8
Agosto	19,5	20,4	0	38	21	5,6	19,5
Septiembre	18,4	19,7	2	60	13	4,2	18,4
Octubre	16,2	17,4	18	123	5	2,5	16,2
Noviembre	13,0	14,0	71	210	0	1,6	13,0
Diciembre	11,4	12,3	116	267	0	1,3	11,4

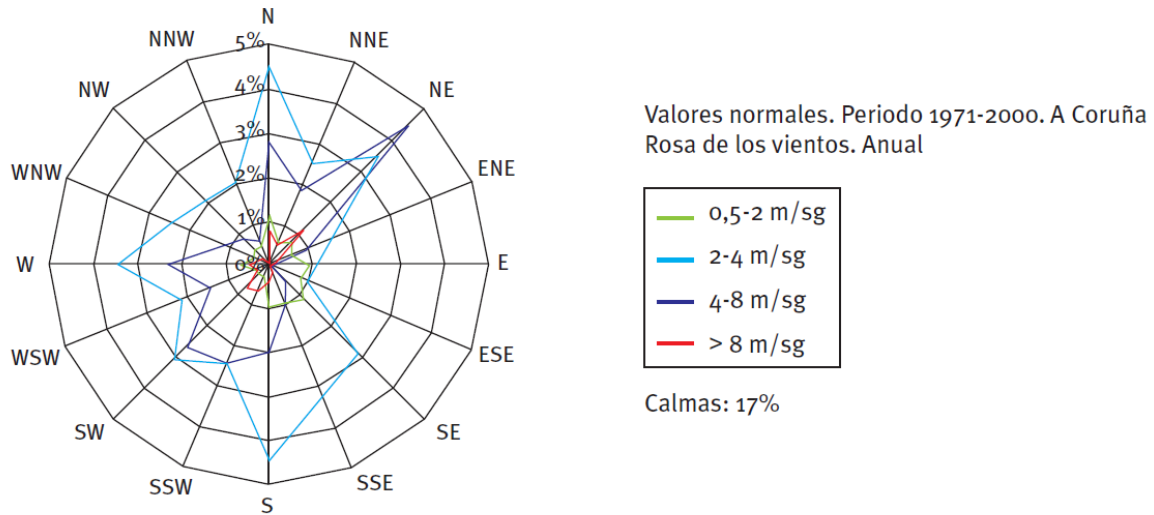


Figura 4. Rosa de los vientos.

La Tabla 6 extraída del Apéndice B de la Sección 1 del DBHE muestra las distintas zonas climáticas de la Península Ibérica. La piscina objeto de estudio está situada en A Coruña a una altitud menor a 200 m, por lo que su zona climática es la **C1**.

Tabla 6. Zonas climáticas de la Península Ibérica.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400					h < 800				h ≥ 800	
Ávila	E1	1054										h < 400	h < 450		h ≥ 450	h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861														h < 600	h ≥ 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850			
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50											h ≥ 1000
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/A Coruña	C1	0											h < 200				h ≥ 200	
Cuenca	D2	975										h < 800	h < 1050		h < 1050			h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432									h < 200	h < 400			h < 700			h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131									h < 100				h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379										h < 200			h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412														h < 500		h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0					h < 300				h < 700				h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25					h < 100					h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327									h < 150	h < 300			h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214											h < 50				h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h ≥ 250						h ≥ 800
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600		h ≥ 600
Pontevedra	C1	77											h < 350					h ≥ 350
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5														h < 400	h ≥ 400	h ≥ 400
Santander	C1	1											h < 150			h < 650	h ≥ 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013													h < 1000			h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							h ≥ 200
Soria	E1	984													h < 750	h < 800		h ≥ 800
Tarragona	B3	1					h < 50					h < 500			h ≥ 500			h ≥ 1000
Teruel	D2	995									h < 450	h < 500			h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			h ≥ 800
Valencia/València	B3	8					h < 50				h < 500				h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512														h < 500		h ≥ 500
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

## 7 DEMANDA DE ENERGÍA DEL AGUA DE LA PISCINA

La potencia suministrada al agua de la piscina debe ser la suficiente para vencer las distintas pérdidas de calor que se producen en el vaso. Además la potencia de la fuente de calor, en este caso la bomba de calor, debe ser lo suficientemente grande como para permitir la puesta a régimen del agua del vaso desde la temperatura del agua de la red hasta los 25°C en un tiempo aceptable.

El agua de la piscina sufre pérdidas de calor por evaporación del agua, radiación, convección, renovación y transmisión. En la Figura 5 están representadas estas pérdidas siendo  $Q_E$  las pérdidas por evaporación,  $Q_R$  las pérdidas por radiación,  $Q_C$  las pérdidas por convección,  $Q_{RE}$  las pérdidas por renovación y  $Q_T$  las pérdidas por transmisión.

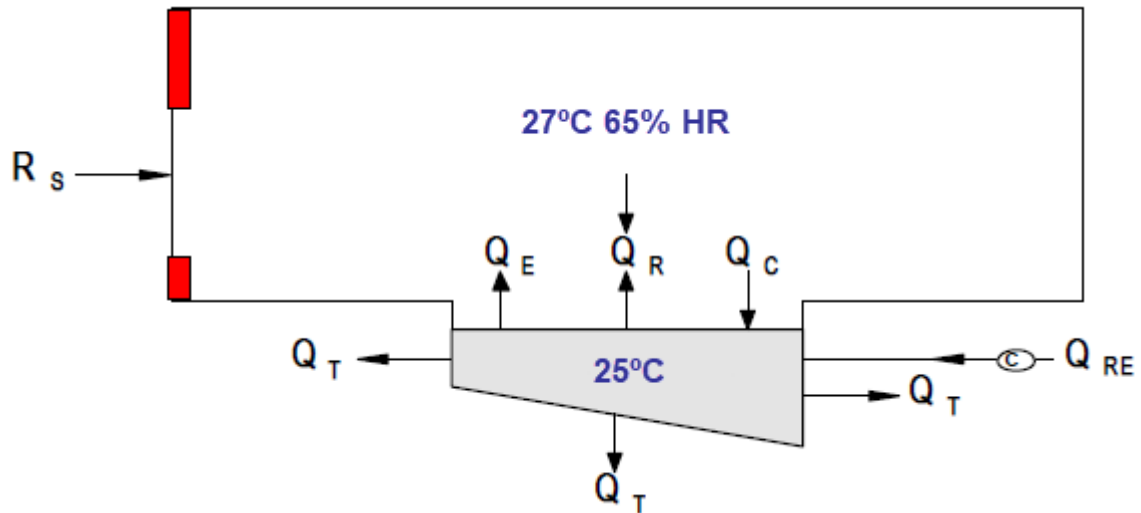


Figura 5. Pérdidas de calor en el vaso de la piscina.

[<http://www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAIbarracin-CIATESA.pdf>]

### 7.1 Pérdidas por evaporación

El agua de la lámina del vaso se irá evaporando con el tiempo aportando humedad al ambiente y absorbiendo energía del agua líquida. Esta evaporación se ve favorecida por el chapoteo de los bañistas y su entrada y salida del agua, por lo que a mayor número de bañistas mayor será la cantidad de agua evaporada y mayor la pérdida de temperatura del vaso. Una baja humedad relativa del aire ambiente también favorece la evaporación, ya que el aire tiene más capacidad de captar agua.

Existen varias fórmulas para el cálculo de la masa de agua evaporada en función de las condiciones del ambiente y el número de bañistas. Las más destacadas son la fórmula de Bernier y la de Carreras.

**Fórmula de Bernier:**

$$M_E = S[(16 + 133n)(\omega_e - HR\omega_{as})] + 0,1N \quad (3)$$

Donde:

- $M_E$  es el caudal de agua evaporada, en kg/h.
- $S$  es la superficie de la lámina de agua, en este caso 300 m<sup>2</sup>.
- $n$  es el número de nadadores por metro cuadrado de superficie de lámina de agua.



- $\omega_e$  es la humedad específica del aire saturado a la temperatura del agua. La humedad específica del aire a 25°C y una humedad relativa del 100% es 0,02006 kg<sub>vapor</sub>/kg<sub>aire seco</sub>.
- $HR$  es la humedad relativa del aire, un 65%.
- $\omega_{as}$  es la humedad específica del aire saturado a la temperatura del aire interior. El aire a 27°C y 100% de humedad tiene una humedad específica de 0,02267 kg<sub>vapor</sub>/kg<sub>aire seco</sub>.
- $N$  es el número total de ocupantes del recinto, contando los posibles espectadores.

La fórmula de Bernier es la suma de dos términos, piscina sin agitación (coeficiente 16 de la fórmula) y piscina con ocupación (coeficiente 133n).

#### Fórmula de Carreras:

$$M_E = 9(\omega_e - \omega_a) \left(1 + \frac{v}{1,2}\right) S + 0,42n + 0,08N \quad (4)$$

Donde los únicos parámetros nuevos son la velocidad del aire  $v$  y  $\omega_a$ , que es la humedad específica en las condiciones del aire ambiente, que para 27°C y un 65% de humedad es 0,01457 kg<sub>vapor</sub>/kg<sub>aire seco</sub>.

Se comprueba que ambas fórmulas dependen del número de ocupantes de la piscina (más ocupantes implican mayor masa evaporada) y de la humedad específica del aire (una menor humedad implica una mayor cantidad de agua evaporada).

En este trabajo se empleará la fórmula de Bernier para distinto número de ocupación, desde 10 bañistas que se considerará como la ocupación mínima hasta 60 que se considera la ocupación máxima.

Una vez obtenido el caudal de agua que se pierde por evaporación, las pérdidas de calor debidas a este fenómeno se calculan de manera sencilla multiplicando el caudal por la entalpía de vaporización ( $\Delta h_{vap}$ ) del agua a 25°C que son 2442 kJ/kg o 678,33 Wh/kg.

$$\dot{Q}_E = M_e \Delta h_{vap} \quad (5)$$

## 7.2 Pérdidas por radiación

El agua emitirá calor por radiación hacia los cerramientos siguiendo la fórmula de Stefan Boltzmann:

$$\dot{Q}_R = DE(T_{ag}^4 - T_c^4)S \quad (6)$$

Donde:

- $D$  es la constante de Stefan Boltzmann, cuyo valor es  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
- $E$  es la emisividad de la superficie del agua, 0,95.
- $T_{ag}$  es la temperatura del agua en grados Kelvin, 298 K.
- $T_c$  es la temperatura superficial de los cerramientos en grados Kelvin.
- $S$  es la superficie de la lámina de agua, 300 m<sup>2</sup>.

El aire del recinto estará 2°C por encima de la temperatura del agua, por lo que la temperatura de los cerramientos y la del agua será muy parecida y estas pérdidas pueden despreciarse.

### 7.3 Pérdidas por convección

Como el aire estará más caliente que el agua del vaso, estas pérdidas serán negativas, es decir, habrá una transferencia de calor del aire al agua. Para su cálculo, la fórmula usada será la siguiente:

$$\dot{Q}_C = 0,6246(T_{ag} - T_a)^{4/3}S \quad (7)$$

En único parámetro nuevo en esta fórmula es  $T_a$ , que es la temperatura del aire en el recinto, 25°C.

Otra forma de calcular esta transferencia de calor es suponer que existirá convección libre sobre la lámina de la piscina, ya que la velocidad del aire sobre la lámina será muy baja. De esta forma, utilizando las expresiones para flujo sobre una placa plana horizontal, puede estimarse el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección  $h$  y multiplicando por la diferencia de temperaturas y la superficie de la lámina de agua obtener la transferencia de calor.

$$\dot{Q}_C = h(T_{ag} - T_a)S \quad (8)$$

### 7.4 Pérdidas por renovación

Por normativa, un 5% del volumen de agua del vaso debe desecharse y reponerse diariamente por razones de higiene. Además de estas pérdidas, existen otras pérdidas de agua ya sea por evaporación o la que se escapa del vaso con el paso de los bañistas, pero estas cantidades serán muy inferiores a ese 5% de volumen de renovación. Este 5% desechado supone la siguiente pérdida de energía diaria:

$$Q_{RE} = V_{RE}\rho c_p(T_{ag} - T_{red}) \quad (9)$$

Donde:

- $V_{RE}$  es el volumen de renovación del vaso, 27 m<sup>3</sup> en este caso.
- $\rho$  es la densidad del agua a 25°C, 997,1 kg/m<sup>3</sup>.
- $c_p$  es el calor específico del agua a 25°C, 4183 J/(kgK).
- $T_{red}$  es la temperatura del agua de la red de abastecimiento. Este valor se obtiene de la Tabla 7, extraída del Apéndice B de la Sección 4 del DBHE.

Este caudal de agua de renovación no se extrae todo de una vez, si no que se va extrayendo poco a poco a través del sistema de filtrado y depuración de la piscina. Por lo tanto, para convertir la energía diaria anteriormente calculada en potencia es necesario saber cuántas horas tarda en hacerse la renovación. El diseño del sistema de filtración y depuración no entra dentro del alcance de este trabajo, pero se sabe que el Decreto 103/2005 de la Xunta de Galicia exige que en los vasos recreativos todo el agua del vaso pase por el sistema de filtración cada 4 horas. Además se sabe que para mantener las condiciones higiénico sanitarias adecuadas, se realizan 4 ciclos de recirculación al día. Por tanto el sistema de filtración funcionará 16 horas diarias.

Sabiendo esto, la potencia de las pérdidas de renovación será:

$$\dot{Q}_{RE} = Q_{RE}/(3600 \cdot 16) \quad (10)$$

Tabla 7. Temperatura diaria media mensual del agua de la red [3].

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>A Coruña</i>	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
<i>Albacete</i>	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
<i>Alicante/Alacant</i>	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
<i>Almería</i>	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
<i>Ávila</i>	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
<i>Badajoz</i>	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
<i>Barcelona</i>	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
<i>Bilbao/Bilbo</i>	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
<i>Burgos</i>	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
<i>Cáceres</i>	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
<i>Cádiz</i>	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
<i>Castellón/Castelló</i>	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
<i>Ceuta</i>	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
<i>Ciudad Real</i>	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
<i>Córdoba</i>	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
<i>Cuenca</i>	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
<i>Girona</i>	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
<i>Granada</i>	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
<i>Guadalajara</i>	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
<i>Huelva</i>	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
<i>Huesca</i>	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
<i>Jaén</i>	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
<i>Las Palmas de Gran Canaria</i>	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
<i>León</i>	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
<i>Lleida</i>	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
<i>Logroño</i>	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
<i>Lugo</i>	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
<i>Madrid</i>	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
<i>Málaga</i>	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
<i>Melilla</i>	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
<i>Murcia</i>	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
<i>Ourense</i>	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
<i>Oviedo</i>	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
<i>Palencia</i>	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
<i>Palma de Mallorca</i>	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
<i>Pamplona/Iruña</i>	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
<i>Pontevedra</i>	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
<i>Salamanca</i>	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
<i>San Sebastián</i>	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
<i>Santa Cruz de Tenerife</i>	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
<i>Santander</i>	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
<i>Segovia</i>	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
<i>Sevilla</i>	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
<i>Soria</i>	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
<i>Tarragona</i>	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
<i>Teruel</i>	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
<i>Toledo</i>	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
<i>Valencia</i>	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
<i>Valladolid</i>	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
<i>Vitoria-Gasteiz</i>	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
<i>Zamora</i>	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
<i>Zaragoza</i>	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

## 7.5 Pérdidas por transmisión

El vaso de la piscina se encuentra en el sótano y sufrirá pérdidas de calor debido a la transmisión de calor entre el agua y los cerramientos del vaso. Estas pérdidas se calculan como:

$$\dot{Q}_T = C_T S_c (T_{ag} - T_{ex}) \quad (11)$$

Donde:

- $C_T$  es el coeficiente de transmisión de los cerramientos del vaso. Serán 1,5 W/(m<sup>2</sup>K).
- $S_c$  es la superficie del cerramiento del vaso: 433,2 m<sup>2</sup>.
- $T_{ex}$  es la temperatura exterior al vaso, es decir, la temperatura del sótano. Su valor se obtendrá de la Tabla 8 en función de la temperatura exterior.

**Tabla 8. Cerramientos en contacto con espacios no climatizados [4].**

Tipo de local	Temperatura exterior				
	8	4	0	-4	-8
Locales rodeados de otros sin calefacción	14	12	10	8	5
Sótanos	15	13	11	10	7
Ático con forjado plano y cubierta inclinada o terraza con cámara	15	13	10	8	5
Ático con forjado inclinado o terraza sin cámara	12	10	8	5	0

## 7.6 Potencia de puesta a régimen

Es necesario tener en cuenta la potencia necesaria para llenar por completo la piscina con agua de la red y calentarla hasta los 25°C. No solo para la primera puesta en marcha de la piscina, la normativa exige que una vez al año se vacíe por completo el vaso de la piscina y se renueve todo el volumen de agua. Esta potencia será:

$$\dot{Q}_{PR} = \frac{V \rho c_p (T_{ag} - T_{red})}{t} \quad (12)$$

Siendo  $V$  los 540 m<sup>3</sup> de volumen de la piscina y  $t$  el tiempo empleado para la puesta a régimen. Evidentemente cuanto mayor sea el tiempo de puesta a régimen menor será la potencia solicitada, por lo que hay que alcanzar una solución de compromiso que permita alcanzar el régimen permanente en un tiempo aceptable y sin gastar una potencia desmesurada. En este caso se opta por un tiempo de puesta a régimen de 3 días, es decir, 72 horas.

## 7.7 Resultados

Se muestran a continuación los resultados obtenidos.

**Tabla 9. Pérdidas del agua de la piscina.**

Masa evaporada (10 bañistas) (kg/h)	32,64
Masa evaporada (30 bañistas) (kg/h)	47,30
Masa evaporada (60 bañistas) (kg/h)	68,54
Pérdidas por evaporación (10 bañistas) (kW)	22,13
Pérdidas por evaporación (30 bañistas) (kW)	32,10
Pérdidas por evaporación (60 bañistas) (kW)	46,48
Pérdidas por radiación (kW)	0,006
Pérdidas por convección (kW)	-0,472
Pérdidas por renovación (kW)	29,33
Pérdidas por transmisión (kW)	7,80
Potencia de puesta a régimen (kW)	130,3

Las pérdidas por evaporación se han calculado con la fórmula de Bernier para ocupaciones de 10, 30 y 60. Las pérdidas por convección se han calculado con la ecuación 7, ya que se ha comprobado que es más conservadora. Para la temperatura del agua de red se ha elegido la más fría, 10°C.

Se observa que las mayores pérdidas corresponden a las pérdidas por evaporación y por renovación y que las pérdidas por radiación y convección son despreciables. Si se suman todos los valores usando las pérdidas por evaporación para 60 bañistas, ya que son las mayores, y despreciando las pérdidas por convección y radiación se obtiene una potencia total de **83,61 kW**.

Por tanto la potencia de la bomba de calor empleada debe ser de un mínimo 83,61 kW para poder vencer las pérdidas y mantener el agua del vaso a los 25°C deseados. Por otro lado, esos 83,61 kW son inferiores a los 130,3 kW necesarios para la puesta en régimen de la piscina. Durante la puesta a régimen de la piscina no se producirán pérdidas por evaporación (la normativa exige cubrir la lámina de la piscina cuando ésta no está en uso para minimizar las pérdidas) ni por renovación.

En conclusión, la potencia necesaria de la bomba de calor para satisfacer las necesidades energéticas del agua de la piscina serán los **138,1 kW** resultantes de sumar a la potencia necesaria para la puesta a régimen las pérdidas por conducción.

Habrà que tener en cuenta que esta potencia no se transmite directamente al agua de la piscina, sino que habrá un intercambiador de calor que calienta el agua del vaso, por lo que este intercambiador debe ser el adecuado para transmitir la potencia necesaria al agua del vaso.

Lo siguiente será calcular la demanda térmica del aire del recinto y elegir finalmente la bomba de calor necesaria en consecuencia.

## 7.8 Potencia media mensual

En la tabla inferior se muestran los resultados de la potencia media mensual necesaria para vencer las pérdidas de calor en el vaso de la piscina para una ocupación media de 30 bañistas.

**Tabla 10. Potencia media mensual del vaso de la piscina**

<b>Mes</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Enero</b>	68,73
<b>Febrero</b>	68,73
<b>Marzo</b>	65,48
<b>Abril</b>	63,52
<b>Mayo</b>	60,20
<b>Junio</b>	56,30
<b>Julio</b>	52,06
<b>Agosto</b>	51,09
<b>Septiembre</b>	54,02
<b>Octubre</b>	57,99
<b>Noviembre</b>	63,52
<b>Diciembre</b>	65,48

## 8 DEMANDA DE ENERGÍA DEL AIRE DEL RECINTO

Las condiciones de diseño para el aire en el interior de la piscina son de 27°C y un 65% de humedad relativa. Para calcular las necesidades energéticas se hará un estudio de las diferentes cargas térmicas que afectan al edificio tanto de calor sensible como latente y se determinará el caudal de aire necesario para satisfacer las condiciones de ventilación que exige el RITE y las condiciones de humedad y temperatura requeridas.

Las cargas térmicas que se van a tener en cuenta en este trabajo son las debidas a: transmisión, iluminación, infiltración y radiación solar. Estas cargas forman parte de la carga de calor sensible del local. Como carga de calor latente solo se incluirá la procedente del vapor de agua que surge de la piscina.

### 8.1 Envoltente térmica del edificio

La envoltente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

El CTE clasifica los cerramientos y particiones interiores de los espacios habitables en las siguientes categorías:

Los cerramientos y particiones interiores de los espacios habitables se clasifican según su situación en las siguientes categorías:

- **Cubiertas:** comprenden aquellos cerramientos superiores en contacto con el aire cuya inclinación sea inferior a 60° respecto a la horizontal.
- **Suelos:** comprenden aquellos cerramientos inferiores horizontales o ligeramente inclinados que estén en contacto con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.
- **Fachadas:** comprenden los cerramientos exteriores en contacto con el aire cuya inclinación sea superior a 60° respecto a la horizontal. Se agrupan en 6 orientaciones según los sectores angulares contenidos en la Figura 7. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo  $\alpha$  que es el formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario.
- **Medianerías:** comprenden aquellos cerramientos que lindan con otros edificios ya construidos o que se construyan a la vez y que conformen una división común. Si el edificio se construye con posterioridad el cerramiento se considerará, a efectos térmicos, una fachada.
- **Cerramientos en contacto con el terreno:** comprenden aquellos cerramientos distintos a los anteriores que están en contacto con el terreno.
- **Particiones interiores:** comprenden aquellos elementos constructivos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes recintos.

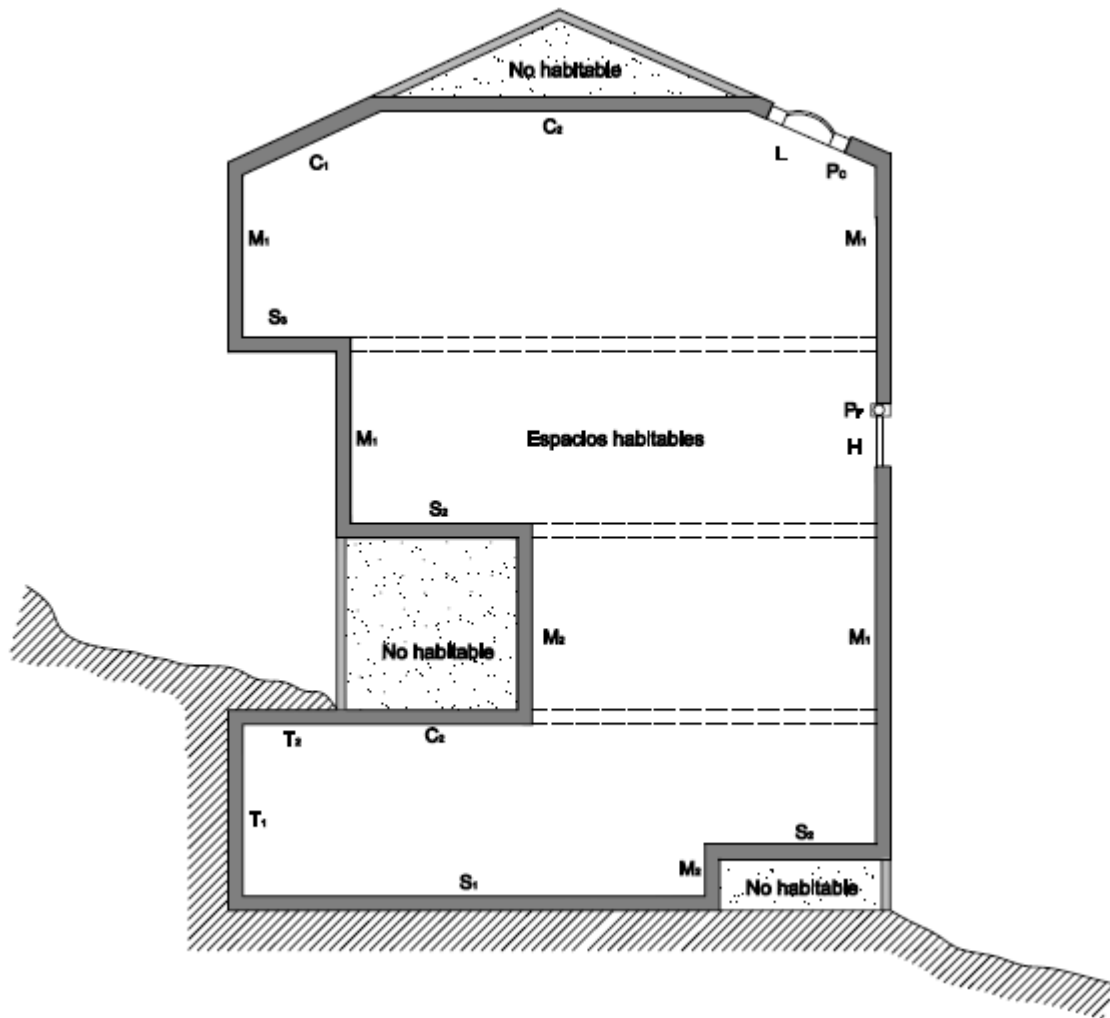


Figura 6. Envolvente térmica de un edificio [3].

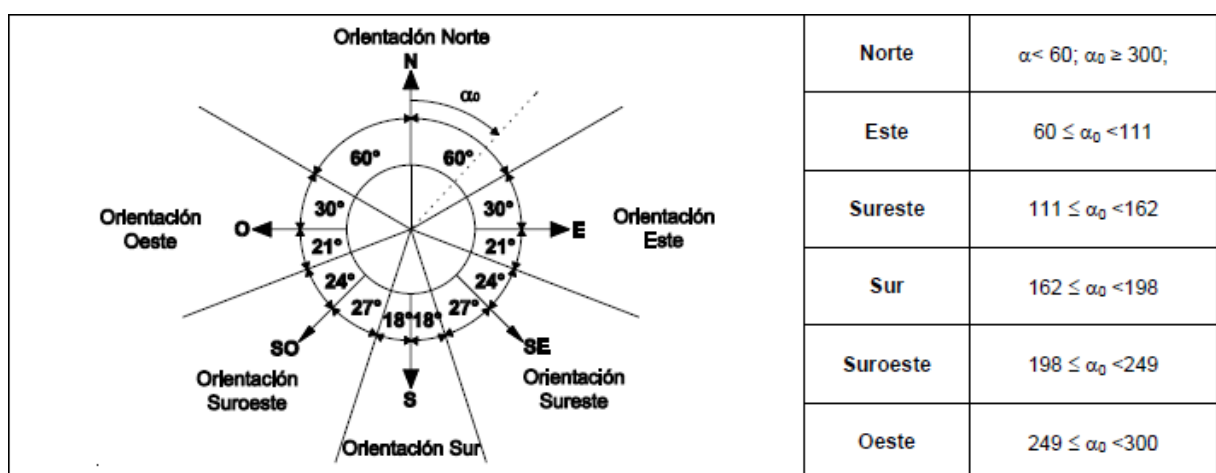


Figura 7. Orientaciones de las fachadas [3].



El Apéndice E de la Sección 1 del DBHE [3] establece los procedimientos a seguir para el cálculo de la transmitancia térmica de los distintos cerramientos que componen la envolvente térmica del edificio. Los cerramientos que componen la envolvente térmica del recinto del vaso de la piscina son: fachadas norte y sur, particiones interiores este y oeste, cubierta pesada y el suelo (que está en contacto con el ambiente del sótano). Se describe a continuación el proceso a seguir para el cálculo de las transmitancias de estos cerramientos.

### 8.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ) se obtiene como la inversa de la resistencia térmica total del cerramiento.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (13)$$

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (14)$$

Donde:

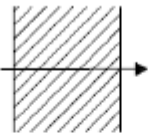
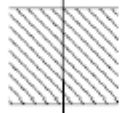

- $R_1, R_2 \dots R_n$  son las resistencias de cada capa de material.
- $R_{si}$  y  $R_{se}$  son respectivamente las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior. Se obtienen de la Tabla 11.

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea se calcula como:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (15)$$

Siendo  $e$  el espesor de la capa (en caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio) y  $\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa.

**Tabla 11. Resistencias térmicas cerramientos en contacto con aire exterior en  $m^2K/W$  [3].**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Se calcularán con este procedimiento las transmitancias de las fachadas norte y sur y la cubierta. La transmitancia del suelo de la piscina se calculará con la misma fórmula pero considerando las resistencias superficiales como interiores, ya que estará en contacto con el ambiente del sótano.

### 8.1.2 Particiones interiores

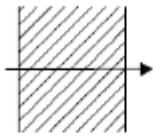
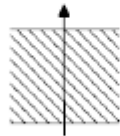
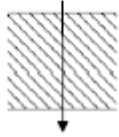
Se calcula la transmitancia térmica con la siguiente expresión:

$$U = U_p b \quad (16)$$

Donde:

- $U_p$  es la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según el apartado anterior, tomando como resistencias superficiales los valores de la Tabla 12.
- $b$  es el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido por la Tabla 13.

**Tabla 12. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en  $m^2K/W$  [3].**

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
<i>Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal <math>&gt;60^\circ</math> y flujo horizontal</i>		0,13	0,13
<i>Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal <math>\leq 60^\circ</math> y flujo ascendente (Techo)</i>		0,10	0,10
<i>Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)</i>		0,17	0,17

**Tabla 13. Coeficiente de reducción de temperatura  $b$  [3].**

$A_{n-nh}/A_{nh-e}$	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
$<0,25$	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
$0,25 \leq 0,50$	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
$0,50 \leq 0,75$	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
$0,75 \leq 1,00$	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
$1,00 \leq 1,25$	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
$1,25 \leq 2,00$	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
$2,00 \leq 2,50$	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
$2,50 \leq 3,00$	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
$>3,00$	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

- CASO 1: espacio ligeramente ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 1, 2 o 3.
- CASO 2 espacio muy ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 4 o 5.

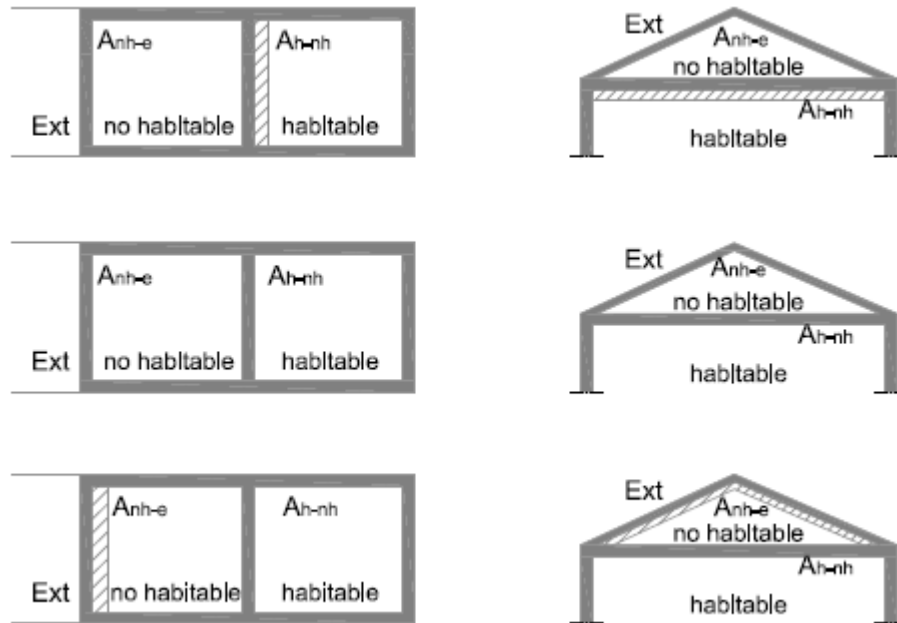


Figura 8. Espacios habitables en contacto con espacios no habitables [3].

Con este procedimiento se calculan las transmitancias térmicas de las particiones interiores este y oeste de la piscina.

### 8.1.3 Huecos y lucernarios

Para el cálculo de la transmitancia térmica de huecos (ventana, lucernario o puerta)  $U_H$  ( $W/m^2K$ ) el CTE dice que se empleará la fórmula de la norma UNE EN ISO 10077:

$$U_H = \frac{A_{Hv}U_{Hv} + A_{Hm}U_{Hm} + l_v\Psi_v + A_{Hp}U_{Hp} + l_p\Psi_p}{A_{Hv} + A_{Hm} + A_{Hp}} \quad (17)$$

Donde:

- $U_{Hv}$  es la transmitancia térmica del acristalamiento.
- $U_{Hm}$  es la transmitancia térmica del marco.
- $U_{Hp}$  es la transmitancia térmica de la zona con panel opaco.
- $\Psi_v$  es la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento ( $W/mK$ ).
- $\Psi_p$  es la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos ( $W/mK$ ).
- $A_{Hv}$  es el área de la parte acristalada.
- $A_{Hm}$  es el área del marco.
- $A_{Hp}$  es el área de la parte con panel opaco.
- $l_v$  es la longitud de contacto entre marco y acristalamiento.
- $l_p$  es la longitud de contacto entre marco y paneles opacos.

Las transmitancias lineales se obtienen de la Tabla 14.

**Tabla 14. Transmitancia térmica lineal en huecos  $\Psi_p$  y  $\Psi_v$  [3].**

Material del marco	Acristalamiento o empanelado simple	Acristalamiento o empanelado doble o triple	Acristalamiento doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad
Madera y plástico	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

#### 8.1.4 Factor solar modificado de huecos y lucernarios

El factor solar ( $F$ ) se define como el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. El factor solar modificado se obtiene multiplicando el factor solar por el factor de sombra, que es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

El factor solar modificado de un hueco o lucernario se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F = F_S[(1 - FM)g + FM0,04 U_M\alpha] \quad (18)$$

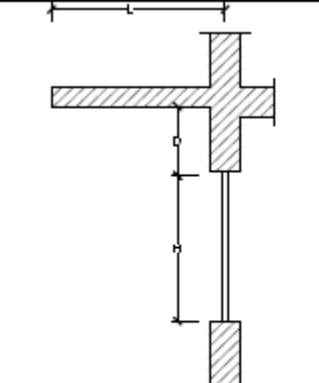
Donde:

- $F_S$  es el factor de sombra que se obtiene de las tablas 16 a 21 en función del tipo de sombra. Si no se justifica se debe considerar igual a la unidad.
- $FM$  es la fracción del hueco ocupada por el marco o la fracción de parte maciza en el caso de las puertas.
- $g$  es el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.
- $U_m$  es la transmitancia térmica del marco.
- $\alpha$  es la absorptividad del marco obtenida de la Tabla 15 en función de su color.

**Tabla 15. Absortividad del marco  $\alpha$  para radiación solar [3].**

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

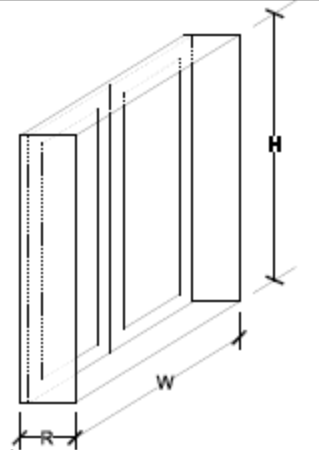
**Tabla 16. Factor sombra para obstáculos de fachada: Voladizo [3].**



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

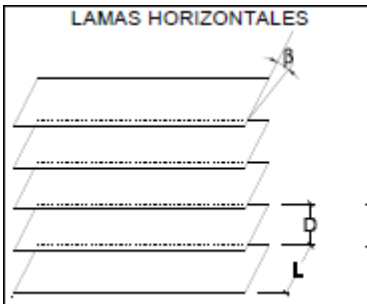
ORIENTACIONES DE FACHADAS				$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
S	$0 < D/H \leq 0,2$			0,82	0,50	0,28	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$			0,87	0,64	0,39	0,22
	$D/H > 0,5$			0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$			0,90	0,71	0,43	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$			0,94	0,82	0,60	0,27
	$D/H > 0,5$			0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$			0,92	0,77	0,55	0,22
	$0,2 < D/H \leq 0,5$			0,96	0,86	0,70	0,43
	$D/H > 0,5$			0,99	0,96	0,89	0,75

**Tabla 17. Factor sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo [3].**



ORIENTACIONES DE FACHADAS				$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$			0,82	0,74	0,62	0,39
	$0,1 < R/H \leq 0,2$			0,76	0,67	0,56	0,35
	$0,2 < R/H \leq 0,5$			0,56	0,51	0,39	0,27
	$R/H > 0,5$			0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$			0,88	0,81	0,72	0,51
	$0,1 < R/H \leq 0,2$			0,79	0,74	0,66	0,47
	$0,2 < R/H \leq 0,5$			0,59	0,56	0,47	0,36
	$R/H > 0,5$			0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$			0,91	0,87	0,81	0,65
	$0,1 < R/H \leq 0,2$			0,86	0,82	0,76	0,61
	$0,2 < R/H \leq 0,5$			0,71	0,68	0,61	0,51
	$R/H > 0,5$			0,53	0,51	0,48	0,39

**Tabla 18. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lamas horizontales [3].**



ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN ( $\beta$ )		
		0	30	60
SUR		0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

**Tabla 19. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lamas verticales [3].**

LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN ( $\sigma$ )						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

**Tabla 20. Factor sombra para obstáculos de fachada: Toldos [3].**

CASO A	Tejidos opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	$\alpha$	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
	30	0,02	0,04	0,22	0,24
	45	0,05	0,08	0,25	0,28
	60	0,22	0,28	0,42	0,48

CASO B	Tejidos opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$			
	$\alpha$	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
	30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

**Tabla 21. Factor sombra para obstáculos de fachada: Lucernarios [3].**

Y / Z		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

### 8.1.5 Resultados

A continuación se muestra la descripción de los componentes que forman los cerramientos de la envolvente térmica del vaso de la piscina y los resultados de las transmitancias térmicas. Los valores de conductividad térmica se han obtenido del catálogo de elementos constructivos del CTE [2] así como la resistencia térmica de los forjados. Los componentes que no aportan una resistencia térmica significativa se han despreciado en el cálculo aunque aparecen descritos en la tabla. La transmitancia de la puerta de emergencia presente en la fachada norte se ha obtenido directamente del catálogo del fabricante.

**Tabla 22. Transmitancias térmicas.**

<b>Muros de la fachada</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Conductividad (W/mK)</b>	<b>Resistencia térmica (m<sup>2</sup>K/W)</b>
Enlucido de yeso $\rho > 1000$	0,02	0,400	0,0500
Ladrillo perforado LP	0,08	0,350	0,2286
EPS poliestireno expandido	0,06	0,039	1,5385
Bloque de hormigón aligerado macizo	0,10	0,280	0,3571
$R_{se}$			0,0400
$R_{si}$			0,1300
Resistencia total			2,3442
<b>Transmitancia total (W/m<sup>2</sup>K)</b>			
0,4266			

<b>Partición interior este</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Conductividad (W/mK)</b>	<b>Resistencia térmica (m<sup>2</sup>K/W)</b>
Ladrillo perforado LP	0,08	0,35	0,2286
Enlucido de yeso $\rho > 1000$	0,04	0,40	0,1000
$R_{se}$			0,1300
$R_{si}$			0,1300
Resistencia total			0,5886
<b><math>U_p</math> (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b><math>b</math></b>		<b>Transmitancia total (W/m<sup>2</sup>K)</b>
1,6990	0,67		1,14

<b>Partición interior oeste</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Conductividad (W/mK)</b>	<b>Resistencia térmica (m<sup>2</sup>K/W)</b>
Ladrillo perforado LP	0,08	0,35	0,2286
Enlucido de yeso $\rho > 1000$	0,04	0,40	0,1000
$R_{se}$			0,1300

$R_{si}$		0,1300
Resistencia total		0,5886
$U_p$ (W/m <sup>2</sup> K)	$b$	Transmitancia total (W/m <sup>2</sup> K)
1,6990	0,53	0,90

Suelo planta de la piscina			
Descripción	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)
Forjado unidireccional	0,25		0,1900
Mortero para pendientes	0,05	1,65	0,0303
Lámina Novanol de PVC	0,0015	0,17	0,0088
Espuma de poliuretano	0,05	0,028	1,7857
Mortero de cemento	0,05	1,65	0,0303
Plaqueta cerámica	0,02	1	0,0200
$R_{se}$			0,1700
$R_{si}$			0,1700
Resistencia total			2,4051
Transmitancia total (W/m <sup>2</sup> K)			
0,4158			

Cubierta			
Descripción	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)
Enfoscado			
Forjado unidireccional	0,25		0,1900
Barrera de vapor oxiasfalto			
Hormigón para pendientes	0,12	1,65	0,0727
ROOFMATE LG-X	0,06	0,029	2,0690
Capa de mortero	0,02	1,30	0,0154
Membrana autoprotegida NOVANOL			
Capa separadora TERRAM			
Grava	0,03	2,00	0,015
$R_{se}$			0,0400
$R_{si}$			0,1000



Resistencia total		2,502
<b>Transmitancia total (W/m<sup>2</sup>K)</b>		
0,3997		

<b>Ventanas</b>						
Descripción	U <sub>Hv</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>Hm</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	A <sub>Hv</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>Hm</sub> (m <sup>2</sup> )	Ψ <sub>v</sub> (W/mK)	l <sub>v</sub> (m)
Vidrio doble cristal 4+9+3 (1 vidrio baja emisividad) y marco metálico con rotura de puente térmico >12 mm	2,3	3,2	0,81	0,19	0,08	3,6
<b>Transmitancia total (W/m<sup>2</sup>K)</b>						
2,759						

<b>Puerta de emergencia</b>	
Descripción	Transmitancia total (W/m <sup>2</sup> K)
Puerta metálica de doble hoja SOLEAL con triple acristalamiento y rotura de puente térmico	1,700

En la Tabla 23 se muestra el porcentaje de huecos de las fachadas del edificio y el factor solar modificado de los huecos.

**Tabla 23. Porcentaje de huecos y factor solar modificado.**

% de huecos				Factor solar modificado
Norte	Sur	Este	Oeste	
28,98	31,02	14,55	17,78	0,45

El CTE establece unos valores límite de transmitancias y factor solar modificado en función de la zona climática con el fin de limitar la demanda energética. En este caso la zona climática en la que se sitúa el edificio es la C1, se comprueba en la Tabla 24 que los cerramientos del edificio cumplen con los límites establecidos.

**Tabla 24. Valores límite de transmitancias y factor solar modificado para la zona C1 [3].**

### D.2.9 ZONA CLIMÁTICA C1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,37$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,8	3,0	3,9	3,9	-	-	-	0,58	-	0,60
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	-	-	-	0,47	-	0,52
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	-	-	-	0,42	-	0,48

## 8.2 Carga térmica por transmisión

El aire del recinto transmitirá calor al exterior a través de los cerramientos siguiendo la siguiente fórmula:

$$Q_{transmisión} = US(T_{interior} - T_{exterior})C_o \quad (19)$$

Siendo  $U$  la transmitancia térmica del cerramiento ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) y  $S$  su superficie.

$C_o$  es el coeficiente de orientación. El coeficiente de orientación es un factor adimensional que se emplea para tener en cuenta la ausencia de radiación solar y la presencia de vientos dominantes sobre los muros, en función de su orientación. No se tiene en cuenta en los muros de separación entre locales ni en cerramientos no verticales. Los valores habituales del coeficiente de orientación son los de la Tabla 25 mientras que en la Figura 7 se observan las posibles orientaciones.

**Tabla 25. Coeficientes de orientación [4].**

<b>Norte</b>	15%
<b>Noreste</b>	12,5%
<b>Este</b>	10%
<b>Sureste</b>	5%
<b>Sur</b>	0%
<b>Suroeste</b>	2,5%
<b>Oeste</b>	5%
<b>Noroeste</b>	10%

## 8.3 Carga térmica por infiltración

Las carpinterías no son 100% impermeables y se filtra cierto caudal de aire a través de ellas. La transferencia de calor debida a este fenómeno se calcula como:

$$Q_{infiltración} = V\rho c_p(T_{interior} - T_{exterior}) \quad (20)$$

Siendo  $V$  el caudal volumétrico de aire infiltrado,  $\rho$  su densidad y  $c_p$  su calor específico.

La norma UNE EN 12207:2000 clasifica los huecos y lucernarios en clases según su caudal de infiltración pro superficie total y por longitud de junta (Tabla 26).

El CTE establece que para las zonas climáticas A y B serán válidos los huecos y lucernarios de las clases 1, 2, 3 y 4 mientras que para las zonas C, D y E serán válidos los de clase 2, 3 y 4.

El aire solo no puede golpear todos los cerramientos simultáneamente, por lo que para el cálculo de las cargas por infiltración solo se tendrá en cuenta el caso del cerramiento más desfavorable.

**Tabla 26. Clasificación de huecos según su permeabilidad**  
[\[http://www.deteca.es/nueva\\_normativa.pdf\]](http://www.deteca.es/nueva_normativa.pdf).

<b>ENSAYOS: CRITERIO DE CLASIFICACIÓN</b>		
<b>FUGA DE AIRE A 100 PA (Pascales = Newtons / m<sup>2</sup>)</b>		
<i>1.1. Fuga de aire por superficie total</i>		
Clase	Permeabilidad al aire a 100 Pa m <sup>2</sup> /hora . m <sup>2</sup>	Presión máxima de ensayo Pa
0	Sin ensayar	Sin ensayar
1	≤ 50	150
2	≤ 27	300
3	≤ 9	600
4	≤ 3	600
<i>1.2. Fuga de aire por las juntas de apertura, en función de su longitud</i>		
Clase	Permeabilidad al aire a 100 Pa m <sup>2</sup> /hora . m	Presión máxima de ensayo Pa
0	Sin ensayar	Sin ensayar
1	≤ 12,50	150
2	≤ 6,75	300
3	≤ 2,25	600
4	≤ 0,75	600

## 8.4 Ganancias por iluminación

La iluminación será una carga interna que proporcionará un aporte de energía en forma de calor. Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación se considera que la potencia íntegra de las lámparas transformará en calor.

Si las lámparas de tipo fluorescente o de descarga, como es este caso, se multiplica la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

Se considerará además un coeficiente de simultaneidad, ya que no todo el tiempo estarán encendidas el 100% de las lámparas.

$$Q_{iluminación} = 1,25 C_s P S \quad (21)$$

Siendo  $C_s$  el coeficiente de simultaneidad,  $P$  la potencia de iluminación instalada por  $m^2$  y  $S$  la superficie del recinto.

En este caso el recinto cuenta con una potencia instalada de  $10 \text{ W/m}^2$  y una superficie de  $726 \text{ m}^2$ . Considerando un coeficiente de simultaneidad de 0,6 las ganancias por iluminación ascienden a **5,445 kW**.

## 8.5 Ganancias por radiación solar

La potencia aportada por la radiación solar que se filtra a través de las ventanas de la fachada sur se calcula como:

$$Q_{solar} = \frac{F k RADH S}{N_{sol}} \quad (22)$$

Donde:

- $F$  es el factor solar modificado de la ventana.
- $k$  es un factor de corrección para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo y otra horizontal. Su valor para la latitud correspondiente de  $43^\circ$  se obtiene de la Tabla 27.
- $RADH$  es la radiación media diaria sobre superficie horizontal.
- $S$  es la superficie total de las ventanas de la fachada sur.
- $N_{sol}$  es el número de horas de luz solar en un día. Se cogerá un valor media para el mes considerado.

Tabla 27. Factor de corrección  $k$  [8].

**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

## 8.6 Caudal de aire

En función del uso del edificio o local, el RITE establece la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar:

- 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).

Existen diferentes métodos para obtener el caudal de aire que es necesario introducir en el ambiente para alcanzar la calidad de aire necesaria. En este caso el método a emplear es el método de dilución. Para el caso de piscinas climatizadas, el RITE establece que el aire exterior de ventilación necesario para la dilución de los contaminantes será de **2,5 dm<sup>3</sup>/s por metro cuadrado de superficie de la lámina de agua y de la playa** (no está incluida la zona de espectadores). A este caudal se le añade el necesario para regular la humedad interior, en el caso de que se realice un control de la humedad por adición de aire externo.

En este caso la superficie conjunta de la lámina de agua y las playas es de 726 m<sup>2</sup>, por tanto el caudal de aire mínimo a introducir en la piscina es **1,815 m<sup>3</sup>/s**, que implica un caudal másico de aire mínimo de **2,12 kg/s**. En este trabajo se ha decidido trabajar con un caudal de aire constante de **2,2 kg/s**.

El RITE también establece que el local debe mantenerse con una presión negativa de entre 20 a 40 Pa con respecto a los locales contiguos.

El aire exterior también se divide en categorías en función de su calidad:

- ODA 1: aire puro que se ensucia sólo temporalmente (por ejemplo polen).
- ODA 2: aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.
- ODA 3: aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes (ODA 3G) y, o de partículas (ODA 3P).

En este caso el aire exterior al edificio de la piscina se considera de categoría ODA 1.

En función de la calidad del aire exterior se definen los tipos de filtros necesarios.

**Tabla 28. Clases de filtración [5].**

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

(\*) GF = Filtro de gas (filtro de carbono) y, o filtro químico o físico-químico (fotocatalítico) solo serán necesarios en caso de que la ODA 3 se alcance por exceso de gases.

El aire de extracción (aire extraído del local), también se clasifica en distintas categorías en función del uso del local del que proviene:

- AE 1 (bajo nivel de contaminación): aire que procede de los locales en los que las emisiones más importantes de contaminantes proceden de los materiales de construcción y decoración, además de las personas (excluido el aire que procede de locales donde se permite fumar). Están incluidos en este apartado: oficinas, aulas, salas de reuniones, locales comerciales sin emisiones específicas, espacios de uso público, escaleras y pasillos.
- AE 2 (moderado nivel de contaminación): aire de locales ocupado con más contaminantes que la categoría anterior, en los que, además, no está prohibido fumar. Están incluidos en este apartado: restaurantes, habitaciones de hoteles, vestuarios, aseos, cocinas domésticas (excepto campana extractora), bares, almacenes.
- AE 3 (alto nivel de contaminación): aire que procede de locales con producción de productos químicos, humedad, etc. Están incluidos en este apartado: saunas, cocinas industriales, imprentas, habitaciones destinadas a fumadores.
- AE 4 (muy alto nivel de contaminación): aire que contiene sustancias olorosas y contaminantes perjudiciales para la salud en concentraciones mayores que las permitidas en el aire interior de la zona ocupada. Están incluidos en este apartado: extracción de campanas de humos, aparcamientos, locales para manejo de pinturas y solventes, locales donde se guarda lencería sucia, locales de almacenamiento de residuos de comida, locales de fumadores de uso continuo, laboratorios químicos.

Solamente el aire de categoría AE 1, exento de humo de tabaco, puede ser retornado a los locales. El aire de categoría AE 2 puede ser empleado solamente como aire de transferencia de un local hacia locales de servicio, aseos y garajes. El aire de las categorías AE 3 y AE 4 no puede ser empleado como aire de recirculación o de transferencia.

El aire de extracción de la piscina se considera de categoría AE 2.

## 8.7 Control de la humedad

La dificultad añadida de la climatización de una piscina con respecto a una instalación convencional reside en el control de la humedad. El chapoteo y la entrada y salida de los bañistas provocan que parte del agua del vaso se evapore aumentando de este modo la humedad y el calor latente del ambiente. Es necesario por tanto contar con un sistema que permita mantener la humedad relativa del ambiente en las condiciones deseadas, humidificando el aire de impulsión en invierno cuando sea preciso y deshumidificándolo cuando las condiciones lo requieran.

Los aparatos encargados de humidificar el aire se denominan humectadores, y existen dos tipos fundamentales:

- Por panel adiabático: se hace circular el aire de impulsión a través de un panel celular de fibra de vidrio con agentes cerámicos, de configuración ondulada y canales cruzados, que es rociado con agua. El aire al atravesar este panel provoca que una gran parte del agua del panel se evapore y se absorba. En este tipo de humectador el agua obtiene la energía necesaria para vaporizarse del propio aire, con lo que la de temperatura de éste disminuye.
- Por vapor: en este tipo de humectadores se añade vapor saturado al aire a través de una lanza situada en el interior del equipo. La energía necesaria para la generación del vapor se puede obtener por resistencias o por electrodos sumergidos. En este caso el aire no cede calor al agua, además el control de la humedad se hace de forma más precisa mediante un higrostató que controla la

humedad, entrando solo la cantidad de vapor necesaria. Por estas ventajas en este proyecto se va a optar por este tipo de humectador.

El caudal de vapor que es necesario añadir al aire se calcula de la siguiente forma:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{vi} - \dot{m}_{vo} \quad (23)$$

Donde  $\dot{m}_{vi}$  y  $\dot{m}_{vo}$  son el caudal másico de vapor del aire de impulsión y del aire exterior respectivamente y se obtienen de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{vi} = \frac{\dot{m}}{1 + 1/\omega_i} \quad (24)$$

$$\dot{m}_{vo} = \frac{\dot{m}}{1 + 1/\omega_o} \quad (25)$$

Siendo  $\omega_i$  y  $\omega_o$  la humedad específica del aire de impulsión y del aire externo y  $\dot{m}$  el caudal másico de aire (2,2 kg/s).

A la hora de deshumidificar un ambiente, la forma más sencilla es introducir la cantidad necesaria de aire exterior. Evidentemente, esto solo funciona cuando la humedad específica del aire exterior es menor que la del aire ambiente. Para la zona de A Coruña considerada en este trabajo como localización y teniendo en cuenta que la humedad en el interior del recinto será del 65%, la humedad específica exterior será menor que la interior cuando la temperatura exterior sea menor a 24°C. Por lo tanto, para temperaturas por debajo de este valor en teoría sería posible deshumidificar solo con aire exterior, pero en la práctica en la mayor parte de los casos el caudal de aire a introducir sería mucho mayor del que exige la normativa, por lo que el gasto energético de acondicionar se dispararía.

Por tanto, una vez descartada la opción de deshumidificar con aire exterior, se ha optado por la instalación en la unidad de tratamiento de aire (UTA) de unas baterías alimentadas por agua fría que se situarán antes del recuperador de calor. De este modo, cuando las condiciones lo requieran, el aire se enfriará y deshumidificará al atravesar estas baterías y posteriormente mediante la recuperación de calor y las baterías de agua caliente se llevará a las condiciones necesarias.

De forma análoga al caso de la humidificación, el agua que es necesario extraer del aire será:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{vo} - \dot{m}_{vi} \quad (26)$$

## 8.8 Recuperación de calor

El RITE exige que en los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s, se recupere la energía del aire expulsado.

Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la Tabla 29.



**Tabla 29. Eficiencia mínima de la recuperación de calor [5]**

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m³/s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000 ... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000 ... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

En el caso de las piscinas climatizadas, la energía térmica contenida en el aire expulsado deberá ser recuperada con una eficiencia mínima y unas pérdidas máximas de presión iguales a las indicadas en la Tabla 29 para más de 6.000 horas anuales de funcionamiento, por lo que corresponde una eficiencia mínima de recuperación de calor del 55%.

Una eficiencia de recuperación del 55% implica que se transfiere al aire de impulsión un 55% de la transferencia de calor máxima entre las dos corrientes de aire, siendo esta potencia de transmisión de calor máxima:

$$Q_{max} = \dot{m}_{aire} c_p (T_e - T_o) \quad (27)$$

Donde  $\dot{m}_{aire}$  es el caudal másico del aire,  $c_p$  su calor específico,  $T_e$  la temperatura del aire de extracción y  $T_o$  la temperatura del aire exterior.

Por lo tanto para obtener la temperatura del aire a la salida del recuperador no hay más que calcular la potencia de intercambio (eficiencia de la recuperación multiplicada por  $Q_{max}$ ) y aplicar la siguiente ecuación:

$$T_{recuperador} = \frac{P_{intercambio} + \dot{m}_{aire} c_p T_o}{\dot{m}_{aire} c_p} \quad (28)$$

Mencionar que en el caso de que sea necesaria la deshumidificación, hay que sustituir  $T_o$  por la temperatura de salida del aire de la batería deshumidificadora.

**Tabla 30. Exigencias de eficiencia de la norma ErP**  
[<https://www.trox.es/downloads/9069bd301f63ea3e/Tabla-ErP.pdf>].

ErP-Stage		Enero 2016	Enero 2018	
Todas las unidades bidireccionales BVU deben incorporar un sistema de recuperación de energía (HRS) con un sistema regulador		requerido	requerido	
Eficiencia de recuperación de energía 1:1 (HRS) en unidades bidireccionales $\eta$ [%]	Recuperador de baterías	63	68	
	Recuperador de placas, rotativos, otros.	67	73	
Monitorización de la pérdida de carga del filtro		-	requerido	
Regulación de la velocidad del ventilador		requerido	requerido	
Rendimiento mínimo del ventilador en UTAs unidireccionales $\eta$ [%]	$P_{sys} \leq 30$ kW	$6,2 \times \ln(P_{sys}) + 35$	$6,2 \times \ln(P_{sys}) + 42$	
	$P_{sys} > 30$ kW	56,1	63,1	
Valor SPF interno por configuración de referencia [W/(m <sup>3</sup> /s)]	UTAs bidireccionales BVU			
	Recuperador de baterías	$q < 2$ m <sup>3</sup> /s	1700+E-300 x q/2-F	1600+E-300 x q/2-F
		$q \geq 2$ m <sup>3</sup> /s	1400+E-F	1300+E-F
	Recuperador de placas, rotativos, otros.	$q < 2$ m <sup>3</sup> /s	1200+E-300 x q/2-F	1100+E-300 x q/2-F
		$q \geq 2$ m <sup>3</sup> /s	900+E-F	800+E-F
UTAs unidireccionales UVU		250	230	
Bono por eficiencia de recuperación de energía E [W/(m <sup>3</sup> /s)]	Recuperador de baterías	$(\eta-0,63) \times 3000$	$(\eta-0,68) \times 3000$	
	Recuperador de placas, rotativos, otros.	$(\eta-0,67) \times 3000$	$(\eta-0,73) \times 3000$	
Valor de corrección de filtros F [W/(m <sup>3</sup> /s)]	Configuración de referencia	0	0	
	Falta filtro M5	160	150	
	Falta filtro F7	200	190	
	Faltan filtros M5 + F7	360	360	

Por otro lado, desde el 1 de enero de 2016, entró en vigor la norma ErP de Ecodiseño que, entre otras cosas, establece las eficiencias mínimas de los ventiladores y recuperadores presentes en las unidades de tratamiento de aire (UTAs). En la Tabla 30 se muestra un resumen de las exigencias de esta normativa.

Esta normativa es más restrictiva que el RITE, ya que exige una eficiencia mínima de la recuperación de calor del 67% y del 73% a partir del 2018.

Cumpliendo esta normativa se ha elegido un recuperador estático con una eficiencia del 75%, los detalles de éste y los otros componentes de la UTA seleccionada se muestran en el apartado 10.2.

## 8.9 Cálculo de las propiedades del aire de impulsión

Una vez halladas las distintas cargas térmicas que afectan al aire del recinto se calculan las cargas de calor sensible y calor latente del mismo. La carga de calor sensible será la suma de la carga por transmisión, infiltración, iluminación y radiación solar. En cuanto a la carga de calor latente será igual al calor transferido al air por parte de la masa de agua evaporada. Se desprecia la carga latente producida por las personas ya que la ocupación de la piscina será pequeña (no cuenta con gradas).

Obtenidas estas cargas y establecidas las condiciones climáticas interiores y exteriores se obtiene el caudal de aire exterior necesario que satisface estas condiciones:

$$\dot{m} = \frac{Q_s + Q_l}{h_c - h_i} \quad (29)$$

Donde:

- $\dot{m}$  es el caudal másico de aire (2,2 kg/s).
- $Q_s$  y  $Q_l$  son la carga de calor sensible y latente respectivamente.
- $h_c$  y  $h_i$  son la entalpía específica del aire en las condiciones de diseño del local y en las condiciones de entrada del aire al recinto.

La entalpía en las condiciones de diseño se calcula de forma sencilla ya que se conocen la temperatura y la humedad relativa (27°C y 65%) y el caudal de aire es conocido, por lo que de esta ecuación se obtiene el valor de  $h_i$ .

Por su parte la temperatura del aire de impulsión se puede obtener de la siguiente igualdad:

$$c_p(T_c - T_i) = (h_c - h_i) \frac{Q_s}{Q_s + Q_l} \quad (30)$$

Siendo  $c_p$  el calor específico del aire y  $T_c$  y  $T_i$  las temperaturas en las condiciones de diseño y de entrada de aire al recinto (impulsión) respectivamente.

Este y el resto de cálculos termodinámicos se han resuelto con el software EES (Engineering Equation Solver).

Sabiendo la temperatura y entalpía del aire de impulsión se puede obtener su humedad específica y de esta forma comprobar si es necesario humidificar o deshumidificar este aire.

## 8.10 Acondicionamiento en invierno

En invierno será necesario calefactar el aire mediante las baterías de agua caliente presentes en la UTA.

Las condiciones de diseño del aire en el interior del recinto son 27°C y un 65% de humedad relativa mientras que las condiciones de proyecto de calefacción son 4,4°C y 77% de humedad relativa (Tabla 2).

La potencia de calefacción será la potencia necesaria para llevar el aire desde las condiciones de salida del recuperador de calor hasta la temperatura de impulsión:

$$P_{calefacción} = \dot{m}_{aire} c_p (T_i - T_{recuperador}) \quad (31)$$

La ocupación de la piscina es un factor clave a la hora de calcular la carga de calor sensible y las condiciones de humedad, ya que una mayor ocupación provoca una mayor evaporación de agua haciendo que aumente el calor latente y la humedad del recinto. Por ello las cargas de calefacción y de refrigeración se han calculado para distintas ocupaciones (10, 30 y 60 bañistas).

En estas condiciones la carga de calor sensible es la siguiente, donde el signo negativo indica pérdida de calor por parte del recinto:

**Tabla 31. Carga de calor sensible en calefacción.**

$Q_{sensible}$ (kW)	
$Q_{transmisión}$	-26,87

<b>Q<sub>iluminación</sub></b>	5,45
<b>Q<sub>infiltración</sub></b>	-1,31
<b>Q<sub>radiación</sub></b>	3,09
<b>TOTAL</b>	<b>-19,64</b>

### 8.10.1 Resultados con 10 bañistas

Cuando la ocupación de la piscina es de 10 bañistas, la carga latente será de **22,13 kW**; correspondiente a la carga por evaporación del agua. Introduciendo los datos en las ecuaciones 23 y 24 y sabiendo que la eficiencia del recuperador es de un 75% (apartado 10.2) ya se puede calcular la potencia de calefacción necesaria.

En la Tabla 32 se observan los resultados. Como la humedad específica del aire exterior es inferior a la del aire de impulsión, será necesario humidificar.

**Tabla 32. Resultados calefacción 10 bañistas.**

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	2,20
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	63,15
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	35,93
<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,01054
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,00398
<b>Vapor de agua añadido (kg/h)</b>	51,19
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	75,00
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	37,29
<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	21,35
<b>Calor específico (kJ/kgK)</b>	1,00
<b>Potencia de calefacción (kW)</b>	<b>32,08</b>

En la Figura 9 se puede ver el proceso en un diagrama psicrométrico, donde los puntos *o*, *r*, *h*, *i*, *c* corresponden respectivamente al aire exterior, el aire que sale del recuperador, el aire humidificado, el aire de impulsión y el aire del recinto. La humidificación se considera como un proceso a temperatura constante, ya que se empleará un humidificador de vapor que no absorberá calor del aire.

Destacar la necesidad de realizar la recuperación de calor antes de la humidificación, ya que de lo contrario el aire entraría en saturación y no tendría la capacidad de absorber la humedad necesaria.

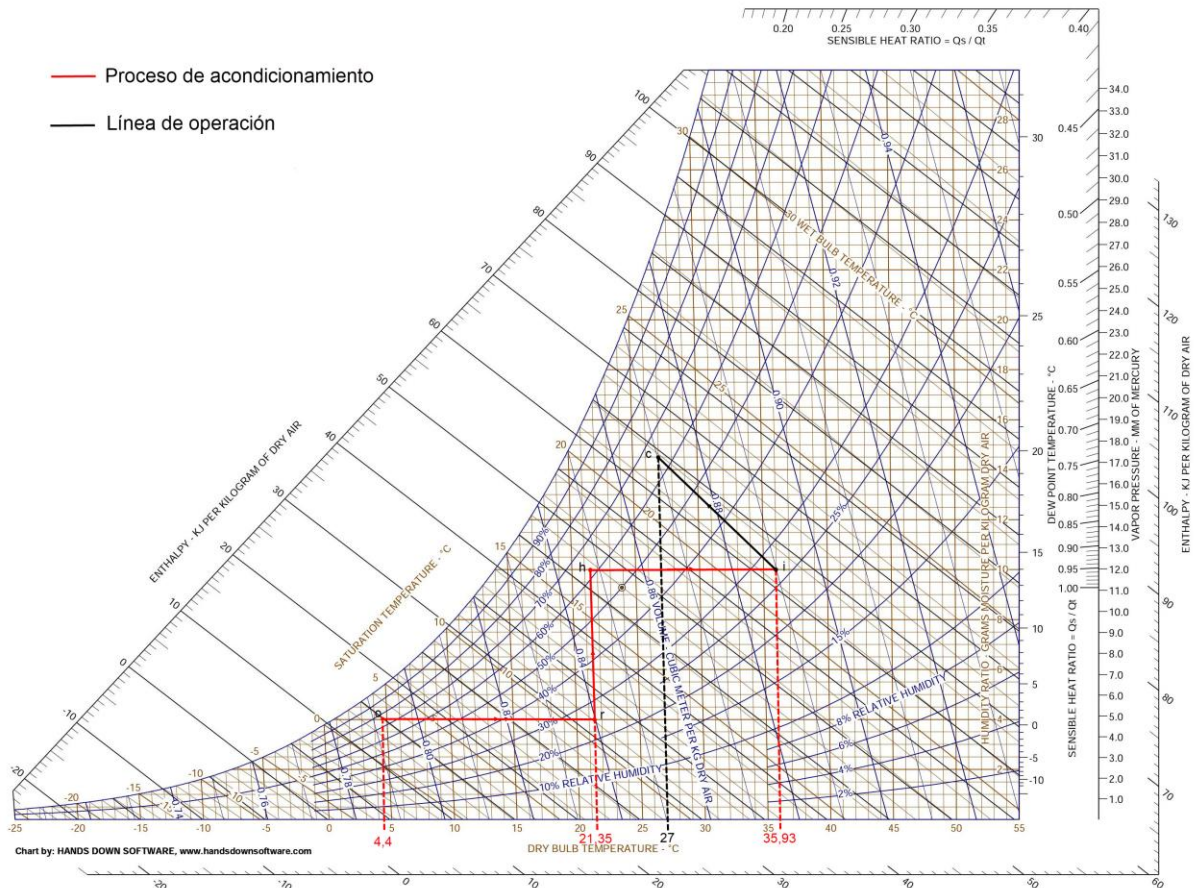


Figura 9. Diagrama psicrométrico invierno 10 bañistas.

### 8.10.2 Resultados con 30 bañistas

Con una ocupación de 30 bañistas, la carga latente del recinto será de **32,10 kW**; correspondiente a la carga por evaporación del agua. Los resultados obtenidos en estas condiciones se muestran en la Tabla 33.

La potencia de calefacción no cambia respecto al caso anterior, ya que el caudal se mantiene de aire es el mismo y un aumento de los bañistas provoca una mayor carga latente, pero la carga sensible se mantiene constante.

La humidificación necesaria se reduce por la mayor evaporación del agua del vaso de la piscina debido al incremento de ocupación.

Tabla 33. Resultados calefacción con 30 bañistas.

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	2,20
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	58,61
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	35,93
<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,008773
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,00398
<b>Vapor de agua añadido (kg/h)</b>	37,48
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	75,00
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	37,29

<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	<b>21,35</b>
<b>Calor específico (kJ/kgK)</b>	<b>1,00</b>
<b>Potencia de calefacción (kW)</b>	<b>32,08</b>

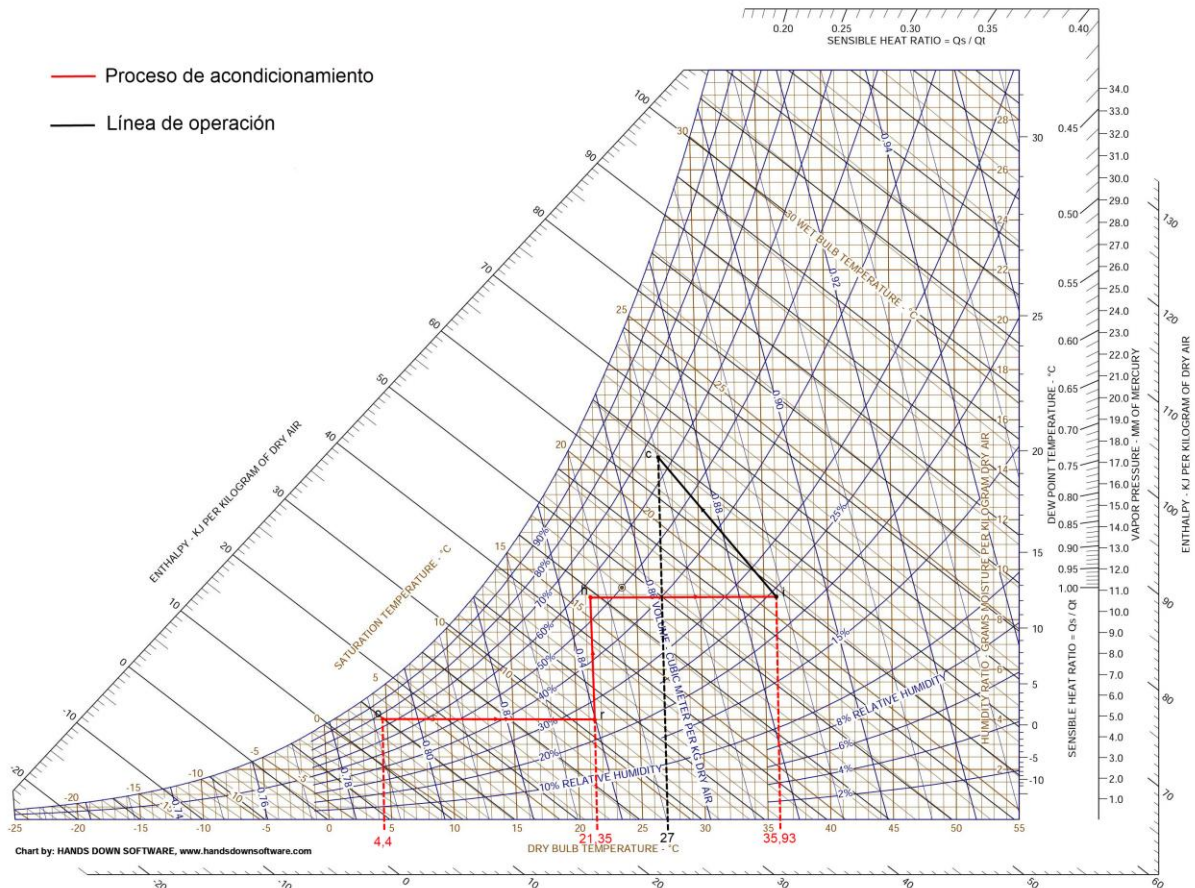


Figura 10. Diagrama psicrométrico invierno 30 bañistas.

### 8.10.3 Resultados con 60 bañistas

Si la ocupación es de 60 bañistas, la carga latente del recinto será de **46,48 kW**. Se puede concluir que en condiciones de invierno una baja ocupación es energéticamente desfavorable, ya que aunque la potencia de calefacción no varía, una baja ocupación implica un mayor gasto eléctrico en la producción de vapor.

Tabla 34. Resultados con 60 bañistas.

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	<b>2,20</b>
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	<b>52,08</b>
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	<b>35,93</b>
<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	<b>0,006227</b>
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	<b>0,00398</b>

<b>Vapor de agua añadido (kg/h)</b>	<b>17,62</b>
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	<b>75,00</b>
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	<b>37,29</b>
<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	<b>21,35</b>
<b>Calor específico (kJ/kgK)</b>	<b>1,00</b>
<b>Potencia de calefacción (kW)</b>	<b>32,08</b>

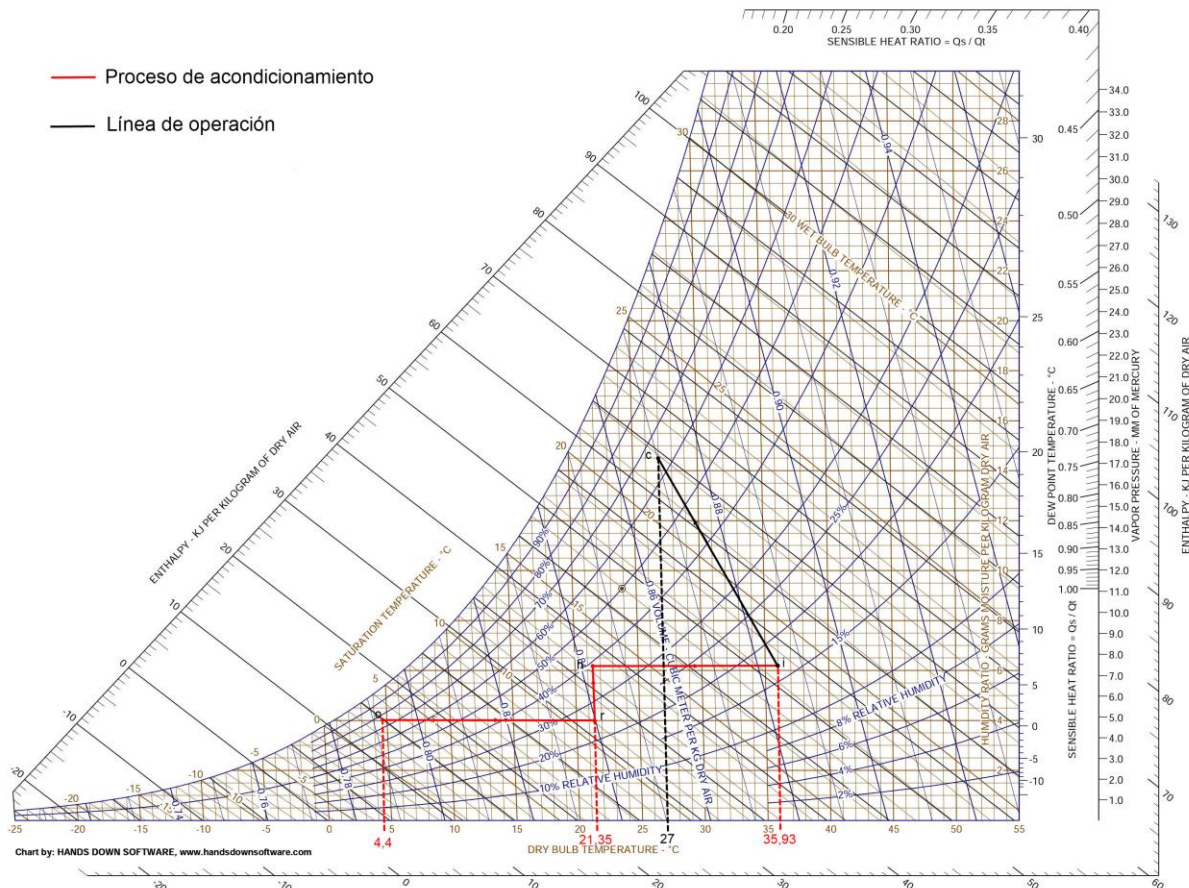


Figura 11. Diagrama psicrométrico invierno 60 bañistas.

## 8.11 Acondicionamiento en verano

En la época de verano es necesario enfriar el aire para deshumidificarlo y después recalentarlo para adecuarlo a las condiciones de impulsión.

Las condiciones de diseño del aire en el interior del recinto son 27°C y un 65% de humedad relativa mientras que las condiciones de proyecto de refrigeración son 26°C y 77% de humedad relativa (Tabla 3).

Las condiciones del aire de impulsión se obtienen de forma similar al apartado anterior, usando las ecuaciones 23 y 24.

La potencia de frío necesaria para deshumidificar el aire será:

$$P_{desh} = \dot{m}(h_o - h_{desh}) \quad (32)$$

Donde  $\dot{m}$  es el caudal de aire,  $h_o$  es la entalpía del aire exterior y  $h_{desh}$  la entalpía del aire deshumidificado. El aire deshumidificado tendrá la misma humedad específica que el aire de impulsión y una humedad relativa en torno al 100%.

De esta potencia de deshumidificación una parte será carga de calor latente del agua que condensa (caudal de agua condensada por su entalpía de vaporización) y otra parte será calor sensible.

El aire después de pasar por la batería deshumidificadora atraviesa el recuperador de calor donde se recalienta y por último las baterías de calor y frío situadas después del recuperador se encargan de ajustar la temperatura del aire a la temperatura de impulsión. Por tanto la potencia de refrigeración total será la suma de la potencia de deshumidificación más la potencia de frío necesaria para llevar el aire desde la temperatura de salida del recuperador a la temperatura de impulsión (en caso de ser necesario).

Al igual que en el caso anterior, se realizará el cálculo de la potencia de refrigeración para una ocupación de 10, 30 y 60 bañistas. En todos los casos la carga de calor sensible del ambiente en las condiciones de proyecto es:

**Tabla 35. Carga de calor sensible en refrigeración**

<b>Q<sub>sensible</sub> (kW)</b>	
<b>Q<sub>transmisión</sub></b>	-2,55
<b>Q<sub>iluminación</sub></b>	5,45
<b>Q<sub>infiltración</sub></b>	-0,07
<b>Q<sub>radiación</sub></b>	7,24
<b>TOTAL</b>	<b>10,08</b>

El signo positivo indica que el ambiente gana calor.

### 8.11.1 Resultados con 10 bañistas

Cuando la ocupación de la piscina es de 10 bañistas, la carga latente será de **22,13 kW**; correspondiente a la carga por evaporación del agua. Los resultados obtenidos son los presentes en la Tabla 36.

En este caso el aire sale del recuperador de calor a una temperatura ligeramente mayor a la del aire de impulsión, por lo que es necesario enfriarlo ligeramente de nuevo.

**Tabla 36. Resultados refrigeración 10 bañistas.**

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	2,20
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	49,67
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	22,45
<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,01067
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,01631
<b>Caudal de agua deshumidificado (kg/h)</b>	43,52
<b>Entalpía del aire exterior (kJ/kg)</b>	67,69
<b>Entalpía del aire deshumidificado (kJ/kg)</b>	42,07



<b>Temperatura del aire deshumidificado (°C)</b>	<b>15,03</b>
<b>Potencia de deshumidificación (kW)</b>	<b>56,37</b>
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	<b>75,00</b>
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	<b>19,75</b>
<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	<b>24,01</b>
<b>Potencia de refrigeración total (kW)</b>	<b>59,88</b>

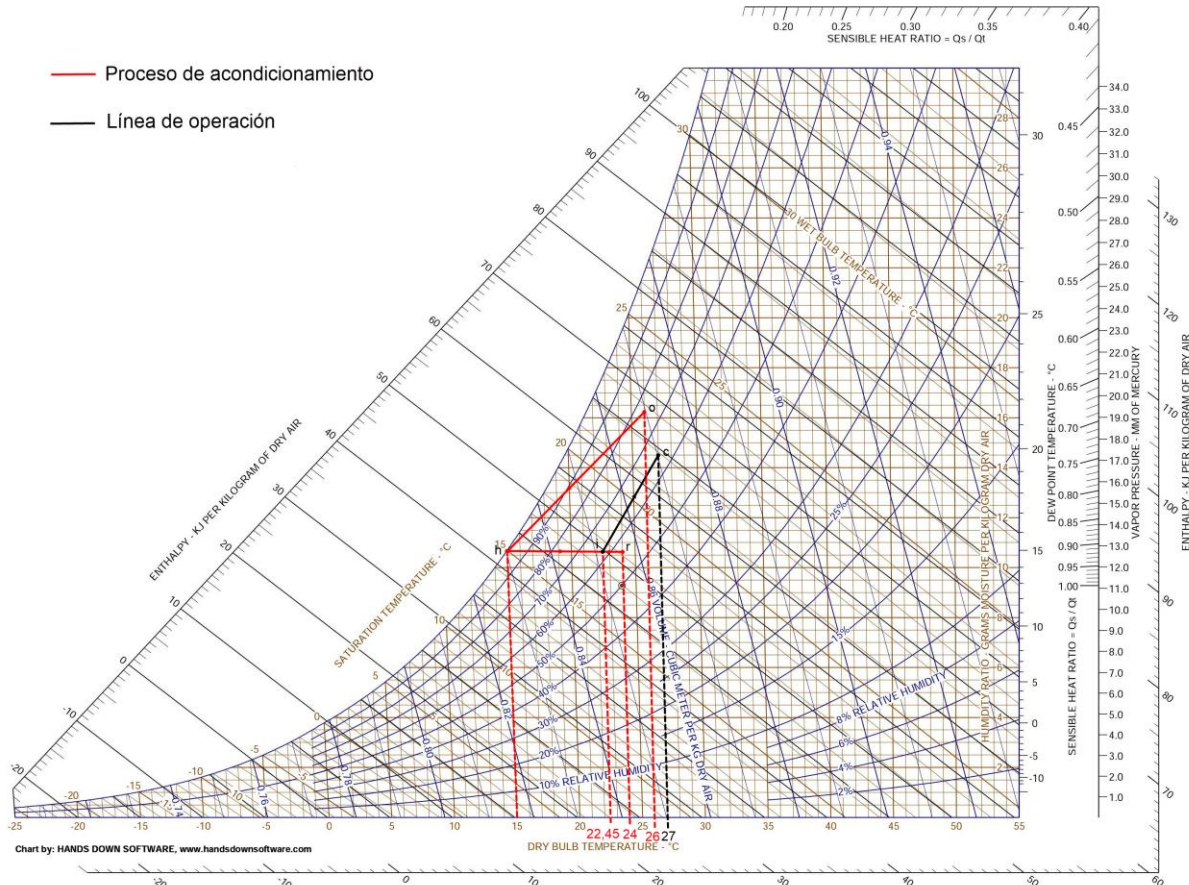


Figura 12. Diagrama psicrométrico verano 10 bañistas.

### 8.11.2 Resultados 30 bañistas

Con una ocupación de 30 bañistas, la carga latente del recinto será de **32,10 kW**. Los resultados obtenidos en estas condiciones se muestran en la Tabla 37.

La potencia de refrigeración aumenta como consecuencia del aumento de ocupación que provoca una mayor necesidad de deshumidificación.

Tabla 37. Resultados refrigeración 30 bañistas.

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	<b>2,20</b>
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	<b>45,14</b>
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	<b>22,45</b>

<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	<b>0,00889</b>
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	<b>0,01631</b>
<b>Caudal de agua deshumidificado (kg/h)</b>	<b>57,38</b>
<b>Entalpía del aire exterior (kJ/kg)</b>	<b>67,69</b>
<b>Entalpía del aire deshumidificado (kJ/kg)</b>	<b>34,73</b>
<b>Temperatura del aire deshumidificado (°C)</b>	<b>12,26</b>
<b>Potencia de deshumidificación (kW)</b>	<b>72,52</b>
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	<b>75</b>
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	<b>24,32</b>
<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	<b>23,32</b>
<b>Potencia de refrigeración total (kW)</b>	<b>74,47</b>

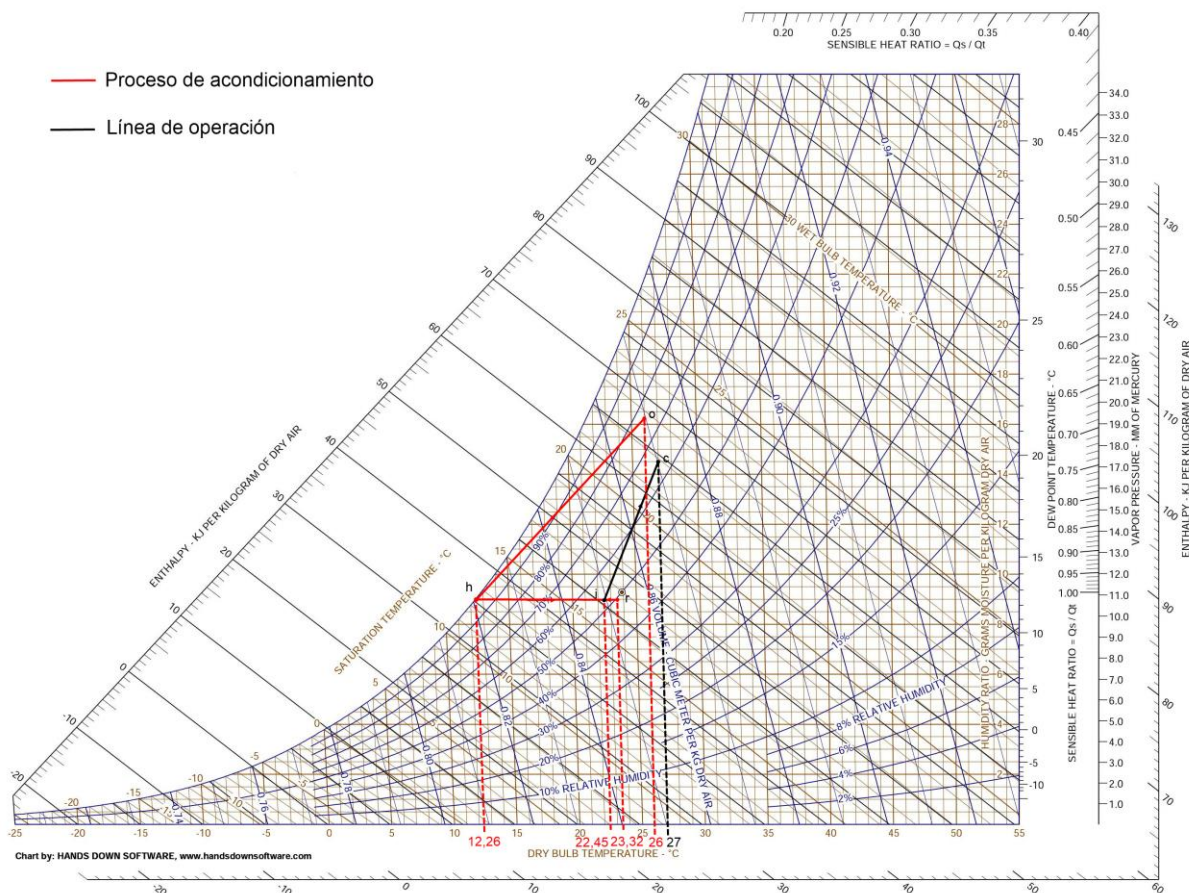


Figura 13. Diagrama psicrométrico verano 30 bañistas.

### 8.11.3 Resultados 60 bañistas

Con una ocupación de 60 bañistas, la carga latente del recinto será de **46,48 kW**. Los resultados se muestran en la Tabla 38.

En el caso de máxima ocupación la temperatura del aire deshumidificado sale es prácticamente la misma que la que debe tener el aire de impulsión, por lo tanto la potencia de refrigeración es igual a la potencia de deshumidificación.

Como era previsible, un aumento de la ocupación en las condiciones de verano aumenta considerablemente el consumo energético de la instalación.

**Tabla 38. Resultados refrigeración 60 bañistas.**

<b>Caudal másico de aire (kg/s)</b>	2,20
<b>Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)</b>	38,6
<b>Temperatura del aire de impulsión (°C)</b>	22,45
<b>Humedad específica del aire de impulsión (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,006315
<b>Humedad específica del aire exterior (kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>)</b>	0,01631
<b>Caudal de agua deshumidificado (kg/h)</b>	77,44
<b>Entalpía del aire exterior (kJ/kg)</b>	67,69
<b>Entalpía del aire deshumidificado (kJ/kg)</b>	23,14
<b>Temperatura del aire deshumidificado (°C)</b>	7,24
<b>Potencia de deshumidificación (kW)</b>	98,01
<b>Eficiencia del recuperador (%)</b>	75
<b>Potencia de intercambio (kW)</b>	32,60
<b>Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)</b>	22,06
<b>Potencia de refrigeración total (kW)</b>	<b>98,01</b>

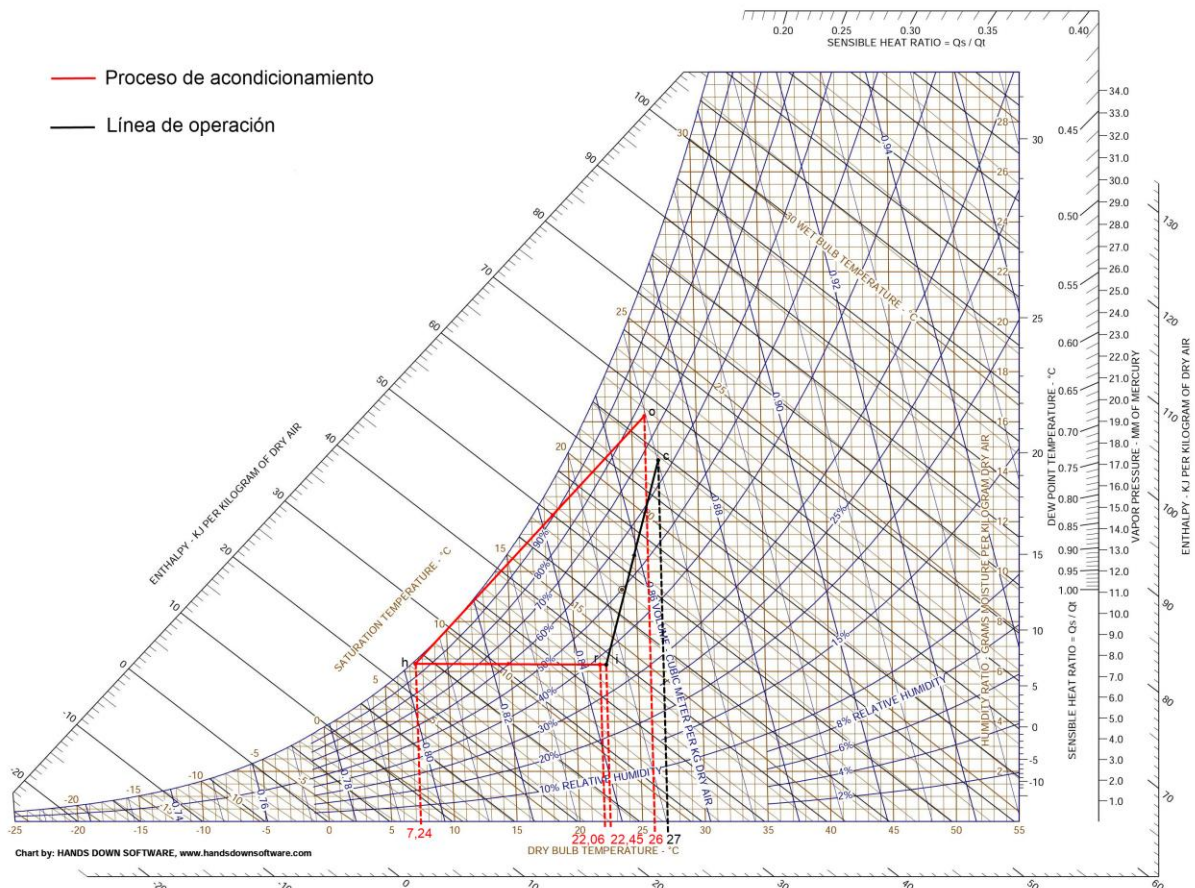


Figura 14. Diagrama psicrométrico verano 60 bañistas.

## 8.12 Necesidades de acondicionamiento medias mensuales

En la tabla siguiente se muestran las necesidades medias de acondicionamiento del aire en función del mes y para una ocupación media de 30 bañistas.

Tabla 39. Necesidades de acondicionamiento medias mensuales.

Mes	Calefacción (kW)	Refrigeración (kW)	Humidificación (kg/h)	Deshumidificación (kg/h)
Enero	18,15	-	17,15	-
Febrero	16,37	-	16,50	-
Marzo	14,12	-	10,69	-
Abril	14,77	-	10,28	-
Mayo	11,84	-	1,73	-
Junio	10,74	21,96	-	10,84
Julio	8,47	29,11	-	17,06
Agosto	6,22	33,39	-	20,85
Septiembre	6,20	29,03	-	16,99
Octubre	10,06	15,59	-	5,42
Noviembre	13,90	-	9,14	-
Diciembre	17,19	-	15,41	-

## 9 DISTRIBUCIÓN DE AIRE

El aire de impulsión tratado en la UTA situada en la cubierta, se impulsa hasta la zona de la piscina mediante un conducto rectangular de chapa de acero galvanizado (aislado en el tramo que circula por el exterior). Este conducto se introduce en el edificio a través de la fachada norte y luego desciende a través del habitáculo vacío empleado como almacén hasta el techo del sótano donde se divide en dos conductos que impulsan el aire a la planta de la piscina a través de rejillas de impulsión lineales situadas en el suelo de la planta.

Por otra parte, un sistema de conductos situados en el techo de la planta de la piscina se encarga de la extracción de aire.

### 9.1 Método de cálculo

Para el cálculo se utilizará el método de la pérdida de carga constante, que consiste en fijar una pérdida de carga que se considera idéntica a lo largo de todo el recorrido, adaptando las dimensiones del tubo a la misma. La pérdida de carga está directamente relacionada con la velocidad del aire en el conducto y por tanto con el nivel sonoro de la instalación. Para evitar un ruido excesivo se recomiendan [6] velocidades inferiores a 6 m/s. En este caso se ha optado por fijar la pérdida de carga a 0,05 mmca por metro lineal de conducto. Fijada la pérdida de carga y conocido el caudal es posible dimensionar los conductos mediante la Tabla 40.

**Tabla 40. Dimensiones de conductos con 0,05 mmca/m de pérdida de carga [6].**

Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Velocidad (m/s)	DP (mm c.a./m)	D (cm)	Sección rectangular alto (cm) x ancho (cm)			
140	2,20	0,050	15				
	1,93	0,037	16				
170	2,35	0,052	16				
	2,08	0,039	17				
200	2,45	0,052	17				
	2,18	0,039	18				
230	2,51	0,051	18				
	2,25	0,039	19				
270	2,65	0,052	19				
	2,39	0,041	20				
310	2,74	0,052	20				
	2,49	0,041	21				
350	2,81	0,051	21				
	2,56	0,041	22	20 X 20			
400	2,92	0,052	22	20 X 20			
	2,67	0,042	23	20 X 22			
450	3,01	0,052	23	20 X 22			
	2,76	0,042	24	20 X 24	22 X 22		
500	3,07	0,051	24	20 X 24	22 X 22		
	2,83	0,042	25	20 X 26	22 X 24		
560	3,17	0,051	25	20 X 26	22 X 24		
	2,93	0,042	26	20 X 28	22 X 26	24 X 24	
620	3,24	0,051	26	20 X 28	22 X 26	24 X 24	
	3,01	0,042	27	20 X 30	22 X 28	24 X 26	
680	3,30	0,050	27	20 X 30	22 X 28	24 X 26	
	3,07	0,042	28	20 X 32	22 X 30	24 X 28	26 X 26
750	3,38	0,050	28	20 X 32	22 X 30	24 X 28	26 X 26
	3,15	0,042	29	20 X 36	22 X 32	24 X 30	26 X 28

830	3,49	0,051	29	20 X 36	22 X 32	24 X 30	26 X 28	
	3,26	0,043	30	20 X 38	22 X 34	24 X 32	26 X 28	
910	3,58	0,051	30	20 X 38	22 X 34	24 X 32	26 X 28	
	3,35	0,043	31	20 X 40	22 X 36	24 X 34	26 X 30	
990	3,64	0,050	31	20 X 40	22 X 36	24 X 34	26 X 30	
	3,42	0,043	32	20 X 44	22 X 40	24 X 36	26 X 34	
1.080	3,73	0,051	32	20 X 44	22 X 40	24 X 36	26 X 34	
	3,51	0,044	33	20 X 46	22 X 42	24 X 38	26 X 36	30 X 30
1.170	3,80	0,050	33	20 X 46	22 X 42	24 X 38	26 X 36	30 X 30
	3,58	0,044	34	20 X 50	22 X 44	24 X 40	26 X 38	30 X 32
1.270	3,89	0,051	34	20 X 50	22 X 44	24 X 40	26 X 38	30 X 32
	3,67	0,044	35	20 X 54	22 X 48	24 X 44	26 X 40	30 X 34
1.370	3,96	0,050	35	20 X 54	22 X 48	24 X 44	26 X 40	30 X 34
	3,74	0,044	36	20 X 56	22 X 50	24 X 46	26 X 42	30 X 36
1.470	4,01	0,050	36	20 X 56	22 X 50	24 X 46	26 X 42	30 X 36
	3,80	0,044	37	20 X 60	22 X 54	24 X 48	26 X 44	30 X 38
1.580	4,08	0,050	37	20 X 60	22 X 54	24 X 48	26 X 44	30 X 38
	3,87	0,044	38		22 X 58	24 X 52	26 X 48	30 X 40
1.700	4,16	0,050	38		22 X 58	24 X 52	26 X 48	30 X 40
	3,95	0,044	39		22 X 60	24 X 54	26 X 50	30 X 42
1.820	4,23	0,050	39		22 X 60	24 X 54	26 X 50	30 X 42
	4,02	0,044	40		22 X 64	24 X 60	26 X 52	30 X 44
1.950	4,31	0,050	40		22 X 64	24 X 60	26 X 52	30 X 44
	4,10	0,044	41			24 X 62	26 X 56	30 X 48
2.080	4,38	0,050	41			24 X 62	26 X 56	30 X 48
	4,17	0,044	42			24 X 66	26 X 58	30 X 50
2.220	4,45	0,050	42	26 X 58	30 X 50	34 X 44		
	4,25	0,045	43	26 X 62	30 X 52	34 X 46		
2.360	4,51	0,050	43	26 X 62	30 X 52	34 X 46		
	4,31	0,045	44	26 X 64	30 X 54	34 X 48	40 X 40	
2.510	4,59	0,050	44	26 X 64	30 X 54	34 X 48	40 X 40	
	4,38	0,045	45	26 X 68	30 X 58	34 X 50	40 X 42	
2.670	4,66	0,050	45	26 X 68	30 X 58	34 X 50	40 X 42	
	4,46	0,045	46	26 X 72	30 X 60	34 X 52	40 X 44	
2.830	4,73	0,050	46	26 X 72	30 X 60	34 X 52	40 X 44	
	4,53	0,045	47	26 X 76	30 X 62	34 X 54	40 X 46	
3.000	4,80	0,050	47	26 X 76	30 X 62	34 X 54	40 X 46	
	4,61	0,045	48	26 X 78	30 X 66	34 X 58	40 X 48	44 X 44
3.170	4,87	0,050	48	26 X 78	30 X 66	34 X 58	40 X 48	44 X 44
	4,67	0,045	49		30 X 70	34 X 60	40 X 50	44 X 46
3.350	4,93	0,050	49		30 X 70	34 X 60	40 X 50	44 X 46
	4,74	0,045	50		30 X 72	34 X 62	40 X 52	44 X 48
3.530	4,99	0,050	50		30 X 72	34 X 62	40 X 52	44 X 48
	4,80	0,045	51		30 X 76	34 X 66	40 X 54	44 X 50
3.720	5,06	0,050	51		30 X 76	34 X 66	40 X 54	44 X 50
	4,87	0,045	52		30 X 78	34 X 68	40 X 56	44 X 52
3.920	5,13	0,050	52		30 X 78	34 X 68	40 X 56	44 X 52
	4,94	0,046	53		30 X 82	34 X 70	40 X 60	44 X 54
4.120	5,19	0,050	53		30 X 82	34 X 70	40 X 60	44 X 54
	5,00	0,046	54		30 X 86	34 X 74	40 X 62	44 X 56
4.300	5,22	0,049	54		30 X 86	34 X 74	40 X 62	44 X 56
	5,03	0,045	55		30 X 90	34 X 76	40 X 64	44 X 58

4.550	5,32	0,050	55	30 X 90	34 X 76	40 X 64	44 X 58
	5,13	0,046	56		34 X 80	40 X 66	44 X 60
4.780	5,39	0,050	56		34 X 80	40 X 66	44 X 60
	5,20	0,046	57		34 X 84	40 X 70	44 X 62
5.000	5,44	0,050	57		34 X 84	40 X 70	44 X 62
	5,26	0,046	58		34 X 86	40 X 72	44 X 64
5.250	5,52	0,050	58		34 X 86	40 X 72	44 X 64
	5,33	0,046	59		34 X 90	40 X 74	44 X 66
5.500	5,59	0,050	59		34 X 90	40 X 74	44 X 66
	5,40	0,046	60		34 X 94	40 X 76	44 X 70
5.750	5,65	0,050	60		34 X 94	40 X 76	44 X 70
	5,47	0,046	61			40 X 80	44 X 72
6.000	5,70	0,050	61			40 X 80	44 X 72
	5,52	0,046	62			40 X 82	44 X 74
6.270	5,77	0,050	62			40 X 82	44 X 74
	5,59	0,046	63			40 X 86	44 X 76
6.540	5,83	0,050	63			40 X 86	44 X 76
	5,65	0,046	64			40 X 88	44 X 80
6.820	5,89	0,050	64			40 X 88	44 X 80
	5,71	0,046	65			40 X 92	44 X 82
7.100	5,94	0,050	65			40 X 92	44 X 82
	5,76	0,046	66			40 X 96	44 X 84
7.400	6,01	0,050	66			40 X 96	44 X 84
	5,83	0,047	67				44 X 88
7.700	6,07	0,050	67				44 X 88
	5,89	0,047	68				44 X 90
8.000	6,12	0,050	68				44 X 90
	5,94	0,047	69				44 X 92

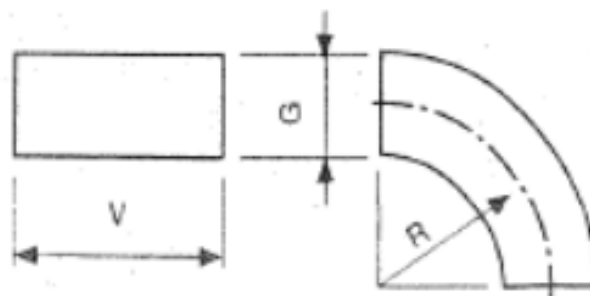
El sistema de aire constará por lo general de distintos tramos que contarán con rejillas espaciadas por las que circulará una parte del caudal de aire. El conducto reduce su sección después de cada rejilla para adecuarse al nuevo caudal de aire.

Una vez decidida la configuración de la instalación con sus tramos y rejillas se procede a calcular la pérdida de carga total en el sistema para poder dimensionar los ventiladores.

### 9.1.1 Pérdida de carga por curvas

La longitud equivalente (longitud lineal que tendría la misma pérdida de carga que el accidente o accesorio considerado) debido a una curva de 90° se obtiene de la Tabla 41, siendo  $R$  el radio de la curva,  $G$  la dimensión que gira para hacer la curva sin cambiar de plano, y  $V$  la otra dimensión.

Tabla 41. Relaciones para calcula la longitud equivalente en curvas de 90° [1].



V/G	R/G	L/G
<b>0,25</b>	0,50	25
	0,75	12
	1,00	7
	1,50	4
<b>0,50</b>	0,50	40
	0,75	16
	1,00	9
	1,50	4
<b>1,00</b>	0,50	50
	0,75	21
	1,00	11
	1,50	4,5
<b>2,00</b>	0,50	55
	0,75	30
	1,00	13
	1,50	5
<b>4,00</b>	0,50	65
	0,75	43
	1,00	17
	1,50	6

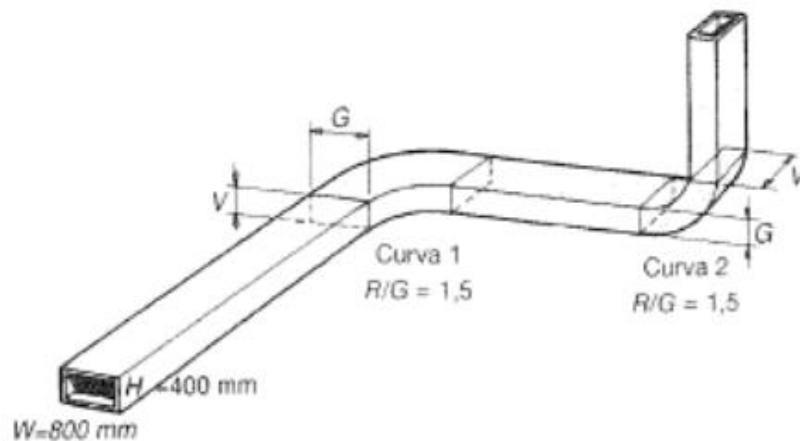


Figura 15. Ejemplo de dimensiones V, G y R [1].

### 9.1.2 Pérdidas por cambio de sección

Consiste en calcular la pérdida de carga de un elemento en función de la presión dinámica del aire que circula y de unos coeficientes  $n$  de proporcionalidad determinados experimentalmente (Figura 16). Conocidos  $n$  (el ángulo será de  $30^\circ$ ) y la presión dinámica se obtiene la pérdida de carga de la siguiente expresión:



$$\Delta P = n \frac{\rho v^2}{2} = n P_d \quad (33)$$

Siendo  $\rho$  la densidad del aire,  $v$  la velocidad y  $P_d$  la presión dinámica, obtenida de la Figura 17.

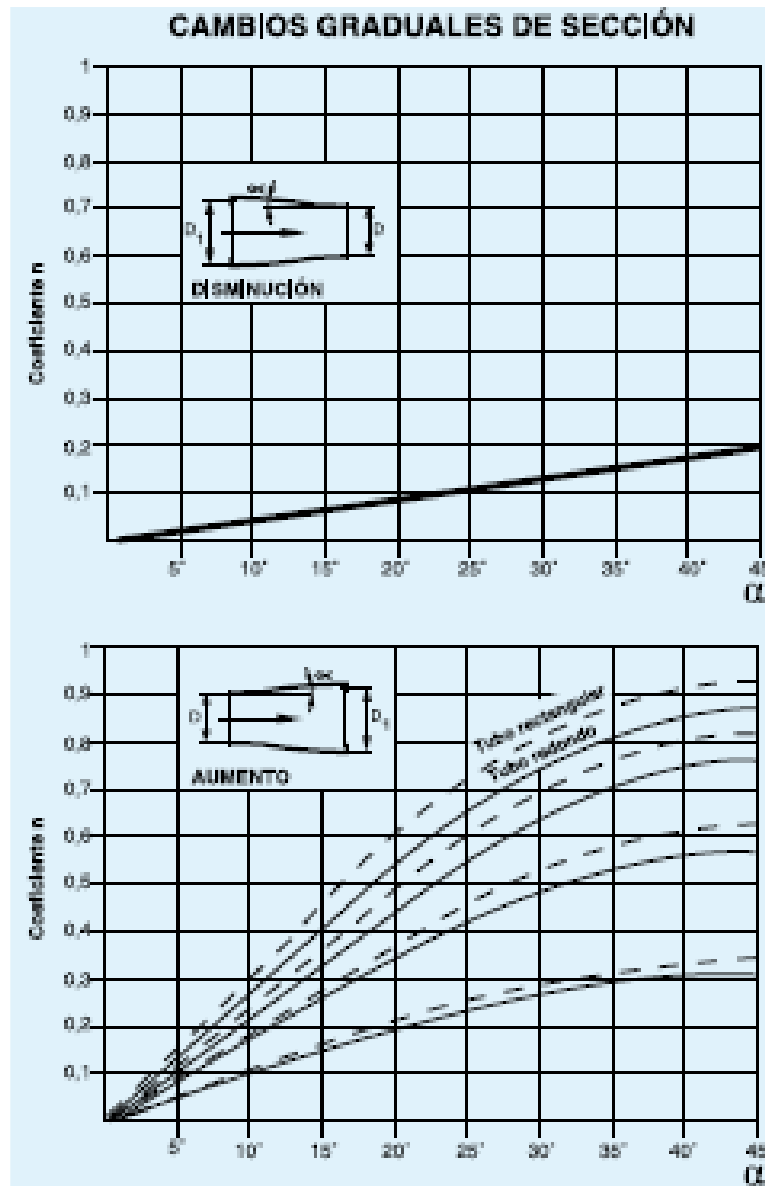


Figura 16. Coeficiente para pérdidas de carga por cambio de sección [1].

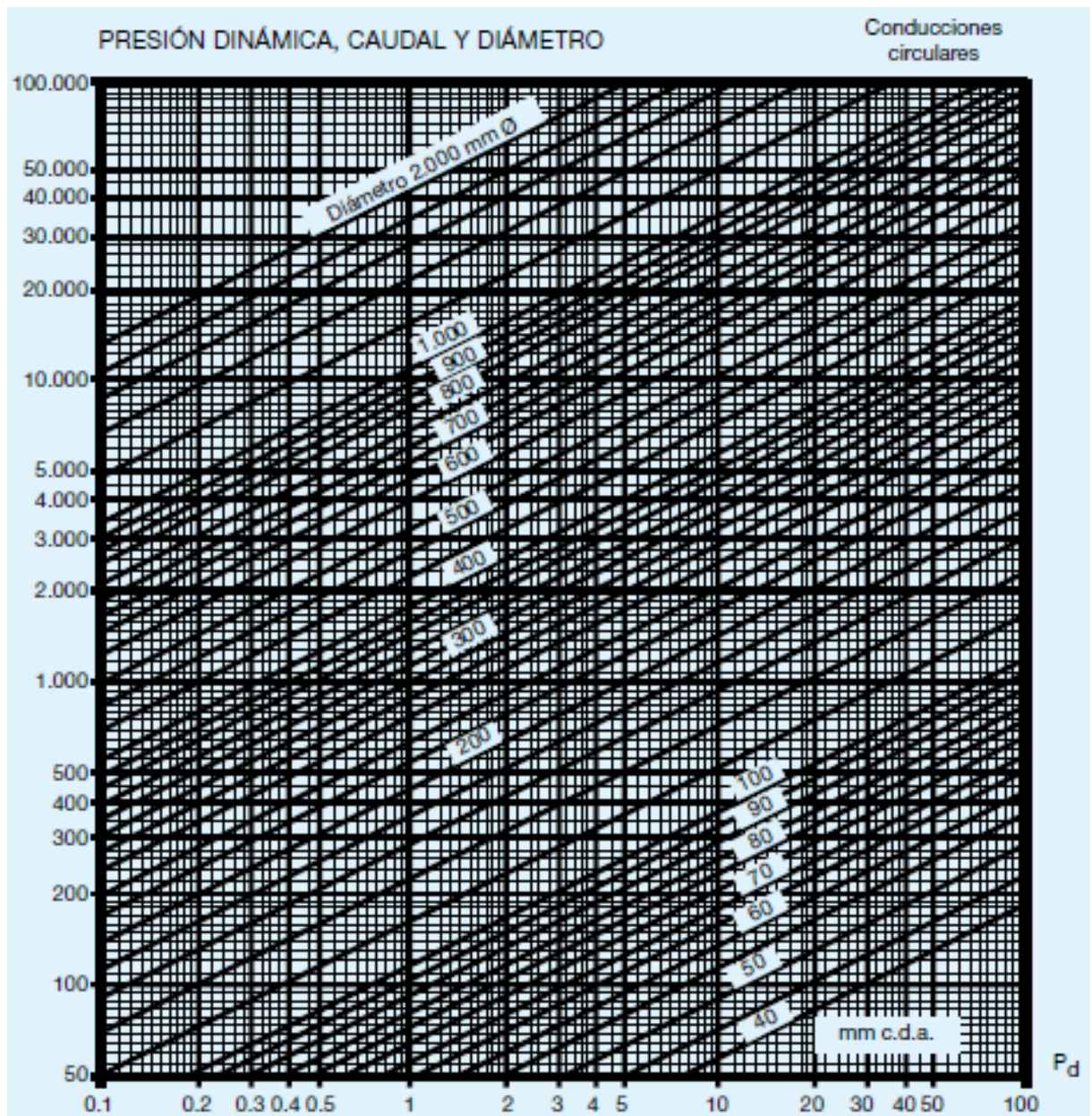


Figura 17. Cálculo de la presión dinámica [1].

Para convertir los conductos de sección rectangular a su diámetro circular equivalente se emplea la siguiente fórmula:

$$D_{eq} = 1,3 \frac{(AH)^{0,625}}{(A + H)^{0,25}} \quad (34)$$

Donde  $A$  y  $H$  son el ancho y alto del conducto respectivamente.

### 9.1.3 Pérdidas de carga por derivación

Para calcular la pérdida de carga debida a las derivaciones se utilizará la ecuación (33), siendo  $v$  la velocidad en la derivación y  $n$  un coeficiente obtenido de la Tabla 42.

**Tabla 42. Coeficiente de pérdidas en derivaciones [1].**

Ángulo de la derivación	Relación entre la velocidad en la derivación y la velocidad en el conducto principal						
	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3
90°	6,5	3,1	2	1,5	0,95	0,74	0,62
60°	5	2,2	1,3	0,77	0,47	0,47	0,58
45°	3,5	1,3	0,64	0,43	0,40	0,45	0,54

### 9.1.4 Incremento de presión estática

Después de una rejilla tanto la sección como la velocidad del conducto disminuyen para adecuarse al nuevo caudal. Una disminución de velocidad provocará un aumento de presión (Teorema de Bernoulli) de la siguiente forma:

$$\Delta P_e = 0,75 \left[ \left( \frac{v_1^2}{16} \right) - \left( \frac{v_2^2}{16} \right) \right] \quad (35)$$

Donde  $v_1$  y  $v_2$  son la velocidad inicial y final del tramo.

### 9.1.5 Pérdida de carga total

La pérdida de carga total será la suma de la pérdida de carga de cada tramo, que a su vez es la suma de la pérdida de carga debido a la longitud equivalente total del conducto (producto de la longitud equivalente por la pérdida de carga unitaria), la pérdida de carga por derivaciones, la pérdida por cambio de sección, la pérdida en las rejillas y menos el incremento de presión estática.

## 9.2 Resultados

### 9.2.1 Impulsión

El sistema de impulsión de aire estará formado por dos tramos: un primer tramo encargado de llevar la totalidad del caudal desde la UTA hasta el sótano y un segundo tramo formado por dos derivaciones que se sitúan en el techo del sótano y transmiten el aire a la planta de la piscina a través de 8 rejillas (4 en cada derivación) de 1200x250 mm.

**Tabla 43. Características de los conductos de impulsión.**

Conducto principal	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	6787
Dimensiones del conducto (AxH) (mm)	440x800
Velocidad (m/s)	5,89
Longitud (m)	48
Longitud equivalente (m)	66,4
Derivación 1: Tramo1	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	3393
Dimensiones del conducto (AxH) (mm)	440x480
Velocidad (m/s)	5,00

<b>Longitud (m)</b>	13
<b>Longitud equivalente (m)</b>	15,4
<b>Derivación 1: Tramo2</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	2545
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	400x420
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,66
<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9
<b>Derivación 1: Tramo3</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1697
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	300x400
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,16
<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9
<b>Derivación 1: Tramo4</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	848
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	260x280
<b>Velocidad (m/s)</b>	3,58
<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9
<b>Derivación 2: Tramo1</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	3393
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	440x480
<b>Velocidad (m/s)</b>	5,00
<b>Longitud (m)</b>	13
<b>Longitud equivalente (m)</b>	15,4
<b>Derivación 2: Tramo2</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	2545
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	400x420
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,66
<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9
<b>Derivación 2: Tramo3</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1697
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	300x400
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,16

<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9
<b>Derivación 2: Tramo4</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	848
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	260x280
<b>Velocidad (m/s)</b>	3,58
<b>Longitud (m)</b>	9
<b>Longitud equivalente (m)</b>	9

Tabla 44. Pérdidas de carga en impulsión.

<b>Pérdidas de carga</b>		
<b>Pérdida de carga por longitud equivalente (mmca)</b>	7,56	
<b>Pérdida de carga en las rejillas (mmca)</b>	0,66	
<b>Pérdida de carga por cambio de sección (mmca)</b>	1,40	
<b>Pérdidas de carga por derivación (mmca)</b>	5,74	
<b>Incremento de presión estática (mmca)</b>	0,57	
<b>TOTAL (mmca   Pa)</b>	<b>14,79</b>	<b>144,94</b>

### 9.2.2 Extracción

El sistema de extracción de aire estará formado por dos tramos: un primer tramo encargado de llevar la totalidad del caudal desde la UTA hasta el techo de la planta de la piscina y un segundo tramo formado por dos derivaciones que absorben el aire a través de 4 rejillas (2 en cada derivación) de 900x250 mm.

Tabla 45. Características de los conductos de extracción.

<b>Conducto principal</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	6787
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	440x800
<b>Velocidad (m/s)</b>	5,89
<b>Longitud (m)</b>	18
<b>Longitud equivalente (m)</b>	22,4
<b>Derivación 1: Tramo1</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	3393
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	440x480
<b>Velocidad (m/s)</b>	5,00
<b>Longitud (m)</b>	3,7
<b>Longitud equivalente (m)</b>	3,7
<b>Derivación 1: Tramo2</b>	

<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1697
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	300x400
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,16
<b>Longitud (m)</b>	7,3
<b>Longitud equivalente (m)</b>	7,3
<b>Derivación 2: Tramo1</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	3393
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	440x480
<b>Velocidad (m/s)</b>	5,00
<b>Longitud (m)</b>	3,7
<b>Longitud equivalente (m)</b>	3,7
<b>Derivación 2: Tramo2</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1697
<b>Dimensiones del conducto (AxH) (mm)</b>	300x400
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,16
<b>Longitud (m)</b>	7,3
<b>Longitud equivalente (m)</b>	7,3

Tabla 46. Pérdidas de carga en extracción.

<b>Pérdidas de carga</b>	
<b>Pérdida de carga por longitud equivalente (mmca)</b>	2,22
<b>Pérdida de carga en las rejillas (mmca)</b>	3,98
<b>Pérdida de carga por cambio de sección (mmca)</b>	0,88
<b>Pérdidas de carga por derivación (mmca)</b>	5,74
<b>Incremento de presión estática (mmca)</b>	0,36
<b>TOTAL (mmca   Pa)</b>	<b>12,46      122,11</b>

## 10 SELECCIÓN DE EQUIPOS

En este apartado se dimensionarán y definirán las características de los principales equipos presentes en la instalación.

### 10.1 Intercambiador de calor de la piscina

El agua caliente procedente de la bomba de calor circulará por un intercambiador de calor donde cederá calor al agua del vaso de la piscina.

En el apartado 7.7 se obtuvo que el mayor consumo energético del agua de la piscina se produce durante la puesta en marcha, necesitándose al menos 138,1 kW para una puesta en marcha satisfactoria.

Se ha optado por la instalación de un intercambiador de calor de placas diseñado para piscinas, de la empresa Secespol, modelo FA-007 que aporta una potencia de intercambio superior a los 138,1 kW necesarios. A continuación se muestran sus características principales.

#### Ubicación estándar de las conexiones - paso único:

**K1/K4:** entrada / salida de la fuente de calor

**K3/K2:** entrada / salida de agua de piscina

#### Ubicación estándar de las conexiones - doble paso:

**D4/K4:** entrada / salida de la fuente de calor

**K3/D3:** entrada / salida de agua de piscina

#### PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

**Máx. presión:** 16 bar

**Máx. temp.:** 110°C

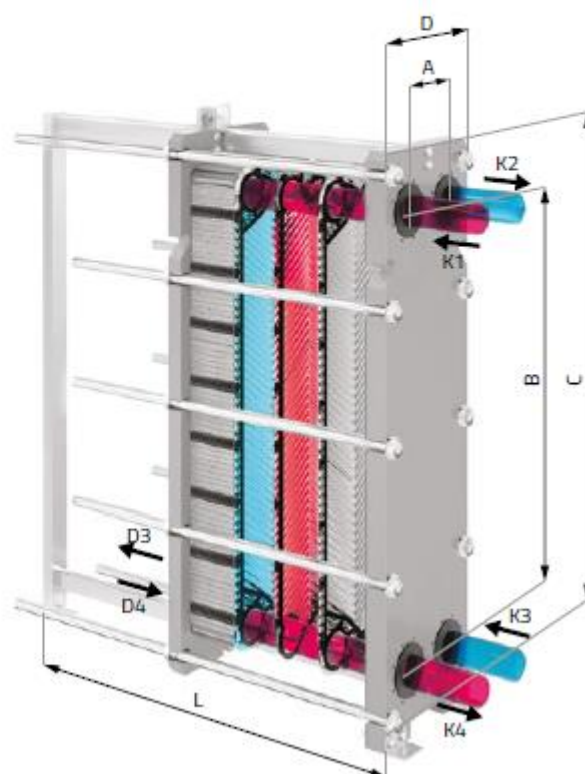


Figura 18. Características del intercambiador.

## PARÁMETROS TÉCNICOS

Tipo	Núm. máx. de placas	Tipo de conexión	Tamaño de la conexión	Dimensiones				
				A	B	C	D	L max
				mm	mm	mm	mm	mm
FA-004	91	rosca	G1¼"	70	381	473	190	500
FA-008	91	rosca	G1¼"	70	658	755	190	500
FB-007	148	rosca	G2"	126	394	596	300	1000
FB-014	148	rosca	G2"	126	694	896	300	1000
FB-020	148	rosca	G2"	126	894	1096	300	1000
FC-009	180	puertos	DN65	192	380	626	395	1000
FC-019	180	puertos	DN65	192	700	946	395	1000
FC-031	180	puertos	DN65	192	1050	1296	395	1000
FD-021	700	puertos	DN100	225	719	1181	480	4000
FD-051	700	puertos	DN100	225	1365	1824	480	4000

## MÁX. CARGA TÉRMICA

TEMP. FUENTE DE CALOR, ENTRADA	TEMP. AGUA PISCINA, SALIDA	FA-004	FA-008	FB-007	FB-014	FB-020	FC-009	FC-019	FC-031	FD-021	FD-051
°C	°C	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
40	32	40	59	182	266	380	490	632	770	1235	1793
50	35	85	111	500	738	854	928	1230	1427	2162	2998
60	38	145	173	725	1057	1408	1350	1782	2050	3224	4073
		m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
agua de piscina	caudal	10	10	40	40	40	58	58	58	130	130
fuelle de calor		4	4	25	25	25	35	35	35	75	75
		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
agua de piscina	pérdida de presión	27	30	22	21	38	29	35	45	24	26
fuelle de calor		5	5	8	8,5	15	11	13	17	8	9
capacidad de la piscina [m³]		116	140	490	635	845	970	1247	1435	2257	2852

## 10.2 Unidad de tratamiento de aire (UTA)

La UTA es una parte fundamental de la instalación, ya que será la encargada de acondicionar el aire y llevarlo a las condiciones de diseño. Para esta labor la UTA contará con distintos módulos: filtros, recuperador de calor estático, batería de frío para deshumidificación, humidificador de vapor, batería de frío y calor para acondicionamiento del aire y los ventiladores necesarios.



Se ha optado por una UTA modelo TKM 50 HE 140x086 de la empresa TROX diseñada para su instalación en intemperie, ya que irá instalada sobre la cubierta del edificio.

Para dimensionar los distintos módulos la empresa TROX proporciona un software llamado YAHUS EU. En este software se puede elegir la configuración de la UTA deseada y dimensionar los distintos módulos en función de las condiciones de diseño. Una vez dimensionados todos los módulos, el software exporta un documento con las características de la UTA y una hoja técnica donde se comprueba si el diseño cumple con la norma ErP.

A continuación se muestran las características generales de la UTA:

AHU 1												
1-Prefiltro impulsión 2-Prefiltro extracción 3-Filtro extracción 4-Filtro impulsión				5-Sección de acceso 6-Batería de frío deshumidificadora 7-Recuperador de calor estático 8-Humidificador				9-Batría de frío 10-Batería de calor 11-Ventilador impulsión 12-Ventilador extracción				
MODEL	TKM 50 HE 140x086		Air Handling Unit Standard TKM 50 HE EU, made with self-supporting frame of painted and extruded aluminum profile, with thermal bridge break. Sandwich type panels 50 mm thick: with galvanized metal sheet 1 mm thick (inner) and pre-coated metal sheet 1 mm thick (outer). Thermal bridge break and mineral wool insulation. Panels leveled to the self-supporting frame forming flat interior surfaces suitable for cleaning purposes. Doors, which have same construction as panels, present fasteners and hinges for quick opening. Base frame made of U-shape profiles of galvanized and cold rolled steel 3 mm thick. Outdoor units with additional outdoor execution plate cover.									
APPROXIMATE DIMENSIONS	1500x2060x6830 mm 2845 kg											
EXECUTION	Outdoor: Outdoor execution plate cover.											
PANEL	50 mm / Mineral wool		<b>Sound power level (dB)</b>									
				63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
BASE FRAME	H=140 mm		Supply Air	92	91	90	91	88	84	79	71	93
			Outdoor Air	87	90	89	93	88	85	80	73	94
Nº MODULES	5		Exhaust airflow	95	89	86	85	82	78	73	65	87
AIRFLOW	Supply		Extract Air	81	84	83	87	82	79	74	67	88
	Exhaust			Airborne	81	80	69	65	59	56	46	29
NOTES	ERP meet the 2016 standard											
SUPPLEMENTS	screws INOXStainless steel closure plates.Plate interior panels in Stainless steel.Plate exterior panels in Stainless steel.											

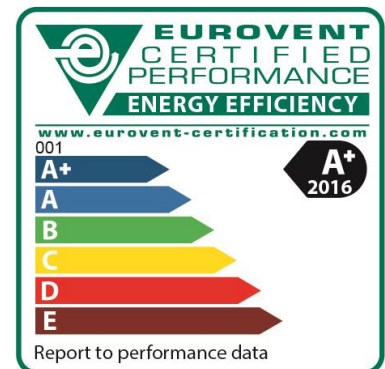
## GENERAL FEATURES

### EN 1886: 2007

Casing strength (-1000 / +1000 Pa)	D1/D2 (M)						
Casing air leakage							
Underpressure -400 Pa	L1(M)/L2(R)						
Overpressure +700 Pa	L1(M)/L2(R)						
Filter leakage	F9						
Thermal transmittance	T2						
Thermal bridging factor	TB2						
Casing acoustic insulation							
63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
6	13	25	32	32	29	34	44

## Energy Efficiency class

Winter outdoor temperature	4,4 °C	
Recirculated airflow	0 m3/h	
Mixing ratio	0 %	
	Supply	Exhaust
Airflow	6787 m3/h	6787 m3/h
Air velocity	1,57 m/s	1,57 m/s
Internal static pressure	887 Pa	543 Pa
Total static pressure	2087 Pa	1443 Pa
Power real input	6,3 kW	4,2 kW
Heat recovery Pressure drop	190 Pa	196 Pa
Heat recovery Efficiency	75,2%	



Los módulos que componen la UTA serán:

- **Filtros:** los prefiltros serán de clase F7 y los filtros de clase F9 tanto en impulsión como en extracción.

## FILTERS SECTION

ID G

Type	<b>Panel filter</b>			
Class	<b>F7</b>		Quantity	
Airflow	<b>6787</b> m3/h		610x610	2
Clean filter pressure drop	<b>108</b> Pa		610x305	0
Final pressure drop	<b>200</b> Pa		305x610	0
Máx. pressure drop	<b>450</b> Pa		305x305	0
Design pressure drop	<b>154</b> Pa			

## ACCESSORIES

Pressure tapings

**FILTERS SECTION**

ID M

Type	<b>Compact filter</b>			
Class	<b>F9</b>		Quantity	
Airflow	<b>6787</b>	m3/h	610x610	2
Clean filter pressure drop	<b>85</b>	Pa	610x305	0
Final pressure drop	<b>300</b>	Pa	305x610	0
Máx. pressure drop	<b>450</b>	Pa	305x305	0
Design pressure drop	<b>192</b>	Pa		
<b>ACCESSORIES</b>				
Manometer, Pressure switch, Pressure tapings				

- **Batería deshumidificadora:** esta batería se dimensiona para la máxima deshumidificación posible en las condiciones de verano, que será una deshumidificación de 77,44 kg/h, lo que implica una potencia mínima de unos 98 kW (Tabla 38).

**WATER COOLING COIL**

ID E

Model	<b>TWCT40D-Cu-Al-8R-18T-1150A-2pa 6C 2 1/2"</b>		
Capacity	<b>104,82</b>	kW	
Sensible Heat/Total Heat	<b>0,40</b>		
Designed for wet conditions			
Airflow	<b>6787</b>	m3/h	
Air velocity	<b>2,3</b>	m/s	
Air pressure drop	<b>262</b>	Pa	
Inlet air dry temperature	<b>26,0</b>	°C	
Inlet air relative humidity	<b>77,0</b>	%	
Inlet air wet temperature	<b>23,0</b>	°C	
Outlet air dry temperature	<b>8,0</b>	°C	
Outlet air relative humidity	<b>100,0</b>	%	
Outlet air wet temperature	<b>8,0</b>	°C	
Water flow	<b>17985</b>	l/h	
Water inlet temperature	<b>7,0</b>	°C	
Water outlet temperature	<b>12,0</b>	°C	
Water pressure drop	<b>578,57</b>	kPa	

**TROX Psicrométrico**  
Presión barométrica: 101.325 kPa (0.0 m sobre el nivel del mar)

- **Recuperador de calor:** el recuperador de calor debe ser estático, impedir la mezcla entre las dos corrientes de aire que lo atraviesan y tener una eficiencia mínima del 67%.

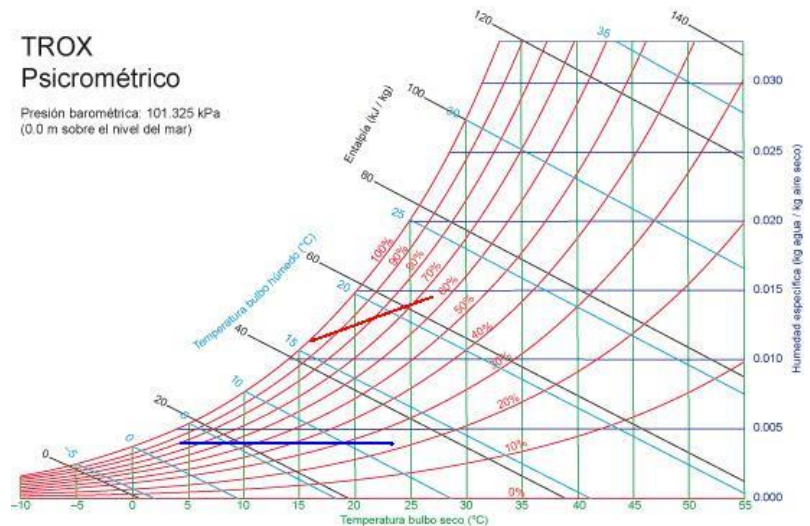
**PLATE HEAT EXCHANGER SECTION**

ID A

Model	<b>RFE-AL-10-N-1330-U-1-AE-SM</b>		
Efficiency Dry	<b>75,2</b>	%	
Efficiency Wet	<b>85,2</b>	%	
Efficiency Thermal	<b>75,2</b>	%	
Power Recovered	<b>43,7</b>	kW	
<b>SUPPLY</b>			
Airflow	<b>6787</b>	m3/h	

Pressure drop	<b>190</b> Pa
Inlet air dry temperature	<b>4,4</b> °C
Inlet air relative humidity	<b>77,0</b> %
Outlet air dry temperature	<b>23,7</b> °C
Outlet air relative humidity	<b>21,7</b> %

**TROX**  
**Psicrométrico**  
Presión barométrica: 101.325 kPa  
(0.0 m sobre el nivel del mar)



<b>EXHAUST</b>	
Airflow	<b>6787</b> m3/h
Pressure drop	<b>196</b> Pa
Inlet air dry temperature	<b>27,0</b> °C
Inlet air relative humidity	<b>65,0</b> %
Outlet air dry temperature	<b>16,0</b> °C
Outlet air relative humidity	<b>100,0</b> %

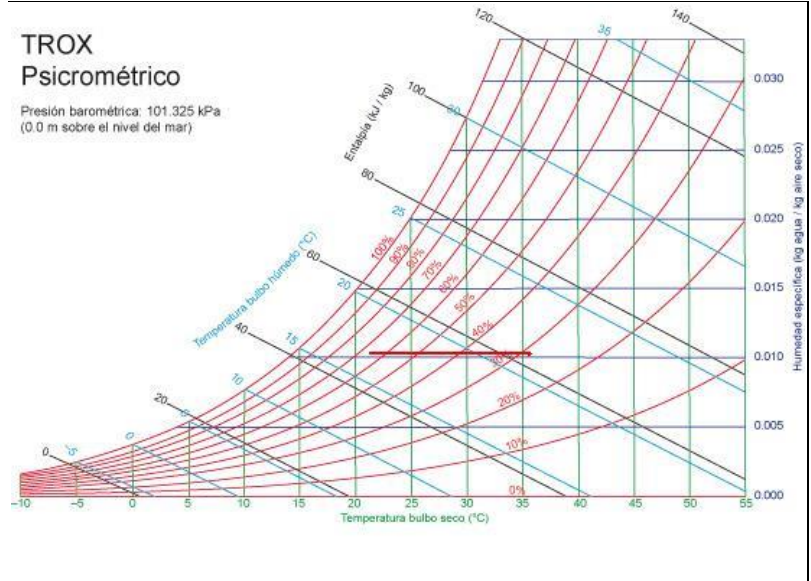
- **Humidificador:** se dimensiona para tener la capacidad suficiente para humidificar en las condiciones de proyecto de invierno y con la mínima ocupación, lo cual implica un caudal de vapor de al menos 51,19 kg/h (Tabla 32).

<b>STEAM HUMIDIFIER SECTION</b>		ID I
Type	<b>C58-Electrodos</b>	
Steam generator	<b>58</b>	kg/h
Inlet air dry temperature	<b>21,4</b>	°C
Inlet air wet temperature	<b>11,1</b>	°C
Inlet air relative humidity	<b>25,4</b>	%
Outlet air dry temperature	<b>21,4</b>	°C
Outlet air wet temperature	<b>17,6</b>	°C
Outlet air relative humidity	<b>69,0</b>	%
WidthxHeightxLength	<b>570x771x384</b>	mm

- **Batería de calor:** debe tener la potencia suficiente para calentar el aire en las condiciones de proyecto de invierno, es decir, debe proporcionar al menos 32,02 kW (Tabla 32).

<b>WATER HEATING COIL</b>		ID K
Model	<b>TWCT40D-Cu-Al-3R-18T-1150A-2pa 7C 1 1/2"</b>	
Capacity	<b>34,02</b>	kW
Designed for dry conditions		
Airflow	<b>6787</b>	m3/h
Air velocity	<b>2,3</b>	m/s

Air pressure drop	<b>69 Pa</b>
Inlet air dry temperature	<b>21,4 °C</b>
Inlet air relative humidity	<b>65,0 %</b>
Inlet air wet temperature	<b>17,0 °C</b>
<b>Outlet air dry temperature</b>	<b>35,9 °C</b>
Water flow	<b>5916 l/h</b>
Water inlet temperature	<b>45,0 °C</b>
Water outlet temperature	<b>40,0 °C</b>
Water pressure drop	<b>18,51 kPa</b>



- **Batería de frío:** su potencia será pequeña, ya que su única misión es enfriar ligeramente el aire para adecuarlo a la temperatura de impulsión cuando la temperatura a la salida del recuperador sea mayor que la temperatura de impulsión. La máxima potencia de esta batería es la necesaria en las condiciones de la Tabla 36, donde se ve que la potencia necesaria es de unos 3,51 kW (potencia de refrigeración – potencia de deshumidificación).

<b>WATER COOLING COIL</b>		<b>ID K</b>
Model	<b>TWCT60D-Cu-Al-1R-12T-1150A-3pa 2C 3/4"</b>	
Capacity	<b>6,96 kW</b>	
Sensible Heat/Total Heat	<b>0,53</b>	
Designed for wet conditions		
Airflow	<b>6787 m<sup>3</sup>/h</b>	
Air velocity	<b>2,3 m/s</b>	
Air pressure drop	<b>20 Pa</b>	
Inlet air dry temperature	<b>24,0 °C</b>	
Inlet air relative humidity	<b>77,0 %</b>	
Inlet air wet temperature	<b>21,1 °C</b>	
<b>Outlet air dry temperature</b>	<b>22,4 °C</b>	
<b>Outlet air relative humidity</b>	<b>81,7 %</b>	
<b>Outlet air wet temperature</b>	<b>20,2 °C</b>	
Water flow	<b>1194 l/h</b>	
Water inlet temperature	<b>7,0 °C</b>	
Water outlet temperature	<b>12,0 °C</b>	
Water pressure drop	<b>16,85 kPa</b>	

**TROX Psicrométrico**  
Presión barométrica: 101.325 kPa (0.0 m sobre el nivel del mar)

The chart displays a vertical line at 22.4 °C on the dry-bulb temperature axis. The y-axis represents specific humidity (0.000 to 0.030 kg water/kg dry air) and the x-axis represents dry-bulb temperature (-10 to 55 °C). The chart includes lines for wet-bulb temperature, enthalpy, and relative humidity.

- **Ventilador de impulsión:** las pérdidas de carga máximas (con filtros sucios) en el interior de la UTA para el aire de impulsión son 1041 Pa. A esto hay que añadirle la pérdida de presión que se producirá en los conductos de aire, que será de

144,94 Pa. Sabiendo esto, se ha optado por un ventilador de doble oído de descarga horizontal que aporte una presión estática de 1200 Pa.

SUPPLY FAN		ID L							
Fan	<b>RZR 11-0315</b>								
Type	<b>Backward blades</b>								
Motor	<b>IE2 - 7,5 kW - 2915 rpm</b>								
Ingress Protection	<b>IP55</b>								
	<b>400/690V 50Hz</b>								
PERFORMANCES (It has considered the effect system)									
Airflow	<b>6787 m3/h</b>								
Efficiency	<b>78,0 %</b>								
Shaft power	<b>5,34 kW</b>								
Total fan power input	<b>6,27 kW</b>								
Specific power	<b>3327 W/m3/s</b>								
Class	<b>SFP 5 -</b>								
External static pressure	<b>1200 Pa</b>								
Total static pressure	<b>2087 Pa</b>								
Dynamic pressure	<b>129 Pa</b>								
Total pressure	<b>2216 Pa</b>								
Rotation speed	<b>3707 rpm</b>								
SOUND POWER LEVEL (dB)									
Frequency [Hz]	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	<b>4k</b>	<b>8k</b>	<b>dB(A)</b>
Intake side	87	90	89	93	88	85	80	73	94
Outlet side	92	91	90	91	88	84	79	71	93
ACCESSORIES									
Frequency converter Installed + electrical wiring connection, Power interrupt switch, Emergency switch, Pressure switch, Pressure tapings for air flow measuring, Constant flow regulator, Anti-corrosion treatment, Drain plug and inspection door.									

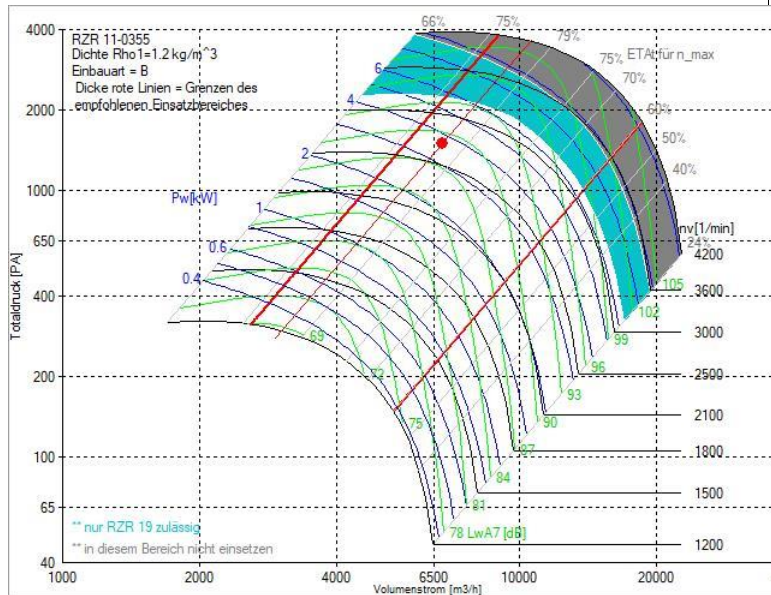
- Ventilador de extracción:** operando de forma análoga al caso anterior se obtiene que la máxima pérdida de carga en el interior de la UTA para el aire de extracción es de 696. A esto se le suman 122,11 Pa para tener en cuenta las pérdidas producidas en los conductos de extracción y se opta por la instalación de un ventilador de doble oído de descarga horizontal con una presión estática de 900 Pa.

EXHAUST FAN		ID R
Fan	<b>RZR 11-0355</b>	
Type	<b>Backward blades</b>	
Motor	<b>IE2 - 5,5 kW - 1465 rpm</b>	

Ingress Protection	<b>IP55</b>
	<b>400/690V 50Hz</b>

**PERFORMANCES (It has considered the effect system)**

Airflow	<b>6787</b> m3/h
Efficiency	<b>78,0</b> %
Shaft power	<b>3,63</b> kW
Total fan power input	<b>4,22</b> kW
Specific power	<b>2238</b> W/m3/s
Class	<b>SFP 5 -</b>
External static pressure	<b>900</b> Pa
Total static pressure	<b>1443</b> Pa
Dynamic pressure	<b>52</b> Pa
Total pressure	<b>1495</b> Pa
Rotation speed	<b>2689</b> rpm



**SOUND POWER LEVEL (dB)**

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
Intake side	82	85	84	88	83	80	75	68	89
Outlet side	96	90	87	86	83	79	74	66	88

**ACCESSORIES**

Frequency converter Installed + electrical wiring connection, Power interrupt switch, Emergency switch, Pressure switch, Pressure tapings for air flow measuring, Constant flow regulator, Anti-corrosion treatment, Drain plug and inspection door.

- **Secciones de conexión:** el último componente son las secciones de conexión. En el caso de las secciones que conectan con el sistema de conductos de impulsión y extracción se opta por la instalación de tipo marco metu. Las secciones finales en contacto con el exterior serán de tipo compuerta motorizada con protección frente a la lluvia.

**CONNECTION SECTION ID H**


Type	<b>Marco metu</b>
Model	<b>MM-1130x557</b>
Actuator	<b>Sin regulación</b>
Airflow	<b>6787</b> m3/h
Air velocity	<b>3,00</b> m/s

**CONNECTION SECTION ID B**

Type	<b>Compuerta (Anti-rain protection)</b>
Model	<b>JZ-LL/700x510/0/SPZS99</b>
Actuator	<b>Motorizada proporcional</b>
Airflow	<b>6787</b> m3/h

Air velocity	<b>5,28</b> m/s
--------------	-----------------

Finalmente en la hoja técnica que se muestra a continuación se comprueba que la UTA seleccionada cumple con la normativa ErP vigente.

<b>Data sheet for ErP guideline</b>	
<b>Manufacturer</b>	TROX
<b>Model identification</b>	TROXTKM 50 HE EU 140x086
<b>Model</b>	NRVU BVU
<b>Type Velocity</b>	Motor Velocity Variable
<b>Heat recovery</b>	Plate heat exchanger section
<b>Efficiency Thermal</b>	75,2 %
<b>Airflow</b>	Supply airflow 6787 m3/h Exhaust airflow 6787 m3/h
<b>Power real input</b>	Supply 6,27 kW Exhaust 4,22 kW
<b>SFP reference configuration</b>	Supply 438 W / (m3/s) Exhaust 436 W / (m3/s) Total 874 W / (m3/s)
<b>Air velocity</b>	Supply 1,57 m/s Exhaust 1,57 m/s
<b>External static pressure</b>	Supply 1200 Pa Exhaust 900 Pa
<b>Pressure drop reference configuration</b>	Supply 275 Pa Exhaust 281 Pa
<b>Efficiency Static System</b>	Supply 62,8 % Exhaust 64,5 %
<b>Airborne</b>	68dB(A)
<b>Max external leakage rate</b>	0,64 %
 <b>( SFP MAX - 1163 W/(m3/s) Efficiency Thermal Minimum - 67% )</b>	

### 10.3 Enfriadora de agua

Es necesaria la instalación de un equipo de produzca agua fría para alimentar las baterías de agua fría de la UTA, en especial la batería que se encargará de la deshumidificación.

Con este propósito se ha elegido una máquina frigorífica aire-agua modelo AQUACIAT LD 450A, de la empresa CIAT. Este equipo está concebido para su instalación en exterior (irá instalado sobre la cubierta del edificio) sin necesidad de protecciones especiales frente a las inclemencias.

Sus principales características son:

- Compresores:
  - Tipo hermético SCROLL.



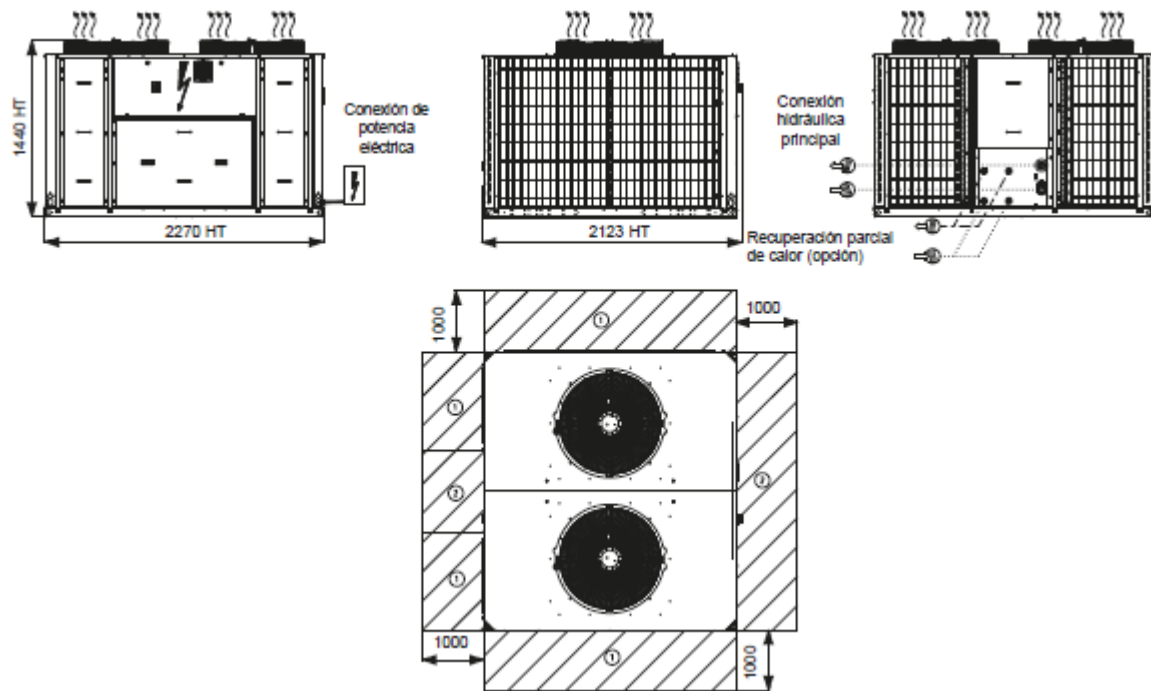
- Protección electrónica del sobrecalentamiento del motor.
- Resistencia de cárter.
- Montaje con soportes antivibratorios.
- Circuito interior:
  - Intercambiador(es) de placas soldadas, de acero inoxidable, aislados térmicamente.
- Intercambiador de agua:
  - Intercambiador de tipo placas soldadas.
  - Perfil de las placas para optimización de alto rendimiento.
  - Aislamiento térmico armaflex 19 mm.
- Intercambiador de aire:
  - Batería totalmente de aluminio con microcanales.
  - Ventiladores helicoidales de palas de materiales compuestos con perfil optimizado de velocidad fija en estándar o de velocidad variable opcional.
  - Motores – IP 54, clase F.
- Elementos frigoríficos:
  - Filtros deshidratadores.
  - Indicadores higroscópicos.
  - Válvulas de expansión electrónicas.
  - Válvulas de servicio en la línea de líquido.
- Elementos de regulación y de seguridad:
  - Sensores de alta y baja presión.
  - Válvulas de seguridad en circuito frigorífico.
  - Sondas de regulación de la temperatura de agua.
  - Sonda anticongelante de evaporador.
  - Controlador de caudal de agua de evaporador montado de fábrica.
- Cuadro eléctrico:
  - Índice de protección de cuadro eléctrico IP 44.
  - Un punto de conexión sin neutro.
  - Interruptor general de seguridad en el frontal con empuñadura.
  - Transformador de circuito de control.
  - Circuito de control en 24 V.
  - Disyuntor de protección de motores compresores y ventiladores.
  - Contactores de motores compresores y ventiladores.
  - Módulo electrónico de control con microprocesador Connect Touch.
  - Numeración de cables.
  - Marcado de los principales componentes eléctricos.
- Módulo de regulación Connect Touch:

- Regulación de la temperatura del agua (en el retorno o en la salida).
- Regulación de la temperatura del agua en función de la temperatura exterior (ley del agua).
- Regulación para almacenamiento de energía de baja temperatura.
- Gestión de un segundo punto de consigna.
- Gestión completa de los compresores con secuencia de arranque, conteo y equiparación de los tiempos de funcionamiento.
- Funciones autoadaptativas y anticipativas con ajuste de la regulación a partir de la deriva de los parámetros.
- Dispositivo de regulación de potencia escalonada en cascada de los compresores en función de las necesidades térmicas.
- Gestión del anticortociclo de los compresores.
- Protección contra las heladas (opción de calentadores de intercambiador).
- Protección de inversión de fase.
- Gestión de los modos ocupado/no ocupado (según programación horaria).
- Equilibrado de los tiempos de funcionamiento de los compresores y las bombas.
- Gestión de la limitación del funcionamiento del equipo en función de la temperatura exterior.
- Dispositivo de reducción del nivel sonoro con limitación de la capacidad de los compresores y de la velocidad de los ventiladores.
- Diagnóstico de los estados de funcionamiento y de los fallos.
- Gestión de una memoria de fallos que permite obtener un historial de las últimas 50 incidencias con registro de funcionamiento en el momento del fallo.
- Programación horaria y semanal del equipo.
- Bombas en modo espera en función de la demanda (ahorro de energía).

En las tablas inferiores se observan las características técnicas y dimensiones del modelo elegido.





El equipo aporta una potencia neta frigorífica de **114 kW**, superior a la potencia mínima de 98,01 kW, ya que ésta es la máxima potencia de refrigeración necesaria en las condiciones de verano (Tabla 38).





**Leyenda**

Dimensiones en mm

- ① Distancias necesarias para mantenimiento y circulación del aire
- ② Distancias recomendadas para retirar las baterías
-  Entrada de agua
-  Salida de agua
-  Salida de aire, no obstruirla
-  Cuadro eléctrico

## 10.4 Bomba de calor

La bomba de calor es el equipo más importante de la instalación y el de mayor potencia, ya que se encargará de satisfacer las necesidades de calefacción tanto del agua del vaso de la piscina como del aire ambiente.

Se ha elegido el modelo CIATCooler ILP 720V-HEE de la empresa CIAT. Este equipo está diseñado para instalación en interior, y se instalará en el sótano, absorbiendo el aire necesario para su funcionamiento de una chimenea. Cuenta con carrocería de chapa de acero galvanizado con pintura poliéster, chasis aislado y autoportante. A continuación se describen los principales componentes del equipo:

- Circuito exterior:
  - Batería de tubos de cobre y aletas de aluminio.
  - Bandeja de recogida de condensados.

- Ventilador(es) radial(es) electrónico(s) de velocidad variable plug-fan, que adaptan su velocidad de giro a las necesidades de la instalación, regulando la presión de condensación, reduciendo el consumo eléctrico y el nivel sonoro a carga parcial y mejorando el rendimiento medio estacional del equipo.
- Eficiencia energética según las normas ErP 2015, clase F, protección IP54 y protección térmica interna.
- Circuito interior:
  - Intercambiador placas de acero inoxidable soldadas, aislado térmicamente.
- Circuito frigorífico:
  - Compresor(es) hermético(s) tipo scroll, montados sobre amortiguadores. Control de equilibrio de fases y del sentido de rotación.
  - Resistencia de cárter
  - Válvula de expansión termostática con igualación externa.
  - Filtro(s) deshidratador(es) antiácido.
  - Calderín(es).
  - Visor de líquido.
  - Separador de partículas.
  - Válvula de inversión de cuatro vías.
- Protecciones:
  - Presostato de alta presión.
  - Seguridad de baja presión integrada en el control.
  - Controlador de caudal de agua.
  - Protección antihielo de agua integrada en el control, en función de la temperatura medida por la sonda situada en la salida del intercambiador.
  - Termostato antihielo como medida adicional de seguridad.
  - Control de la temperatura de descarga del compresor.
  - Válvula antirretorno integrada en la descarga del compresor.
  - Protección térmica del compresor.
  - Interruptor general de puerta.
  - Interruptor automático circuito de mando.
  - Magnetotérmicos de protección de línea de alimentación de compresor(es) y motor de ventilador(es).
  - Temporización a la desconexión de la bomba de circulación.
  - Seguridad de fallo de la bomba de circulación.
- Cuadro eléctrico:
  - Cuadro eléctrico completo, totalmente cableado. Tapa del cuadro aislada para evitar condensaciones.
  - Protección IP55.

- Alimentación eléctrica con neutro y toma de tierra general.
- Contactores de compresor y motoventiladores.
- Regulación electrónica CONNECT2:
  - Funciones de marcha, paro, rearme o mando a distancia.
  - Selección de modo de funcionamiento FRÍO o CALOR.
  - Visualización de la información relativa al funcionamiento por ensajes multilingües visualizados en texto claro.
  - Visualización directa de las temperaturas de agua y presiones.
  - Gestión completa de los compresores con secuencia de arranque, recuento e igualación de los tiempos de funcionamiento.
  - Protección anti-corto-ciclo.
  - Funciones autoadaptativas y anticipativas ajustando la regulación en la compensación de los parámetros.
  - Dispositivo de reducción de potencia estratificada en cascada en los multi-compresores, en función de las necesidades frigoríficas o caloríficas controladas por las temperaturas del agua.
  - Control de los parámetros internos de funcionamiento.
  - Gestión de los apoyos eléctricos funcionando solos o simultáneos a la bomba de calor.
  - Ajuste de consigna por señal 4-20 mA.
  - Gestión de un segundo punto de consigna.
  - Diagnóstico de los estados de funcionamiento y de fallo:
    - AP/BP, caudal de agua, motor(es) compresor(es), anti-hielo.
  - Telegestión y televigilancia.
  - Gestión maestro/esclavo capaz de gestionar dos equipos en un mismo bucle de agua, alternando el maestro.
  - Programación horaria y semanal.

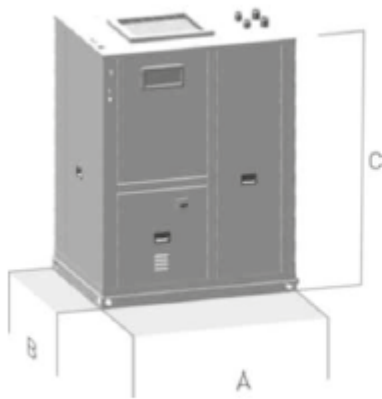
La potencia máxima del agua de la piscina es de 83,14 kW, que sumados a los 32,08 kW de potencia de calefacción del aire del ambiente son 115,22 kW. Esta potencia es inferior a los 138,1 kW necesarios para la correcta puesta en marcha de la piscina. El modelo elegido aporta una potencia calorífica neta de **172 kW**.

En las tablas y figuras siguientes se muestran las características y dimensiones del equipo.

CIATCooler LP/ILP		320V- HEE	360V- HEE	420V- HEE	480V- HEE	600V- HEE	640V- HEE	720V- HEE	
Potencias de refrigeración	Potencia frigorífica neta ① (kW)	67.50	76.80	89.90	99.20	122.70	134.50	154.10	
	Potencia absorbida neta ③ (kW)	24.10	28.20	31.90	36.40	46.10	48.50	56.70	
	Rendimiento neto	EER	2.81	2.72	2.82	2.73	2.66	2.77	2.72
	Rendimiento estacional	ESEER ④	3.41	3.38	3.55	3.48	3.37	3.37	3.34
Potencias de calefacción	Potencia calorífica neta ② (kW)	75.40	86.30	99.60	109.30	133.60	150.80	172.00	
	Potencia absorbida neta ③ (kW)	24.50	28.50	32.10	36.00	44.80	48.50	55.70	
	Rendimiento neto	COP	3.08	3.03	3.11	3.03	2.98	3.11	3.09
	Rendimiento estacional ⑤ Clima medio	SCOP	3.31	3.10	3.23	3.17	3.13	3.18	3.30
		ηs calor	129 %	121 %	126 %	124 %	122 %	124 %	129 %
		Prated (kW)	61.19	62.56	71.89	91.68	96.42	108.74	124.22
	Rendimiento estacional ⑤ Clima cálido	SCOP	3.77	3.65	3.83	3.79	3.69	3.67	3.79
		ηs calor	148 %	143 %	150 %	149 %	145 %	144 %	149 %
Prated (kW)		46.83	51.58	59.40	71.82	78.98	89.89	102.42	
Ventilador plug-in del circuito exterior	Caudal de aire nominal (m³/h)	24400	24400	30000	30000	34000	48000	48000	
	Presión estática nominal disponible (mmca)	20							
	Presión estática máxima disponible (mmca)	66.9	66.9	60.9	60.6	64.4	62.9	62.9	
	Número/diámetro	2/560		3/560			4/560		
	Potencia del motor (kW)	2 x 4,7		3 x 3,0		3 x 4,7	4 x 4,7		
	Potencia absorbida (kW) ⑥	4.78	4.78	5.37	5.37	6.72	10.08	10.08	
	Velocidad (rpm)	1750		1500		1750	1750		
	Circuito interior	Caudal de agua nominal (m³/h)	11.7	13.3	15.6	17.2	21.0	23.2	26.5
Pérdida de carga (mca)		2.7	3.4	4.2	4.9	5.9	3.0	3.9	
Caudal mínimo de agua (m³/h)		9.1	10.7	12.2	13.5	17.4	18.1	21.2	
Caudal máximo de agua (m³/h)		23.6	26.8	31.7	34.9	42.8	47.5	54.3	
Tipo de conexiones hidráulicas		Roscas GAS							
Diámetro de las conexiones		2 1/2" F							
Compresor	Tipo	Scroll							
	N.º de compresores/etapas/circuitos	2/2/1					4/4/2		
	Tipo de aceite	Copeland 3MAF 32 cST, Danfoss POE 160 SZ, ICI Emkarate RL 32 CF, Mobil EAL Artic 22 CC							
	Volumen de aceite (l)	2 x 3,3	2 x 3,3	4,7 + 3,3	2 x 4,7	2 x 6,8	4 x 3,3	4 x 3,3	
Refrigerante	Tipo	R-410A							
	Potencial de calentamiento atmosférico (PCA) ⑦	2 088							
	Carga (kg)	24.0	24.0	36.0	36.0	37.0	48.0	49.0	
	Impacto medioambiental (tCO₂ e)	50.1	50.1	75.2	75.2	77.3	100.2	102.3	
Características eléctricas	Tensión de red	400 V / III ph / 50 Hz (±10 %)							
	Acometida	3 hilos + tierra + neutro							
Intensidad máxima absorbida	Compresor (A)	50.8	61.0	67.0	73.0	89.2	101.6	122.0	
	Ventilador (A)	14.6	14.6	13.8	13.8	21.9	29.2	29.2	
	Control (A)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
	Total (A)	67.2	77.4	82.6	88.6	112.9	132.6	153.0	
Dimensiones	Largo (mm)	3400		3600			4500		
	Ancho (mm)	900		1150			1200		
	Alto (mm) ⑧	1970		1970			1970		
Peso	Vacio (kg)	942	948	1263	1339	1420	1713	1724	
	En funcionamiento (kg)	961	966	1285	1361	1444	1749	1761	

- ① Potencia frigorífica calculada de acuerdo con la norma EN-14511-2013 para unas condiciones de temperatura de salida de agua de 7°C y de temperatura exterior de 35°C.  
 ② Potencia calorífica calculada de acuerdo con la norma EN-14511-2013 para unas condiciones de temperatura de salida de agua de 45°C y de temperatura exterior de 6°C BH.  
 ③ Potencia total absorbida por los compresores, los motoventiladores y la regulación electrónica en condiciones nominales, calculada de acuerdo con la norma EN-14511-2013. Las funciones opcionales no están incluidas.  
 ④ Índice europeo de eficiencia energética estacional (ESEER) obtenido de conformidad con las condiciones de cálculo establecidas por la autoridad certificadora EUROVENT.  
 ⑤ Valores calculados de acuerdo con la norma EN-14825-2013 para una temperatura bivalente de -5°C en condiciones climatológicas medias y de 2°C en climas más cálidos.  
 ⑥ Motores con una eficiencia energética superior a la establecida por la norma ErP 2015.  
 ⑦ Potencial de calentamiento climático de un kilogramo de gas fluorado de efecto invernadero en relación con un kilogramo de dióxido de carbono durante un periodo de 100 años.  
 ⑧ Con los patines de transporte, la altura del equipo aumenta 120 mm.

**CIATCooler LP/ILP/LPC/ILPC, versiones STD y HEE**



Modelos	CIATCooler STD					CIATCooler HEE				
	Dimensiones			Peso en funcionamiento (kg)		Dimensiones			Peso en funcionamiento (kg)	
	A	B	C	LP/ILP	LPC/ILPC	A	B	C	LP/ILP	LPC/ILPC
90 V	1117	860	1447	306	335	1117	860	1447	298	327
100 V	1117	860	1447	315	345	1398	860	1727	358	390
120 V	1398	860	1727	379	410	1398	860	1727	376	408
160 V	1398	860	1727	397	428	2113	860	1447	465	497
180 V	1398	860	1727	396	429	2113	860	1447	468	503
200 V	2113	860	1447	579	622	2673	860	1727	648	690
240 V	2673	860	1727	659	702	2673	860	1727	674	717
280 V	2673	860	1727	692	736	2673	860	1727	680	724
320 V	2673	860	1727	728	774	3400	900	1970	961	1028
360 V	2673	860	1727	733	780	3400	900	1970	966	1034
420V	3400	900	1970	1065	1169	3600	1150	1970	1285	1391
480V	3400	900	1970	1142	1246	3600	1150	1970	1361	1467
600V	3400	900	1970	1232	1336	3600	1150	1970	1444	1550
640V	3600	1150	1970	1493	1592	4500	1200	1970	1749	1863
720V	3600	1150	1970	1504	1603	4500	1200	1970	1761	1875
840V	4500	1200	1970	1986	2131	-	-	-	-	-
960V	4500	1200	1970	2138	2282	-	-	-	-	-





## 11 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

A continuación se muestra un esquema del funcionamiento de la instalación. En color azul se representa el agua fría, en rojo el agua caliente, en verde el agua de renovación, en azul más claro el aire frío y en naranja el aire del recinto.

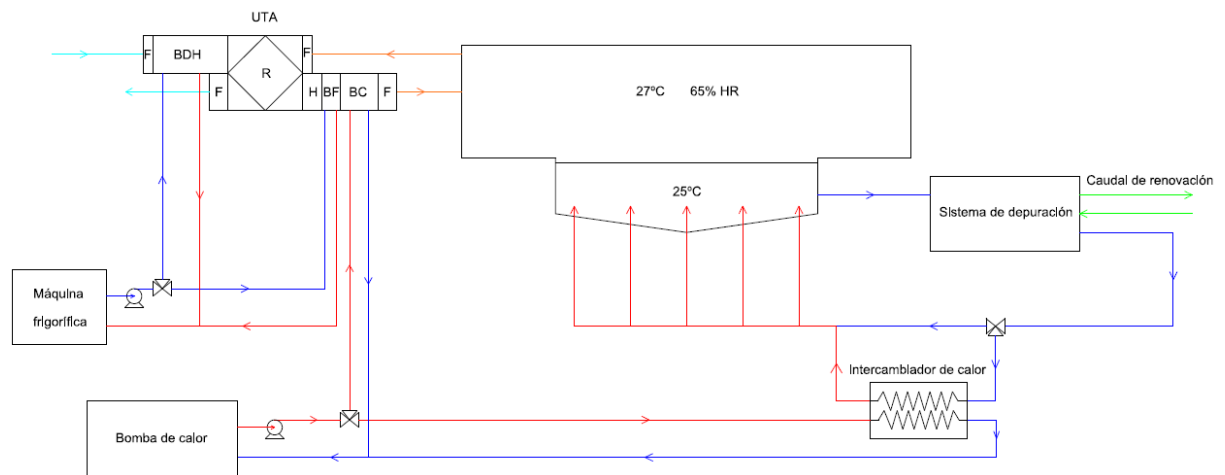


Figura 19. Esquema de la instalación.

La bomba de calor genera un caudal de agua caliente del cual la mayor parte se dirige al intercambiador de calor de placas que calentará el agua de la piscina. Otra parte del caudal de la bomba de calor se envía hacia la batería de calor de la UTA para calentar el aire de impulsión.

Por otro lado, la máquina frigorífica genera un caudal de agua fría que se envía a la batería deshumidificadora de la UTA cuando sea necesario reducir la humedad del aire de impulsión. Otro caudal más pequeño se envía a la batería de frío final de la UTA con el fin de enfriar ligeramente el aire de impulsión cuando salga del recuperador a una temperatura mayor que la deseada para mantener las condiciones del ambiente.

Un sistema de control general será el encargado de regular los caudales y temperaturas de los equipos para que el aire de impulsión tenga las condiciones adecuadas para mantener las condiciones de confort establecidas.

## 12 AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Para la producción de ACS se ha optado por una instalación solar térmica con una caldera de apoyo. En este apartado se seguirán los procedimientos descritos en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE así como las normativas del RITE y el CTE para obtener la demanda de ACS, dimensionar el campo de captadores, describir la configuración de la instalación y se seleccionan los equipos necesarios.

### 12.1 Tipos de captadores solares

Los captadores solares son los dispositivos encargados de captar la radiación solar, transformarla en calor y transferir ese calor a un fluido caloportador, habitualmente agua.

Existen múltiples clasificaciones de los captadores, pero en general se distinguen tres tipos:

- **Captadores planos:** son los más habituales y los elegidos para esta instalación. Se componen de las siguientes partes:
  - **Carcasa:** tiene la función de dar soporte y alojar el resto de componentes. Suele estar formada por un perfil de aluminio anodizado que garantiza la resistencia del conjunto y dispone de unas perforaciones de desagüe de condensados, en la parte inferior.
  - **Absorbedor:** es el componente que intercepta la radiación solar y se encarga de transformar la energía solar en energía térmica. Está formado habitualmente por una lámina metálica, normalmente de cobre (buen conductor térmico) que se oscurece con una fina película de pintura negra calórica (que resiste temperaturas de trabajo superiores a los 100°C) o con un tratamiento selectivo, basado en deposiciones electroquímicas o pinturas con óxidos metálicos que tienen una alta absorción de la radiación solar (onda corta) y una baja emisividad del calor (onda larga). El absorbedor incorpora una parrilla de conducciones o un serpentín por donde circula el fluido caloportador.
  - **Cubierta transparente:** su función es aislar el captador de las condiciones ambientales exteriores sin dificultar el paso de la radiación solar y provocando el efecto invernadero en el interior del captador. Normalmente está formada por una sola lámina de vidrio templado (resistente) con bajo contenido en hierro (muy transparente) de 4 mm de espesor aproximadamente. Existen captadores en versiones más económicas y de peor rendimiento que no cuentan con cubierta transparente y dejan el absorbedor expuesto.
  - **Aislamiento:** evita las pérdidas de calor del interior del captador hacia el exterior y suele estar formado por planchas de espumas sintéticas (poliuretano, cianurados, fibra de vidrio, etc.) ubicadas a los lados y en la parte posterior del captador.
- **Captadores de tubos de vacío:** consta de un conjunto de tubos cilíndricos formados por un absorbedor selectivo situado sobre un asentamiento reflector y rodeado de un cilindro de vidrio transparente. Entre el tubo exterior transparente y el absorbedor interior hay vacío, evitando de esta forma las pérdidas por conducción y por convección desde la superficie absorbente y alcanzando temperaturas de más de 100°C. Hay dos tipos de estos captadores, con técnicas bastante diferenciadas en cuanto a la transmisión del calor desde el tubo de vacío hasta el circuito primario. Por una parte están los captadores de vacío con flujo directo en los que el fluido caloportador circula por los tubos del absorbedor de

forma similar a como lo hace en un captador solar plano. Por otro lado están los captadores de flujo indirecto heat pipe. En este sistema, como en el caso anterior, los captadores disponen de un captador principal del circuito primario en la parte superior pero, en este caso, el tubo de vacío dispone de un tubo de cobre central sellado y lleno de una mezcla alcohólica. Se conecta este tubo en el absorbedor del captador solar mediante una pipeta condensadora, que hará la función de elemento transmisor del calor hacia el circuito primario. La radiación solar hace calentar el absorbedor y evapora la mezcla alcohólica de su interior, que sube hasta el condensador situado en el captador. En este punto, cederá el calor en el circuito primario y se condensa la mezcla alcohólica que volverá a la parte inferior del captador por su propio peso.

- **Captadores de concentración de la radiación de cilindro parabólico:** incorporan espejos que concentran la radiación haciendo que el fluido caloportador alcance altas temperaturas de hasta 200°C. Los captadores están formados por unas conducciones con un revestimiento selectivo que recorren longitudinalmente el captador y actúan como absorbedor. Estas conducciones reciben la radiación solar reflejada por las paredes curvas que las rodean, logrando así una cantidad de energía superior por unidad de superficie de absorbedor.

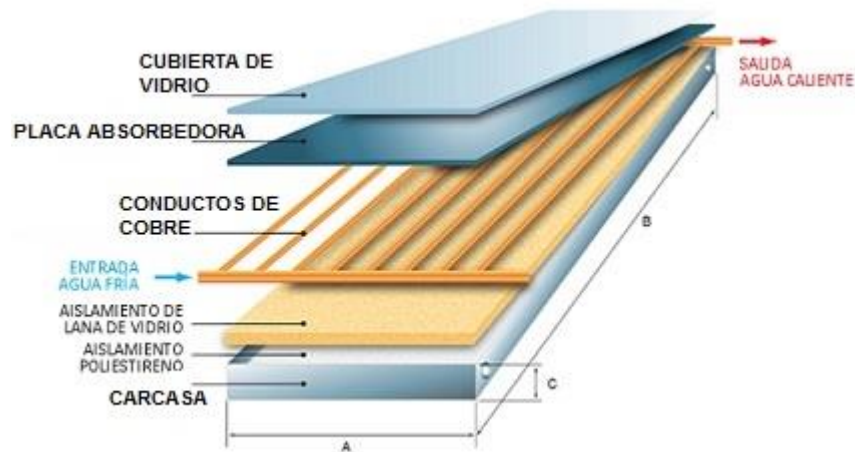


Figura 20. Colector solar plano de parrilla  
[\[http://www.energiasolar.lat/colector-solar-plano/\]](http://www.energiasolar.lat/colector-solar-plano/).



Figura 21. Captador solar de tubos de vacío  
[\[http://www.paradigma-iberica.es/?s=productos&p=captadores-de-tubo-vacio\]](http://www.paradigma-iberica.es/?s=productos&p=captadores-de-tubo-vacio).

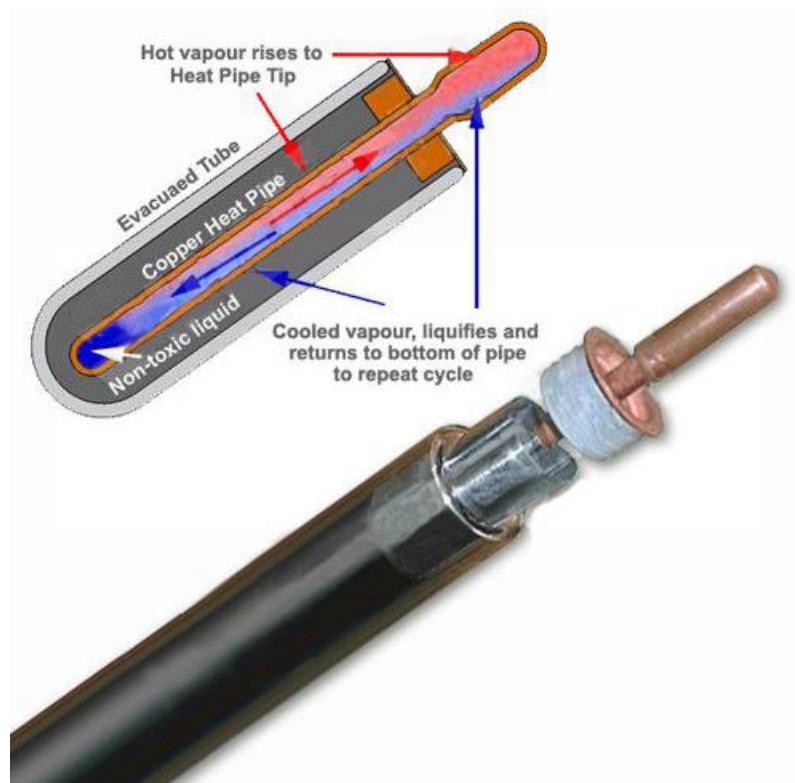


Figura 22. Funcionamiento tubo de vacío heat pipe  
[[https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_solar\\_de\\_tubos\\_de\\_vac%C3%ADo](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar_de_tubos_de_vac%C3%ADo)].



Figura 23. Captador solar de cilindro parabólico  
[<https://themorningstarg2.wordpress.com/tag/colectores-cilindro-parabolicos/>].

## 12.2 Dimensionado de la instalación solar

Una instalación solar térmica está formada por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla en energía térmica cediendo calor a un fluido de trabajo y almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo. Dicho sistema se complementa con una producción de energía térmica por sistema convencional auxiliar que puede o no estar integrada dentro de la misma instalación.

El dimensionado básico de una instalación solar, para cualquier aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100%. No se toman en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda se sitúe un 50% debajo de la media correspondiente al resto del año.

Los sistemas que conforman la instalación solar térmica para ACS son los siguientes:

- 1) Un sistema de captación formado encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica y de este modo calentar el fluido de trabajo que circula por ellos.
- 2) Un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se usa.
- 3) Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación.
- 4) Un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica desde el fluido de trabajo de los captadores (circuito primario) al agua caliente que se consume.
- 5) Sistema de regulación y control que se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, de actuar como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, congelaciones, etc.
- 6) Se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a lo previsto.

### 12.2.1 Demanda energética de ACS y volumen de acumulación

La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de preparación y de agua fría.

En instalaciones existentes para las que se disponga de datos de consumo medidos en años anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos. En instalaciones, nuevas, en caso de no disponer de datos, se utilizarán para el diseño los consumos unitarios expresados en la Tabla 47, en la que se ha considerado una temperatura de referencia de 60°C.

De la tabla se extrae que para el caso de vestuarios y duchas colectivas la demanda de ACS se estima en 21 l/día por cada uso.

La instalación de ACS sanitaria se dimensionará para un uso de 200 duchas diarias, lo que corresponde a un consumo de **4200 l/día**.

Tabla 47. Demanda de ACS a 60°C [3].

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

En caso de tomar una temperatura de referencia distinta de 60°C los valores expresados en la tabla pueden ser modificados multiplicándolos por el factor  $(60 - T_F)/(T - T_F)$ , siendo  $T$  la nueva temperatura de referencia escogida y  $T_F$  la temperatura del agua fría (temperatura de red) de la localidad.

En cuanto al volumen del depósito de acumulación solar, se recomienda que sea igual a la carga de consumo diaria. En este caso la carga diaria son 4200 litros, pero como no hay soluciones comerciales con esa capacidad exacta se opta por instalar un depósito de **5000 litros**.

La sección HE 4 del DBHE [3] establece que para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (36)$$

Donde  $V$  es el volumen de acumulación solar en litros y  $A$  es el área total del campo de captación en m<sup>2</sup>.

No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar ya que esto puede suponer una disminución de las prestaciones energéticas de la instalación solar. Para los equipos de instalaciones solares que vengan preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

### 12.2.2 Zona climática y contribución solar mínima

El DBHE [3] establece distintas zonas climáticas en función de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal. En la Tabla 48 se establecen los límites para cada zona.

**Tabla 48. Zonas climáticas en función de la radiación solar global media diaria anual [3].**

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Haciendo la media de los valores de radiación diaria mensual de la Tabla 5, se obtiene que para la zona de A Coruña considerada la radiación solar global media diaria anual son **3,8 kWh/m<sup>2</sup>**, por lo que le corresponde la **zona climática II**.

En función de la zona climática y del uso de la instalación solar, existe una contribución solar mínima anual que es necesario cumplir. La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada y la demanda energética anual para ACS o climatización de piscina cubierta, obtenidos a partir de los valores mensuales.

El DBHE establece que a contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio; bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana.

Para poder realizar la sustitución se justificará documentalmente que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de ACS, o la demanda total de ACS y calefacción si se considera necesario, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y el sistema de referencia que se deberá considerar como auxiliar de apoyo para la demanda comparada.

**Tabla 49. Contribución solar mínima anual para ACS en % [3].**

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

**Tabla 50. Contribución solar mínima para climatización de piscinas cubiertas en % [3].**

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
<i>Piscinas cubiertas</i>	30	30	50	60	70

De la Tabla 49 se obtiene que la contribución solar mínima anual será de un **30%**.

### 12.2.3 Límite de pérdidas por orientación, inclinación y sombras

El DBHE establece que la orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la Tabla 51. Las pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras.

Se consideran tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor, con el fin de favorecer la autolimpieza de los captadores. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

**Tabla 51. Límite de pérdidas por orientación, inclinación y sombras [3].**

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

### 12.2.4 Pérdidas por orientación e inclinación

La orientación e inclinación de un captador solar se define mediante el siguiente par de ángulos:

- **Ángulo de inclinación  $\beta$ :** el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para captadores horizontales y  $90^\circ$  para los verticales.
- **Ángulo de azimut  $\alpha$ :** el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar. Valores típicos son  $0^\circ$  para captadores orientados al Sur,  $-90^\circ$  para captadores orientados al Este y  $+90^\circ$  para captadores orientados al Oeste.



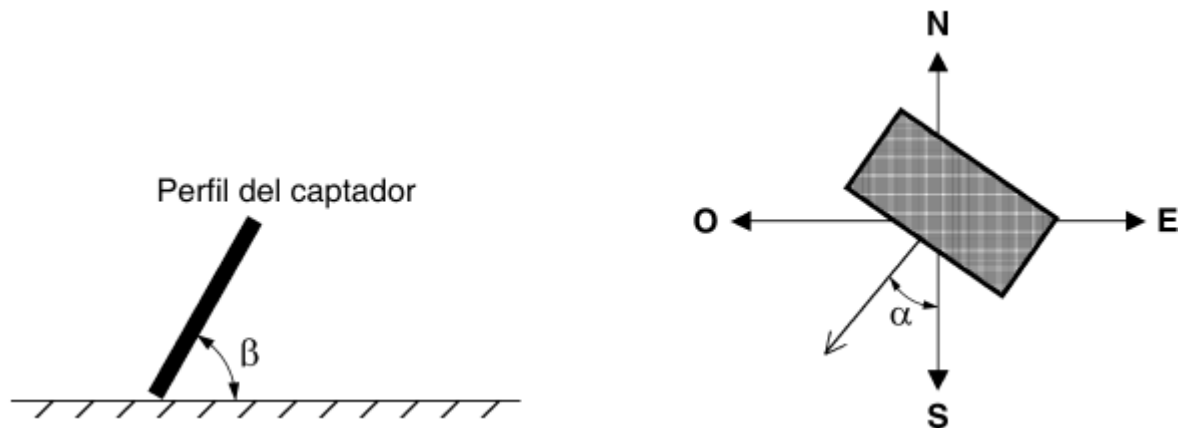


Figura 24. Ángulos de inclinación y azimut [8].

Se considera la dirección sur como la orientación óptima ( $\alpha = 0$ ) y la mejor inclinación,  $\beta_{opt}$ , dependiendo del período de máximo consumo:

- Consumo constante anual: la inclinación óptima será la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°.

En el caso de la ciudad de A Coruña, su latitud geográfica son 43°. Como el consumo de ACS será mayor en invierno, los captadores se inclinarán un ángulo de **53°**.

Los paneles se orientarán siguiendo la envolvente de la fachada sur. Esta fachada no está perfectamente orientada al sur, sino que se orienta 15° al suroeste, Por tanto el ángulo de azimut  $\alpha$  será de **15°**.

Una vez o determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida (Tabla 33). Para ello se utiliza la Figura 25, válida para una la latitud (N) de 41°.

Para el caso general que nos ocupa, las pérdidas máximas por este concepto son del 10%. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.

Si no hay intersección entre ambas líneas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud 41° y se corrigen de la siguiente forma:

- Inclinación máxima = inclinación (N = 41°) - (41° - latitud).
- Inclinación mínima = inclinación (N = 41°) - (41° - latitud); siendo 0° su valor mínimo.

En la Figura 26 se muestran los límites obtenidos para una latitud de 41° N.

Corrigiendo estos valores para 43° se obtienen que los límites de orientación superior e inferior de los paneles de la instalación son respectivamente **62°** y **9°**.

Para hallar el valor numérico en % de las pérdidas se usan las siguientes ecuaciones:

- Para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$\text{Pérdidas} = 100[1,2 \cdot 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5}\alpha^2] \quad (37)$$

- Para  $\beta \leq 15^\circ$

$$\text{Pérdidas} = 100[1,2 \cdot 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2] \quad (38)$$

Utilizando la ecuación 26, se obtiene que el total de las pérdidas por orientación e inclinación (realmente no hay pérdidas por inclinación ya que  $\beta = \beta_{opt}$ ) es de un **0,79%**, muy lejos del 10% límite.

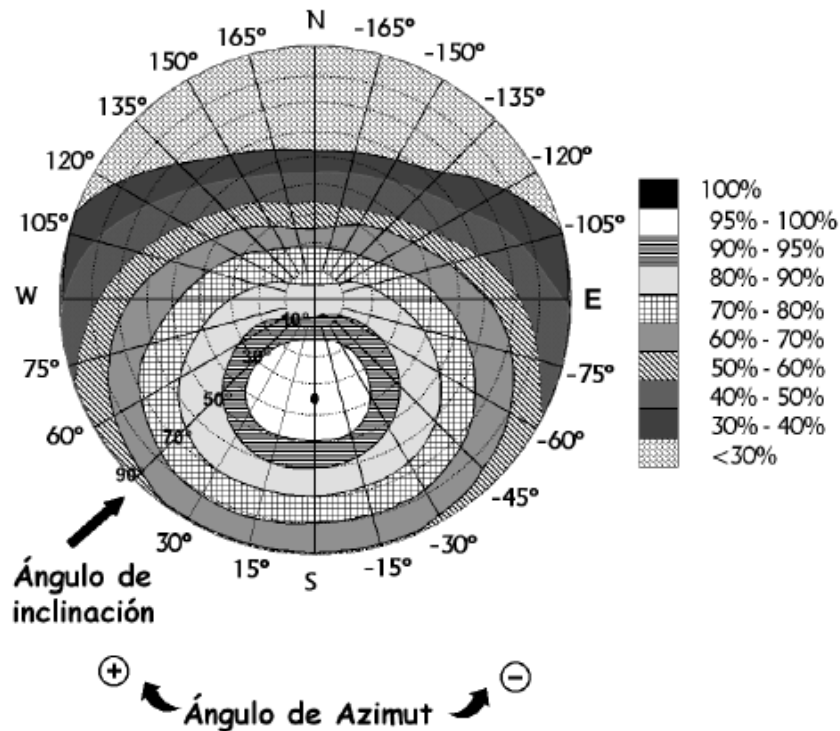


Figura 25. Figura para el cálculo de los límites de orientación a latitud 41° N [8].

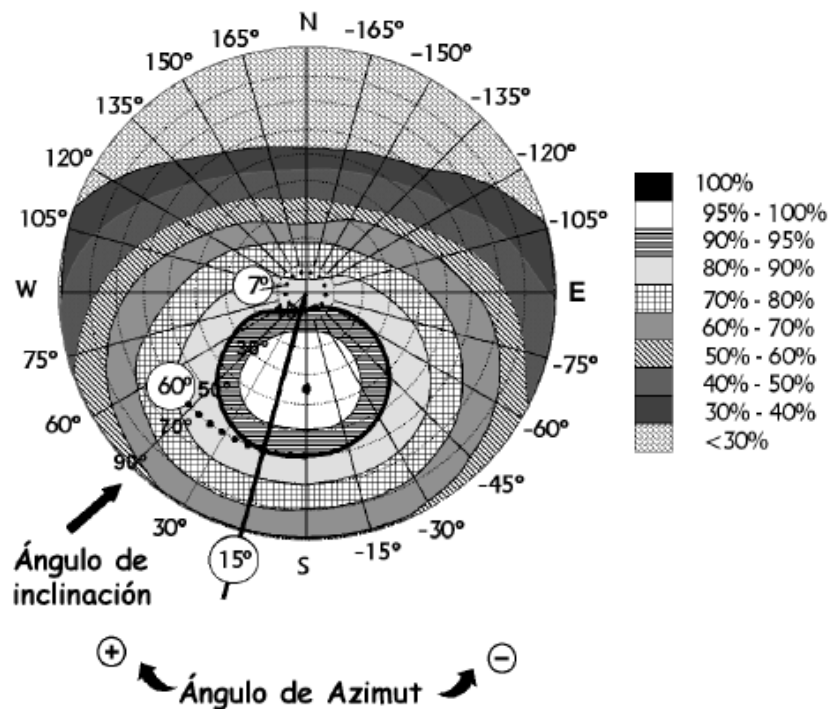


Figura 26. Límites de inclinación para  $\alpha = 15^\circ$  y latitud 41° N [8].

### 12.2.5 Pérdidas por sombras

El procedimiento para determinar las pérdidas por radiación solar debidas a las sombras consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias aparentes del Sol (Figura 27). Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Obtención del perfil de obstáculos: se localizan los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición azimuth (ángulo de desviación con respecto a la dirección Sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse un teodolito.
- 2) Representación del perfil de obstáculos: se representa el perfil de obstáculos en el diagrama de la Figura 27, en el que se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse  $12^\circ$  en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,... D14).
- 3) Selección de la tabla de referencia para los cálculos: cada una de las porciones de la Figura 27 representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Deberá escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada (Tabla 52) en función del ángulo de inclinación y orientación de la superficie de estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.
- 4) Cálculo final: la comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25; 0,50; 0,75 o 1.

No existen obstáculos que bloqueen la radiación solar en la zona donde se encuentra la instalación de diseño. Por tanto las pérdidas por sombras serán nulas.

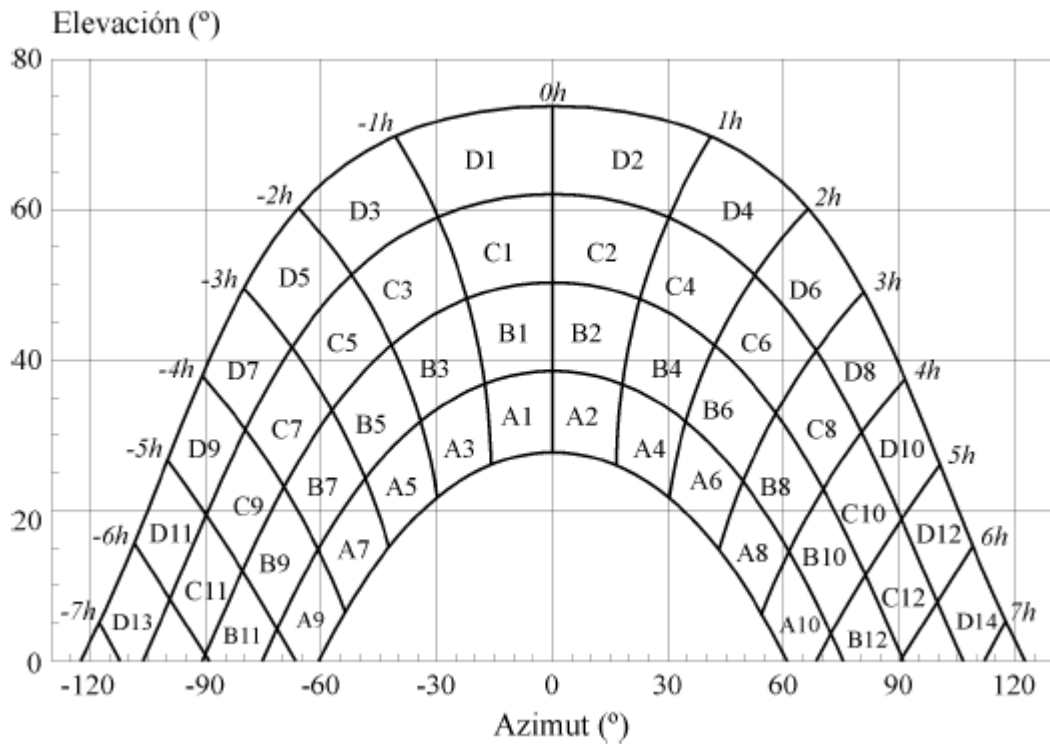


Figura 27. Diagrama de trayectorias del sol [8].

Tabla 52. Tablas de referencia para el cálculo de pérdidas por radiación [8].

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D	$\beta = 0^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03	13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	0,01	0,12	0,44	11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	0,13	0,41	0,62	1,49	9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	1,00	0,95	1,27	2,76	7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	1,84	1,50	1,83	3,87	5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	2,70	1,88	2,21	4,67	3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	3,15	2,12	2,43	5,04	1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	2,70	1,89	2,01	4,46	4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	1,79	1,51	1,65	3,63	6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,98	0,99	1,08	2,55	8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,11	0,42	0,52	1,33	10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,02	0,10	0,40	12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,00	0,02	14	0,00	0,00	0,00	0,17

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D	$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,15	13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,02	0,15	11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,23	0,50	0,37	0,10	9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,66	1,06	0,93	0,78	7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	2,76	1,62	1,43	1,68	5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	3,83	2,00	1,77	2,36	3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	4,36	2,23	1,98	2,69	1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	4,40	2,23	1,91	2,66	2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	3,82	2,01	1,62	2,26	4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,68	1,62	1,30	1,58	6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,62	1,09	0,79	0,74	8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,19	0,49	0,32	0,10	10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,02	0,13	12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,13	14	0,00	0,00	0,00	0,22

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D	$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,06	0,01	0,15	0,51	11	0,00	0,00	0,08	0,16
9	0,56	0,06	0,14	0,43	9	0,02	0,04	0,04	0,02
7	1,80	0,04	0,07	0,31	7	0,02	0,13	0,31	1,02
5	3,06	0,55	0,22	0,11	5	0,64	0,68	0,97	2,39
3	4,14	1,16	0,87	0,67	3	1,55	1,24	1,59	3,70
1	4,87	1,73	1,49	1,86	1	2,35	1,74	2,12	4,73
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2	2,85	2,05	2,38	5,40
4	5,02	2,34	2,02	3,29	4	2,86	2,14	2,37	5,53
6	4,46	2,28	2,05	3,36	6	2,24	2,00	2,27	5,25
8	3,54	1,92	1,71	2,98	8	1,51	1,61	1,81	4,49
10	2,26	1,19	1,19	2,12	10	0,23	0,94	1,20	3,18
12	1,17	0,12	0,53	1,22	12	0,00	0,09	0,52	1,96
14	0,22	0,00	0,00	0,24	14	0,00	0,00	0,00	0,55

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D	$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,43	13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,01	0,27	0,78	11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,09	0,21	0,33	0,76	9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	0,21	0,18	0,27	0,70	7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	0,10	0,11	0,21	0,52	5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	0,45	0,03	0,05	0,25	3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	1,73	0,80	0,62	0,55	1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,91	1,56	1,42	2,26	2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	3,59	2,13	1,97	3,60	4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	3,35	2,43	2,37	4,45	6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	2,67	2,35	2,28	4,65	8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,47	1,64	1,82	3,95	10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,19	0,97	2,93	12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	1,00	14	0,00	0,00	0,00	0,08

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D	$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	13	0,00	0,00	0,00	0,56
11	0,00	0,05	0,60	1,28	11	0,00	0,04	0,60	2,09
9	0,43	1,17	1,38	2,30	9	0,27	0,91	1,42	3,49
7	2,42	1,82	1,98	3,15	7	1,51	1,51	2,10	4,76
5	3,43	2,24	2,24	3,51	5	2,25	1,95	2,48	5,48
3	4,12	2,29	2,18	3,38	3	2,80	2,08	2,56	5,68
1	4,05	2,11	1,93	2,77	1	2,78	2,01	2,43	5,34
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2	2,32	1,70	2,00	4,59
4	2,43	1,14	0,79	0,64	4	1,52	1,22	1,42	3,46
6	1,24	0,54	0,20	0,11	6	0,62	0,67	0,85	2,20
8	0,40	0,03	0,06	0,31	8	0,02	0,14	0,26	0,92
10	0,01	0,06	0,12	0,39	10	0,02	0,04	0,03	0,02
12	0,00	0,01	0,13	0,45	12	0,00	0,01	0,07	0,14
14	0,00	0,00	0,00	0,27	14	0,00	0,00	0,00	0,12

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,36	2,37	2,56	4,61
3	3,49	2,06	2,10	3,67
1	2,81	1,52	1,44	2,22
2	1,69	0,78	0,58	0,53
4	0,44	0,03	0,05	0,24
6	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,36

### 12.2.6 Rendimiento de un captador solar plano

El rendimiento de un captador solar plano se define como el cociente entre la energía obtenida por el captador y la energía que éste recibe.

$$\eta = \frac{Q}{SI} \quad (39)$$

Siendo Q la potencia útil del captador (W), S su superficie (m<sup>2</sup>) e I la irradiación solar (W/m<sup>2</sup>).

A su vez el rendimiento puede expresarse en función de la curva característica del captador:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{\Delta T}{I} - a_2 \frac{\Delta T^2}{I} \quad (40)$$

Donde:

- $\eta_0 (F'_r(\tau\alpha)_n$  para el método F-Chart) es un factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.
- $a_1$  es el denominado coeficiente global de pérdidas de primer grado.
- $a_2$  es el coeficiente global de pérdidas de segundo grado.
- $\Delta T$  es la diferencia entra la temperatura media del captado y la temperatura ambiente.

Si se utiliza una ecuación de segundo grado, el coeficiente global de pérdidas ( $F_r U_L$ ) se toma igual a  $a_1 + 30a_2$ .

El fabricante del captador solar proporcionará la curva característica del mismo o bien los parámetros necesarios de ésta.

### 12.2.7 Método de F-Chart

Existen muchos métodos para el dimensionamiento del área de captadores y el cálculo de la cobertura solar de una instalación. Uno de los más utilizados es el método de F-Chart, que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo. Este método de cálculo es aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, pero no debe aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

La ecuación fundamental de este método es:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3 \quad (41)$$

Siendo  $f$  la contribución solar de la instalación y  $D_1$  y  $D_2$  parámetros adimensionales cuyo cálculo se detalla a continuación.

El parámetro  $D_1$  expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano ( $E_a$ ) y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes ( $Q_a$ ).

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_a} \quad (42)$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c F'_r(\tau\alpha) R_1 N \quad (43)$$

Donde:

- $S_c$  es la superficie total de captación ( $m^2$ ).
- $R_1$  es la radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área ( $kJ/m^2$ ).
- $N$  es el número de días del mes considerado.
- $F'_r(\tau\alpha)$  es un factor adimensional que se obtiene de la siguiente expresión.

$$F'_r(\tau\alpha) = F'_r(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] (F'_r/F_r) \quad (44)$$

Donde:

- $F'_r(\tau\alpha)_n$  es un factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

- $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$  es un modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).
- $F'_r/F_r$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

La carga calorífica de calentamiento durante un mes es:

$$Q_a = c_e CN(T_{ac} - T_{red}) \quad (45)$$

Siendo  $c_e$  el calor específico del agua,  $C$  el consumo diario de ACS (kg/día),  $N$  el número de días del mes,  $T_{ac}$  la temperatura de acumulación de ACS y  $T_{red}$  la temperatura del agua proveniente de la red.

El parámetro  $D_2$  expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_a} \quad (46)$$

La energía perdida por el captador se calcula como:

$$E_p = S_c F'_r U_L (100 - T_a) \Delta t K_1 K_2 \quad (47)$$

Donde:

- $F'_r U_L = F_r U_L (F'_r/F_r)$ . Siendo  $F_r U_L$  el coeficiente global de pérdidas del captador (pendiente de la curva característica del captador).
- $T_a$  es la temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas.
- $\Delta t$  es el periodo de tiempo considerado en segundos. Para el caso de un mes será el número de segundo con los que cuenta el mes.
- $K_1$  es el factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [\text{kg de acumulación}/(75S_c)]^{-0.25} \quad (48)$$

Cumplíendose:

$$37,5 < \frac{\text{kg de acumulación}}{S_c} < 300 \quad (49)$$

- $K_2$  es un factor de corrección que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = (11,6 + 1,18T_{ac} + 3,86T_{red} - 2,32T_a)/(100 - T_a) \quad (50)$$

Una vez obtenidos  $D_1$  y  $D_2$ , aplicando la ecuación 28, se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

Por lo tanto, la energía útil captada cada mes ( $Q_u$ ), será:

$$Q_u = f Q_a \quad (51)$$

Del mismo modo se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:



$$f_{anual} = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u / \sum_{a=1}^{a=12} Q_a \quad (52)$$

### 12.2.8 Conexiones de los captadores solares

Los captadores se dispondrán en filas formadas preferentemente por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

En casos en que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m<sup>2</sup> en la zona climática III y hasta 6 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas IV y V.

La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

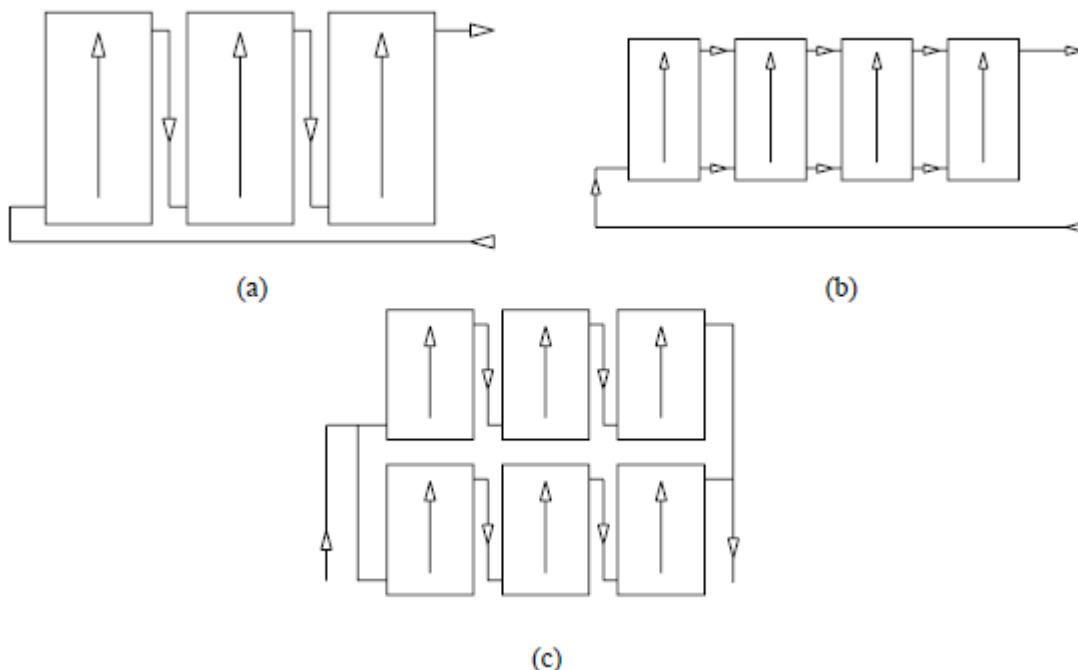


Figura 28. Tipos de conexiones, a) serie, b) paralelo, c) serie-paralelo [5].

### 12.2.9 Distancia mínima entre filas

La distancia medida sobre la horizontal entre una fila de captadores y un obstáculo de altura que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia será superior al valor obtenido por la siguiente expresión:

$$d = h / \tan(61^\circ - \text{latitud}) \quad (53)$$

Donde  $d$  es la distancia medida sobre la horizontal y  $h$  la altura del obstáculo.

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no debe ser inferior a la obtenida por la expresión anterior, siendo  $h$  la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

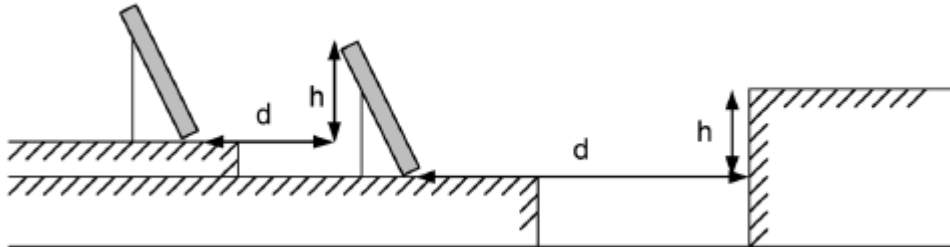


Figura 29. Distancia mínima entre filas de captadores [5].

### 12.2.10 Estructura soporte

La estructura soporte estará sujeta a las exigencias del CTE en cuanto a seguridad.

El cálculo y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores debe permitir las necesarias dilataciones térmicas, sin transferir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador, superiores a las permitidas por el fabricante.

Los toques de sujeción de captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre los captadores.

### 12.2.11 Sistema de intercambio de calor entre captación y acumulación

Si se usa un intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de  $1000 \text{ W/m}^2$  y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50%, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500S_c \quad (54)$$

Siendo  $P$  la potencia mínima del intercambiador y  $S_c$  la superficie total de captación.

Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador (interacumuladores), la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

En cada una de las tuberías de entrada y salida de agua del intercambiador de calor se instalará una válvula de cierre próxima al manguito correspondiente.

### 12.2.12 Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo del circuito primario se utilizará agua de la red, agua desmineralizada o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. Los aditivos más usuales son los anticongelantes, aunque en ocasiones se

puedan utilizar aditivos anticorrosivos. La utilización de otros fluidos térmicos requerirá incluir su composición y calor específico en la documentación del sistema y la certificación favorable de un laboratorio acreditado.

El pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9 y el contenido en sales se ajustará a lo siguiente:

- 1) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- 2) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l, expresados como contenido en carbonato cálcico.
- 3) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada.

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0°C. En todo caso, su calor específico no será inferior a 3 kJ/(kgK) medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada.

La guía ASIT define los siguientes porcentajes de anticongelante en función de la temperatura de congelación y que la proporción de anticongelante de las mezclas propilenglicol y agua no será nunca inferior al 15%.

**Tabla 53. Proporción de anticongelante [7].**

Temperatura de congelación (°C)	0	-3	-7	-15	-24
% de anticongelante	0	10	20	30	40

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con UNE-EN 12976-2.

La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

Es conveniente disponer de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas de fluido que se puedan dar en el circuito. Será obligatorio en los casos de riesgos de heladas y cuando el agua deba tratarse.

El caudal del fluido portador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante del captador solar. En su defecto su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m<sup>2</sup> de red de captadores. En las instalaciones en las que los captadores estén conectados en serie, el caudal de la instalación se obtendrá aplicando el criterio anterior y dividiendo el resultado por el número de captadores conectados en serie.

### 12.2.13 Tuberías

El sistema de tuberías y sus materiales deben asegurar que no se produzca formación de obturaciones o depósitos de cal para las condiciones de trabajo.

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general. Los tramos horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en el sentido de la circulación.

En ningún caso el diámetro de las tuberías será inferior a DN15. En general, dicho diámetro se calculará de forma que corresponda al diámetro normalizado inmediatamente superior al necesario en una instalación equivalente con circulación forzada.

El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas admitiéndose revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

El RITE establece unos espesores mínimos de aislante en función del diámetro de la tubería y de si circula por el interior o el exterior.

**Tabla 54. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios [6].**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

**Tabla 55. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios [6].**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

### 12.2.14 Bombas

La caída de presión en el campo de captadores debe mantenerse aceptablemente baja en todo el circuito.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Preferentemente en la aspiración de la bomba se conectarán los vasos de expansión. La altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

### 12.2.15 Purga de aire

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>. Este volumen podrá disminuir si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

## 12.3 Resultados

Se ha realizado un primer dimensionamiento de la instalación utilizando el método de F-Chart y los requisitos comentados en los apartados anteriores. Posteriormente se ha comprobado este dimensionamiento de forma más exacta por medio del software CHEQ4.

### 12.3.1 Método de F-Chart

Aunque la normativa exige una contribución solar mínima anual del 30%, se va a dimensionar la instalación para una contribución solar anual alrededor del 40%.

Se ha elegido como captador solar ECOTOP VHM 2.7, de la empresa Ferroli, con un área útil de captación 2,36 m<sup>2</sup> por panel. Sus características completas pueden verse en el apartado 12.6.1. Para una instalación de 21 captadores, lo que corresponde a un área útil de captación de 49,56 m<sup>2</sup>, se obtienen los siguientes resultados de contribución solar mensual y anual (los resultados completos con todos los parámetros están el anexo de cálculos).

Tabla 56. Resultados F-Chart

Mes	Demanda de ACS	Calor útil aportado	Cobertura solar
	$Q_d$ (J)	$Q_u$ (J)	$f$
Enero	2,73E+10	5,65E+09	0,2071
Febrero	2,46E+10	8,51E+09	0,3457
Marzo	2,67E+10	1,14E+10	0,4249
Abril	2,53E+10	1,27E+10	0,5010
Mayo	2,56E+10	1,41E+10	0,5484
Junio	2,43E+10	1,43E+10	0,5903
Julio	2,40E+10	1,52E+10	0,6317
Agosto	2,40E+10	1,57E+10	0,6557
Septiembre	2,37E+10	1,15E+10	0,4858
Octubre	2,51E+10	1,02E+10	0,4083
Noviembre	2,53E+10	6,69E+09	0,2640
Diciembre	2,67E+10	5,11E+09	0,1913
<b>ANUAL</b>	<b>3,03E+11</b>	<b>1,31E+11</b>	<b>0,4329</b>



Figura 30. Contribución solar F-Chart.

### 12.3.2 Resultados CHEQ4

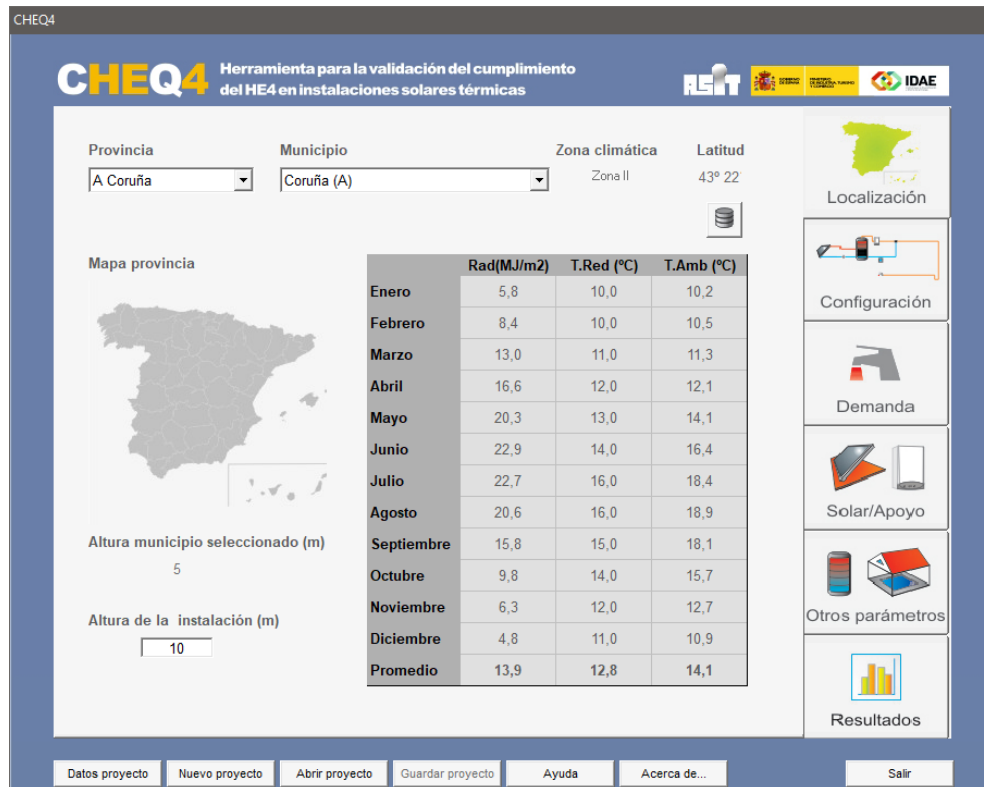
CHEQ4 es un software elaborado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) y la ASIT (la Asociación Solar de la Industria Térmica) que tiene como objetivo facilitar el cumplimiento y evaluación de la sección HE4 incluida en la exigencia básica HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE).

CHEQ4 permite definir distintas instalaciones solares e introduciendo un mínimo de parámetros del proyecto, asociados a cada configuración del sistema, obtener la cobertura solar que ese sistema proporciona sobre la demanda de energía para ACS y/o piscina del edificio.

El software cuenta con 5 pestañas donde se introducen los datos necesarios y una última donde genera un informe con los resultados obtenidos.

A continuación se muestran las distintas pestañas con los datos introducidos:

- 1) Localización.



**Figura 31. CHEQ4: Localización.**

La altura de la instalación será de 10 metros (5 metros del municipio sobre el nivel del mar + 5 metros de altura del edificio).

## 2) Configuración.



**Figura 32. CHEQ4: Configuración.**

### 3) Demanda.

CHEQ4

**CHEQ4** Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

Logos: ASIT, IDAE

**CONSUMO ÚNICO**

Aplicación:

Número de personas:

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 4.200

**CONSUMO MÚLTIPLE**

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo B	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60 °C):

Demanda total (l/día a 60 °C): 4.200

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100

Botones: Datos proyecto, Nuevo proyecto, Abrir proyecto, Guardar proyecto, Ayuda, Acerca de..., Salir

Panel lateral: Localización, Configuración, Demanda, Solar/Apoyo, Otros parámetros, Resultados

Figura 33. CHEQ4: Demanda.

### 4) Solar/Apoyo.

CHEQ4 Ferrolivas

**CHEQ4** Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

Logos: ASIT, IDAE

**CAPTADORES**

Empresa:

Marca/Modelo:

Datos de ensayo:

Área (m2)	2,36
n0 (-)	0,815
a1 (W/m2K)	3,368
a2 (W/m2K2)	0,019
Qtest(l/hm2)	144
k50	0,93
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-29216

**CAMPO DE CAPTADORES**

Núm. captadores:  Captadores en serie:  Pérdidas sombras (%):

Orientación (°):  Inclinación (°):  Área total captadores (m2): 49,56

**CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO**

Caudal prim.(l/h):  Anticongelante (%):  Long. circuito (m):

Diám. tubería (mm):  Esp. aislante (mm):  Aislante:

**SISTEMA DE APOYO**

Tipo de sistema:

Tipo de combustible:

Botones: Datos proyecto, Nuevo proyecto, Abrir proyecto, Guardar proyecto, Ayuda, Acerca de..., Salir

Panel lateral: Localización, Configuración, Demanda, Solar/Apoyo, Otros parámetros, Resultados

Figura 34. CHEQ4: Solar/Apoyo.



Este es el apartado fundamental del programa. Se introducen los datos de la empresa, modelo de captador solar y los parámetros del campo de captadores. Se ha optado por conectar los captadores en paralelo, de forma que su rendimiento sea el máximo. El fabricante recomienda un caudal por captador de 2 l/min, por lo que si se multiplica este caudal por los 21 captadores que habrá y por 60 se obtiene un caudal en el primario de 2520 l/h. Con este caudal el software calcula un diámetro de tubería de 26 mm.

Se ha elegido un porcentaje de anticongelante del 15%, un espesor de aislante de 40 mm y una longitud equivalente del circuito de 50 m.

En cuanto al sistema de apoyo se ha optado por una caldera convencional de gas natural.

### 5) Otros parámetros.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**

Volumen total (l)

Vol/Área (l/m<sup>2</sup>) 100,89

**DISTRIBUCIÓN**

Long. circuito (m)

Diám.tubería (mm)

Esp. aislante (mm)  T. imp.(°C)

Aislante

**PISCINA CUBIERTA**

Altura (m)

Apertura diaria (h)

Superficie lámina (m<sup>2</sup>)

Humedad relativa (%)

Temp. ambiente (°C)

Temp. piscina (°C)

Renov. volumen día (%)

Ocupación (pers/m<sup>2</sup>)

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**

Tipo A (l)  Tipo C (l)

Tipo B (l)  Tipo D (l)

Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**

Long. total (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)

Aislante

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acerca de... Salir

Figura 35. CHEQ4: Otros parámetros.

Para el sistema de distribución se ha introducido una longitud equivalente de 100 m, y un diámetro de tubería de 25 mm con 40 mm de aislante (el cálculo detallado del sistema de distribución no es objeto de este trabajo).

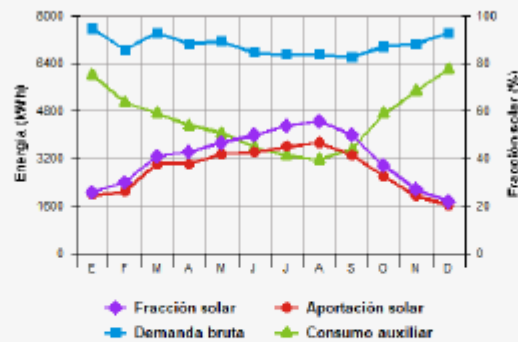
Con esto el programa genera un informe de resultados que se muestra en las siguientes páginas.

## Características del sistema solar



Localización de referencia	Coruña (A) (A Coruña)											
Altura respecto la referencia [m]	5											
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con interacumulador											
Demanda [l/día a 60°C]	4.200											
Ocupación %	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## Resultados



Fracción solar [%]	40
Demanda neta [kWh]	83.923
Demanda bruta [kWh]	84.562
Aporte solar [kWh]	33.781
Consumo auxiliar [kWh]	54.335
Reducción de emisiones de [kg de CO <sub>2</sub> ]	7.292

Parámetros del sistema		Verificación en obra
<b>Campo de captadores</b>		
Captador seleccionado	Ecotop VHM 2.7 ( Ferroli)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-29216	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	21,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	1,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	1,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	15,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	53,0	<input type="checkbox"/>
<b>Circuito primario/secundario</b>		
Caudal circuito primario [l/h]	2.520,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	15,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	50,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	26,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<input type="checkbox"/>
<b>Sistema de apoyo</b>		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
<b>Acumulación</b>		
Volumen [l]	5.000,0	<input type="checkbox"/>
<b>Distribución</b>		
Longitud del circuito de distribución [m]	100,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	25,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>

Los resultados muestran una contribución solar anual del **40%**. Este valor es inferior al obtenido con el método de F-Chart, ya que aquí se están teniendo en cuenta las pérdidas de calor en los conductos.

## 12.4 Sistema de apoyo

Las instalaciones de energía solar térmica deben contar con un sistema de energía auxiliar que asegure el abastecimiento de la demanda en las condiciones de diseño.

En esta instalación se ha optado por un sistema de energía auxiliar compuesto por una caldera de gas natural y una acumulación que cubra la hora punta. Este sistema auxiliar se dimensiona de forma que sea capaz de aportar el 100% de la demanda térmica, sin contar con la energía aportada por la instalación solar.

La potencia necesaria de la caldera se obtiene con la siguiente expresión [9]:

$$P_{caldera} = [Q_{punta}(T_{ACS} - T_{red}) - V_{ac}(T_{ac} - T_{red})F_u]1,16/\eta_{prod} \quad (55)$$

Donde:

- $P_{caldera}$  es la potencia útil de la caldera en W.
- $Q_{punta}$  es el consumo en la hora punta expresado en litros. En polideportivos e instalaciones deportivas, como es el caso de una piscina, el consumo de ACS

presenta varias puntas, por lo que se considera que el caudal en la hora punta es el 30% del consumo diario. En este caso resultan 1260 litros.

- $T_{ACS}$  y  $T_{red}$  son la temperatura de uso de ACS (60°C) y la temperatura de la red (se cogerá su valor mínimo, 10°C).
- $V_{ac}$  es el volumen de acumulación. Se ha optado por un volumen de acumulación de 750 litros.
- $T_{ac}$  es la temperatura de la acumulación, que será de 70°C para la prevención de la legionelosis.
- $F_u$  es el factor de uso del volumen acumulado. Depende de la geometría y del número de depósitos de acumulación, ya que en el interior de los mismos existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente, en la cual la temperatura resulta inferior a la de uso, por lo que dicho volumen no puede ser utilizado. Se obtiene de la ecuación inferior, siendo  $H$  y  $D$  la altura y diámetro del depósito. Con las dimensiones de este depósito (apartado 12.6.2) el factor resulta mayor a la unidad, por lo que se toma 1 como su valor.

$$F_u = 0,63 + 0,14H/D \quad (56)$$

- $\eta_{prod}$  es el rendimiento del sistema de producción de ACS, incluyendo las pérdidas por intercambio, acumulación, distribución y recirculación. Se toma un valor de 0,75.

Con estos datos se obtiene que la potencia necesaria de la caldera para cubrir la demanda debe ser de **27,84 kW**.

## 12.5 Esquema de la instalación

En la Figura 36 se muestra un esquema general de la instalación de ACS donde se representan los distintos componentes que la forman. La energía solar proporcionará un porcentaje de la energía necesaria, siendo la instalación térmica tradicional la que deba llevar el agua, cuando las aportaciones solares no sean suficientes, hasta las condiciones de uso.

La instalación permitirá que el agua en el interacumulador solar alcance una temperatura de 70°C para hacer posible el tratamiento térmico para prevención de la legionelosis. Para ello se realiza una derivación hidráulica desde la entrada de agua fría hasta la aspiración de la bomba de secundario y desde la salida del intercambiador hasta la salida de ACS de los depósitos solares; cerrando las llaves del depósito de cabeza y abriendo las de las derivaciones indicadas se pueden calentar los depósitos solares.

Esta operación se describe en la Figura 37 y se limitará al tratamiento térmico de los interacumuladores solares, con la periodicidad establecida en la reglamentación de prevención de la legionelosis.

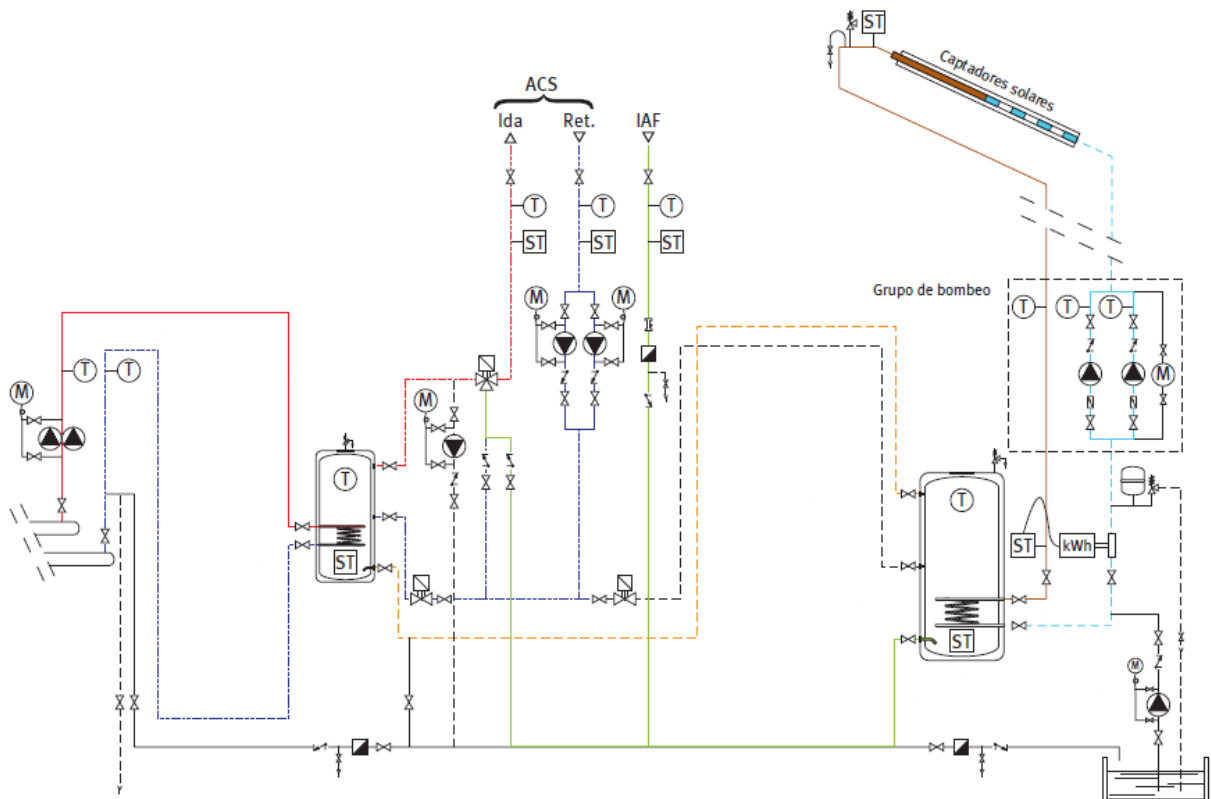


Figura 36. Esquema de la instalación de ACS.

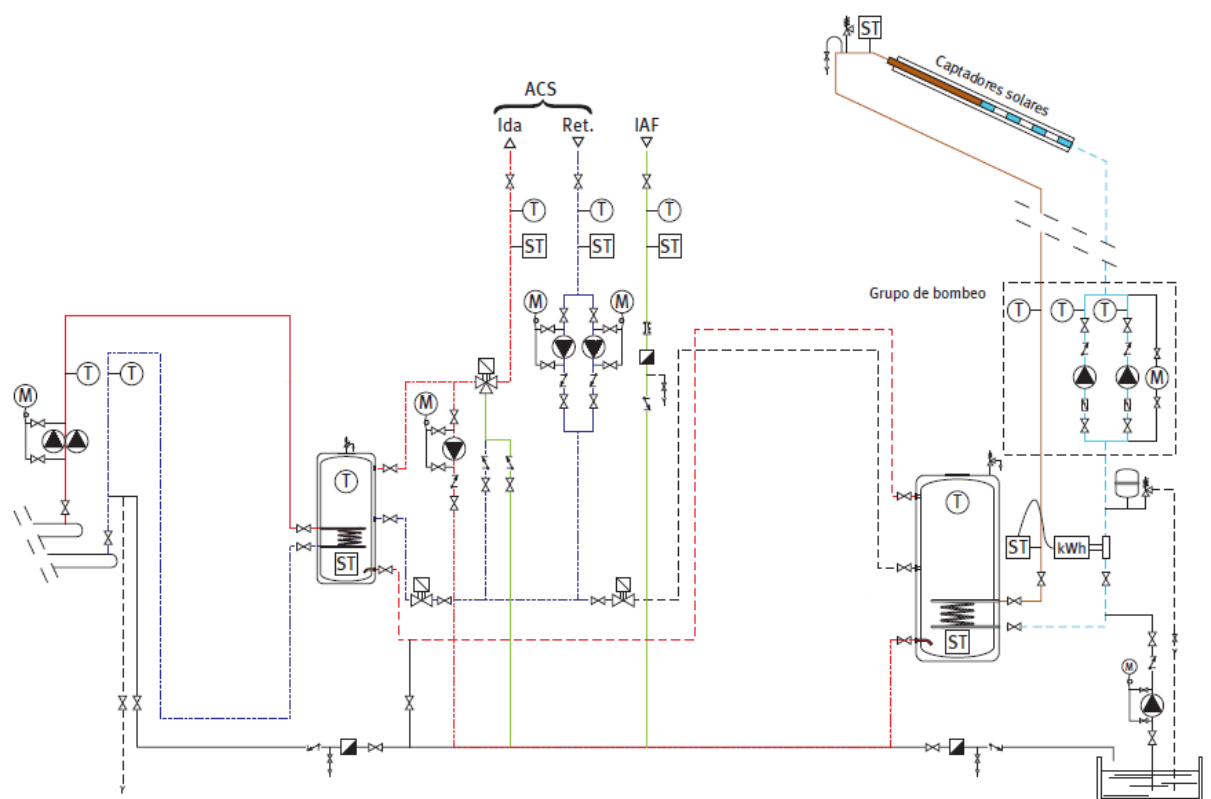


Figura 37. Tratamiento térmico para la prevención de la legionelosis.

## 12.6 Selección de equipos

### 12.6.1 Captador solar

Se ha elegido el modelo ECOTOP VHM 2.7 de la empresa Ferroli. Cuenta con cubierta de vidrio templado de bajo contenido en hierro (inferior al 0,005%), de 4 mm de espesor. La carcasa exterior es de aluminio y la superficie de absorción es de aluminio con recubrimiento selectivo y tratamiento de óxido de titanio. El aislamiento es de lana de roca de 40 mm de espesor. La placa colectora es de tubos de cobre y las conexiones de entrada y salida son de 3/4" (4 conexiones).

En las siguientes tablas se muestran los datos de catálogo:

Valores referentes a superficie de apertura	ECOTOP VHM 2.1	Ecotop VHM 2.7
$\eta_p$	0,808	0,808
$a_1$ (W/m <sup>2</sup> K)	3,334	3,334
$a_2$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,02	0,02



		VHM 2.1	VHM 2.7
Superficie total	m <sup>2</sup>	2,09	2,65
<b>Superficie de apertura</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>1,82</b>	<b>2,36</b>
Altura	mm	2.018	2.018
Ancho	mm	1.037	1.314
Fondo	mm	89	89
Número de conexiones		4	4
Diámetro conexiones (roscadas macho)	-	3/4	3/4
Peso en vacío	Kg	34,4	42,4
Contenido fluido	l	0,85	1,08
Caudal de trabajo recomendado	l/h	75-150	75-150
Presión máx. de trabajo	bar	10	10
Temperatura de estancamiento	°C	204,9	204,9
Aislamiento en lana de roca de espesor	mm	40	40
Grado de absorción	%	95	95
Emisividad	%	5	5
<b>Máximo número de colectores en paralelo</b>		<b>8</b>	<b>8</b>
CÓDIGO		034000210	034000270

### Caudal recomendado (l/h) 100-200

Pérdida carga estimada media por captador*				
Caudal (litros/min captador)	3	2	1	0
Pérdida de carga (Pa)	2500	1650	1000	0

\* Caudal recomendado de trabajo  $\leq$  2 litros/min.

### ACCESORIOS PARA CAPTADOR ECOTOP VHM

Descripción	CÓDIGO	Observaciones
 Kit 4 conexiones, incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 tapones de cierre;</li> <li>• Conexión entrada paneles;</li> <li>• Conexión salida panel con vaina;</li> </ul>	C51022590	OBLIGATORIO Es obligatorio usar N kits por cada N filas de captadores
 Kit conexiones intermedias.	C51022600	OBLIGATORIO Es obligatorio usar N-1 kits por cada fila de N captadores

## 12.6.2 Interacumuladores

Se han elegido interacumuladores de acero inoxidable AISI 316L de la empresa Suicalsa. El interacumulador solar será de 5000 litros mientras que el interacumuladores del sistema auxiliar tendrá un volumen de 750 litros. El depósito cuenta con una boca de inspección de DN400 para capacidades superiores a los 750 litros mientras que para volúmenes de 750 litros e inferiores, el tamaño de la boca de inspección es DN 200. Esta boca de inspección es adicional a la boca en la que va montado el serpentín de calentamiento. El aislamiento estándar está compuesto por espuma de poliuretano flexible de 50 mm y coeficiente de conductividad térmica 0,038 W/mK. La terminación exterior se realiza en funda de skay de 0,28 mm y color rojo. Se recomienda el uso de ánodos de magnesio SIMPLETEST como protección catódica.

Sus dimensiones y características técnicas principales se muestran a continuación.

### DATOS TÉCNICOS Y DE FUNCIONAMIENTO

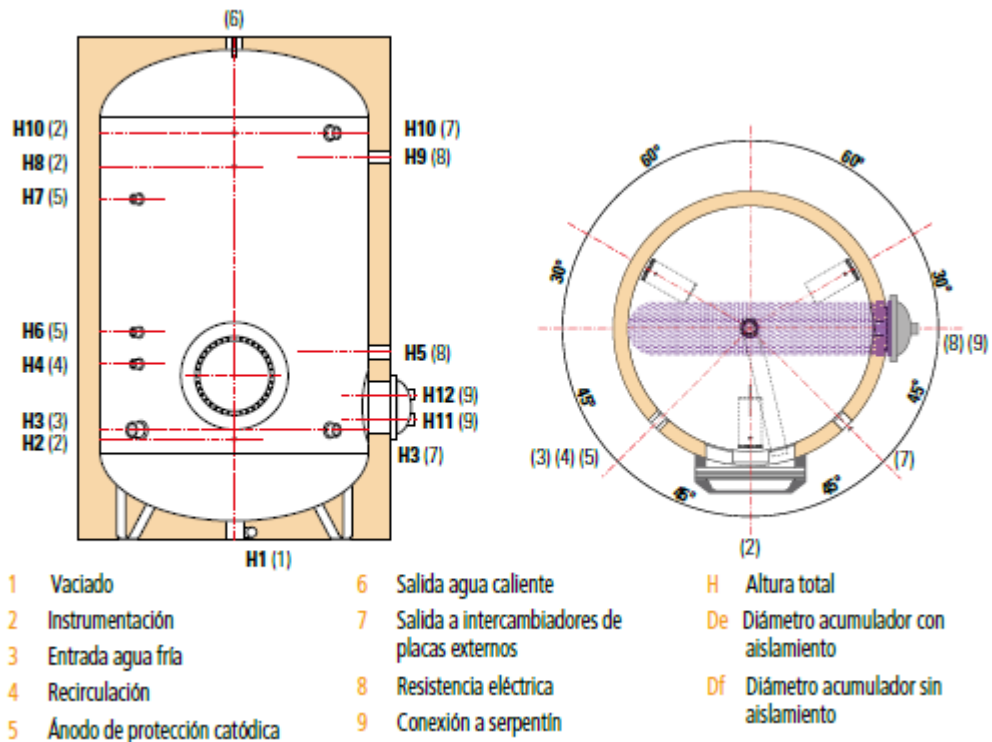
#### Producción ACS y calentamiento por caldera

##### TC1 / tiempo de calentamiento: 1 hora

Vol. (litros)	Código	Superficie interc. (m <sup>2</sup> )	Vol. serp. (litros)	Pot. (kW)	Prod. (lts/hora)	Peso (Kg.)
200	IV020TC16LB08	0,37	1,1	9	223	71
300	IV030TC16LB08	0,56	1,7	14	338	99
500	IV050TC16LB08	0,94	2,8	23	567	144
750	IV075TC16LB08	1,41	4,3	35	851	199
1000	IV100TC16LB08	1,87	5,7	46	1128	245
1500	IV150TC16LB08	2,81	8,6	69	1696	343
2000	IV200TC16LB08	3,75	11,5	92	2263	425
2500	IV250TC16LB08	4,69	14,4	115	2830	565
3000	IV300TC16LB08	5,62	17,2	138	3391	590
4000	IV400TC16LB08	7,50	23,0	184	4526	825
5000	IV500TC16LB08	9,37	28,7	230	5654	965

##### TC1/2 / tiempo de calentamiento: 1/2 hora

Vol. (litros)	Código	Superficie interc. (m <sup>2</sup> )	Vol. serp. (litros)	Pot. (kW)	Prod. (lts/hora)	Peso (Kg.)
500	IV050TC1/26LB08	1,66	5,1	41	1000	169
750	IV075TC1/26LB08	2,49	7,7	61	1500	226
1000	IV100TC1/26LB08	3,31	10,2	81	2000	275
1500	IV150TC1/26LB08	4,97	15,2	122	3000	374
2000	IV200TC1/26LB08	6,63	20,3	163	4000	465



**DIMENSIONES** Para todos los modelos TC1, TC2 y TC<sup>1/2</sup>

Volumen (litros)	Dimensiones (mm)														
	Df	De	H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
200	450	550	1413	80	288	338	488	638	688	1038	938	988	1138	335	435
300	550	650	1544	160	393	443	593	743	793	1143	1043	1093	1243	440	540
500	700	800	1611	153	423	473	623	673	823	1173	1073	1123	1273	471	571
750	750	850	2086	103	386	436	836	936	1036	1636	1536	1461	1736	551	651
1000	850	950	2125	53	399	449	949	849	1099	1649	1549	1474	1749	564	664
1500	1000	1100	2211	58	446	496	896	971	1096	1696	1596	1521	1796	586	736
2000	1150	1250	2282	42	468	518	918	993	1118	1718	1618	1543	1818	608	758
2500	1250	1350	2378	81	535	585	985	1060	1185	1785	1685	1610	1785	675	825
3000	1250	1350	2878	81	535	585	985	1060	1185	1985	2185	2235	2385	675	825
4000	1400	1500	2934	61	554	604	1004	1079	1204	2004	2204	2254	2404	694	844
5000	1600	1700	3022	35	584	634	1034	1109	1234	2034	2234	2284	2434	724	874

Posibilidad de fabricación en otras medidas. Consultar precios.

Volumen (litros)	Rosca G macho	Conexiones Rosca G hembra								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
200	1"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	
300	1"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	
500	1"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	
750	1"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	
1000	2"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"	
1500	2"	1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"	
2000	2"	1/2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/4"	2 1/2"	2"	2"	2"	
2500	2"	1/2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/4"	2 1/2"	2"	2"	2"	
3000	2"	1/2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/4"	2 1/2"	2"	2"	2"	
4000	2"	1/2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/4"	2 1/2"	2"	2"	2"	
5000	2"	1/2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/4"	2 1/2"	2"	2"	2"	

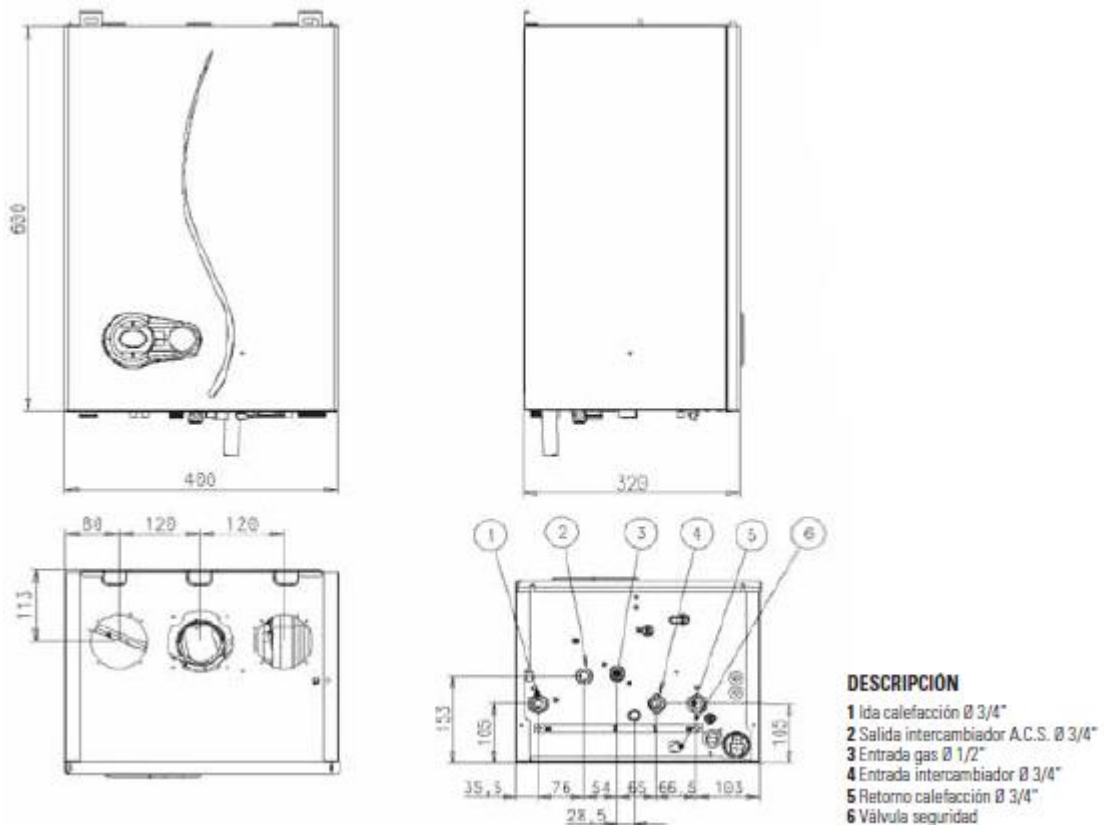
La relación entre el volumen de acumulación (5000 l) y el área de captación (49,56 m<sup>2</sup>) es de 101, por lo que cumple con la ecuación 25.

En intercambiadores incorporados al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15; siendo en este caso  $9,37/49,56 = 0,189$ .



### 12.6.3 Caldera

Se ha elegido una caldera mural de condensación modelo BLUEHELIX TECH A 35, de la empresa Ferroli. Esta caldera puede proporcionar una potencia d hasta 34 kW y está prevista para la producción de ACS mediante la incorporación de un interacumulador externo por medio de un kit de conexión que cuenta con la sonda para control de temperatura del acumulador externo desde el panel de mandos. Sus dimensiones y características técnicas se muestran a continuación.



#### Solo salida gases quemados

**Amplias posibilidades de realizar la salida de gases en calderas estancas para adaptarse a cualquier necesidad de instalación**

	BLUEHELIX TECH A 25	BLUEHELIX TECH A 35
Longitud máxima equivalente ø 60/100 mm	8	7
Longitud máxima equivalente ø 80/120 mm	28	25
Longitud máxima equivalente ø 80 mm tunos separados	75	55

Longitud expresada en metros equivalentes

#### Factores reducción para codos

Codo coaxial a 90° Ø 60/100 mm	1 m
Codo coaxial a 45° Ø 60/100 mm	0,5 m
Codo coaxial a 90° Ø 80/125 mm	0,5 m
Codo coaxial a 45° Ø 80/125 mm	0,25 m
Accesorios Ø 80 mm	Consultar manual de instrucciones

- Accesorios de salida de gases, ver apartado accesorios.
- Accesorios conexiones hidráulicas, ver apartado accesorios.
- Accesorios de regulación, ver apartado accesorios.

BLUEHELIX TECH A			25	35
Potencia	Potencia Térmica útil con 80 °C - 60 °C	kW	24,5	31,4
	Potencia Térmica útil con 50 °C - 30 °C	kW	26,5	34
Rendimiento	Rendimiento con 80 °C - 60 °C	%	98	98
	Rendimiento a carga parcial, 30% Pot. Máxima	%		108,8
	Clase de eficiencia energética	Calefacción		A
	Clase de emisión NOx, según EN 297/A-EN 483			5
Combustión	Tª gases quemados 80°C - 60°C	°C		62
	Cantidad de condensados	kg/h	2,9	3,7
Calefacción	Presión máxima de trabajo	bar		3
	Presión mínima de trabajo	bar		0,8
Sanitario	Producción A.C.S. con T 25°C	litros/min	-	-
Peso		kg	28	30
	Distancia máxima equivalente salida gases quemados: 60/100	mm	8	7

## 12.7 Sistema eléctrico y de control

La instalación contará con un sistema de control que asegure el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control está formado por un control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe) y sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

Con independencia de que realice otras funciones, el sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial, en los esquemas representado por MCD) que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno, como por ejemplo ocurre en la acumulación distribuida. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2°C. De esta forma el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimiza. Para optimizar el aprovechamiento solar de la instalación y, cuando exista intercambiador exterior, se podrán instalar también dos controles diferenciales.

El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación... o por combinación de varios mecanismos.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación.

Cuando exista, el sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

## 12.8 Sistema de monitorización

En instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup> de captación, se debe disponer al menos de un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

Opción 1:

- Temperatura de entrada de agua fría de red.
- Temperatura de salida del acumulador solar.
- Caudal de agua fría de red.

Opción 2:

- Temperatura inferior del acumulador solar.
- Temperatura de captadores.
- Caudal por el circuito primario.

El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

## 13 CONSUMO DE ENERGÍA, EMISIONES DE CO<sub>2</sub> Y COSTE ECONÓMICO

En este apartado se procederá a realizar una estimación del consumo de energía mensual y anual expresado en energía primaria así como de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en la instalación térmica. Para estimar el consumo de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> se emplearán los coeficientes de paso de la Tabla 57 y Tabla 58.

Cabe mencionar que estos datos han sido actualizados por el ministerio de industria en el año 2016. En esta actualización se han reducido considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> consideradas en la energía primaria eléctrica. Esto se debe al mayor porcentaje de energías renovables en el sector eléctrico español.

Tabla 57. Factores de paso a consumo de energía final a consumo de energía primaria [4].

	kWh E.primaria renovable/kWh E.final	kWh E.primaria no renovable/kWh E.final	kWh E.primaria total /E.final
Electricidad convencional nacional	0,396	2,007	2,403
Electricidad convencional peninsular	0,414	1,954	2,368
Electricidad convencional extrapeninsular	0,075	2,937	3,011
Electricidad convencional Baleares	0,082	2,968	3,049
Electricidad convencional Canarias	0,070	2,924	2,994
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	0,072	2,718	2,790
Gasóleo calefacción	0,003	1,179	1,182
GLP	0,003	1,201	1,204
Gas natural	0,003	1,190	1,195
Carbón	0,003	1,082	1,084
Biomasa no densificada	1,003	0,034	1,037
Biomasa densificada (pelets)	1,028	0,085	1,113

Tabla 58. Factores de paso a consumo de energía primaria a CO<sub>2</sub> [4].

	kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final
Electricidad convencional nacional	0,357
Electricidad convencional peninsular	0,331
Electricidad convencional extrapeninsular	0,833
Electricidad convencional Baleares	0,932
Electricidad convencional Canarias	0,776
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	0,721
Gasóleo calefacción	0,311
GLP	0,254
Gas natural	0,252
Carbón	0,472
Biomasa no densificada	0,018
Biomasa densificada (pelets)	0,018

En función de los resultados de potencias térmicas mensuales consumidas por el agua y el acondicionamiento de aire de las tablas 10 y 39, se calculan los consumos mensuales y anuales sabiendo que la piscina permanecerá abierta al público 12 horas al día, 6 días a la semana.

Por otro lado, a partir del SCOP (COP estacional obtenido en condiciones climáticas estándar) y el ESEER (EER estacional obtenido en condiciones climáticas estándar) de la bomba de calor y la máquina frigorífica se obtiene la energía eléctrica consumida.

En la Tabla 59 se muestran el consumo térmico, eléctrico y las emisiones de CO<sub>2</sub> para el acondicionamiento de la piscina y en la Tabla 60 para el acondicionamiento de aire.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema auxiliar para la generación de ACS ya se han mostrado en el apartado 12.3.2.

**Tabla 59. Consumos y emisiones del sistema de calentamiento del agua de la piscina.**

Mes	Consumo térmico (kWh)	Consumo eléctrico (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg)
Enero	19794	5223	12367	4094
Febrero	19794	5223	12367	4094
Marzo	21216	5598	13256	4388
Abril	19056	5028	11906	3941
Mayo	19505	5146	12187	4034
Junio	17566	4635	10975	3633
Julio	16243	4286	10148	3359
Agosto	15940	4206	9959	3297
Septiembre	16854	4447	10531	3486
Octubre	18789	4957	11739	3886
Noviembre	19818	5229	12382	4099
Diciembre	18858	4976	11783	3900
<b>ANUAL</b>	<b>223433</b>	<b>58953</b>	<b>139601</b>	<b>46208</b>

**Tabla 60. Consumos y emisiones del sistema de acondicionamiento de aire.**

Mes	Consumo térmico calefacción (kWh)	Consumo térmico refrigeración (kWh)	Consumo eléctrico (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg)
Enero	5227	0	1379	3266	1081
Febrero	4714	0	1244	2945	975
Marzo	4576	0	1207	2859	946
Abril	4432	0	1169	2769	917
Mayo	3835	0	1012	2396	793
Junio	3351	6852	2673	6330	2095
Julio	2643	9082	3069	7267	2405
Agosto	1941	10418	3232	7654	2533

<b>Septiembre</b>	1934	9057	2875	6809	2254
<b>Octubre</b>	3259	5051	2179	5160	1708
<b>Noviembre</b>	4338	0	1145	2710	897
<b>Diciembre</b>	4952	0	1306	3094	1024
<b>ANUAL</b>	<b>45202</b>	<b>40460</b>	<b>22491</b>	<b>53258</b>	<b>17628</b>

### 13.1 Coste económico

Para estimar el coste económico mensual y anual de la producción de energía se usó un precio de 0,13 €/kWh para la energía eléctrica.

Tabla 61. Coste económico.

Mes	Consumo eléctrico del agua de la piscina (kWh)	Coste (€)	Consumo eléctrico del sistema de aire (kWh)	Coste (€)	Coste total (€)
<b>Enero</b>	5223	678,96	1379	179,30	858,26
<b>Febrero</b>	5223	678,96	1244	161,69	840,65
<b>Marzo</b>	5598	727,71	1207	156,97	884,68
<b>Abril</b>	5028	653,64	1169	152,02	805,65
<b>Mayo</b>	5146	669,03	1012	131,54	800,57
<b>Junio</b>	4635	602,51	2673	347,50	950,01
<b>Julio</b>	4286	557,14	3069	398,92	956,06
<b>Agosto</b>	4206	546,76	3232	420,17	966,93
<b>Septiembre</b>	4447	578,11	2875	373,78	951,90
<b>Octubre</b>	4957	644,47	2179	283,25	927,72
<b>Noviembre</b>	5229	679,78	1145	148,80	828,58
<b>Diciembre</b>	4976	646,85	1306	169,84	816,70
<b>ANUAL</b>	<b>58953</b>	<b>7.663,92</b>	<b>22491</b>	<b>2923,77</b>	<b>10.587,69</b>

### 13.2 Justificación de sustitución de instalación solar térmica

Para piscinas cubiertas, el CTE, en la sección HE 4, exige una contribución solar mínima del 30%. Esta contribución solar mínima podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio; bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana.

Para poder realizar la sustitución se debe justificar que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de calefacción, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y su sistema auxiliar de apoyo.

Las emisiones y energía primaria de una instalación solar con un sistema auxiliar de caldera de gas natural que cubra el 70% de la demanda energética del agua de la piscina (el 30% restante es cubierto por la instalación solar térmica sin la generación de emisiones) son las siguientes:

**Tabla 62. Emisiones y energía primaria de un sistema auxiliar con caldera de gas.**

Mes	Consumo (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg)	Coste (€)
<b>Enero</b>	15061	17998	4535	753,04
<b>Febrero</b>	15061	17998	4535	753,04
<b>Marzo</b>	16142	19290	4861	807,11
<b>Abril</b>	14499	17326	4366	724,96
<b>Mayo</b>	14841	17735	4469	742,03
<b>Junio</b>	13365	15971	4025	668,26
<b>Julio</b>	12359	14769	3722	617,93
<b>Agosto</b>	12128	14493	3652	606,42
<b>Septiembre</b>	12824	15325	3862	641,19
<b>Octubre</b>	14296	17083	4305	714,79
<b>Noviembre</b>	15079	18020	4541	753,95
<b>Diciembre</b>	14349	17147	4321	717,43
<b>ANUAL</b>	<b>170003</b>	<b>203154</b>	<b>51195</b>	<b>8.500,16</b>

Comparando estos resultados con los de la Tabla 59, se comprueba que tanto la energía primaria como las emisiones de CO<sub>2</sub> de la instalación con bomba de calor son inferiores a los que se obtendrían con una instalación solar térmica del 30% de contribución.

En la Tabla 62 se ha estimado el coste del consumo de la instalación solar de apoyo de gas natural, usando un precio de 0,05 €/kWh de gas natural. Comparando este resultado con el coste de funcionamiento de la bomba de calor para la climatización del agua (Tabla 61), se observa que con la instalación con bomba de calor se ahorran 836,24 € al año.

Hay que tener en cuenta que aquí solo se ha hecho un estudio comparativo en cuanto al coste de la energía consumida, existirán otro tipo de costes, como los de mantenimiento, que no se han tenido en cuenta.

## 14 CONCLUSIONES

Se han cumplido los objetivos del trabajo, calculando las potencias necesarias y diseñando la instalación para cumplir las condiciones de diseño. Se ha adoptado una solución consistente en una bomba de calor que aporta la calefacción necesaria al aire del recinto y al agua del vaso, una máquina enfriadora que aporta el caudal de agua fría necesario para la deshumidificación y climatización del aire y una UTA que se encarga de acondicionar el aire con la ayuda de los equipos antes mencionados.

Se ha demostrado que este tipo de instalación con bomba de calor es adecuado para proyectos de climatización de piscinas cubiertas, especialmente en zonas de baja radiación solar, donde se pueden reducir las emisiones y costes de operación respecto de una instalación solar con sistema de apoyo convencional de gas natural.

Mencionar que existen soluciones comerciales de bombas de calor especialmente diseñadas para su funcionamiento en piscinas, donde se aprovecha el calor absorbido en el evaporador para realizar de forma gratuita la deshumidificación del aire. Estos equipos son especialmente adecuados para climas secos, ya que su capacidad de deshumidificación es limitada.

También se ha dimensionado la instalación solar térmica necesaria para satisfacer la demanda de ACS cumpliendo, y superando, la contribución solar mínima que exige la normativa.

Ferrol, Septiembre de 2017

Fdo:

**Adrián Álvarez Riola**



## 15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alberto Castro. *Apuntes asignatura Diseño y construcción de plantas industriales*. Escola Politécnica Superior. Ferrol. 2016.
- [2] Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. 2010.
- [3] *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. 2006.
- [4] Ministerios de Industria, Energía y Turismo, Ministerio de Fomento. *Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. 2016.
- [5] *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. 2013.
- [6] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos*. 2012.
- [7] Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT). *Guía ASIT de la energía solar térmica*. 2010.
- [8] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. 2009.
- [9] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*. 2010.
- W. F. Stoecker, J. W. Jones. *Refrigeration and air conditioning*. Ed. McGraw-Hill. 1983.
- T. D. Eastop, D. R. Croft. *Energy Efficiency For Engineers and Technologists*. Ed. Longman Group Ltd. 1995.
- José María Sáiz Jabardo, Alberto Arce Ceinos, M<sup>a</sup> Isabel Lamas Galdo. *Transferencia de calor*. Ed. Universidade da Coruña Servizo de Publicacións. 2012.
  
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor)
- <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/captadores-solares-termicos>
- <http://www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAlbarracin-CIATESA.pdf>
- <http://preciogas.com/comparador/precios-energias>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Anexo**

**CÁLCULOS**

## ÍNDICE

1 Demanda de energía del agua de la piscina .....	2
1.1 Cálculo en las condiciones de diseño .....	2
1.2 Cálculo de potencias medias mensuales .....	3
2 Demanda de energía del aire del recinto.....	4
2.1 Pérdidas por transmisión .....	4
2.1.1 Condiciones de proyecto en invierno .....	4
2.1.2 Condiciones de proyecto en verano.....	4
2.1.3 Cálculo mensual .....	5
2.2 Ganancias por iluminación.....	10
2.3 Pérdidas por infiltración .....	11
2.4 Ganancias por radiación .....	11
2.5 Carga de calor sensible .....	13
2.6 Propiedades del aire de impulsión .....	13
3 Cálculo de conductos.....	16
3.1 Impulsión .....	16
3.2 Extracción.....	17
4 ACS: Método de F-Chart.....	18
5 Consumos y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	19
5.1 Consumo y emisiones para el acondicionamiento del agua.....	19
5.2 Consumo y emisiones para el acondicionamiento del aire.....	19
5.3 Consumo de una caldera de gas 70% de demanda de agua .....	20

En el documento de la memoria se ha explicado detalladamente la metodología seguida para la obtención de los resultados necesarios del presente trabajo. En este anexo se muestran los resultados de todos los cálculos y parámetros necesarios para su obtención final.

## 1 DEMANDA DE ENERGÍA DEL AGUA DE LA PISCINA

### 1.1 Cálculo en las condiciones de diseño

Temperatura del agua (°C)	15
Temperatura del agua de red (°C)	10
Temperatura interior de los cerramientos (°C)	24
Temperatura exterior al vaso (°C)	13
Temperatura del aire interior (°C)	27
Humedad relativa (%)	65
Humedad específica del aire saturado a 25°C (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,02006
Humedad específica del aire saturado a 27°C (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,02267
Humedad específica del aire interior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,01457
Densidad del agua a 10°C (kg/m <sup>3</sup> )	999,7
Densidad del agua a 25°C (kg/m <sup>3</sup> )	997,1
Calor específico del agua a 10°C (kJ/kgK)	4,183
Calor específico del agua a 25°C (kJ/kgK)	4,188
Superficie de la lámina de agua (m <sup>2</sup> )	300
Profundidad media (m)	1,8
Volumen de la piscina (m <sup>3</sup> )	540
Superficie de cerramiento del vaso (m <sup>2</sup> )	433,2
Coeficiente de transmisión de los cerramientos del vaso (W/m <sup>2</sup> K)	1,5
Constante de Stefan Boltzmann (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )	5,67·10 <sup>-8</sup>
Emisividad de la superficie del agua	0,95
Volumen de renovación (m <sup>3</sup> )	27
Horas de renovación diarias	16
Horas para la puesta a régimen	72
Entalpía de vaporización del agua a 25°C (kJ/kg)	2442
<b>Pérdidas por radiación (W)</b>	<b>5,673</b>
<b>Pérdidas por convección (W)</b>	<b>-472,2</b>
<b>Pérdidas por transmisión (W)</b>	<b>7798</b>
<b>Pérdidas por renovación (W)</b>	<b>29326</b>
<b>Potencia de puesta a régimen (kW)</b>	<b>130,3</b>
<b>10 bañistas</b>	
Número de espectadores	0
Número de bañistas por m <sup>2</sup> de lámina de agua	0,0333
Masa de agua evaporada (kg/h)	32,64
<b>Pérdidas por evaporación (W)</b>	<b>22133</b>
<b>30 bañistas</b>	
Número de espectadores	5
Número de bañistas por m <sup>2</sup> de lámina de agua	0,1
Masa de agua evaporada (kg/h)	47,30
<b>Pérdidas por evaporación (W)</b>	<b>32076</b>
<b>60 bañistas</b>	
Número de espectadores	5
Número de bañistas por m <sup>2</sup> de lámina de agua	0,2
Masa de agua evaporada (kg/h)	68,54
<b>Pérdidas por evaporación (W)</b>	<b>46483</b>

## 1.2 Cálculo de potencias medias mensuales

Los datos que no aparecen en la tabla inferior son constantes e iguales a los del apartado anterior. El número de bañistas es 30 y el número de espectadores 5.

	Tª agua de red (°C)	Tª exterior al vaso (°C)	Masa evaporada (°C)	Pérdidas evaporación (W)	Pérdidas radiación (W)	Pérdidas convección (W)	Pérdidas transmisión (W)	Pérdidas renovación (W)
<b>Enero</b>	10	13	47,30	32076	5,673	-472,2	7798	29326
<b>Febrero</b>	10	13	47,30	32076	5,673	-472,2	7798	29326
<b>Marzo</b>	11	15	47,30	32076	5,673	-472,2	6498	27371
<b>Abril</b>	12	15	47,30	32076	5,673	-472,2	6498	25416
<b>Mayo</b>	13	17,1	47,30	32076	5,673	-472,2	5133	23461
<b>Junio</b>	14	20,1	47,30	32076	5,673	-472,2	3184	21506
<b>Julio</b>	16	20,6	47,30	32076	5,673	-472,2	2859	17596
<b>Agosto</b>	16	22,1	47,30	32076	5,673	-472,2	1884	17596
<b>Septiembre</b>	15	20,6	47,30	32076	5,673	-472,2	2859	19551
<b>Octubre</b>	14	17,5	47,30	32076	5,673	-472,2	4874	21506
<b>Noviembre</b>	12	15	47,30	32076	5,673	-472,2	6498	25416
<b>Diciembre</b>	11	15	47,30	32076	5,673	-472,2	6498	27371

## 2 DEMANDA DE ENERGÍA DEL AIRE DEL RECINTO

### 2.1 Pérdidas por transmisión

Las pérdidas negativas indican ganancias de calor por parte del recinto.

#### 2.1.1 Condiciones de proyecto en invierno

Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	4,4	27	0,15	1197
Fachada sur (frente)	0,4266	103	4,4	27	-	993
Partición interior este	1,1383	132	4,4	27	-	3396
Partición interior oeste	0,9005	132	4,4	27	-	2686
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	4,4	27	-	6558
<b>Solera</b>	0,4158	726	13	27	-	4226
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	4,4	27	0,15	3729
Fachada sur (frente)	2,7590	62	4,4	27	-	3866
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	4,4	27	0,15	221
<b>TOTAL</b>						<b>26872</b>

#### 2.1.2 Condiciones de proyecto en verano

Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	26	27	0,15	67
Fachada sur (frente)	0,4266	103	26	27	-	35
Partición interior este	1,1383	132	26	27	-	96
Partición interior oeste	0,9005	132	26	27	-	150
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	26	27	-	290
<b>Solera</b>	0,4158	726	22,1	27	-	1479
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	26	27	0,15	182
Fachada sur (frente)	2,7590	62	26	27	-	79
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	26	27	0,15	10
<b>TOTAL</b>						<b>2538</b>

### 2.1.3 Cálculo mensual

ENERO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	11,8	27	0,15	805
Fachada sur (frente)	0,4266	103	11,8	27	-	668
Partición interior este	1,1383	132	11,8	27	-	2284
Partición interior oeste	0,9005	132	11,8	27	-	1807
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	11,8	27	-	4410
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	11,8	27	0,15	2508
Fachada sur (frente)	2,7590	62	11,8	27	-	2600
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	11,8	27	0,15	149
<b>TOTAL</b>						<b>18853</b>

FEBRERO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	12	27	0,15	795
Fachada sur (frente)	0,4266	103	12	27	-	659
Partición interior este	1,1383	132	12	27	-	2254
Partición interior oeste	0,9005	132	12	27	-	1783
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	12	27	-	4352
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	12	27	0,15	2475
Fachada sur (frente)	2,7590	62	12	27	-	2566
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	12	27	0,15	147
<b>TOTAL</b>						<b>18653</b>



MARZO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	13,6	27	0,15	710
Fachada sur (frente)	0,4266	103	13,6	27	-	589
Partición interior este	1,1383	132	13,6	27	-	2014
Partición interior oeste	0,9005	132	13,6	27	-	1593
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	13,6	27	-	3888
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	13,6	27	0,15	2211
Fachada sur (frente)	2,7590	62	13,6	27	-	2292
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	13,6	27	0,15	131
<b>TOTAL</b>						<b>17049</b>

ABRIL						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	13,7	27	0,15	705
Fachada sur (frente)	0,4266	103	13,7	27	-	584
Partición interior este	1,1383	132	13,7	27	-	1998
Partición interior oeste	0,9005	132	13,7	27	-	1581
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	13,7	27	-	3859
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	13,7	27	0,15	2194
Fachada sur (frente)	2,7590	62	13,7	27	-	2275
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	13,7	27	0,15	130
<b>TOTAL</b>						<b>16949</b>

MAYO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	15,8	27	0,15	593
Fachada sur (frente)	0,4266	103	15,8	27	-	492
Partición interior este	1,1383	132	15,8	27	-	1683
Partición interior oeste	0,9005	132	15,8	27	-	1331
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	15,8	27	-	3250
<b>Solera</b>	0,4158	726	17,1	27	-	2988
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	15,8	27	0,15	1848
Fachada sur (frente)	2,7590	62	15,8	27	-	1916
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	15,8	27	0,15	109
<b>TOTAL</b>						<b>14211</b>

JUNIO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	18,5	27	0,15	450
Fachada sur (frente)	0,4266	103	18,5	27	-	373
Partición interior este	1,1383	132	18,5	27	-	1277
Partición interior oeste	0,9005	132	18,5	27	-	1010
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	18,5	27	-	2466
<b>Solera</b>	0,4158	726	20,1	27	-	2083
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	18,5	27	0,15	1402
Fachada sur (frente)	2,7590	62	18,5	27	-	1454
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	18,5	27	0,15	83
<b>TOTAL</b>						<b>10600</b>

JULIO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	19,7	27	0,15	387
Fachada sur (frente)	0,4266	103	19,7	27	-	321
Partición interior este	1,1383	132	19,7	27	-	1097
Partición interior oeste	0,9005	132	19,7	27	-	868
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	19,7	27	-	2118
<b>Solera</b>	0,4158	726	21,6	27	-	1630
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	19,7	27	0,15	1204
Fachada sur (frente)	2,7590	62	19,7	27	-	1249
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	19,7	27	0,15	71
<b>TOTAL</b>						<b>8945</b>

AGOSTO						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	20,4	27	0,15	350
Fachada sur (frente)	0,4266	103	20,4	27	-	290
Partición interior este	1,1383	132	20,4	27	-	992
Partición interior oeste	0,9005	132	20,4	27	-	785
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	20,4	27	-	1915
<b>Solera</b>	0,4158	726	22,1	27	-	1479
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	20,4	27	0,15	1089
Fachada sur (frente)	2,7590	62	20,4	27	-	1129
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	20,4	27	0,15	65
<b>TOTAL</b>						<b>8092</b>

SEPTIEMBRE						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	19,7	27	0,15	387
Fachada sur (frente)	0,4266	103	19,7	27	-	321
Partición interior este	1,1383	132	19,7	27	-	1097
Partición interior oeste	0,9005	132	19,7	27	-	868
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	19,7	27	-	2118
<b>Solera</b>	0,4158	726	20,6	27	-	1932
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	19,7	27	0,15	1204
Fachada sur (frente)	2,7590	62	19,7	27	-	1249
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	19,7	27	0,15	71
<b>TOTAL</b>						<b>9247</b>

OCTUBRE						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	17,4	27	0,15	509
Fachada sur (frente)	0,4266	103	17,4	27	-	422
Partición interior este	1,1383	132	17,4	27	-	1443
Partición interior oeste	0,9005	132	17,4	27	-	1141
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	17,4	27	-	2786
<b>Solera</b>	0,4158	726	17,5	27	-	2868
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	17,4	27	0,15	1584
Fachada sur (frente)	2,7590	62	17,4	27	-	1642
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	17,4	27	0,15	94
<b>TOTAL</b>						<b>12487</b>

NOVIEMBRE						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	14	27	0,15	689
Fachada sur (frente)	0,4266	103	14	27	-	571
Partición interior este	1,1383	132	14	27	-	1953
Partición interior oeste	0,9005	132	14	27	-	1545
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	14	27	-	3772
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	14	27	0,15	2145
Fachada sur (frente)	2,7590	62	14	27	-	2224
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	14	27	0,15	127
<b>TOTAL</b>						<b>16649</b>

DICIEMBRE						
Cerramiento	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> exterior al cerramiento (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Coefficiente de orientación	Pérdidas transmisión (W)
<b>Muro exterior</b>						
Fachada norte (atrás)	0,4266	108	12,3	27	0,15	779
Fachada sur (frente)	0,4266	103	12,3	27	-	646
Partición interior este	1,1383	132	12,3	27	-	2209
Partición interior oeste	0,9005	132	12,3	27	-	1747
<b>Cubierta</b>	0,3997	726	12,3	27	-	4265
<b>Solera</b>	0,4158	726	15	27	-	3622
<b>Ventanas</b>						
Fachada norte (atrás)	2,7590	52	12,3	27	0,15	2425
Fachada sur (frente)	2,7590	62	12,3	27	-	2515
<b>Puerta emergencia</b>	1,7000	5	12,3	27	0,15	144
<b>TOTAL</b>						<b>18352</b>

## 2.2 Ganancias por iluminación

Las ganancias por iluminación se consideran constantes todo el año.

Superficie (m <sup>2</sup> )	726
Potencia de iluminación instalada (W/m <sup>2</sup> )	10
Coefficiente de consumo de las reactancias	1,25

Coeficiente de simultaneidad	0,6
<b>Ganancias por iluminación (W)</b>	<b>5445</b>

## 2.3 Pérdidas por infiltración

Se consideran solo en la fachada norte.

	Superficie ventanas (m <sup>2</sup> )	Superficie puertas (m <sup>2</sup> )	Permeabilidad al aire de puertas y ventanas (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	Densidad del aire (kg/m <sup>3</sup> )	Calor esp. del aire (J/kgK)	T <sup>a</sup> exterior (°C)	T <sup>a</sup> del ambiente (°C)	Pérdidas infiltración (W)
<b>Condiciones proyecto invierno</b>	52	5	3	1,21	1012	4,4	27	1315
<b>Condiciones proyecto verano</b>	52	5	3	1,21	1012	26	27	68
<b>Enero</b>	52	5	3	1,21	1012	11,8	27	884
<b>Febrero</b>	52	5	3	1,21	1012	12	27	872
<b>Marzo</b>	52	5	3	1,21	1012	13,6	27	779
<b>Abril</b>	52	5	3	1,21	1012	13,7	27	774
<b>Mayo</b>	52	5	3	1,21	1012	15,8	27	651
<b>Junio</b>	52	5	3	1,21	1012	18,5	27	494
<b>Julio</b>	52	5	3	1,21	1012	19,7	27	425
<b>Agosto</b>	52	5	3	1,21	1012	20,4	27	384
<b>Septiembre</b>	52	5	3	1,21	1012	19,7	27	425
<b>Octubre</b>	52	5	3	1,21	1012	17,4	27	558
<b>Noviembre</b>	52	5	3	1,21	1012	14	27	756
<b>Diciembre</b>	52	5	3	1,21	1012	12,3	27	855

## 2.4 Ganancias por radiación

Orientación respecto al sur (°)	15
Factor solar de la parte semitransparente	0,55
Absortividad del marco	0,96
Fracción del hueco ocupada por el marco	0,19
Factor de sombra	1
Transmitancia térmica del marco (W/m <sup>2</sup> K)	3,2
Factor solar modificado	0,45
Superficie (m <sup>2</sup> )	50,22
<b>Condiciones de proyecto de invierno</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	5,4
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,83
Horas de sol	9,5
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>3092</b>
<b>Condiciones de proyecto de verano</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	22,32
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,744
Horas de sol	15
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>7242</b>
<b>Enero</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	5,4
Factor de corrección para superficies inclinadas	1,21
Horas de sol	9,5
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>4500</b>
<b>Febrero</b>	

Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	9
Factor de corrección para superficies inclinadas	1,01
Horas de sol	10
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>5957</b>
<b>Marzo</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	12,24
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,774
Horas de sol	11
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>5632</b>
<b>Abril</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	16,56
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,556
Horas de sol	11
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>4814</b>
<b>Mayo</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	20,16
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,397
Horas de sol	11
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>3738</b>
<b>Junio</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	22,32
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,337
Horas de sol	15
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>3283</b>
<b>Julio</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	22,32
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,387
Horas de sol	15
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>3766</b>
<b>Agosto</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	20,16
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,556
Horas de sol	14,5
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>5052</b>
<b>Septiembre</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	25,12
Factor de corrección para superficies inclinadas	0,823
Horas de sol	14
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>6264</b>
<b>Octubre</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	9
Factor de corrección para superficies inclinadas	1,15
Horas de sol	11,5
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>5891</b>
<b>Noviembre</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	5,76
Factor de corrección para superficies inclinadas	1,38
Horas de sol	10
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>5195</b>
<b>Diciembre</b>	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	4,68
Factor de corrección para superficies inclinadas	1,37
Horas de sol	10
<b>Ganancias por radiación (W)</b>	<b>4656</b>

## 2.5 Carga de calor sensible

La carga de calor sensible usada en el cálculo del aire de impulsión será la suma de todas las ganancias y pérdidas anteriores. El signo negativo indica pérdida de calor por parte del recinto y el positivo ganancia.

<b>Carga de calor sensible (W)</b>	
<b>Condiciones proyecto invierno</b>	-19649
<b>Condiciones proyecto verano</b>	10,080
<b>Enero</b>	-9792
<b>Febrero</b>	-8123
<b>Marzo</b>	-6752
<b>Abril</b>	-7464
<b>Mayo</b>	-5680
<b>Junio</b>	-2367
<b>Julio</b>	-159
<b>Agosto</b>	2021
<b>Septiembre</b>	2038
<b>Octubre</b>	-1710
<b>Noviembre</b>	-6764
<b>Diciembre</b>	-9106

## 2.6 Propiedades del aire de impulsión

En la memoria ya se han detallado los cálculos y resultados de las propiedades del aire de impulsión en las condiciones de proyecto de invierno y verano. Se procede a continuación a mostrar las propiedades del aire de impulsión en las condiciones medias mensuales. Las potencias y humidificaciones/deshumidificaciones obtenidas con estos datos aparecen en la Tabla 39 de la memoria.

Humedad específica del aire interior ( $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ )	0,01457
Entalpía del aire interior (kJ/kg)	64,27
Caudal de aire (kg/s)	2,2
Carga de calor latente (kW)	32,10
Eficiencia del recuperador de calor estático (%)	75
<b>Enero</b>	
Carga de calor sensible (W)	-9792
Temperatura del aire exterior (°C)	11,8
Humedad específica del aire exterior ( $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ )	0,006612
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	54,16
Temperatura del aire de impulsión (°C)	31,45
Humedad específica del aire de impulsión ( $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ )	0,00881
Potencia de intercambio (kW)	25,08
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,20
<b>Febrero</b>	
Carga de calor sensible (W)	-8123
Temperatura del aire exterior (°C)	12
Humedad específica del aire exterior ( $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ )	0,006701
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	53,38
Temperatura del aire de impulsión (°C)	30,69
Humedad específica del aire de impulsión ( $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ )	0,008817
Potencia de intercambio (kW)	24,75
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,25



<b>Marzo</b>	
Carga de calor sensible (W)	-6752
Temperatura del aire exterior (°C)	13,6
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,007451
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	52,75
Temperatura del aire de impulsión (°C)	30,07
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008822
Potencia de intercambio (kW)	22,11
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,65
<b>Abril</b>	
Carga de calor sensible (W)	-7464
Temperatura del aire exterior (°C)	13,7
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,0075
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	53,07
Temperatura del aire de impulsión (°C)	30,39
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008819
Potencia de intercambio (kW)	21,95
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,68
<b>Mayo</b>	
Carga de calor sensible (W)	-5680
Temperatura del aire exterior (°C)	15,8
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008603
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	52,26
Temperatura del aire de impulsión (°C)	29,58
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008826
Potencia de intercambio (kW)	18,48
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	24,20
<b>Junio</b>	
Carga de calor sensible (W)	-2367
Temperatura del aire exterior (°C)	18,5
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,01023
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	50,76
Temperatura del aire de impulsión (°C)	28,08
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008839
Temperatura del aire a la salida del deshumidificador (°C)	12,18
Potencia de intercambio (kW)	24,45
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,30
<b>Julio</b>	
Carga de calor sensible (W)	-159
Temperatura del aire exterior (°C)	19,7
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,01104
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	49,79
Temperatura del aire de impulsión (°C)	27,07
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008847
Temperatura del aire a la salida del deshumidificador (°C)	12,21
Potencia de intercambio (kW)	24,40
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,30
<b>Agosto</b>	
Carga de calor sensible (W)	2021
Temperatura del aire exterior (°C)	20,4
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,01154
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	48,76
Temperatura del aire de impulsión (°C)	26,08
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008855
Temperatura del aire a la salida del deshumidificador (°C)	12,23
Potencia de intercambio (kW)	24,37
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,31
<b>Septiembre</b>	
Carga de calor sensible (W)	2038

Temperatura del aire exterior (°C)	19,7
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,01104
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	48,76
Temperatura del aire de impulsión (°C)	26,07
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008855
Temperatura del aire a la salida del deshumidificador (°C)	12,23
Potencia de intercambio (kW)	24,37
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,31
<b>Octubre</b>	
Carga de calor sensible (W)	-1710
Temperatura del aire exterior (°C)	17,4
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,009539
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	50,46
Temperatura del aire de impulsión (°C)	27,78
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008841
Temperatura del aire a la salida del deshumidificador (°C)	12,19
Potencia de intercambio (kW)	24,44
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,30
<b>Noviembre</b>	
Carga de calor sensible (W)	-6764
Temperatura del aire exterior (°C)	14
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,007649
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	52,76
Temperatura del aire de impulsión (°C)	30,07
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008822
Potencia de intercambio (kW)	21,45
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,75
<b>Diciembre</b>	
Carga de calor sensible (W)	-9106
Temperatura del aire exterior (°C)	12,3
Humedad específica del aire exterior (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,006836
Entalpía del aire de impulsión (kJ/kg)	53,82
Temperatura del aire de impulsión (°C)	31,14
Humedad específica del aire de impulsión (kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>aire seco</sub> )	0,008813
Potencia de intercambio (kW)	24,26
Temperatura del aire a la salida del recuperador (°C)	23,33

### 3 CÁLCULO DE CONDUCTOS

#### 3.1 Impulsión

La red de impulsión de aire estará formada por un conducto principal de 6787 m<sup>3</sup>/s de caudal y dos derivaciones idénticas. La pérdida de carga de las rejillas se ha obtenido del catálogo del fabricante (KOOLAIR).

Conducto principal					
Longitud (m)					48
	V/G	R/G	L/G	G	Leq (m)
Curva 1	1,82	1,36	5	440	2,2
Curva 2	1,82	1,36	5	440	2,2
Curva 3	0,55	1,25	4	800	3,2
Curva 4	1,82	1,36	5	440	2,2
Curva 5	1,82	1,36	5	440	2,2
Curva 6	0,55	1,25	4	800	3,2
Curva 7	0,55	1,25	4	800	3,2
<b>L total (m)</b>					<b>66,4</b>

Derivaciones					
Longitud (m)					40
	V/G	R/G	L/G	G	Leq (m)
Curva 1	1,09	1,25	5	480	2,4
<b>L total (m)</b>					<b>42,4</b>

Derivaciones								
Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Pérdida de carga (mmca/m)	D <sub>eq</sub> (mm)	v (m/s)	Conducto (mm)	Pd (mmca)	n	n·Pd (mmca)
1	3393	0,05	502	5	440x480	1,8	0,13	0,234
2	2545	0,05	448	4,66	400x420	1,3	0,13	0,169
3	1697	0,05	378	4,16	300x400	1,6	0,13	0,208
4	848	0,05	295	3,58	260x280	0,7	0,13	0,091
<b>Pérdida de carga por cambio de sección (mmca)</b>								<b>0,702</b>

Pérdidas por derivación				
Relación de velocidades	n	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Velocidad en derivación (m/s)	Pérdida de carga (mmca)
0,85	1,875	1,2	5	2,87

Longitud equivalente total (m)	66,4+2·42,4	=	151,2
Pérdida de carga unitaria (mmca/m)			0,05
Pérdida de carga por longitud equivalente (mmca)			7,56
Pérdida de carga en las rejillas (mmca)	0,082·8	=	0,66
Pérdida de carga por cambio de sección (mmca)	0,702·2	=	1,40
Pérdidas de carga por derivación (mmca)	2,87·2	=	5,74
Incremento de presión estática (mmca)			0,57
<b>Pérdidas de carga totales (mmca Pa)</b>	<b>14,79</b>		<b>144,94</b>

### 3.2 Extracción

La red de extracción de aire estará formada por un conducto principal de 6787 m<sup>3</sup>/s de caudal y dos derivaciones idénticas. La pérdida de carga de las rejillas se ha obtenido del catálogo del fabricante (KOOLAIR).

Conducto principal					
Longitud (m)					18
	V/G	R/G	L/G	G	Leq (m)
Curva 1	1,82	1,36	5	440	2,2
Curva 2	1,82	1,36	5	440	2,2
<b>L total (m)</b>					<b>22,4</b>

Derivaciones					
Longitud (m)					11
	V/G	R/G	L/G	G	Leq (m)
Curva 1	1,09	1,25	5	480	2,4
<b>L total (m)</b>					<b>13,4</b>

Pérdidas por derivación				
Relación de velocidades	<i>n</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Velocidad en derivación (m/s)	Pérdida de carga (mmca)
0,85	1,875	1,2	5	2,87

Longitud equivalente total (m)	22,4+2·11	=	44,4
Pérdida de carga unitaria (mmca/m)			0,05
Pérdida de carga por longitud equivalente (mmca)			2,22
Pérdida de carga en las rejillas (mmca)	0,498·8	=	3,98
Pérdida de carga por cambio de sección (mmca)	0,442·2	=	0,884
Pérdidas de carga por derivación (mmca)	2,87·2	=	5,74
Incremento de presión estática (mmca)			0,36
<b>Pérdidas de carga totales (mmca Pa)</b>	<b>12,46</b>		<b>122,11</b>

## 4 ACS: MÉTODO DE F-CHART

Tª de acumulación (°C)	Superficie de captación (m²)	Nº de captadores	F <sub>r</sub> (τα)	F <sub>r</sub> (τα) <sub>n</sub>	(τα)/(τα) <sub>n</sub>	F <sub>r</sub> /F <sub>r</sub>	F <sub>r</sub> U <sub>L</sub>	F <sub>r</sub> U <sub>L</sub>	K <sub>1</sub>
60	49,56	21	0,7215	0,808	0,94	0,95	3,7373	3,934	0,9286

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Carga calorífica (J/mes)</b>	2,73E+10	2,46E+10	2,67E+10	2,53E+10	2,56E+10	2,43E+10	2,40E+10	2,40E+10	2,37E+10	2,51E+10	2,53E+10	2,67E+10
<b>Días/mes</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>Tª agua de red (°C)</b>	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
<b>D<sub>1</sub></b>	0,3206	0,4846	0,5882	0,6987	0,7674	0,8287	0,9076	0,9428	0,6833	0,5785	0,3943	0,3080
<b>Energía absorbida por el captador (J/mes)</b>	8,74E+09	1,19E+10	1,57E+10	1,77E+10	1,97E+10	2,01E+10	2,18E+10	2,26E+10	1,62E+10	1,45E+10	9,99E+09	8,23E+09
<b>R<sub>1</sub> (J/m²)</b>	7,88E+06	1,19E+07	1,42E+07	1,65E+07	1,77E+07	1,87E+07	1,96E+07	2,04E+07	1,51E+07	1,31E+07	9,31E+06	7,42E+06
<b>k</b>	1,46	1,32	1,16	1,00	0,88	0,84	0,88	1,01	1,22	1,45	1,62	1,59
<b>D<sub>2</sub></b>	1,5822	1,5744	1,6091	1,7065	1,7246	1,7179	1,8908	1,8596	1,7763	1,7648	1,6942	1,6611
<b>E<sub>p</sub> (J/mes)</b>	4,31E+10	3,88E+10	4,30E+10	4,32E+10	4,42E+10	4,17E+10	4,54E+10	4,46E+10	4,22E+10	4,43E+10	4,29E+10	4,44E+10
<b>Tª exterior en horas de sol (°C)</b>	11,8	12	13,6	13,7	15,8	18,5	19,7	20,4	19,7	17,4	14	12,3
<b>Segundos/mes</b>	2678400	2419200	2678400	2592000	2678400	2592000	2678400	2678400	2592000	2678400	2592000	2678400
<b>K<sub>2</sub></b>	1,0615	1,0586	1,0800	1,1232	1,1392	1,1475	1,2261	1,2165	1,1780	1,1631	1,1191	1,0983
<b>Contribución solar, f</b>	<b>0,2071</b>	<b>0,3457</b>	<b>0,4249</b>	<b>0,5010</b>	<b>0,5484</b>	<b>0,5903</b>	<b>0,6317</b>	<b>0,6557</b>	<b>0,4858</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,2640</b>	<b>0,1913</b>
<b>Energía útil (J)</b>	5,65E+09	8,51E+09	1,14E+10	1,27E+10	1,41E+10	1,43E+10	1,52E+10	1,57E+10	1,15E+10	1,02E+10	6,69E+09	5,11E+09

Energía útil anual (J)	Carga calorífica anual (J)	Contribución solar anual, f
1,31E+11	3,03E+11	<b>0,4329</b>

## 5 CONSUMOS Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

Para el cálculo de los consumos se ha usado un SCOP de 3,79, un ESEER de 3,83 y un rendimiento de caldera de gas del 0,92.

### 5.1 Consumo y emisiones para el acondicionamiento del agua

Mes	Potencia (kW)	Horas/mes	Consumo (kWh)	Consumo eléctrico (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg)
Enero	68,73	288	19794	5223	12367	4094
Febrero	68,73	288	19794	5223	12367	4094
Marzo	65,48	324	21216	5598	13256	4388
Abril	63,52	300	19056	5028	11906	3941
Mayo	60,2	324	19505	5146	12187	4034
Junio	56,3	312	17566	4635	10975	3633
Julio	52,06	312	16243	4286	10148	3359
Agosto	51,09	312	15940	4206	9959	3297
Septiembre	54,02	312	16854	4447	10531	3486
Octubre	57,99	324	18789	4957	11739	3886
Noviembre	63,52	312	19818	5229	12382	4099
Diciembre	65,48	288	18858	4976	11783	3900
<b>ANUAL</b>			<b>223433</b>	<b>58953</b>	<b>139601</b>	<b>46208</b>

### 5.2 Consumo y emisiones para el acondicionamiento del aire

Mes	Potencia calor (kW)	Potencia frío (kW)	Horas/mes	Consumo calor (kWh)	Consumo frío (kWh)	Consumo eléctrico (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg)
Enero	18,15	0	288	5227	0	1379	3266	1081
Febrero	16,37	0	288	4714	0	1244	2945	975
Marzo	14,12	0	324	4576	0	1207	2859	946
Abril	14,77	0	300	4432	0	1169	2769	917
Mayo	11,84	0	324	3835	0	1012	2396	793
Junio	10,74	21,96	312	3351	6852	2673	6330	2095
Julio	8,47	29,11	312	2643	9082	3069	7267	2405
Agosto	6,22	33,39	312	1941	10418	3232	7654	2533
Septiembre	6,20	29,03	312	1934	9057	2875	6809	2254
Octubre	10,06	15,59	324	3259	5051	2179	5160	1708
Noviembre	13,90	0	312	4338	0	1145	2710	897
Diciembre	17,19	0	288	4952	0	1306	3094	1024
<b>ANUAL</b>				<b>45202</b>	<b>40460</b>	<b>22491</b>	<b>53258</b>	<b>17628</b>

### 5.3 Consumo de una caldera de gas 70% de demanda de agua

<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Energía primaria gas (kWh)</b>	<b>Emisiones CO2 (kg)</b>
15061	17998	4535
15061	17998	4535
16142	19290	4861
14499	17326	4366
14841	17735	4469
13365	15971	4025
12359	14769	3722
12128	14493	3652
12824	15325	3862
14296	17083	4305
15079	18020	4541
14349	17147	4321
<b>170003</b>	<b>203154</b>	<b>51195</b>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Anexo**

**ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD**



El R.D. 1627/1997 de 24 de Octubre establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables en obras de construcción. A efectos de este R.D., la obra proyectada requiere la redacción del presente Estudio Básico de Seguridad y Salud, por cuando dicha obra, dada su pequeña dimensión y sencillez de ejecución, no se incluye en ninguno de los supuestos contemplados en el Art. 4 del R.D. 1627/1997, puesto que:

- El presupuesto es inferior a 450.000 euros.
- No se ha previsto emplear a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- El volumen de mano de obra estimado es inferior a 500 días de trabajo.

De acuerdo con el Art. 6 del R.D. 1627/1997, el Estudio Básico de Seguridad y Salud deberá precisar las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, contemplando la identificación de los riesgos laborales evitables y las medidas técnicas precisas para ello, las relaciones de riesgos laborales que no puedan eliminarse especificando las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos y cualquier tipo de actividad a desarrollar en obra.

En el Estudio Básico se contemplarán también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores, siempre dentro del marco de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. Dándose previsiblemente en caso presente las circunstancias contempladas en el artículo 3º, punto 2, del R.D., el promotor deberá designar un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, así como efectuar antes del comienzo de los trabajos un aviso previo a la autoridad laboral, que también estará expuesto visiblemente en la obra.

# 1 MEMORIA

## 1.1 Datos de la obra

- Situación del edificio: ciudad de A Coruña. Zona climática C1.
- Entorno: las características del entorno, corresponden a la tipología urbana.
- Obras que se proyectan: instalaciones de climatización.
- Duración de las obras de instalación: la previsión es de 2 meses.
- Número de trabajadores en punta: se prevé un número de trabajadores en punta de 3.
- Materiales previstos en la instalación: no está previsto el empleo de materiales peligrosos o tóxicos, ni tampoco elementos o piezas constructivas de peligrosidad desconocida en su puesta en obra. Tampoco se prevé el uso de productos tóxicos en el proceso de instalación.

## 1.2 Consideración general de riesgos

- Situación del edificio: no se consideran riesgos debidos a su situación.
- Entorno: nivel de riesgo bajo sin condicionantes de riesgo aparentes, tanto para la circulación de vehículos, como para la programación de los trabajadores en relación con el entorno y sobre el local.
- Instalación eléctrica proyectada: riesgo bajo y normal en todos los componentes de la instalación proyectada, tanto por las dimensiones de los elementos constructivos como por las alturas.
- Duración de la instalación y número de trabajadores punta: riesgos normales para un calendario de obra normal y un número de trabajadores punta fácil de organizar.
- Materiales previstos en la instalación, peligrosidad y toxicidad: todos los materiales componentes de la instalación son conocidos y no suponen riesgo adicional tanto por su composición como por sus dimensiones. En cuanto a materiales auxiliares en la instalación, o productos, no se prevén otros que los conocidos y no tóxicos.

## 1.3 Fases de la obra

Dado que la previsión de la instalación se hará por una empresa instaladora que asumirá la realización de todas las partidas de obra, y no habiendo fases especificadas de obra en cuanto a los medios de S.T. a utilizar en la misma, se opta para la ordenación de este estudio:

- Considerar la realización del mismo en un proceso de una sola fase a los efectos de realizar los procedimientos constructivos, los riesgos, las medidas preventivas y las protecciones personales y colectivas.
- La fase de implantación de obra, o centro de trabajo, sobre el solar, así como montaje de valla y barracones auxiliares, queda de responsabilidad de la constructora, dada su directa vinculación con ésta.
- El levantamiento del centro de trabajo, así como la S.T. fuera del recinto de la obra, queda fuera de la fase de obra considerada en este estudio de la S.T.

## 1.4 Análisis y prevención de riesgos en las fases de obra

A la vista del conjunto de documentos del proyecto, se expondrán en primer lugar los procedimientos y equipos técnicos a utilizar, a continuación la deducción de riesgos en estos

trabajos, las medidas preventivas adecuadas, indicación de las protecciones colectivas necesarias y las protecciones personales exigidas para los trabajadores.

- Procedimientos y equipos técnicos a utilizar en obra: para estos trabajos de obras se considerará el trabajo previo, como hacer las descargas de materiales de forma segura y situar los materiales en el lugar adecuado. En la ejecución de la instalación, se utilizarán andamios sobre borriquetas de suficiente solidez para realizar los trabajos con la seguridad necesaria. Para la ejecución de estos trabajos se utilizarán las herramientas tradicionales.
- Tipos de riesgos: analizados los procedimientos y equipo a utilizar en los distintos trabajos de esta edificación, se deducen los riesgos mencionados a continuación.
  - Caídas al mismo nivel por la acumulación de materiales, herramientas y elementos de protección en el trabajo.
  - Caídas a distinto nivel debidas a trabajos en altura.
  - Golpes con objetos o útiles de trabajo en todo el proceso de la obra.
  - Generación de polvo.
  - Proyección de partículas durante casi todos los trabajos.
  - Explosiones e incendios.
  - Electrocutaciones en el manejo de herramientas y sobre la red de alimentación eléctrica.
  - Esguinces, salpicaduras y pinchazos, a lo largo de toda la obra.
  - Efectos de ambiente con polvo a lo largo de toda la obra.
  - Riesgos generales del trabajo sobre los trabajadores sin formación adecuada y no idóneos para el puesto de trabajo.
- Medidas preventivas en la organización del trabajo: partiendo de una organización de la obra donde el plan de S.T. sea conocido lo más ampliamente posible, que el jefe de la obra dirija su implantación y que el encargado de obra realice las operación de su puesta en práctica y verificación, para esta obra las medidas preventivas se impondrán según las líneas siguientes:
  - Normativa de prevención dirigida y entregada a los operarios de las máquinas y herramientas para su aplicación en todo su funcionamiento.
  - Cuidar del cumplimiento de la normativa vigente en él.
  - Manejo de máquinas y herramientas.
  - Movimiento de materiales y cargas.
  - Utilización de los medios auxiliares.
  - Mantener los medios auxiliares y las herramientas en buen estado de conservación.
  - Señalización de la obra en su generalidad y de acuerdo con la normativa vigente.
  - Protección de huecos en general para evitar caídas de objetos.
  - Protecciones de fachadas evitando la caída de objetos o personas.
  - Asegurar la entrada y salida de materiales de forma organizada y coordinada con los trabajos de realización de obra.

- Orden y limpieza en toda la obra.
  - Delimitación de las zonas de trabajo y cercado si es necesario
  - Medidas especificadas.
  - En la instalación, trabajar únicamente con andamios normalizados. Caso de que no fuera posible, conseguir que el andamio utilizado cumpla la norma oficial.
- Protecciones colectivas: las protecciones colectivas necesarias se estudiarán sobre los planos de edificación y en consideración a las partidas de obra en cuanto a los tipos de riesgos indicados anteriormente y a las necesidades de los trabajadores. Las protecciones previstas son:
    - Señales varias en la obra de indicación de peligro.
    - Señales normalizadas para el tránsito de vehículos.
    - Valla de obra delimitando y protegiendo el centro de trabajo.
    - Se comprobará que todas las máquinas y herramientas disponen de sus protecciones colectivas de acuerdo con la normativa vigente.

Finalmente, el plan puede adoptar mayores protecciones colectivas, todas aquellas que resulten según la normativa vigente y que aquí no estén relacionadas y aquellas que considere el autor del plan. Todo ello amortizado con las posibilidades y formación de los trabajadores en la prevención de riesgos.

- Protecciones personales: las protecciones necesarias para la realización de los trabajos previstos desde el proyecto son las siguientes:
  - Protección del cuerpo de acuerdo con la climatología mediante ropa de trabajo adecuada.
  - Protección del trabajador en su cabeza, extremidades, ojos y contra caídas de altura con los siguientes medios: casco, poleas de seguridad, cinturón de seguridad, gafas antipartículas, guantes finos de goma para contactos con el hormigón, guantes de acero para manejo de materiales, gafas antipolvo, botas de agua, impermeables, protectores gomados.
  - Protecciones contra el ruido mediante elementos normalizados.

## **1.5 Análisis y prevención de riesgos en medios y maquinaria**

- Medios auxiliares: los medios auxiliares previstos en la realización de esta instalación son andamios sobre borriquetas, escaleras de mano y otros medios sencillos de uso corriente. De estos medios, la ordenación de la prevención se realizará mediante la aplicación de la Ordenanza de Trabajo y la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, ya que tanto los andamios como las escaleras de mano están totalmente normalizados.
- Maquinaria y herramientas: se prevé la utilización de maquinaria y herramientas manuales diversas. La prevención sobre la utilización de estas máquinas y herramientas se desarrollará en el plan de acuerdo con los siguientes principios:
  - Reglamentación Oficial: se cumplirá lo indicado en el Reglamento de máquinas, en los I.T.C. correspondientes y con las especificaciones de los fabricantes.

- Las máquinas y herramientas a utilizar en obra dispondrán de su folleto de instrucciones de manejo que incluye riesgos que entraña para los trabajadores y modo de uso con seguridad.
- No se prevé la utilización de máquinas sin reglamentar.

## **1.6 Análisis y prevención de riesgos catastróficos**

El único riesgo catastrófico previsto es el de incendio. Por otra parte, no se espera la acumulación de materiales con alta carga de fuego. El riesgo considerado posible se cubrirá con las siguientes medidas:

- Revisiones periódicas.
- Colocar en los lugares o locales independientes, aquellos productos muy inflamables con señalización expresa sobre su mayor riesgo.
- Prohibir hacer fuego dentro del recinto de la obra.
- Disponer en la obra de extintores, mejor polivalentes, situados en lugares tales como oficina, vestuario, pie de escaleras internas de la obra, etc.

## **1.7 Cálculo de los medios de seguridad**

El cálculo de los medios de seguridad se realiza de acuerdo con lo establecido en el R.D. 1627/1997 de 24 de Octubre y partiendo de las experiencias en obras similares. El cálculo de las protecciones personales parte de fórmulas generalmente admitidas como las de SEOPAN, y el cálculo de las protecciones colectivas resultan de la medición de las mismas sobre los planos del proyecto del edificio, las partidas de seguridad y salud, de este estudio básico, están incluidas proporcionalmente en cada partida.

## **1.8 Medicina preventiva y primeros auxilios**

- Medicina preventiva: las posibles enfermedades profesionales que puedan originarse en esta obra son las normales que tratan la medicina del trabajo y la higiene industrial.
- Primeros auxilios: para atender a los primeros auxilios existirá un botiquín de urgencia situado en los vestuarios, y se comprobará que, entre los trabajadores presentes en la obra, por lo menos uno, haya recibido un curso de socorrismo.

## **1.9 Medidas de higiene personal e instalaciones del personal**

Habilitación de una zona en el interior del local, destinado a vestuario y aseo. La evacuación de aguas negras se hará directamente el alcantarillado general del edificio existente.

Dotación de los aseos: un retrete de taza turca con cisterna, agua corriente y papel higiénico. Un lavabo individual con agua corriente, jabón y secador de aire caliente. Espejo de dimensiones apropiadas. Dotación del vestuario: taquillas individuales con llave. Banco de madera. Espejo de dimensiones apropiadas.

Superficie del vestuario de 10 m<sup>2</sup>.

## **1.10 Formación sobre seguridad**

El plan especificará el Programa de Formación de los trabajadores y asegurará que estos lo conozcan. También con esta función preventiva se establecerá el programa de reuniones

del Comité de Seguridad y Salud. La formación y explicación del Plan de Seguridad será dada por un técnico de seguridad.

## 2 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

### 2.1 Legislación vigente

Para la aplicación y elaboración del Plan de Seguridad y su puesta en obra, se cumplirán las condiciones y normativas que se nombrarán a continuación.

#### Normas Generales:

- Ley de prevención de riesgos laborales. Ley 31/1995 (BOE 10-11-95). En la normativa básica sobre prevención de riesgos en el trabajo en base al desarrollo de la correspondiente directiva, los principios de la constitución y el Estatuto de los Trabajadores.
- R.D. 485/1997, de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- R.D. 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los centros de trabajo.
- R.D. 487/1997, de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsos lumbar, para los trabajadores.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de 9 de Marzo de 1971.

Sigue siendo válido el Título II que comprende los artículos desde el nº13 al nº51. Los artículos anulados (Comités de Seguridad, Vigilantes de Seguridad y otras obligaciones de los participantes en obra) quedan sustituidos por la Ley de riesgos laborales 31/1995 (Delegados de Prevención, Art. 35).

En cuanto a **disposiciones de tipo técnico**, las relacionadas con los capítulos de la obra indicados en la Memoria de este Estudio de Seguridad son los siguientes:

- Directiva 92/57/CEE de 24 de junio (DO: 26/08/92). Disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcciones temporales o móviles.
- RD 1627/1997 de 24 de octubre (BOE: 25/10/97). Disposiciones mínimas de seguridad en las obras de construcción Deroga el RD. 555/86 sobre obligatoriedad de inclusión de estudio de seguridad e higiene en proyectos de edificaciones y obras públicas.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre (BOE: 10/11/95). Prevención de riesgos laborales. Desarrollo de la ley a través de las siguientes disposiciones:
  - RD. 39/1997 de 17 de Enero (BOE: 31/01/97). Reglamento de los servicios de prevención.
  - RD. 485/1997 de 14 de Abril (BOE: 23/04/97). Disposiciones mínimas de seguridad en materia de señalización, de seguridad y salud en el trabajo.
  - RD. 486/1997 de 14 de Abril (BOE: 23/04/97). Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En el capítulo 1 se excluyen las obras de construcción. Modifica y deroga algunos capítulos de la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el trabajo (O. 09/03/1971).
  - RD. 487/1997 de 14 de Abril (BOE: 23/04/97). Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbar, para los trabajadores.

- RD. 664/1997 de 12 de Mayo (BOE: 23/04/97). Protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- RD. 665/1997 de 12 de Mayo (BOE: 24/05/97). Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- RD. 773/1997 de 30 de Mayo (BOE: 12/06/97). Disposiciones mínimas de seguridad y salud, relativas a la utilización por los trabajadores de protección individual.
- RD. 1215/1997 de 18 de Julio (BOE: 07/08/97). Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. Modifica y deroga algunos capítulos de la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el trabajo (O. 09/03/1971).
- O. de 20 de Mayo de 1952 (BOE: 17/06/52). Reglamento de Seguridad e Higiene del Trabajo en la industria de la construcción. Modificaciones: O. de 10 de Septiembre de 1953 (BOE: 22/12/53), O. de 23 de Septiembre de 1966 (BOE: 01/10/66), Art. 100 a 105 derogados por O. de 20 de Enero de 1956.
- O. de 31 de Enero de 1940. Andamios: Cap. VII, art. 66º a 74º (BOE: 03/02/40). Reglamento general sobre Seguridad e Higiene.
- O. de 28 de Agosto de 1970. Art. 1º a 4º, 183º a 291º y anexos I y II (BOE: 05/09/70; 09/09/70). Ordenanza del trabajo para las industrias de la construcción, vidrio y cerámica. Corrección de errores: (BOE: 17/10/70).
- O. de 20 de Septiembre de 1986 (BOE: 13/10/86). Modelo de libro de incidencias correspondientes a las obras en que sea obligatorio el Estudio de Seguridad e Higiene. Corrección de errores: (BOE: 31/10/86).
- O. 16 de Diciembre de 1987 (BOE: 29/12/87). Nuevos modelos para la notificación de accidentes de trabajo e instrucciones para su cumplimiento y tramitación.
- O. de 31 de Agosto de 1987 (BOE: 18/09/87). Señalización, balizamiento, limpieza y terminación de obras fijas en vías fuera de poblado.
- O. de 23 de Mayo de 1977 (BOE: 14/06/81). Reglamentación de aparatos elevadores para obras. Modificación: O. de 7 de Marzo de 1981 (BOE: 14/03/81).
- O. de 28 de Junio de 1988 (BOE: 07/07/88). Introducción Técnica Complementaria MIE-AEM 2 del Reglamento de Aparatos de Elevación y Mantenimiento referente a grúas-torre desmontables para obras. Modificación: O. de 16 de Abril de 1990 (BOE: 24/04/90).
- O. de 31 de Octubre de 1984 (BOE: 07/11/84). Reglamento sobre seguridad de los trabajos con riesgo de amianto.
- RD. 1435/92 de 27 Noviembre de 1992 (BOE: 11/12/92), reformado por RD. 56/1995 de 20 de Enero (BOE: 08/02/95). Disposiciones de aplicación de la directiva 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas.
- RD. 1495/1986 de 26 de Mayo (BOE: 21/07/86). Reglamento de seguridad en las máquinas.



- O. de 7 de Enero de 1987 (BOE: 15/01/87). Normas Complementarias de Reglamento sobre seguridad de los trabajadores con riesgo de amianto.
- RD. 1316/1989 de 27 de Octubre (BOE: 02/11/89). Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- O. de 9 de marzo de 1971 (BOE: 16i 17/03/71). Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo. Corrección de errores: (BOE: 06/04/71). Modificación: (BOE: 02/11/89). Derogados algunos capítulos por: Ley 31/1995, RD. 485/1997, RD. 486/1997, RD. 664/1997, RD. 665/1997, RD. 773/1997, RD. 1215/1997.
- Resoluciones aprobatorias de Normas Técnicas Reglamentarias para distintos medios de protección personal de trabajadores:
  1. R. de 14 de Diciembre de 1974 (BOE: 30/12/74: N.R. MT-1: cascos no metálicos.
  2. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 1/09/75): N.R. MT-2: Protecciones auditivas.
  3. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 2/09/75): N.R. MT-3: Pantallas de soldadores. Modificación: (BOE: 24/10/75).
  4. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 3/09/75): N.R. MT-4: Guantes aislantes de electricidad.
  5. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 4/09/75): N.R. MT-5: Calzado de seguridad contra riesgos mecánicos. Modificación: BOE: 27/10/75.
  6. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 5/09/75): N.R. MT-6: Banquetas aislantes de maniobras. Modificación: (BOE: 28/10/75).
  7. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 6/09/75): N.R. MT-7: Equipos de protección personal de vías respiratorias. Normas comunes y adaptadores faciales. Modificación: (BOE: 28/10/75).
  8. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 8/09/75): N.R. MT-8: Equipos de protección personal de vías respiratorias: Filtros mecánicos. Modificación: (BOE: 30/10/75).
  9. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 9/09/75): N.R. MT-9: Equipos de protección personal de vías respiratorias: Mascarillas auto filtrantes. Modificación: (BOE: 31/10/75).
  10. R. de 28 de Julio de 1975 (BOE: 10/09/75): N.R. MT-10: Equipos de protección personal de vías respiratorias: filtros químicos y mixtos contra amoniaco. Modificación: (BOE: 01/11/75).

**Normativa de ámbito local (Ordenanzas municipales):**

- Normativas relativas a la organización de los trabajadores. Artículos 33 al 40 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, de 1995 (BOE: 10/11/95).
- Normas relativas a la ordenación de profesiones de la seguridad e higiene. Reglamentos de los Servicios de Prevención, RD. 39/1997. (BOE: 31/07/97).
- Normas de administración local. Ordenanzas municipales en cuanto se refiere a la Seguridad, Higiene y salud en las Obras y que no contravengan lo relativo al RD. 1627/1997.
- Reglamentos técnicos de los elementos auxiliares:

- Reglamento electrónico de Baja Tensión. BOE: 9/10/73 y Normativa Específica Zonal.
  - Reglamento de aparatos Elevadores para Obras. (BOE: 29/05/1974).
  - Aparatos elevadores ITC.
  - Orden de 19/12/85 por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE-AEM-1 del Reglamento de aparatos de elevación y manutención referente a los ascensores electromecánicos. (BOE: 11- 06-1986) e ITC MIE.2 referente a las grúas-torre (BOE: 24-04-90).
- Normativas derivadas del convenio colectivo provincial.

## **2.2 Régimen de responsabilidades y atribuciones en materia de seguridad**

Establecidas las previsiones de ESRRO, el instalador electricista de la instalación quedará obligado a elaborar un plan de seguridad en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen, en función de su propio sistema de ejecución de la obra las previsiones contenidas en estudio citado.

El plan se aplicará de acuerdo con el RD en la ejecución de esta obra, cumpliendo con los pasos para su aprobación y con los mecanismos instituidos para su control.

Además de implantar en obra el plan de seguridad y salud, es de responsabilidad del instalador electricista la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el plan de seguridad e higiene.

Las demás responsabilidades y atribuciones dimanarán de:

- Incumplimiento del derecho por el empresario.
- Incumplimiento del deber por parte de los trabajadores.
- Incumplimiento del deber por parte de los profesionales.

De acuerdo con el Reglamento de Servicios de Previsión RD. 39/1997, el contratista o constructor dispondrá de técnicos con atribución y responsabilidad para la adopción de medidas de seguridad e higiene en el trabajo.

## **2.3 Empleo y mantenimiento de los medios y equipos de protección**

Se cumplirá lo indicado por el Reglamento de Servicios en las máquinas, RD. 1495/86, sobre todo en lo que se refiere a las instrucciones de uso, y a la instalación y puesta en servicio, inspecciones y revisiones periódicas, y reglas generales de seguridad.

- Características de empleo y conservación de útiles y herramientas: tanto en el empleo como la conservación de los útiles y herramientas, el encargado de la obra velará por su correcto empleo y conservación, exigiendo a los trabajadores el cumplimiento de las especificaciones emitidas por el fabricante para cada útil o herramienta. El encargado de obra establecerá un sistema de control de los útiles y herramientas a fin y efecto de que se utilicen con las prescripciones de seguridad específicas para cada una de ellas.

Las herramientas y útiles establecidos en las previsiones de este estudio pertenecen al grupo de herramientas y útiles conocidos y con experiencias en su empleo, debiéndose aplicar las normas generales, de carácter práctico y general conocimiento, vigentes según los criterios generalmente admitidos.

- Empleo y conservación de equipos preventivos:

- Protecciones personales: se tendrá preferente atención a los medios de protección. Toda prenda tendrá fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término. Cuando por cualquier circunstancia, sea de trabajo o mala utilización de una prenda de protección personal o equipo se deteriore, estas se repondrán independientemente de la duración prevista. Todo elemento de protección personal se ajustará a las normas de homologación del Ministerio y/o Consellería y, en caso que no exista la norma de homologación, la calidad exigida será la adecuada a las prestaciones previstas.
- Protecciones colectivas: el encargado y el jefe de obra son los responsables de velar por la correcta utilización de los elementos de protección colectiva, contando con el asesoramiento y colaboración de los Departamentos y Almacén, Maquinaria, y del propio Servicio de Seguridad de la Empresa Constructora.
- Extintores: serán de polvo polivalente y recibirán revisiones periódicas.

## 2.4 Servicios médicos

A efectos de aplicación de este Estudio de Seguridad, se cumplirá lo establecido en el Decreto 39/1997, especialmente en los títulos fundamentales.

- Art. 1: La prevención deberá integrarse en el conjunto de actividades y disposiciones.
- Art. 2: La empresa implantará un plan de prevención de riesgos.
- Art. 5: Dar información, formación y participación a los trabajos.
- Art. 8 y 9: Planificación de la actividad preventiva.
- Art. 14 y 15: Disponer de Servicio de Prevención, para las siguientes especialidades.
  - Ergonomía.
  - Higiene industrial.
  - Seguridad en el trabajo.
  - Medicina del trabajo.
  - Psicología.

## 2.5 Instalaciones provisionales de higiene y bienestar

Las instalaciones provisionales de la obra se adaptarán, en lo relativo a elementos, dimensiones características, a lo especificado en los arts. 39, 40, 41 y 42 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene y 335, 336 y 337 de la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica. Se organizará la recogida y la retirada de desperdicios y la basura que el personal de la obra genere en sus instalaciones.

## 2.6 Previsiones del instalador electricista

- Previsiones técnicas: las previsiones técnicas del Estudio son obligatorias por los Reglamentos oficiales y la Norma de buena instalación en el sentido de nivel mínimo de seguridad. El constructor en el cumplimiento de sus atribuciones puede proponer otras alternativas técnicas. Si así fuere, el Plan estará abierto a adaptarlas siempre que se ofrezcan las condiciones de garantía de Prevención y Seguridad orientadas en este Estudio.

- Previsiones económicas: si las mejoras o cambios en la técnica, elementos o equipos de prevención se aprueban para el Plan de Seguridad y Salud, estas no podrán presupuestarse fuera del Estudio de Seguridad, a no ser que así lo establezca el contrato de Estudio.
- Certificación de la obra del plan de seguridad: la percepción por parte del instalador del precio de las partidas de obra del Plan de Seguridad será ordenada a través de certificaciones complementarias a las certificaciones propias de la obra general expendidas en la forma y modo que para ambas se haya establecido en las cláusulas contractuales del Contrato de obra y de acuerdo con las normas que regulan el Plan de Seguridad de la obra. La Dirección Facultativa, en cumplimiento de sus atribuciones y responsabilidades, ordenará la buena marcha del Plan, tanto en los aspectos de eficiencia y control como en el fin de las liquidaciones económicas hasta su total saldo y finiquito.
- Ordenación de los medios auxiliares de la instalación eléctrica: los medios auxiliares que pertenecen a la obra básica, permitirán la buena ejecución de los capítulos de la instalación eléctrica y la buena implantación de los capítulos de Seguridad, cumpliendo adecuadamente las funciones de seguridad.
- Previsiones en la implantación de los medios de seguridad: los trabajos de montaje, conservación y desmontaje de los sistemas de seguridad, desde el primer replanteo hasta su total evacuación de la obra, ha de disponer de una ordenación de seguridad e higiene que garantice la prevención de los trabajos dedicados a esta especialidad de los primeros montajes de la implantación de la obra.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Documento**

**PLANOS**

## ÍNDICE

- **Plano 1:** Alzado.
- **Plano 2:** Atrás.
- **Plano 3:** Izquierda.
- **Plano 4:** Derecha.
- **Plano 5:** Planta.
- **Plano 6:** Impulsión.
- **Plano 7:** Extracción.

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

- Agua de renovación
- Agua fría
- Agua caliente
- Aire exterior
- Aire del recinto

F: Filtro

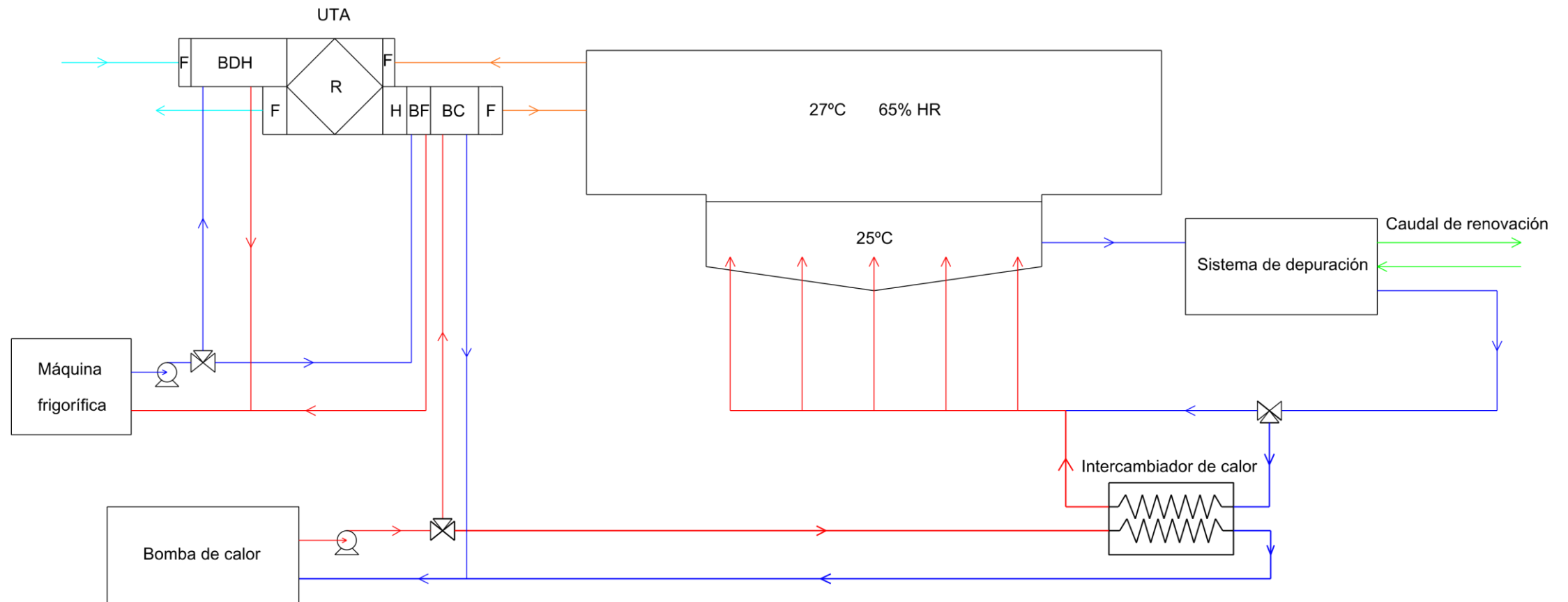
BDH: Batería deshumidificadora



R: Recuperador de calor

H: Humidificador

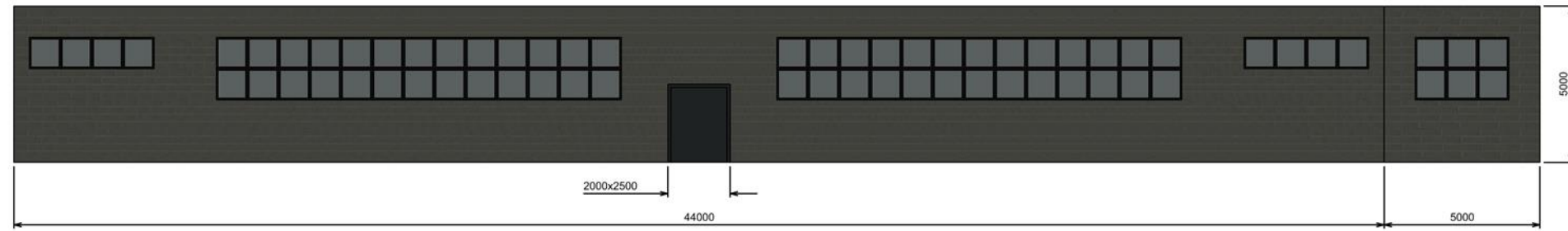
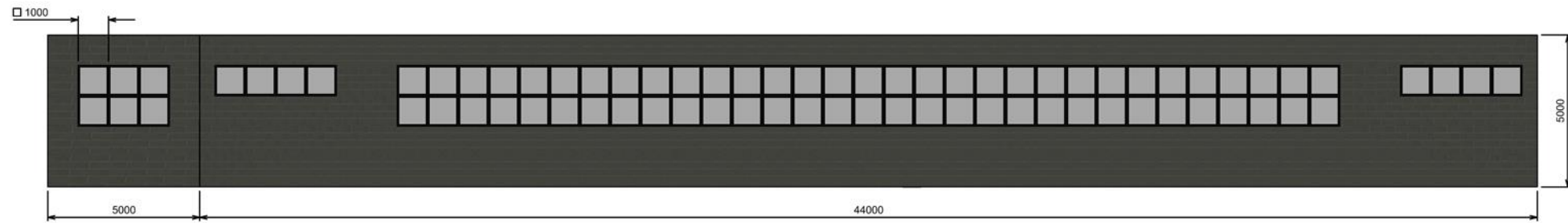
BF: Batería de frío

BC: Batería de calor



	<p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR</p>	
<p>Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta</p>		<p>Nº de plano: 1</p>
<p>Autor: Adrián Álvarez Riola</p>		<p>Firma:</p>
<p>Escala: -</p>	<p>Esquema de la instalación</p>	
<p>Fecha: Septiembre 2017</p>		

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta

Nº de plano: 2

Autor: Adrián Álvarez Riola

Escala: 1:200

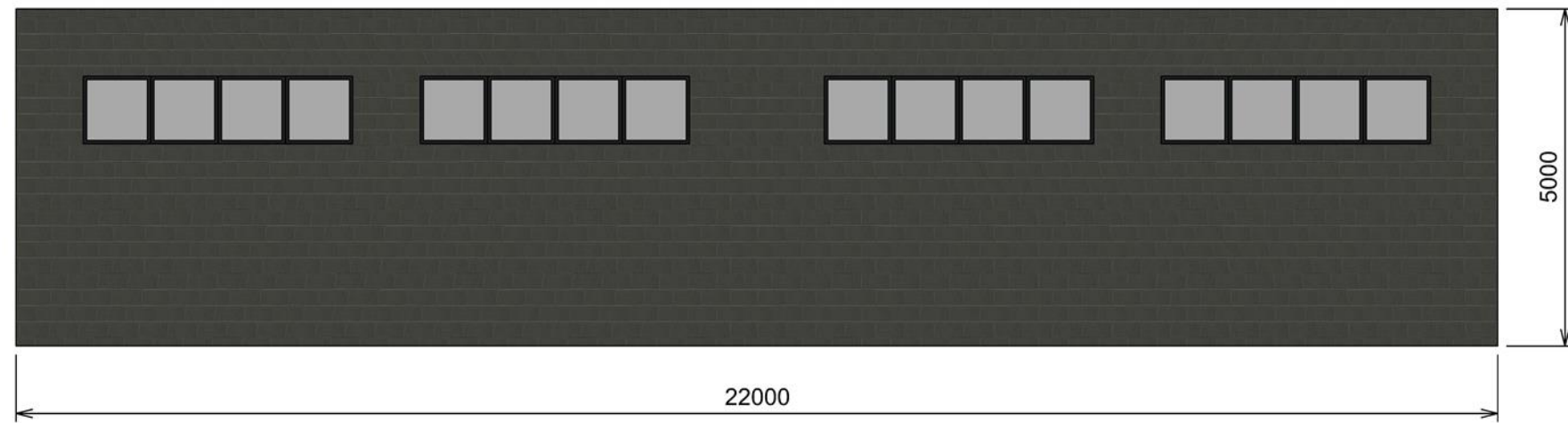
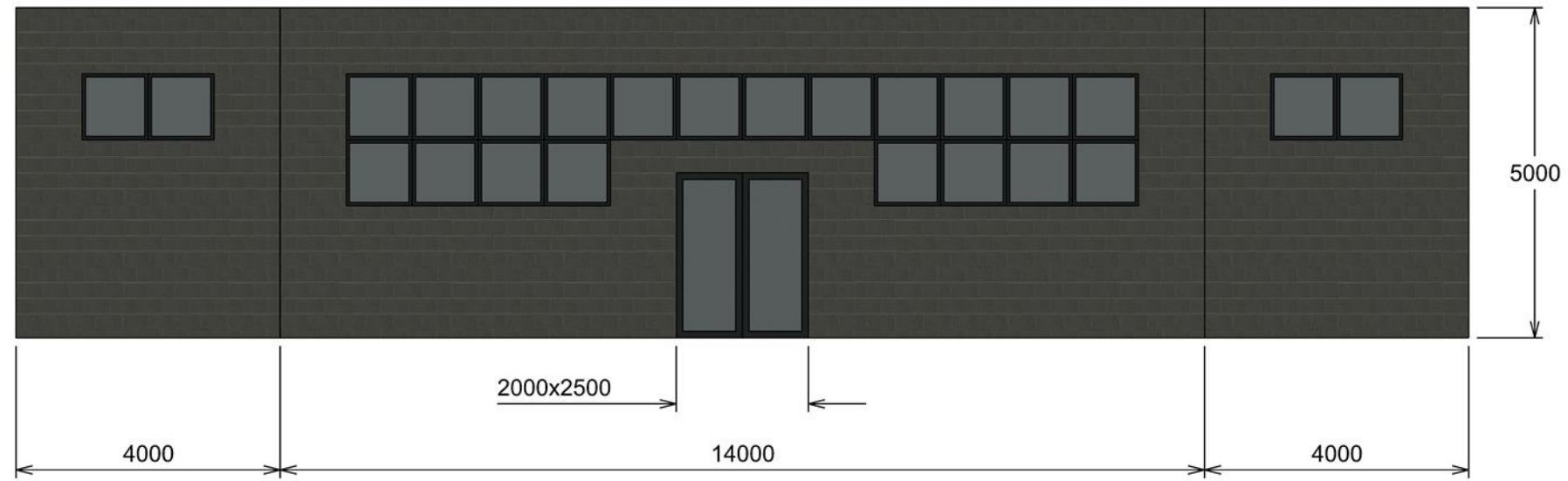
Fecha: Septiembre 2017

Alzado y Atrás

Firma:



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta

Nº de plano: 3

Autor: Adrián Álvarez Riola

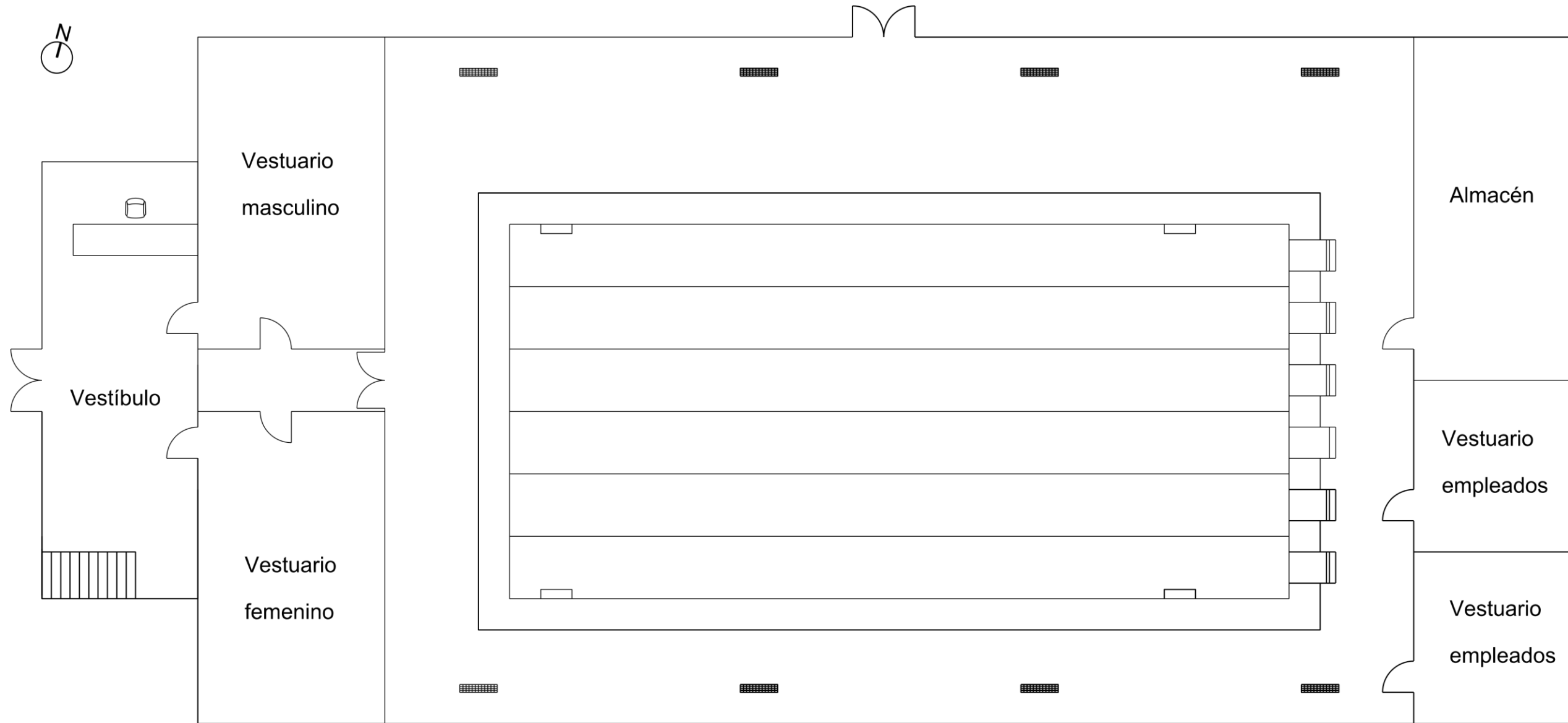
Escala: 1:100

Fecha: Septiembre 2017

Izquierda y Derecha

Firma:

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta

Nº de plano: 4

Autor: Adrián Álvarez Riola

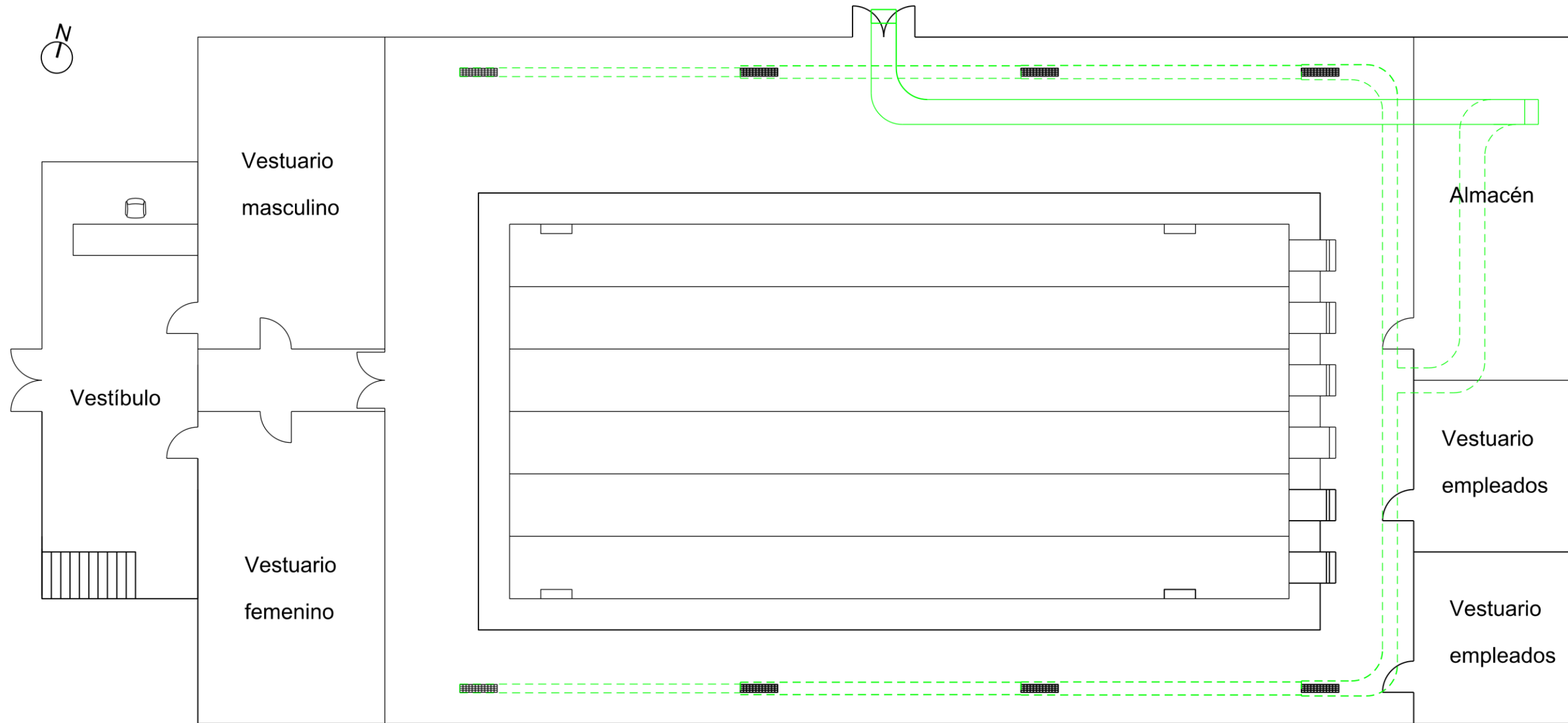
Escala: 1:150

Fecha: Septiembre 2017

Planta

Firma:

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta

Nº de plano: 5

Autor: Adrián Álvarez Riola

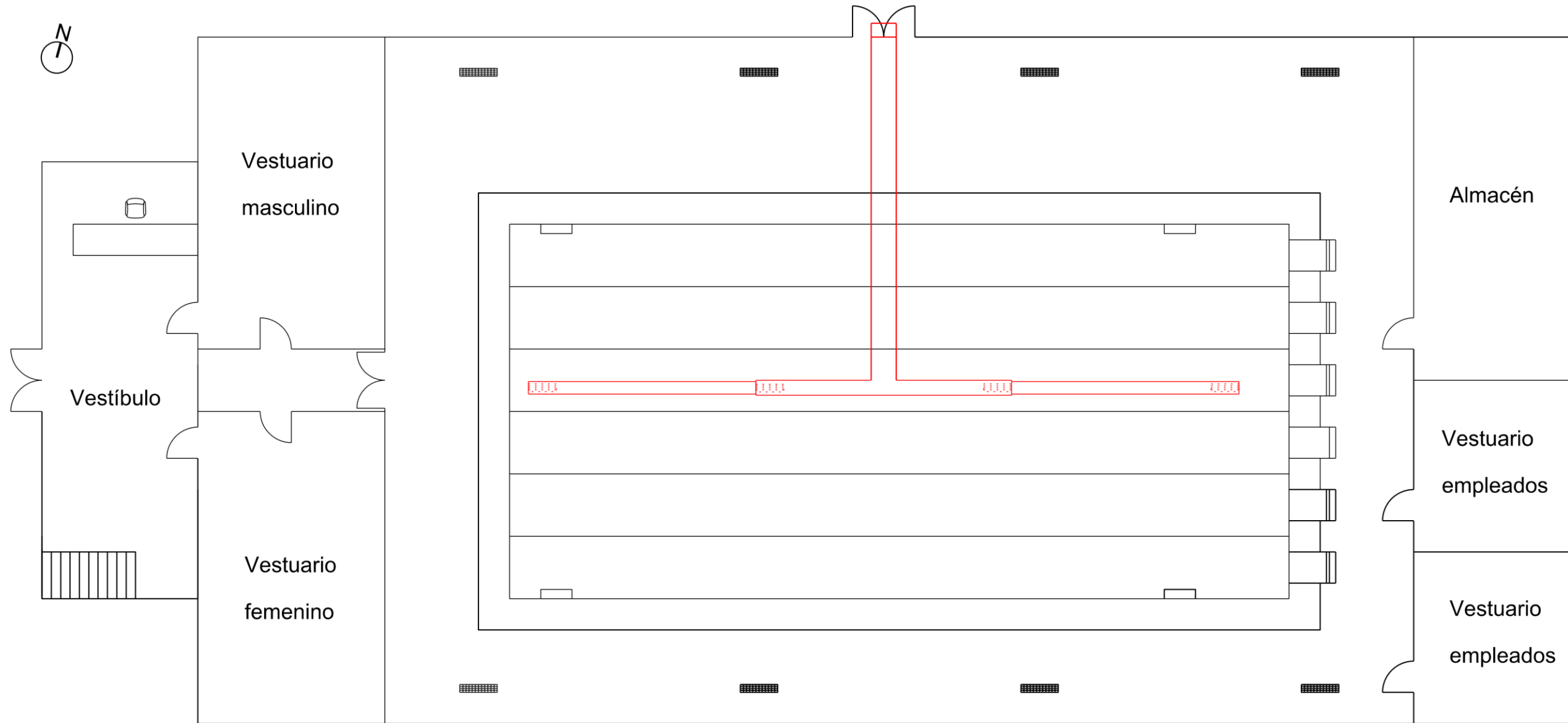
Escala: 1:150

Fecha: Septiembre 2017

Impulsión

Firma:

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



Recuperación energética con bomba de calor en una piscina cubierta

Nº de plano: 6

Autor: Adrián Álvarez Riola

Escala: 1:150

Fecha: Septiembre 2017

Extracción

Firma:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Documento**

**PRESUPUESTO**

En este documento se realizará un presupuesto orientativo basado en el coste de los principales equipos que componen la instalación y en la mano de obra necesaria.

<b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>				
Nº	Concepto	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Intercambiador de calor de placas Secespol FB-007	1	6294,00	6294,00
2	Unidad de tratamiento de aire a medida	1	30173,00	30173,00
3	Enfriadora aire-agua AQUACIAT LD 450A	1	21595,00	21595,00
4	Bomba de calor CIATCooler ILP 720-HEE	1	34813,00	32813,00
5	Rejilla de impulsión doble deflexión 1250x250 KOOLAIR	8	161,60	1292,80
6	Rejilla de extracción deflexión simple 900x250 KOOLAIR	4	102,91	411,64
7	Conducto rectangular 1 mm de espesor con aislamiento de espuma de polietileno Salvador Escoda	37,20 m <sup>2</sup>	90,00	3348,00
8	Conducto rectangular 1 mm de espesor con resistencia al fuego Salvador Escoda	282,58 m <sup>2</sup>	60,00	16954,80
9	Captador solar ECOTOP VHM 2.7 Ferroli	21	660,00	13860,00
10	Kit de conexiones para modelos ECOTOP VHM (tapones, conexión de entrada, conexión salida)	1	65,00	65,00
11	Purgador automático solar	21	20,00	420,00
12	Estructura plana 1 panel VHM 2.7 para tejado plano	21	228,00	4788,00
13	Regulador diferencial para la aplicación en sistemas solares (ACS con o sin post-calentamiento)	1	355,00	355,00
14	Grupo solar hidráulico Ferroli	4	605,00	2420,00
15	Interacumulador acero inoxidable AISI 316 5000 litros Suicalsa	1	14390,00	14390,00
16	Interacumulador acero inoxidable AISI 316 750 litros Suicalsa	1	4874,00	4874,00
17	Caldera BLUEHELIX TECH A 35 Ferroli con kit de salida de gases	1	2218,00	2218,00
<b>TOTAL</b>				<b>189.089,41</b>

<b>MANO DE OBRA</b>				
Nº	Concepto	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Mano de obra de oficial y ayudantes	420	25,00	10500,00
<b>TOTAL</b>				<b>10.500,00</b>

<b>RESUMEN</b>	
MATERIALES Y EQUIPOS	189.089,41 €
MANO DE OBRA	10.500,00 €
<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>199.589,41 €</b>
13% GASTOS GENERALES	25.946,62 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	11.975,36 €
<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN</b>	<b>237.511,39 €</b>
21% IVA	49.877,39 €
<b>IMPORTE DE CONTRATA</b>	<b>287.388,78 €</b>

El importe total asciende a la cantidad de **doscientos ochenta y siete mil trescientos ochenta y ocho euros con setenta y ocho céntimos.**

Ferrol, Septiembre de 2017

Fdo:

**Adrián Álvarez Riola**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/17**

---

*RECUPERACIÓN ENERGÉTICA CON BOMBA DE  
CALOR EN UNA PISCINA CUBIERTA*

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Documento**

**PLIEGO DE CONDICIONES**



## **1 PRESCRIPCIONES GENERALES**

### **1.1 Documentos que definen las obras**

El presente pliego afectará a la ejecución de todas las obras que comprende el proyecto al que hace referencia.

El presente proyecto se define, además de por el presente Pliego de Condiciones, los documentos adjuntos de Memoria y sus Anexos, Planos y Presupuesto.

### **1.2 Propiedad, contratista y director de la obra**

La Propiedad nombrará en su representación a un Ingeniero Industrial en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente proyecto.

El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director, o sus subalternos, puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia. No será responsable ante la Propiedad de la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director, quien a su vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

El proyecto de la instalación está sujeto a las variaciones que considere necesarias la Dirección Facultativa. Cualquier alteración que, sin autorización, hiciera el instalador estará obligado a desmontarla si la Dirección Facultativa así lo considera, sin que por este motivo tenga derecho a indemnización alguna.

La interpretación de los planos y demás documentos del Proyecto de la Instalación, corresponden exclusivamente a la Dirección Facultativa. Antes del comienzo de los montajes, el instalador está obligado a comprobar las dimensiones y datos sacados de los Documentos del Proyecto, debiendo manifestar a la Dirección Facultativa las discrepancias que observara.

La programación, orden y marcha de los trabajos será decidida por la Dirección Facultativa. Todos los detalles que, por su minuciosidad, puedan haberse omitido en este pliego y correspondan a un correcto montaje o resulten necesarios para el acoplamiento y perfecta terminación de las instalaciones, quedan a la determinación exclusiva de la Dirección Facultativa.

Antes de iniciar cualquier trabajo que difiera de lo especificado en este proyecto, el instalador deberá presentar a la Dirección Facultativa, para su comprobación y aprobación, los planos de montaje, con los detalles necesarios y esquemas de las modificaciones, para su correcta interpretación, y montaje. Cualquier trabajo ejecutado sin ficha de comprobación, será por cuenta y riesgo del instalador.

### **1.3 Normas y reglamentos**

Las instalaciones a ejecutar se realizarán observando y cumpliendo los siguientes reglamentos:

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Pliego de Prescripciones Técnicas generales para tuberías de suministro de agua 2 y 3.10, 1974. Correcciones de errores 30-10-74.
- Orden de Ministerio de Industria 9-12-75.
- Normas Básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua 13-1-76. Correcciones de errores 12-2-76.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para cañerías de suministro de agua. O 28.07.74 MOPU.BOE 2 y 3.10.74.

- Resolución de la Dirección General de energía.
- Complemento del apartado 1.5 del Título 1 de las Normas Básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua.
- Complemento del apartado 1.5 del Título 2. RESOL 14.02.80. Dir. Gral. Energía. BOE 07.03.80.
- Real Decreto n. 1618-80 de la Presidencia del Gobierno 4-7-80
- Industria y energía. BOE 22.03.85.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)
- Orden del ministerio de Industria 21-6-68.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión 29-12-73 y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Orden del Ministerio de Industria 19-12-78.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en relación con la medida de
- aislamiento de las instalaciones eléctricas 7-5-74.
- Real Decreto 2429/1979 de Presencia del Gobierno 6-7-79 Norma Básica de Edificación de 2008 sobre condiciones técnicas en los edificios.
- Real Decreto 1909/81 de Presidencia de Gobierno 24-7-81.
- Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81 sobre condiciones acústicas en los edificios.
- Decreto 2414/1961 de Presidencia de Gobierno 30-11-61.
- Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas y sus Instrucciones complementarias 7-12-61. Corrección de errores 7-3-62.
- Real Decreto 1244/1979 del Ministerio de Industria y Energía 4-4-79.
- Reglamento de aparatos a Presión y Normas Técnicas del Reglamento de Recipientes a Presión. 29-5-79.
- Real Decreto 3099/77 del Ministerio de Industria y Energía 8-9-77
- Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones, Frigoríficas y sus instrucciones complementarias.
- Orden del Ministerio de Trabajo 9-3-71.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 13-3-71.
- Orden de 3 de Febrero 1975.
- Norma Tecnológica de la Edificación NBE-CPI-96, sobre condiciones de protección contra incendios en los Edificios. Articulado General.
- Normas Tecnológicas de la Edificación.
- Documentación que aportará el Instalador.
- Toda la necesaria para la legislación de las instalaciones incluso trámites visados, permisos, etc.
- Libro de control de mantenimiento.
- Cualquier normativa autonómica y local que sea aplicable.

## 2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

### 2.1 Materiales

Todos los materiales, equipos, partes o componentes instalados en el presente trabajo serán nuevos, exentos de defectos, de primera calidad o adecuados para el uso a que se destinan.

### 2.2 Tuberías

Todas las tuberías irán instaladas de forma adecuada, de modo que presenten un aspecto limpio y ordenado, disponiéndose en tramos paralelos o en ángulo recto con los elementos de la estructura del edificio, a fin de proporcionar la máxima altura de paso, salvar las luces y los trabajos de otros subcontratistas. En general, las tuberías suspendidas se instalarán lo más cerca posible de la estructura superior.

La tubería será cortada con exactitud en las dimensiones establecidas en el lugar de la obra y se colocará en su sitio sin combarla ni forzarla. Se instalará de modo que pueda dilatarse y contraerse libremente sin daño para la misma ni para otros trabajos.

La soldadura solamente se ejecutará por soldadores expertos. Todos los cambios de dirección e intersecciones de tuberías soldadas, se efectuarán por medio de accesorios para soldar, excepto cuando se permita específicamente. No se permitirá soldar las tuberías con inglete para formar codos, o entallarlas para formar tes, ni procedimiento alguno semejante.

### 2.3 Aislamiento de tuberías

El coeficiente de conductividad térmica del material empleado en el aislamiento, no será superior a 0,040 W/m°C a 20 °C. Los aislamientos cumplirán los espesores mínimos establecidos en el RITE indicados a continuación.

<b>Tabla 1.2.4.2.1: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

<b>Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

<b>Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
140 < D	45	50	60

<b>Tabla 1.2.4.2.3 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios.</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	25	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

<b>Tabla 1.2.4.2.4 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios.</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	50	45	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

<b>Tabla 1.2.4.2.5 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de circuitos frigoríficos para climatización (*) en función del recorrido de las tuberías.</b>		
Diámetro exterior (mm)	Interior edificios (mm)	Exterior edificios (mm)
$D \leq 13$	10	15
$13 < D < 26$	15	20
$26 < D < 35$	20	25
$35 < D < 90$	30	40
$D > 90$	40	50

(\*) Excluidos los procesos de frío industrial. Si el recorrido exterior de la tubería es superior a 25 m, se deberá aumentar estos espesores al espesor comercial inmediatamente superior, con un aumento en ningún caso inferior a 5 mm.

La aplicación del material aislante deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Antes de su colocación deberá haberse quitado toda materia extraña, herrumbre, etc., de la superficie aislada.

- A continuación se dispondrán dos capas de pintura antioxidante y otra protección similar a todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación.
- El aislamiento se efectuará con mantas, filtros, placas, segmentos, coquillas. Soportadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante cuidando que haya un asiento compacto y firme en las piezas aislantes y que se mantenga uniforme el espesor.
- Cuando el espesor del aislamiento exigido requiera varias capas de éste, se procurará que las juntas longitudinales y transversales de las distintas capas no coincidan y que cada capa quede firmemente fijada.
- El aislamiento irá protegido con los materiales necesarios para que no se deteriore en el transcurso del tiempo.
- En las tuberías y equipos situados a la intemperie, las juntas verticales y horizontales se sellarán convenientemente y el terminado será impermeable e inalterable a la intemperie.
- La barrera antivapor, si es necesaria, deberá estar situada en la cara exterior del aislamiento, con el fin de garantizar la ausencia de agua condensada en la masa aislante.

## 2.4 Conductos de aire

Los conductos de aire estarán formados por materiales que no propaguen el fuego, ni desprendan gases tóxicos en caso de incendio, y que tengan la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos debidos a su peso, al movimiento del aire, a los propios de su manipulación, así como a las vibraciones que puedan producirse como consecuencia de su trabajo.

Las superficies internas serán lisas y no contaminarán el aire que circula por ellas. Soportarán, sin deformarse ni deteriorarse, 250 °C. Los conductos de fibra de vidrio y de chapa de acero estarán normalizados en las UNE 100.101 a 100.106.

Las tuberías, conducciones eléctricas, elementos estructurales y otros obstáculos, deben evitarse en el interior de los conductos, especialmente en los codos. En conductos de gran velocidad deben evitarse toda clase de obstáculos con el fin de evitar pérdidas de carga innecesarias y fuentes de ruidos.

Se instalarán dispositivos de líneas aerodinámicas construidas en chapa galvanizada alrededor de cualquier obstrucción que pase a través de un conducto y se aumentará proporcionalmente el tamaño del conducto para cualquier obstrucción que ocupe más del 10% de la sección del mismo.

## 2.5 Aislamiento de conductos

El aislamiento térmico de conductos será el suficiente para que la pérdida de calor a través de sus paredes no sea superior al 1% de la potencia que transportan y sea a su vez suficiente para evitar condensaciones.

## 2.6 Filtros de aire

La instalación de los filtros será tal que filtren tanto el aire exterior como el de extracción y que permita un fácil desmontaje para las limpiezas periódicas.

Todos los materiales utilizados en la construcción de los filtros deberán ser anticorrosivos.

## 2.7 Rejillas

Se suministrarán e instalarán en los lugares señalados en los planos rejillas de impulsión y rejillas de extracción.

Las rejillas de impulsión serán de aluminio con doble deflexión y compuerta de regulación de caudal, adecuadas para su instalación en paredes y techos.

Las rejillas de extracción serán de aluminio, anodizado, con rejilla de simple deflexión con regulación de caudal.

## 2.8 Anclajes y soportes

Los apoyos en las tuberías serán suficientes para que una vez colorifugadas, no se produzcan flechas superiores al 0,2%, ni ejerzan esfuerzo alguno sobre elementos o aparatos a los que estén unidas.

La sujeción se hará con preferencia en los puntos fijos y partes centrales de los tubos, dejando libre las zonas de posibles movimientos, tales como las curvas.

Los elementos de sujeción y guiado, permitirán la libre dilatación de la tubería y no perjudicará al aislamiento de la misma. Las grapas y abrazaderas serán de forma que permitan un desmontaje fácil de los tubos, exigiéndose la utilización de material elástico entre sujeción y batería.

## 2.9 Grupos de electrobombas

Serán bombas centrífugas, accionadas por motor eléctrico a través del acoplamiento. El montaje del grupo se hará sobre bancada de fundición.

Los materiales serán de primera calidad y estarán exentos de todos los defectos que puedan afectar a la eficacia del producto acabado.

Los cuerpos de las bombas tendrán capacidad para soportar una presión hidrostática de 1,5 veces la presión máxima de trabajo, sin que esta presión de prueba baje de 5 atmósferas.

Los presostatos de las bombas para calefacción estarán garantizados contra los defectos del agua caliente. Debe estar asegurado el engrase a la temperatura normal del agua.

El motor, cuando el grupo esté montado en el interior, podrá llevar protección P-22. En caso de ir al exterior, llevará protección P-33, será de rotor en cortocircuito y de 4 polos. Su potencia dependerá de las exigencias de la bomba, que en ningún caso se deberá elegir con rendimiento inferior al 60 %.

Todas las partes móviles de la unidad que normalmente exijan lubricación, deberán llevar depósitos a este fin y se lubricarán adecuadamente, antes de su entrega. Las partes que componen el grupo llevarán el nombre o la marca del fabricante en una placa fijada en un lugar visible.

## 2.10 Vasos de expansión

Deberán ajustarse totalmente al Reglamento de Recipientes a Presión y llevarán en un sitio visible el timbre de la Delegación de Industria correspondiente a la presión de trabajo. Serán de chapa de acero galvanizados por inmersión, una vez soldadas todas las conexiones y se suministrarán dotados de los siguientes elementos:

- Soportes de sujeción.
- Indicador de nivel.
- Válvula de seguridad.
- Grifo macho de desagüe.

- Alimentador automático de agua con válvulas de corte en doble paso.
- Válvula de retención.
- Botella de nitrógeno, con válvula de seguridad.
- Reductor regulador a presión.
- Accesorios para la alimentación de nitrógeno.

Estarán aislados con filtro de vidrio Telisol o similar, cosido a un soporte de tela metálica galvanizada. El espesor del filtro, en ningún caso, será inferior a 30 mm, ni la densidad a 90 Kg/cm<sup>3</sup>.

## 2.11 Manómetros

Se instalarán manómetros en todas las tuberías de aspiración e impulsión de bombas, en las entradas y salidas de evaporadores, condensadores y baterías, así como en los colectores de distribución.

Se montarán sobre grifo de bronce y se conectará el conjunto a la tubería a través de un bucle. La esfera de los manómetros será de 60 mm de diámetro como mínimo y la conexión de 2". La graduación de la esfera estará en Kg/cm<sup>2</sup> y sus valores de acuerdo con la presión a medir.

La posición de los manómetros será tal que permita una rápida y fácil lectura y su conexión a la tubería estará situada en tramos rectos, lo más alejado posible de los codos o curvas de las tuberías.

## 2.12 Termómetros

Los termómetros para control de líquidos serán de alcohol, vidriados y con envolvente metálica exterior, rectos o acodados de forma que permitan su colocación paralela a la tubería en que se controla la temperatura.

Los termómetros para control de gases serán del tipo de cuadrante con bulbo sensible y capilar, de dimensiones adecuadas.

## 2.13 Válvulas

Las válvulas estarán construidas con materiales inalterables por el líquido que va a circular por ellas. Resistirán sin deformación una presión igual 1,5 veces la presión nominal de las mismas. Esta presión nominal, cuando sea superior a 600 kPa relativos, vendrá marcada indeleblemente en el cuerpo de la válvula.

Resistirán 10.000 ciclos de apertura y cierre sin que por ello se modifiquen las características del conjunto ni se dañen los contactos eléctricos si los tuviese. Con la válvula en posición cerrada, aplicando aguas arriba una presión de agua fría de 100 kPa, no perderá agua en cantidad superior al 3% de su caudal nominal, entendiéndose como tal el que se produce con válvula en posición abierta, con una pérdida de carga de 100 kPa.

## 2.14 Equipos de producción de frío

Toda maquinaria frigorífica utilizada en climatización deberá cumplir lo especificado en el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas y el Reglamento de Aparatos a Presión.

Deberán ir provistos de placas de identificación en las que constarán los siguientes datos:

- Nombre o razón social del fabricante.
- Número de fabricación.

- Designación del modelo.
- Características de la energía de alimentación.
- Potencia nominal absorbida en las condiciones normales.
- Potencia frigorífica total útil (referencia a las condiciones o normas de ensayo).
- Tipo de refrigerante.
- Cantidad de refrigerante.
- Coeficiente de eficiencia energética CEE.
- Peso en funcionamiento.

## **2.15 Bomba de calor**

Los equipos de bomba de calor de potencia útil nominal superior a 12 kW deberán llevar incorporados los valores de etiquetado energético (COP/SCOP) determinados por la normativa europea en vigor, cuando exista la misma, o por entidades de certificación europea.

Los fabricantes aportarán las tablas de funcionamiento de los equipos a distintas temperaturas, al objeto de facilitar la evaluación y rendimiento energético de la instalación.

La temperatura del agua a la salida de las plantas deberá ser mantenida constante al variar la carga, salvo excepciones que se justificarán.

Se procurará que la potencia máxima en los equipos se obtenga con el salto máximo de temperaturas de entrada y salida establecido por el fabricante, de modo que el caudal del fluido caloportador sea mínimo para dicha potencia máxima. Esta situación se puede mantener en carga parcial si se disponen de bombas de caudal variable que permitan regular el caudal para el salto térmico.



## 3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN SOLAR

### 3.1 Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red, o agua desmineralizada, o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. Los aditivos más usuales son los anticongelantes, aunque en ocasiones se puedan utilizar aditivos anticorrosivos.

La utilización de otros fluidos térmicos requerirá incluir su composición y calor específico en la documentación del sistema y la certificación favorable de un laboratorio acreditado.

En cualquier caso el pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650  $\mu$ S/cm.
- El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico. c) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

Para aplicaciones en procesos industriales, refrigeración o calefacción, las características del agua exigidas por dicho proceso no sufrirán ningún tipo de modificación que pueda afectar al mismo.

### 3.2 Protección contra heladas

El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

El fabricante deberá describir el método de protección anti-heladas usado por el sistema. Como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

- Mezclas anticongelantes.
- Recirculación de agua de los circuitos.
- Drenaje automático con recuperación de fluido.
- Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

#### 3.2.1 Mezclas anticongelantes

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0 °C (el punto de congelación deberá de estar acorde con las condiciones climáticas del lugar). En todo caso, su calor específico no será inferior a 3 kJ/kgK, equivalentes a 0,7 kcal/kg°C, medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada.

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con UNE-EN 12976-2.

La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

Es conveniente que se disponga de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas que se puedan dar del fluido en el circuito, de forma que nunca se utilice un fluido para la reposición cuyas características incumplan el Pliego. Será obligatorio en los casos de riesgos de heladas y cuando el agua deba tratarse.

En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

### ***3.2.2 Recirculación de agua de los circuitos***

Este método de protección anti-heladas asegurará que el fluido de trabajo está en movimiento cuando exista riesgo de helarse.

El sistema de control actuará, activando la circulación del circuito primario, cuando la temperatura detectada preferentemente en la entrada de captadores o salida o aire ambiente circundante alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

Este sistema es adecuado para zonas climáticas en las que los períodos de baja temperatura sean de corta duración.

Se evitará, siempre que sea posible, la circulación de agua en el circuito secundario.

### ***3.2.3 Drenaje automático con recuperación de fluido***

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado a un depósito, para su posterior uso, cuando hay riesgo de heladas.

La inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m.

El sistema de control actuará sobre la electroválvula de drenaje cuando la temperatura detectada en captadores alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

El vaciado del circuito se realizará a un tanque auxiliar de almacenamiento, debiéndose prever un sistema de llenado de captadores para recuperar el fluido.

El sistema requiere utilizar un intercambiador de calor entre los captadores y el acumulador para mantener en éste la presión de suministro de agua caliente.

### ***3.2.4 Sistemas de drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados)***

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado al exterior cuando hay riesgo de heladas.

La inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m.

Este sistema no está permitido en los sistemas solares a medida.

## **3.3 Sobre calentamientos**

### ***3.3.1 Protección contra sobre calentamientos***

El sistema deberá estar diseñado de tal forma que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el

usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.

Cuando las aguas sean duras (contenido en sales de calcio entre 100 y 200 mg/l) se realizarán las previsiones necesarias para que la temperatura de trabajo de cualquier punto del circuito de consumo no sea superior a 60 °C, sin perjuicio de la aplicación de los requerimientos necesarios contra la legionella. En cualquier caso, se dispondrán los medios necesarios para facilitar la limpieza de los circuitos.

### ***3.3.2 Protección contra quemaduras***

En sistemas de agua caliente sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C deberá ser instalado un sistema automático de mezcla u otro sistema que limite la temperatura de suministro a 60°C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas. Este sistema deberá ser capaz de soportar la máxima temperatura posible de extracción del sistema solar.

### ***3.3.3 Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas***

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

### ***3.3.4 Resistencia a presión***

Se deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 12976-1.

En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

### ***3.3.5 Prevención de flujo inverso***

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

La circulación natural que produce el flujo inverso se puede favorecer cuando el acumulador se encuentra por debajo del captador, por lo que habrá que tomar, en esos casos, las precauciones oportunas para evitarlo.

En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

### ***3.3.6 Prevención de la legionelosis***

Se deberá cumplir, cuando sea de aplicación, el Real Decreto 865/2003, por lo que la temperatura del agua en el circuito de distribución de agua caliente no deberá ser inferior a 50 °C en el punto más alejado y previo a la mezcla necesaria para la protección contra quemaduras o en la tubería de retorno al acumulador. La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C. En consecuencia, no se admite la presencia de componentes de acero galvanizado.

## **3.4 Conexionado**

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en

serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

La superficie de una fila de captadores conexiónados en serie no será superior a 10 m<sup>2</sup>. En caso de algunos usos industriales y refrigeración por absorción, si estuviese justificado, podrá elevarse a lo máximo permitido por el fabricante. En el caso de ACS, el número de captadores conexiónados en serie no será superior a lo fijado en la sección H4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria) del Código Técnico de la Edificación.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

Se deberá prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador.

### 3.5 Estructura soporte

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de  $s_k$  (carga de nieve) y  $v_m$  (velocidad media de viento) de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4.

Esto deberá verificarse durante el diseño calculando los esfuerzos de la estructura soporte de acuerdo con estas normas.

El sistema sólo podrá ser instalado en localizaciones donde los valores de  $s_k$  y  $v_m$  determinados de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4 sean menores que los valores máximos especificados por el fabricante.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante.

Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

### 3.6 Tuberías

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

### 3.7 Bombas

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

### **3.8 Vasos de expansión**

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba.

Cuando no se cumpla el punto anterior, la altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

### **3.9 Purga de aire**

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

### **3.10 Drenaje**

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán en lo posible de forma que no puedan congelarse.

## **4 CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA**

### **4.1 Obligaciones y derechos del contratista**

Se entiende por Contratista a la parte contratante obligada a ejecutar la obra. Cuando dos o más empresas presenten solidariamente una oferta a la licitación de la obra, quedarán obligadas solidariamente. Así mismo, el Contratista, cuando sea necesaria su actuación o presencia según la contratación o pliego de cláusulas, podrá ser representado por un Delegado de Obra previamente aceptado por parte de la Dirección de la misma.

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento del Ingeniero Director y notificándole expresamente, la persona que, durante su ausencia le ha de representar en todas sus funciones.

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director, solo podrá presentarlas a través del mismo ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será, obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Por falta del cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de las obras, por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Director lo reclame.

El Contratista tiene derecho a sacar copias de los Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos de la contrata. El Director de la Obra, si el Contratista los solicita, autorizará las copias después de contratadas las obras.

### **4.2 Libro de órdenes**

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el Contratista el Libro de Órdenes, en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de Obra precise dar en el transcurso de la obra.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

### **4.3 Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución**

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir 24 horas de su iniciación. El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo éste dar acuse de recibo.

### **4.4 Condiciones generales de ejecución de los trabajos**

El Contratista debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contrato y de las faltas y defectos

que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por calidad deficiente de los materiales empleados o aparatos colocados.

#### **4.5 Trabajos defectuosos**

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

#### **4.6 Obras y vicios ocultos**

Si el Director tuviese razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos. Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario correrán a cargo del propietario.

#### **4.7 Materiales no utilizables o defectuosos**

No se procederá al empleo de materiales y equipos sin que antes sean examinados y aceptados por el Director, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas,... antes indicados serán a cargo del Contratista.

#### **4.8 Control de ejecución**

El instalador deberá presentar, con la debida antelación, los métodos y normas bajo las cuales realizará los trabajos, no comenzando ninguno de ellos, hasta no haber sido aprobado por la Dirección Facultativa. Durante el tiempo de ejecución la Dirección Facultativa, realizará las correspondientes inspecciones, comprobando tanto si los materiales son de la calidad de la ejecución, cumple las condiciones impuestas.

#### **4.9 Control de las pruebas**

El instalador dispondrá del equipo, material y técnico, para realizar las pruebas parciales definitivas necesarias. Dichas pruebas serán presentadas por escrito y por triplicado. La Dirección Facultativa, controlará dichas pruebas, para comprobar si la prestación realizada es satisfactoria o no. En caso de no serlo, el instalador deberá efectuar a su cargo todos los cambios y reparaciones necesarias para obtener unas pruebas satisfactorias.

Las pruebas serán efectuadas de acuerdo con las Normas vigentes al respecto.

#### **4.10 Pruebas parciales**

A lo largo de la ejecución deberán haberse hecho pruebas parciales, controles de recepción, etc., de todos los elementos que haya indicado la Dirección Facultativa. Particularmente todas las uniones o tramos de las tuberías, que por necesidades de la obra vayan a quedar ocultos, deberán ser expuestos para su inspección o expresamente aprobados antes de cubrirlos o colocar las protecciones requeridas.

#### **4.11 Pruebas finales**

Terminada la instalación, será sometida por partes o en su conjunto a las pruebas que se indican, sin perjuicio de aquellas que solicite la Dirección Facultativa de la instalación.

#### **4.12 Pruebas hidráulicas**

Las pruebas de estanquidad de redes de tuberías se ajustarán a lo indicado en la norma UNE 100-151-88.

#### **4.13 Pruebas de equipos de climatización**

Los equipos de climatización montados en fábrica no deberán someterse a otras pruebas específicas, entendiéndose que han sido sometidos a las mismas en fábrica, por lo que se suministrarán acompañados del correspondiente certificado de pruebas.

En caso de que por accidente, se escape el refrigerante, se tendrá que realizar su reposición, siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo y después de haber realizado las correspondientes pruebas de hermeticidad, secado y vacío.

#### **4.14 Pruebas de estanquidad de conductos de aire**

Terminada la instalación o parte de ella, y antes de que una red de conductos quede inaccesible debido a la colocación del aislamiento térmico, obras de albañilería o cierre del falso techo, se realizarán pruebas de resistencia estructural y de estanquidad para asegurar la perfecta ejecución de los conductos y sus accesorios y del montaje de los mismos.

Las pruebas de estanquidad de redes de tuberías se ajustarán a lo indicado en la norma UNE 100-104-88.

#### **4.15 Pruebas eléctricas**

Se realizará una comprobación del funcionamiento de cada motor eléctrico, del consumo de energía en las condiciones reales de trabajo y tensión, debiendo dar resultados correctos a juicio de la Dirección Facultativa de la instalación.

Antes de conectar los motores y equipos eléctricos, se realizará una medición de la resistencia del aislamiento a tierra y entre conductores, debiéndose obtener un valor no inferior a 750.000 ohmios. Una vez conectados los motores y equipos se volverá a medir la resistencia del aislamiento en la misma forma, debiéndose obtener un valor no inferior a 250.000 ohmios.

#### **4.16 Recepción provisional**

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la Obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la obra estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los



documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se entregará al Contratista.

#### **4.17 Plazo de garantía**

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de un año. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

#### **4.18 Recepción definitiva**

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica, en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Director de Obra y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

#### **4.19 Liquidación final**

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada, que indicará el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios. De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Entidad propietaria con el visto bueno del Director.

#### **4.20 Liquidación en caso de rescisión**

En este caso la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

## **5 CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA**

### **5.1 Base fundamental**

Como base fundamental de estas condiciones se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos efectuados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y a las condiciones generales y particulares que rijan la construcción de la instalación contratada.

### **5.2 Garantías**

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de que éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato, dichas referencias, si le son pedidas las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

### **5.3 Fianza**

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de las obras adjudicadas.

### **5.4 Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

### **5.5 Devolución de la fianza**

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

### **5.6 Precios contradictorios**

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

- El Adjudicatario formulará por escrito, bajo firma, el precio, que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.
- La Dirección estudiará el que, según su criterio, deba utilizarse.
- Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección Facultativa el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.
- Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la

segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por por otro adjudicatario distinto.

## **5.7 Reclamaciones de aumento de precios**

Si el Contratista antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrán bajo ningún pretexto de error y omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata.

Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato.

## **5.8 Revisión de precios**

No se debe admitir la revisión de los precios contratados, no obstante y dada la variedad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

## **5.9 Valoración de obras incompletas**

Cuando por consecuencia de rescisión y otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

## **5.10 Pagos**

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos prestamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

## **5.11 Suspensión por retraso de pagos**

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo del que les corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

## **5.12 Indemnización por retraso de los trabajos**

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras contratadas, será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

## 6 CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

### 6.1 Accidentes de trabajo y daños a terceros

En caso de accidentes ocurridos en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes establecen para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes en todos los lugares peligrosos de la obra.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

### 6.2 Causas de rescisión del contrato

Se considerarán causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos se ofrecieran llevar a cabo la obra, bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan derecho a indemnización alguna.

- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
  - La modificación del Proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio del Ingeniero Director y siempre que la valoración del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente, en más o menos del 10%, como mínimo, de algunas unidades del Proyecto modificadas.
  - La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o en menos del 40%, como mínimo, de las unidades del proyecto modificadas.
  - La suspensión de la obra comenzada y en todo caso, siempre que por causas ajenas a la Contrata, no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
  - La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.
  - El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del proyecto.
  - El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
  - La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
  - El abandono de la obra sin causa justificada.
  - La mala fe en la ejecución de los trabajos.