

Climatització de una piscina coberta mediante la combinació de energia solar tèrmica, geotermia y caldera de apoyo de biomasa.

MEMORIA

Autor: Jordi Noguera Sebastián
Director: Dr. Miguel Villarrubia López
Convocatòria: Juny-2011.



**Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia**

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
RESUM	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Acondicionamiento geotérmico de baja entalpía.....	8
1.2. Acondicionamiento solar térmico	10
1.3. Bomba de calor.....	12
1.3.1. Componentes.....	12
1.3.2. Funcionamiento de la bomba de calor	13
2. OBJETIVOS	16
3. NORMATIVA APLICABLE	17
4. CASO DE ESTUDIO Y UBICACIÓN.....	20
4.1. Ubicación geográfica.....	20
4.2. Descripción de la instalación	20
4.3. Datos climatológicos:	21
5. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	24
5.1. Demanda referida al agua de la piscina	24
5.2. Cálculo de la deshumidificación del aire.....	25
5.3. Pérdidas de calor del agua del vaso de la piscina	26
5.3.1. pérdidas por evaporación del agua del vaso	27
5.3.2. Pérdidas por radiación de calor de las piscinas	28
5.3.3. pérdidas por convección de calor	28
5.3.4. pérdidas por transmisión	29
5.3.5. Pérdidas por renovación del agua del vaso	29
5.3.6. Potencia necesaria para la puesta en marcha.....	30
5.4. Cálculo de calentamiento de ACS	31
5.5. Acondicionamiento del aire (por el método simplificado).....	32
5.5.1. Pérdidas de calor por cerramientos (paredes).....	32
5.5.2. pérdidas por ventilación.....	34
5.6. Resumen orientativo de cargas.....	35
5.7. Determinación precisa de la climatización para el aire del recinto.....	38
5.7.1. Cálculo del caudal de aire	38
5.7.2. Humedad específica de descarga	39

5.7.3.	Temperatura de mezcla y de descarga del aire en invierno.....	39
5.7.4.	Temperatura de mezcla y de descarga del aire en verano.....	41
5.7.5.	Cálculo de potencia y energía para el acondicionamiento del aire	42
5.8.	Medidas de ahorro energético.....	45
5.8.1.	Recuperación de calor del aire expulsado	45
5.8.2.	Recuperador con enfriamiento adiabático	50
6.	POSIBLES CONFIGURACIONES.....	55
7.	CARACTERIZACIÓN DE LAS DIFERENTES OPCIONES DE SUMINISTRO	58
7.1.	Instalación solar térmica.....	58
7.1.1.	Producción mediante sistemas solares activos	58
7.1.2.	Cálculo del aporte energético del agua.	58
7.1.3.	Rendimiento de los captadores.....	59
7.1.4.	Pérdidas por orientación e inclinación.....	60
7.1.5.	Energía aprovechada por el sistema.....	61
7.1.6.	Cálculo de la superficie de captación.....	61
7.1.7.	Radiación solar global.....	62
7.1.8.	Criterios generales de diseño	62
7.1.9.	Sistema de control.....	63
7.1.10.	Volumen de acumulación	63
7.1.11.	Sistema de intercambio	64
7.1.12.	Caudal del circuito primario	64
7.1.13.	Dimensionado de la bomba	64
7.1.14.	Cálculo de tuberías	65
7.2.	Instalación geotérmica.....	67
7.2.1.	Circuito de intercambio geotérmico (UGI).	69
7.2.2.	Bomba de calor	73
7.2.3.	Sistema de distribución de calor	74
7.3.	Sistema de apoyo.....	75
7.3.1.	Calefacción eléctrica.....	75
7.3.2.	Caldera de condensación de gas natural	76
7.3.3.	Caldera de pellets.....	76
7.3.4.	Caldera de biomasa	77
7.3.5.	Caldera de residuos	78
8.	ESTUDIO ECONÓMICO	79

8.1.	Evaluación de la instalación solar térmica.....	79
8.2.	Evaluación de la instalación geotérmica.....	80
8.3.	Evaluación del sistema se apoyo.....	81
9.	ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN.....	82
10.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	83
10.1.	Colectores.....	83
10.2.	Acumulador de agua	85
10.3.	Pérdidas por orientación.....	85
10.4.	Sistema de intercambio	85
10.5.	Dimensionado de la bomba	86
10.6.	Cálculo de tuberías	86
10.6.1.	Pérdidas por accesorios	86
10.6.2.	Pérdidas por tramos rectos.....	87
10.6.3.	Pérdidas por la maquinaria	88
11.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.....	89
11.1.	Deshumidificador con recuperación y enfriamiento adiabático.....	89
11.2.	Colectores enterrados.....	90
11.3.	Acumulador de calor	90
11.4.	Sistema de tuberías	90
11.4.1.	Pérdidas por accesorios	90
11.4.2.	Pérdidas por tramos rectos.....	91
11.4.3.	Pérdidas por la maquinaria	91
11.4.4.	Otros.....	91
11.5.	Bombas de calor del agua de la piscina	92
11.6.	Bombas de calor del agua de ACS.....	92
11.7.	Sistema de control central.....	92
12.	DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA DE APOYO.....	94
12.1.	Consumo de combustible estimado.....	95
13.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	98
13.1.	Presupuesto	98
13.2.	Viabilidad económica	99
13.3.	Estudio comparativo.....	102
14.	IMPACTO AMBIENTAL.....	103
14.1.	Emisiones de CO2.....	103

14.1.1.	Caldera:.....	103
14.1.2.	Geotermia y solar-térmica	104
14.1.3.	Aprovechamiento geotérmico	104
15.	CONCLUSIONES.....	105
16.	BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS		109
ANEXO 1: Planos		110
ANEXO 2: Diagrama Psicrométrico.....		117
ANEXO 3: Tabla de Humedades Relativas.....		119
ANEXO 4: Fichas Técnicas		122

RESUMEN

En el presente proyecto se evaluarán las diferentes alternativas a la hora de climatizar una piscina municipal cubierta a 25°C el agua de la piscina y 27°C y 65% humedad el aire del recinto. Se plantean diversos escenarios técnico-económicos, partiendo de un mix compuesto por una instalación geotérmica, una de solar térmica y para cubrir puntas de demanda energética una caldera de gas natural, tras realizar el estudio económico el mix es 40-40-20% respectivamente.

Para poder plantear esas alternativas, en la primera parte del proyecto se calculan las necesidades energéticas del recinto (344kW), tanto del vaso de la piscina (96kW) como el ACS (137kW) y el aire (111kW para calefacción del aire del recinto y 25kW en refrigeración), y caracterizar la demanda energética del mismo. Para ello, se estudian los recursos solares y geotérmicos de una ubicación de referencia. La demanda anual de energía asciende a 834MWh.

A continuación se plantea la distribución de las instalaciones, la de deshumidificación con recuperación de calor y enfriamiento adiabático con bomba de calor agua-aire, la solar consta de 341m² de captadores que cubren 138kW. La geotermia consta de 860m de tubos captadores de 2" con sus bombas de calor asociadas. Y por último, una caldera de cáscara de almendra de 160kW, que cubre el 22% de la energía anual y con un volumen en combustible de 15tn.

Otro aspecto importante de este proyecto, y escogida la mejor opción, es la evaluación económica del mismo, detallando el presupuesto que asciende a 103.790€, y se plantean diversos escenarios económicos demostrando su viabilidad económica frente a instalaciones con gas natural y eléctrica.

Por último se realiza el impacto ambiental del mismo ya que se emiten 4tn de CO₂ por la combustión de las cáscaras de almendra y supone un ahorro de 82,5tn al no usar G.N. ni electricidad. Además el aprovechamiento geotérmico es de un 75%.

RESUM

En el present projecte s'avaluaran les diferents alternatives a l'hora de climatitzar una piscina municipal coberta a 25 ° C l'aigua de la piscina i 27 ° C i 65% humitat l'aire del recinte. Es plantegen diversos escenaris tècnic-econòmics, partint d'un mix compost per una instal·lació geotèrmica, una de solar tèrmica i per cobrir puntes de demanda energètica una caldera de gas natural, després de fer l'estudi econòmic el mix és 40-40-20% respectivament.

Per poder plantejar aquestes alternatives, en la primera part del projecte es calculen les necessitats energètiques del recinte (344kW), tant del vas de la piscina (96kW) com el ACS (137kW) i l'aire (111kW per a calefacció de l'aire del recinte i 25Kw en refrigeració), i caracteritzar la demanda energètica. Per a això, s'estudien els recursos solars i geotèrmics d'una ubicació de referència. La demanda anual d'energia puja a 834MWh.

A continuació es planteja la distribució de les instal·lacions, la de deshumidificació amb recuperació de calor i refredament adiabàtic amb bomba de calor aigua-aire, la solar consta de 341m² de captadors que cobreixen 138kW. La geotèrmia consta de 860m de tubs captadors de 2" amb les seves bombes de calor associades. I finalment, una caldera de closca d'ametlla de 160kW, que cobreix el 22% de l'energia anual i amb un volum en combustible de 15tn.

Un altre aspecte important d'aquest projecte, i escollida la millor opció, és l'avaluació econòmica d'aquest, detallant el pressupost que ascendeix a 103.790 €, i es plantegen diversos escenaris econòmics demostrant la seva viabilitat econòmica enfront de instal·lacions amb gas natural i elèctrica.

Finalment es realitza l'impacte ambiental del mateix ja que s'emeten 4tn de CO₂ per la combustió de les closques d'ametlla i suposa un estalvi de 82,5 tones al no usar GN ni electricitat. A més l'aprofitament geotèrmic és d'un 75%.

ABSTRACT

In this project will assess the different alternatives at the time of heat an indoor municipal pool at 25 °C water of the pool and 27 °C and 65% air humidity of the enclosure. Raised various technical and economic scenarios, based on a mix made up of a geothermal plant, a solar thermal and energy demand peaks cover a natural gas boiler, after conducting the economic study the mix is 40-40-20% respectively .

To raise these alternatives, in the first part of the project are estimated energy needs of the enclosure (344kW), both the glass of the pool (96kW) and the ACS (137kW) and air (111kW heating and room air 25kW refrigeration), and characterization of the energy demand. To this end, we study solar and geothermal resources of a reference location. The annual energy demand amounts to 834MWh.

Then there is the distribution of facilities, dehumidification and heat recovery with adiabatic cooling-water heat pump air, comprises of 341m² solar collectors covering 138kW. Geothermal pipe consists of 860m sensors of 2" with its associated heat pumps. And finally, a shell boiler 160kW kernel, which covers 22% of the annual energy and a fuel volume of 15tn.

Another important aspect of this project and have chosen the best option is the economic evaluation itself, detailing the budget amounting to 103,790€, and raises various economic scenarios to demonstrate its economic viability versus natural gas installations and electrical.

Finally, we performed the same environmental impact as 4TN CO² emitted by burning the shells of almonds and a saving of 82.5 tn by not using N.G. or electricity. In addition, the geothermal utilization is 75%.

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realiza un estudio técnico-económico sobre la climatización de una piscina municipal cubierta. Para una piscina cubierta semi-olímpica de uso público media de 25 m x 16 m a una temperatura de 27°C el consumo energético puede ser superior a los 300 MWh al año, dependiendo del clima del lugar en el que se ubique, según Ciatesa.

Para reducir este uso tan intensivo de energía es preciso incorporar tecnologías que, manteniendo las condiciones de confort, no consuman tanta energía. En este caso, se plantea la posibilidad de incorporar diversas tecnologías como son la solar térmica y la geotermia, reservando tan solo el uso de una caldera, para los picos de demanda energética, como se estudiará posteriormente.

1.1. Acondicionamiento geotérmico de baja entalpía

La energía geotérmica es aquella que se puede obtener mediante el aprovechamiento de calor del interior de la Tierra. Existen diferentes tipos de geotermia, como son, las de baja, media o alta entalpía. En esta últimas se puede llegar a obtener electricidad. Este tipo de tecnología se diferencia de varias energías renovables en que es previsible, disponible en casi cualquier lugar y su aporte energético es constante.

Pero en nuestro caso nos centraremos en la geotermia de baja temperatura. Esta se puede aprovechar de forma discrecional, ya que no precisa encontrarse en un enclave geológico de gran actividad. El subsuelo posee la capacidad de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre los 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año. A continuación se representa cómo varía la temperatura del subsuelo con la profundidad en diferentes épocas del año, siendo:

- Azul: En invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10 °C.
- Roja: En verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura descienrde hasta los 10 °C.
- Verde y amarilla: En primavera y otoño las variaciones son menores, llegandose a alcanzar, en profundidad, el mismo valor de 10 °C

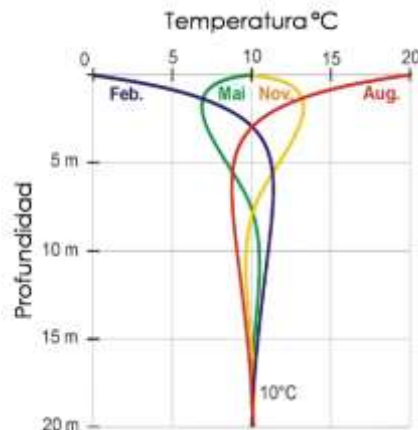


Fig 1. Variación de la temperatura del subsuelo con la profundidad [edición: girod-geotermia]

Los recursos geotérmicos de baja entalpía tienen las siguientes aplicaciones:

- producción de agua caliente sanitaria (ACS) en cualquier vivienda, equipamientos, oficina, industria, comercio...
- climatización de edificios, industrias y parques agrarios.

La captación se realiza mediante colectores, por los cuales circula un fluido portador, normalmente agua glicolada que cede o capta calor del subsuelo. También es posible extraer las aguas subterráneas para intercambiar calor.

A continuación expondremos algunas ventajas del empleo de esta tecnología:

- No tiene torres de refrigeración ni aeroventiladores (fan-coils)
- Necesidades de espacio reducidas
- Vida superior del equipo y de los sondeos de mínimo de 50 años
- Robustez y fiabilidad mecánica
- Compatible y adicional a otras EERR

- Bajo coste de mantenimiento
- Bajo coste de operación
- Ahorra un hasta un 70% de la energía de calefacción
- Ahorra un hasta un 50% de la energía de refrigeración
- Trabaja en circuito cerrado evitando un consumo continuado de agua
- Reduce emisiones de CO₂ o de contaminantes
- Bajo nivel de ruido

Ahora expondremos los inconvenientes:

- Elevado inversión inicial: amortización de 5 a 15 años en función de la instalación
- Limitación de la temperatura de uso: 55°C - 65°C
- Ocupación y afección del terreno
- Problemas durante la fase de obras:
 - Enturbiamiento, espumas y lodos
 - Escorrentías
 - Ruidos

1.2. Acondicionamiento solar térmico

Debido a que la temperatura a alcanzar no es muy elevada, la situación geográfica y la legislación vigente, el empleo de la tecnología de energía solar térmica para piscinas son actualmente muy utilizadas. Los colectores solares suelen situarse sobre el techo de la piscina y permiten cubrir la demanda de base de la instalación, especialmente en los meses de más calor. Se suele utilizar colectores de polipropileno en los que puede circular el propio agua de la piscina, obteniendo así sistemas directos en los que el agua a calentar es a su vez el fluido de trabajo.

Según datos de IDEA, la climatización supone más de un 60% del consumo energético de edificios en España, por tanto el empleo de energías renovables podrá reducir el consumo así como las emisiones de dióxido de carbono y contaminantes derivados de la combustión de combustibles fósiles, como ahora los NO_x entre otros.

Pero no solo se puede aprovechar para calefacción sino también para refrigeración, esta consiste en el aprovechamiento térmico de la radiación solar para generar una potencia frigorífica. Existen varias maneras de obtener refrigeración a través de placas solares térmicas las más conocidas son las de absorción y las de adsorción.

La absorción se basa en la capacidad que tienen algunas sustancias, por ejemplo el bromuro de litio, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias como el amoníaco y el agua, respectivamente. La tecnología de adsorción se basa en reacciones físico-químicas entre un refrigerante y un absorbente, sólo que estas trabajan con un adsorbente sólido (silicagel) y en las máquinas de absorción se utiliza un absorbente líquido.

Normalmente se diseñan sistemas que aprovechan la energía solar para combinaciones de los diferentes sistemas como refrigeración solar, ACS, calefacción agua de la piscina, sacando así mucho más rendimiento de los captadores solares.

El aprovechamiento de esta energía para producir climatización de verano mediante la máquina de absorción y calefacción en invierno, es una de las soluciones más simples en cuanto a diseño y que más se asocia a los objetivos del proyecto, basta con incorporar un circuito que transporte el agua caliente, proveniente de los captadores o del acumulador, (sin que esta pase por la máquina de absorción) hasta los dispositivos terminales (fan-coil o suelo radiante por ejemplo).

Para cubrir las puntas de demanda de calor que la solar térmica no pueda ser cubierta se instala una caldera, tradicionalmente de gas natural. Esta caldera auxiliar puede estar colocada antes o después del acumulador, si se coloca antes del acumulador dará soporte a la calefacción y a la refrigeración, mientras que si se coloca después del acumulador solo dará soporte a la calefacción.

1.3. Bomba de calor

Los fabricantes de bombas de calor geotérmicas dan los datos de potencias, consumos y COP (rendimiento), con estos datos se ajustará el consumos y rendimientos a partir del ciclo real de funcionamiento. La bomba de calor transporta calor de una zona de baja temperatura a otra con temperatura mayor. Según el modo de funcionamiento en que se quiera que funcione (calefacción o refrigeración). Para este proyecto se entiende por fuente de calor el terreno en invierno y como sumidero la vivienda mientras que en verano es al revés. A continuación se describen los componentes y el funcionamiento de la bomba de calor.

1.3.1. Componentes

Evaporador: El fluido geotermal recibe el calor del foco frío, con este aporte energético el fluido evapora llegando a ser vapor saturado. Este aporte de calor al refrigerante se realiza a temperatura y presión constante (de forma ideal).

Compresor: Consumiendo electricidad por medio de un motor el fluido aumenta su presión y temperatura procedente del evaporador para adecuar esas condiciones para poder llegar a pasar de gas a líquido en el condensador.

Condensador: Manteniendo una temperatura y presión aproximadamente constante, mediante una pérdida de calor en la condensación del fluido se consigue que el refrigerante pase al estado de líquido saturado. Esta pérdida de calor cede energía al exterior.

Válvula de expansión: El fluido pierde presión y temperatura en la válvula de expansión para volver así a su estado inicial y poder repetir el ciclo de nuevo. Por medio de la válvula se consigue cambiar el modo de funcionamiento de la bomba entre verano e invierno por medio de una válvula de 4 vías.

Otros componentes: Aparte de esos cuatro componentes principales son necesarios otros elementos como por ejemplo un depósito de inercia que acumula calor, además de un vaso de expansión que se utiliza en el circuito de

calefacción para absorber el aumento de volumen que se que ocurre al expandirse el fluido por el calentamiento. Además también hay bombas de recirculación que permiten el movimiento del fluido por el equipo. También se instalan diversas válvulas caudalímetros y manómetros por motivos de seguridad.

1.3.2. Funcionamiento de la bomba de calor

- Ciclo de calefacción:

1. El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico.
2. En el condensador, situado en el interior del edificio a calentar, el fluido cede el calor al medio.
3. El fluido en estado líquido y a alta presión y temperatura se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura. Se evapora en parte.
4. En el evaporador situado en el exterior, el fluido completa su evaporación absorbiendo calor del exterior.
5. Retorna al compresor a través de una válvula de cuatro vías, iniciando el ciclo de nuevo.



1. Compresor
2. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
3. Válvula de expansión
4. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
5. Válvula de 4 vías

Figura 2: Esquema del ciclo de calefacción.

- Ciclo de refrigeración:

1. El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico tras pasar por la válvula de 4 vías.
2. En el condensador, situado en el interior del edificio a calentar, el fluido cede el calor al medio.
3. El fluido en estado líquido y a alta presión y temperatura se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura. Se evapora en parte.
4. En el evaporador situado en el exterior, el fluido completa su evaporación absorbiendo calor del exterior.
5. Retorna al compresor a través de una válvula de cuatro vías, iniciando el ciclo de nuevo.

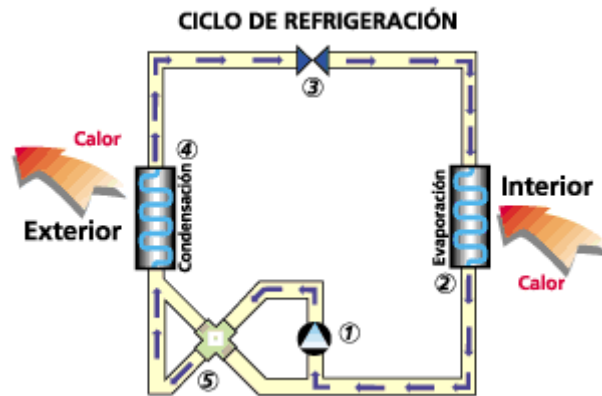


Figura 3: Esquema del ciclo de refrigeración.

Para poder calcular la energía involucrada y el rendimiento (COP) es preciso conocer los balances de energía en cada etapa y viendo el ciclo dentro de un diagrama P-h. Estudiaremos el ciclo ideal en primer lugar:

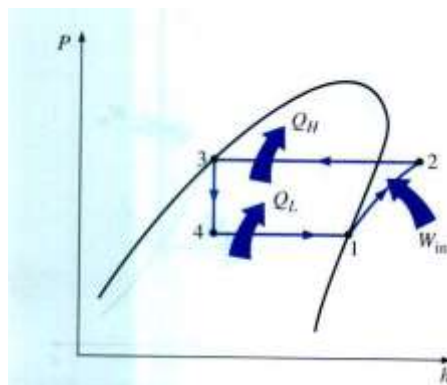


Figura 4: Esquema del ciclo ideal en un diagrama P-h.

Las ecuaciones de cada etapa son:

- Trabajo del compresor:

$$\dot{W}_{\text{Compresor}} = \dot{m}h_2 - \dot{m}h_1$$

- Calor entregado:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}h_2 - \dot{m}h_3$$

- Válvula de expansión:

$$\dot{m}h_2 = \dot{m}h_3$$

$$h_2 = h_3$$

- Calor extraído:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}h_1 - \dot{m}h_4$$

- BALANCE:

$$W + \dot{Q}_L = \dot{Q}_H$$

Los calores tanto extraído como absorbido se expresa en kW, la entalpía (h) en kJ/kg y el flujo másico (\dot{m}) en kg/s. Por el contrario, el ciclo real se asemeja al siguiente, donde podemos ver diversas pérdidas:

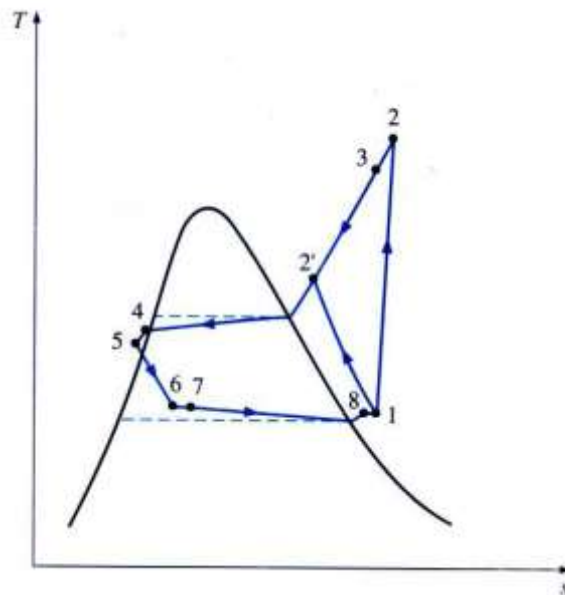


Figura 5: Esquema del ciclo real en un diagrama T-s.

En estas condiciones reales hay que calcular el rendimiento del compresor:

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

2. OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales del presente proyecto serán los siguientes:

En primer lugar se expondrá la normativa aplicable, principalmente desde un punto de vista energético. Otro objetivo central será conocer las necesidades energéticas de una piscina municipal media, tomando como referencia la situada en la c/ San Pere 119 de Gavà (Barcelona). Dentro de este objetivo se calcularán las cargas térmicas, las necesidades de deshumidificación, de renovación de aire, la potencia necesaria a instalar y la demanda anual de energía.

Una vez conocidas estas necesidades energéticas, se plantearán las diferentes alternativas técnicas profundizando en un mix formado por una instalación geotermia, solar térmica y para cubrir puntas de consumo emplear una caldera.

Por tanto, será preciso conocer los recursos solares y geotérmicos de esa ubicación y plantear diferentes escenarios técnicos de cubrimiento de la demanda.

A partir de ese estudio de recursos se describirán tanto las instalaciones de geotermia como las de solar térmica y de las del combustible para la caldera. También se conocerán las bombas bomba de calor, deshumidificador, caldera, etc.

Conocidas ya las diversas instalaciones se realizará uno de los pilares del presente proyecto como es la evaluación económica del mismo, detallando diversos escenarios económicos y el presupuesto de la opción situada en el óptimo económico. También se detallarán los beneficios, o no, ambientales de esta instalación frente a otras.

Por último y a parte de los diversos anexos con fichas técnicas, planos, diversas tablas, etc. se describirán las conclusiones alcanzadas tras realizar el proyecto analizando los diferentes aspectos técnicos, medio ambientales y económicos.

3. NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable tiene un amplio abanico de legislación y regulación ya que abarca desde la relativa a piscinas en Catalunya, la geotermia y la solar térmica.

Por tanto, en primer lugar trataremos lo relativo a las piscinas de uso público:

- Decreto 95/2000, de 22 de febrero, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a piscinas de uso público.
- Fichas técnicas de la Secretaria General d'Esports (POC) para piscinas cubiertas (ref. 23).
- Normas NIDE 3 del Consejo Superior de Deportes, actualmente solo es un manual de recomendación, ya que estas normas han sido sustituidas por el RITE.
- Código Técnico de Edificación (Real Decreto 314/2006 del 17 de Marzo. CTE).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (Real Decreto 1027/2007 del 20 de Julio. RITE-ITE 10.2):

Las principales prescripciones del reglamento RITE se relatan a continuación:

1. El consumo de energías convencionales para el calentamiento de piscinas está permitido solamente cuando estén situadas en locales cubiertos.
2. La temperatura del agua del vaso será la que se indica en la tabla que figura a continuación, según el uso principal de la piscina. La temperatura del agua se medirá en el centro de la piscina y a unos 20 cm por debajo de la lámina de agua.

Tabla 1: Temperatura del agua de las piscinas

Uso principal		Temperatura del agua (°C)
público	recreo	25
	chapoteo	24
	enseñanza	25
	entrenamiento	26
	competición	24
privado		25-26

La tolerancia en el espacio, horizontal y verticalmente, de la temperatura del agua no podrá ser mayor que ± 1 °C. Para el control de la temperatura del agua se dispondrá una sonda de temperatura en el retorno de agua al cambiador de calor y un termostato de seguridad dotado de rearme manual en la impulsión que enclave el sistema de generación de calor. La temperatura de tarado del termostato de seguridad será, como máximo, 10 °C mayor que la temperatura máxima de impulsión.

3. La temperatura seca del aire del local será entre 2 C y 3°C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 C y un máximo de 28°C. La humedad relativa del ambiente se mantendrá entre el 55% y el 70%.

Para evitar condensaciones sobre las paredes frías del local de la piscina puede utilizarse el aire exterior. Este aire debe ser calentado antes de ser introducido en el local y el calor del aire expulsado debe ser recuperado por los medios que el proyectista considere oportunos.

Alternativamente, el mantenimiento de la humedad relativa del ambiente dentro de los límites anteriormente indicados puede lograrse por medio de una bomba de calor, enfriando, deshumedeciendo y recalentando el mismo aire del ambiente.

El uso de energías convencionales para estos fines debe restringirse a suplementar el calor necesario para el aire mínimo de ventilación y las pérdidas por transmisión.

El uso de recuperadores o bombas de calor no es obligatorio para piscinas cubiertas con pileta cuya capacidad sea menor que 80 m^3 o cuya superficie de agua sea menor que 50 m^2 .

4. El cálculo de la potencia térmica necesaria a régimen para calentar el agua de la piscina se efectuará teniendo en cuenta las siguientes pérdidas:

- por transferencia de vapor de agua al ambiente:
 - desde la superficie del agua
 - desde el suelo mojado alrededor de la piscina
 - desde el cuerpo de las personas mojadas
- por convección de la superficie de agua del vaso.
- por radiación de la superficie de agua hacia los cerramientos.
- por conducción a través de las paredes del vaso.
- por renovación del agua del vaso.

El equipo productor de calor se dimensionará para las condiciones de régimen de funcionamiento. En consecuencia, para la puesta en régimen de la temperatura del agua al comienzo de la estación se admitirá una duración de varios días, dependiendo de la temperatura al comienzo del arranque.

4. CASO DE ESTUDIO Y UBICACIÓN

En este apartado enunciaremos los datos necesarios para hacer un correcto diseño y dimensionado de la piscina municipal, detallando la situación geográfica, las dimensiones de los recintos habilitados y de los usos que se les da.

4.1. Ubicación geográfica

Para una mayor verosimilitud del presente proyecto se tomará como referencia la piscina municipal "Diagonal" situada en el municipio de Gavà (Barcelona), las coordenadas exactas son: latitud: 41° 18' 11,5"N, longitud: 1° 59' 45,2"E.



Figura 6: fotografía aérea del emplazamiento.

4.2. Descripción de la instalación

La instalación está compuesta por diferentes recintos¹, la superficie de la cubierta total es de 1538m², y el volumen total de 8736m³, a continuación detallamos cada uno:

En el recinto piscinas:

- Local:
 - Largo: 40 m.
 - Ancho: 20m.
 - Alto: 7m.
- Vaso piscina principal semi-olímpica: 25 x 16 x 2,5 m.

¹ Para clarificar cada recinto, véase el plano 2, donde se detallan.

- Superficie de la lámina: 400 m²
- Volumen de agua: 600 m³
- Vaso piscina pequeña: 16 x 8 x 1 m.
 - Superficie de la lámina: 128 m²
 - Volumen de agua: 128 m³
- 2 saunas de 3 x 2 x 3 m cada una.
- 2 jacuzzis de 1,5 x 2 x 1m cada uno.

En otro recinto:

- Sala polivalente de 12 x 10 x 7m.

Por último:

- Recepción: 18 x 10 x 7 m.
- 1 vestuario de: 4 x 7 x 3m.
- 2 vestuarios de: 6 x 7 x 3m.
- 3 vestuarios de: 8 x 7 x 3m.
- Salas de mantenimiento, oficinas y pasillos: 26 x 3 x 3 m.

El aforo máximo es de 70 bañistas. Se tomará este valor para el dimensionado, ya que el gran número de socios alcanza en una alguna ocasión esta cifra, aunque la mayor parte del tiempo no se dé.

4.3. Datos climatológicos:

En primer lugar es importante conocer las temperaturas medias ambientales medias de cada estación y la máxima, media y mínima del agua en la localidad de la instalación.

Tabla 2: temperatura ambiental media y temperatura del agua. [fuente: Ayuntamiento de Gavà]

Temperatura media del aire(°C)	Temperatura del agua (°C)
Primavera: 15,2	Mínima de febrero: 12,7
Verano: 24	Máxima de julio: 25,7
Otoño :18,5	Media anual: 18,6
Invierno: 11,2	

También será necesario el número de horas de sol al día, y a su vez, las de lluvia al día para cada mes:



Figura 7: promedio de días de lluvia y horas de sol al día en Gavà para cada mes. [Fuente y infografía: Ayuntamiento de Gavà].

La temperatura media del agua es:

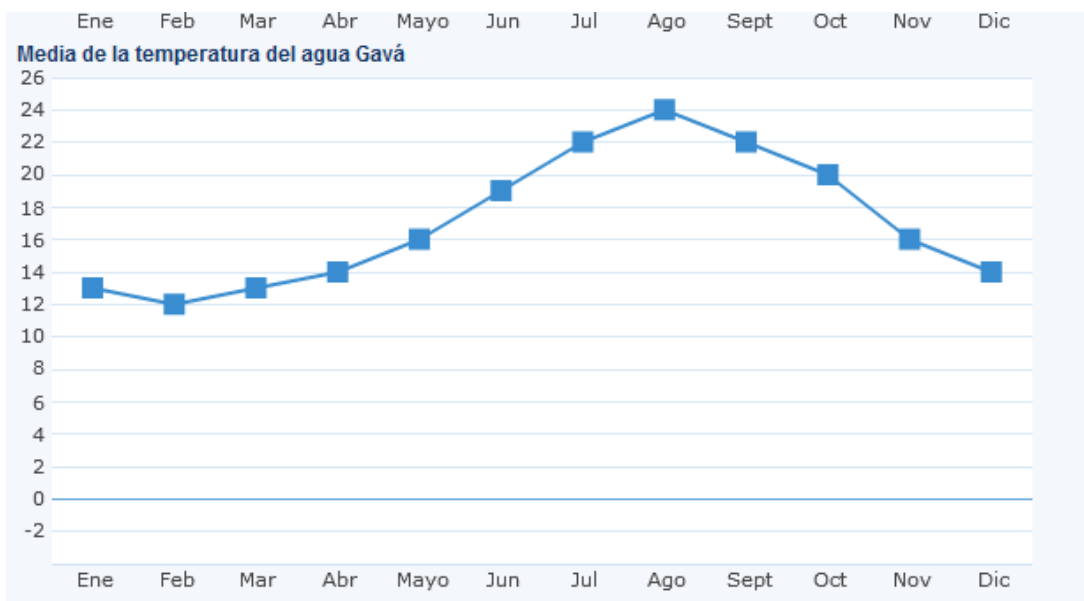


Figura 8: temperatura media del agua en Gavà. [Fuente e infografía: Ayuntamiento de Gavà].

Los datos de temperatura mínima y máxima del aire, la humedad relativa y la irradiancia diaria global se expone a continuación:

Tabla 3: Temperaturas media, máximas y mínimas, humedad relativa media mensual y radiación global para un año tipo. [Fuente: Estación Meteorológica Automática de Viladecans². Servei Meteorològic de Catalunya].

Mes	T ^a mínima (°C)	T ^a máxima (°C)	T ^a media (°C)	Humedad relativa media (%)	Irradiación global diaria (MJ/m ²)
Enero	6,0	19,2	15,6	77	7,5
Febrero	6,9	19,2	15,4	78	9,0
Marzo	7,2	20,6	16,9	67	14,1
Abril	9,7	23,2	19,1	71	19,5
Mayo	13,3	25,2	21,6	73	19,6
Junio	16,6	31,9	26,1	69	25,1
Julio	19,6	31,3	28,6	69	25,8
Agosto	20,6	32,3	29,0	67	21,2
Septiembre	17,6	31,0	25,9	67	16,1
Octubre	13,6	25,4	21,8	74	10,5
Noviembre	7,3	21,5	16,6	67	7,8
Diciembre	5,2	18,4	13,1	72	5,9
ANUAL	12,0	32,3	20,8	71	15,2

² Se ha tomado los datos estadísticos de la estación de Viladecans, puesto que es la más próxima a la zona de la instalación, aproximadamente 3 km y se encuentra a una altura similar.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En un proyecto de este tipo es preciso tener en cuenta diversos aspectos para poder climatizar adecuadamente el recinto, por ello tendremos en cuenta tres aspectos a acondicionar térmicamente, en primer lugar el agua de las piscinas, después el ACS y por último, la climatización del aire del recinto.

5.1. Demanda referida al agua de la piscina

En primer lugar, es necesario tener presente que en el recinto hay una fuerte evaporación. Como consecuencia de ello la obtención de unas condiciones de confort adecuadas evitando condensaciones, que son los dos objetivos de este tipo de instalaciones, para ello se deberá analizar los siguientes aspectos:

- Conseguir la temperatura y humedad ambientales adecuadas.
- El mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de piscina.
- Garantizar el aire de ventilación mínimo higiénico.
- Evitar las corrientes de aire en la zona de ocupación y sobre la lámina de agua.
- Evitar que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.

En cuanto a la temperatura del aire ambiente, la del agua y la humedad ambiental seguiremos la normativa aplicable expuesta en el apartado 3 del presente proyecto. Como los usos de la piscina municipal, son diversos, deportistas en competición, recreo, infantil, mayores de 65 años, embarazadas, etc., por ello se tomarán como condiciones de confort las siguientes:

Tabla 4: Condiciones de confort.

Condiciones de confort	Temperatura (°C)
Temperatura del agua	25 °C
Temperatura del aire	27 °C
Humedad relativa	65%

A continuación se realizarán todos los cálculos necesarios para poder conocer la demanda energética y poder posteriormente dimensionar los equipos mas adecuados:

5.2. Cálculo de la deshumidificación del aire

La evaporación en la lámina de agua será mayor cuando la ocupación de la piscina sea mayor. Además si la velocidad del aire es grande, también se favorece este fenómeno, al igual que las paredes y bañistas mojados. También el calor latente de los bañistas y del público así como el aire exterior usado para ventilar ya que puede contener más humedad que el aire interior.

De las diversas ecuaciones aplicables para el cálculo de la deshumidificación, se ha escogido la de Bernier para piscinas cubiertas, ya que contempla la suma de dos términos:

- piscina sin agitación (coeficiente 16)
- piscina con ocupación (coeficiente $133 \cdot n$)

$$M_e = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (W_e - G_a \cdot W_{as})] + 0,1 \cdot N$$

Donde:

M_e = masa de agua evaporada (kg/h)

S = superficie de piscinas³ (m^2): $540 m^2$

W_e = humedad absoluta del aire saturado a la T^a del agua (kg_{agua} / kg_{aire}): a $25^\circ C \rightarrow 0,0200 kg_{agua} / kg_{aire}$ [tabla 5].

W_{as} = humedad absoluta del aire saturado a la T^a del aire interior (kg_{agua} / kg_{aire}): $27^\circ C \rightarrow 0,0225 kg_{agua} / kg_{aire}$ [tabla 5].

G_a = grado de saturación: 65%

n = nº de nadadores por m^2 de superficie de lámina de agua⁴: $70 \text{ bañ} / 540 m^2$

N = nº total de ocupantes (espectadores): se tomará como 60 si se considerara el número de padres de dos clases de estudiantes.

³ En la superficie de piscinas se incluye el de los *jacuzzis*.

⁴ Para calcularlo se ha tomado el número de bañistas como el máximo de la piscina.

Los valores de las humedades absolutas del aire saturado son:

Tabla 5: Humedad absoluta del aire saturado.

T °C	Humedad absoluta: W (Kg AGUA / Kg AIRE)
20	0,0147
21	0,0155
22	0,0165
23	0,0177
24	0,0187
25	0,0200
26	0,0213
27	0,0225
28	0,0240
29	0,0255
30	0,0270

En nuestro caso, aplicando la ecuación expuesta anteriormente:

$$M_e = 540m^2 \cdot \left[\left(16 + 133 \cdot \frac{70}{540m^2} \right) \cdot \left(0,02 \frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AIRE}} - 0,65 \cdot 0,0225 \frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AIRE}} \right) \right] + 0,1 \cdot 60$$

$$M_e = 102,48 \frac{Kg_{AGUA}}{h}$$

Por tanto, es conveniente que la temperatura del agua no sea excesivamente alta y que la temperatura del aire sea siempre mayor que la del agua para que la evaporación y las condiciones de confort sean las adecuadas. Puesto que cuanto mayor sea la temperatura del agua será mayor su humedad absoluta en la saturación y como consecuencia aumentará la cantidad de agua evaporada, en las mismas condiciones del aire ambiente.

5.3. Pérdidas de calor del agua del vaso de la piscina

Para poder mantener la temperatura del vaso es preciso conocer las diferentes pérdidas de calor provocando el siguiente balance de energía:

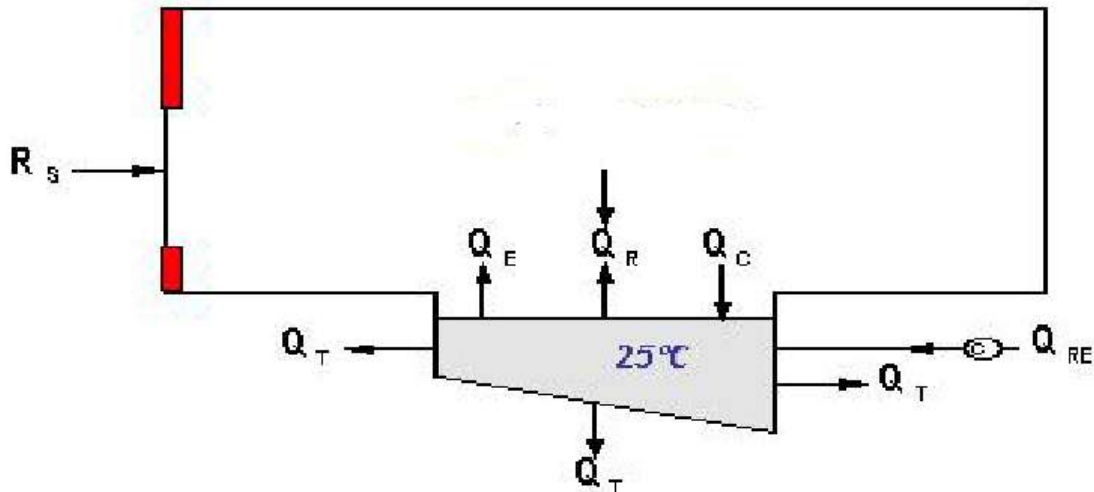


Figura 9: esquema de los aportes de calor y las pérdidas en la piscina.

Q_E = pérdidas por evaporación del agua del vaso

Q_R = pérdidas por radiación de calor

Q_C = pérdidas por convección de calor

Q_T = pérdidas por transmisión

Q_{RE} = pérdidas por renovación del agua del vaso

A continuación se analizan cada uno de estos tipos de pérdidas:

5.3.1. pérdidas por evaporación del agua del vaso

El agua al evaporarse del vaso de la piscina, absorbe calor enfriamiento el resto del agua y bajando la temperatura del agua del vaso. Por tanto, cuanto mayor sea la evaporación mayor será el enfriamiento del agua del vaso. Para calcular las pérdidas por evaporación emplearemos la siguiente ecuación:

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

Siendo el calor de vaporización del agua (C_{vap}) para una temperatura de 25°C igual a 677,8 Wh/kg.

$$Q_e = 540m^2 \cdot \left(16 + 133 \cdot \frac{70}{540}\right) \cdot \left(0,02 \frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AIRE}} - 0,65 \cdot 0,0225 \frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AIRE}}\right) \cdot 667,8 \frac{Wh}{kg}$$

$$Q_e = 64.430,18 W$$

5.3.2. Pérdidas por radiación de calor de las piscinas

Para calcular las pérdidas que el vaso de la piscina por radiación se utiliza la fórmula de Stefan-Boltzmann. Estas dependen de la diferencia entre la temperatura media del agua y de los cerramientos los cerramientos y la del agua.

$$Q_{rad} = S_{vas} \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{pisc}^4 - T_{rec}^4)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan-Boltzmann: $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ε_a : Emisividad del agua: 0,95

T_{pis} : Temperatura del agua: 298K

T_{rec} : Temperatura del recinto: 296 K

S_{vas} : Superficie de los vasos de las piscinas: 540 m^2

En nuestro caso:

$$Q_{rad} = 540\text{m}^2 \cdot 0,95 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot (298^4 - 296^4)\text{K}^4 = \mathbf{6.220,26 \text{ W}}$$

La diferencias de temperaturas son muy próximas, por ello las pérdidas por radiación son relativamente pequeñas.

5.3.3. pérdidas por convección de calor

Las pérdidas por convección son también pequeñas por el mismo motivo que en el caso de las de radiación. Además, se da el caso de tener una ganancia en lugar de pérdidas ya que la temperatura del recinto es superior a la del agua. Para calcular las pérdidas por convección utilizamos la siguiente ecuación:

$$Q_{conv} = S_{vas} \cdot 0,6246 \cdot (T_{ag} - T_a)^{4/3}$$

T_{ag} : Temperatura del vaso de agua (25°C)

T_a : Temperatura del aire (27°C)

S_{vas} : Superficie de los vasos de las piscinas: 540 m^2

Las pérdidas por convección son:

$$Q_{conv} = 540m^2 \cdot 0,6246 \cdot (|25 - 27|)^{4/3} = -849,9W$$

5.3.4. pérdidas por transmisión

Estas pérdidas dependen de la arquitectura de la piscina y del coeficiente de transmisión térmica del material utilizado. Así pues, las pérdidas por transmisión son:

$$Q_{trans} = S_{cerr,vas} \cdot C_t \cdot (T_{ag} - T_{par})$$

Donde:

C_t : Coeficiente de transmisión de las paredes: $1,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Para la capa de azulejos y base de hormigón.

$S_{cerr,vas}$: Superficie de cerramiento del vaso: 781 m^2

- Piscina principal= Perímetro + suelo: $400 + 205 = 605 \text{ m}^2$
- P. complementaria=Perímetro + suelo: $128 + 48 = 176 \text{ m}^2$

T_{ag} : Temperatura del agua de la piscina (25°C)

T_{par} : Temperatura paredes⁵: ($20,8^\circ\text{C}$)

Por tanto, estas pérdidas suponen:

$$Q_{trans} = 781m^2 \cdot 1,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 20,8)^\circ\text{C} = 2,520 W$$

5.3.5. Pérdidas por renovación del agua del vaso

La normativa exige la renovación del agua de la piscina por razones higiénicas (5% volumen del vaso al día), esto provoca una gran pérdida de calor. Es obvio que el tamaño de estas pérdidas depende de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina. Teniendo en cuenta que el volumen de los vasos es de:

$$V: \text{volumen de las piscinas (m}^3\text{): } 8 \cdot 16 + 16 \cdot 25 \cdot 2,5 = 1.128 \text{ m}^3.$$

⁵ Dato extrapolado ya que es algo superior a la de la tierra próxima a la superficie.

Se puede calcular el calor cedido por la renovación del agua mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{ren} = V_{ren} \cdot \rho_{ag} \cdot C_e \cdot (T_{ag} - T_{red})$$

Donde:

V_{ren} : [5% volumen vaso]: $1128 \cdot 0,05 = 47 m^3$

ρ_{ag} : Densidad del agua: $1000 \text{ kg}/m^3$

C_e : calor específico del agua: $1,16 \text{ Wh} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$

T_{ag} : temperatura agua piscina: 25°C

T_{red} : temperatura mínima del agua de red: $12,7^\circ\text{C}$.

Las pérdidas por renovación diaria que hemos obtenido son:

$$Q_{ren} = 47 m^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 12,7)^\circ\text{C} = 670.596 \text{Wh}$$

$$Q_{ren,día} = 670.596 \text{Wh} \cdot \frac{1}{24} = 27.941,5 \text{W}$$

5.3.6. Potencia necesaria para la puesta en marcha

Para calcular la potencia de puesta a régimen debemos de utilizar la fórmula siguiente:

$$Q_{pr} = \frac{V \cdot \rho_{ag} \cdot C_e \cdot (T_{ag} - T_{red})}{t}$$

Donde:

V : volumen de las piscinas (m^3): $8 \cdot 16 + 16 \cdot 25 \cdot 2,5 = 1128 m^3$.

ρ_{ag} : Densidad del agua: $1000 \text{ kg}/m^3$

C_e : calor específico del agua: $1,16 \text{ Wh} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$

T_{ag} : temperatura agua piscina: 25°C

T_{red} : temperatura agua red: $12,7^\circ\text{C}$.

t : Tiempo de puesta en régimen (5 días = 120 h). Se toma este tiempo de puesta en régimen para que la potencia que tenemos que utilizar no requiera de equipos auxiliares o de mayor potencia. Además se considera que antes tan solo se hará una vez al año en el mantenimiento anual.

La potencia por este concepto es de:

$$Q_{pr} = \frac{1128m^3 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,16 \frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (25 - 12,7)^\circ C}{120h} = \mathbf{134.119,2W/a\~{n}o}$$

5.4. Cálculo de calentamiento de ACS

Para el cálculo de las necesidades energéticas y de suministro de agua para el agua caliente sanitaria (ACS), se han tomado los valores exigidos por el CTE (Código Técnico de la Edificación) en su apartado destinado a definir la calidad del suministro (DB HS: Salubridad). A continuación se realiza el cálculo a partir de esa norma:

Caudal de agua (ACS):

- lavabo: 0,03 l/s.
- Inodoro: 0,065 l/s.
- Ducha: 0,1 l/s.

Instalación⁶:

- 2 lavabos.
- 2 Inodoros.
- 12 duchas.

Temperatura mínima del agua de red: 12,7°C

Temperatura agua: 40°C.

La transferencia de calor por tanto será:

$$Q_{ACS} = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_{ac} - T_{red})$$
$$Q_{ACS} = 1,2 \frac{kg}{s} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (40 - 12,7)^\circ C = \mathbf{136,94kW}$$

⁶ Para este cálculo se han tenido en cuenta los coeficientes de utilización, puesto que 4 de los 6 vestuarios están reservados a grupos especiales, cuando la piscina tiene uso exclusivo para ellos.

5.5. Acondicionamiento del aire (por el método simplificado)

A continuación se calcularán las cargas para el aire mediante un método simplificado. Esto será útil para realizar los cálculos psicrométricos de forma precisa y determinar la demanda para calcular la climatización del aire del recinto.

5.5.1. Pérdidas de calor por cerramientos (paredes)

La transmisión de calor por las paredes del edificio. Su expresión de cálculo se obtiene de la ecuación de transferencia de calor por conducción, para el caso unidimensional:

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

K: coeficiente de conductividad térmica de la pared ($W/m^2 \cdot K$)

S: Superficie del cerramiento (m^2)

$T_{int} - T_{ex}$: Diferencia de temperatura (K).

El coeficiente K está en función del material con el que está construida cada pared. En este proyecto, se toman valores tabulados en las diferentes referencias. Para nuestro caso:

- fachada N-O:

Las principales características de esta pared son:

Área: $170 m^2$

Temperatura interior: $27 \text{ }^\circ\text{C}$ (300K)

Temperatura exterior: $5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (278,2K). Consideraremos el caso de mayores pérdidas, por tanto, el de menor T^a exterior, tomada de la tabla 3.

K (conductividad térmica) hormigón ligero y lucido: $1,3423 W/m^2 \cdot K$

Por tanto el calor transferido aplicando la fórmula anterior es de:

$$Q_{cerr1} = 1,3423 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 170m^2 \cdot (300 - 278,2)K = \mathbf{4974,40 W}$$

- fachada N-E:

Las principales características de esta pared son:

Área: 350 m²

Temperatura interior: 27 °C (300K)

Temperatura exterior: 5,2 °C (278,2K).

K (conductividad térmica) vidrio (15%), hormigón (85%): 2,323 W/m²·K y 1,3423 W/m²·K, respectivamente.

Por tanto el calor transferido aplicando la fórmula anterior es de:

$$Q_{cerra\ 2} = 0,15 \cdot 2,323 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K + 0,85 \cdot 1,3423 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K = \mathbf{11.364,03\ W}$$

- fachada S-E:

Las principales características de esta pared son:

Área: 170 m²

Temperatura interior: 27 °C (300K)

Temperatura exterior: 5,2 °C (278,2K). K (conductividad térmica) vidrio (25%), hormigón (75%): 2,323 W/m²·K y 1,3423 W/m²·K, respectivamente.

Por tanto el calor transferido aplicando la fórmula anterior es de:

$$Q_{cerra\ 3} = 0,25 \cdot 2,323 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 170m^2 \cdot (300 - 278,2)K + 0,75 \cdot 1,3423 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 210m^2 \cdot (300 - 278,2)K = \mathbf{7267,47\ W}$$

- fachada S-O:

Las principales características de esta pared son:

Área: 350 m²

Temperatura interior: 27 °C (300K)

Temperatura exterior: 5,2 °C (278,2K).

K (conductividad térmica) vidrio (50%), hormigón (50%): 2,323 W/m²·K y 1,3423 W/m²·K, respectivamente.

Por tanto el calor transferido aplicando la fórmula anterior es de:

$$Q_{cerr\ 4} = 0,5 \cdot 2,323 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K + 0,5 \cdot 1,3423 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K = \mathbf{13.983,47\ W}$$

- cubierta:

Las principales características de esta pared son:

Área: 1500 m²

Temperatura interior: 27 °C (300K)

Temperatura exterior: 5,2 °C (278,2K). K (conductividad térmica) vidrio (25%), paneles prefabricado aislantes (75%): 2,323 W/m²·K y 0,3162 W/m²·K, respectivamente.

Por tanto el calor transferido aplicando la fórmula anterior es de:

$$Q_{cerr\ 5} = 0,25 \cdot 2,323 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K + 0,75 \cdot 0,3162 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 350m^2 \cdot (300 - 278,2)K = \mathbf{29.331,55\ W}$$

5.5.2. pérdidas por ventilación

La ventilación para asegurar que el aire tiene una calidad aceptable, se encarga de introducir el aire del exterior y retirar parte del aire interior, asegurando una recirculación y renovación del aire siempre será desfavorable para el cálculo de cargas, ya que retira aire en condiciones de confort por aire en otras condiciones más desfavorables. Se puede calcular esa pérdida mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{ren,aire}} = Q \cdot \rho_a \cdot C_{e,a} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \cdot N$$

Q: Caudal de aire por persona⁷: 20,77 m³/h·persona (p).

N: Número de personas (bañistas y espectadores): Tomaremos el valor máximo: 130 personas.

T_{ext}: Temperatura del exterior: 1°C. Máxima diferencia de temperatura en un año tipo.

T_{int}: Temperatura del interior la instalación: 25°C

ρ_a: Densidad del aire: 1,2 kg/m³

C_e: Calor específico del aire: 1010J/kg·K

Aplicando la fórmula obtenemos unas pérdidas por ventilación de:

$$Q_{\text{ren,aire}} = 36 \frac{m^3}{h \cdot p} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1010 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (27 - 1)^\circ C \cdot 130p \cdot 1 \frac{h}{3600s} = 40.965,6 W$$

5.6. Resumen orientativo de cargas

A continuación resumimos en tablas los valores de potencia, tanto para el invierno como para el verano. Se han tomado los valores extremos en cada caso. Además será útil para dar una idea de los porcentajes de cada carga en el cómputo de la demanda energética.

- Cargas en invierno:

TABLA 6: cargas orientativas del agua en invierno

<u>CARGAS</u>	<u>POTENCIA (W)</u>
Evaporación	64.430
Radiación	6.220
Convección	-849
Transmisión	7.800
Renovación	40.890

⁷ Referencia 4 (ciatesa).

SUBTOTAL AGUA PISCINAS	118.490
ventilación	23.634
Cerramiento 1	4.974
Cerramiento 2	11.364
Cerramiento 3	7.267
Cerramiento 4	13.983
Cerramiento 5	29.331
SUBTOTAL AIRE (simplificado)	90.554
SUBTOTAL ACS	136.936
TOTAL AIRE	345.982

A continuación se enseña con una gráfica las diversas partidas de potencia para los meses invernales.

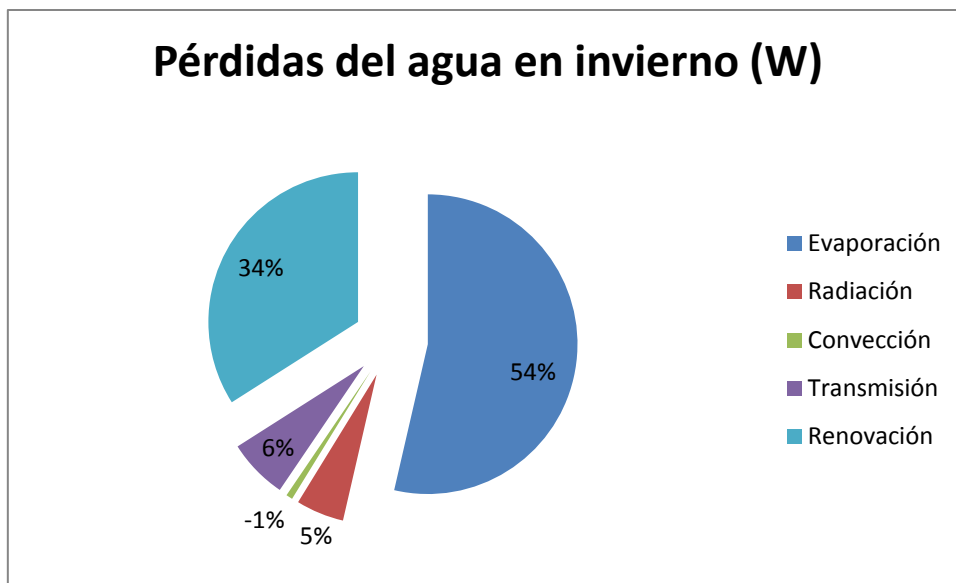


Figura 10: cargas orientativas en invierno.

- Cargas en verano:

TABLA 7: cargas orientativas del agua en verano

<u>CARGAS</u>	<u>POTENCIA (W)</u>
Evaporación	64.430

Radiación	-6.364
Convección	849
Transmisión	600
Renovación	2.726
Puesta en marcha ⁸	345
SUBTOTAL AGUA PISCINAS	90.401
ventilación	-11.501
Cerramiento 1	-684
Cerramiento 2	-1.563
Cerramiento 3	-1.000
Cerramiento 4	-1.924
Cerramiento 5	-4.036
SUBTOTAL AIRE (simplificado)	-9.209
SUBTOTAL ACS	71.728
TOTAL	<u>128.966</u>

También los podemos ver de un modo gráfico:

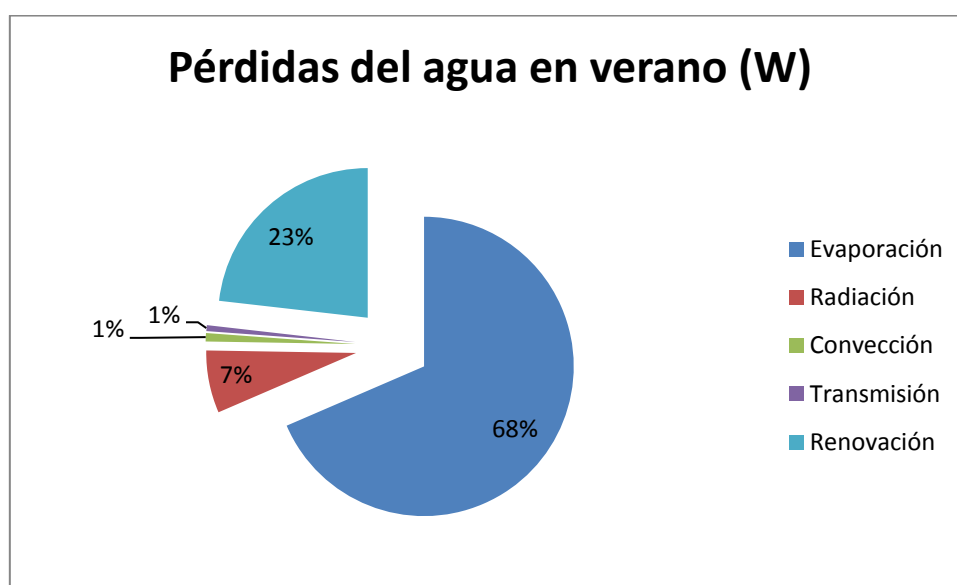


Figura 11: cargas orientativas en verano.

⁸ Se ha dividido el valor ya que el expuesto en el apartado de cálculo es referido a una vez al año.

5.7. Determinación precisa de la climatización para el aire del recinto

Por último se debe calcular detalladamente la demanda energética referida al aire del recinto de la instalación. Para ello se empleará el método ASHRAE, aceptado por el Ministerio de Industria.

5.7.1. Cálculo del caudal de aire

Es preciso determinar la temperatura de descarga del aire impulsado para compensar el enfriamiento provocado por la evaporación del agua teniendo en cuenta las pérdidas y ganancias que se producen en la piscina.

En este caso es necesario diferenciar los aportes de calor tanto en invierno como en verano. Se han empleado las ecuaciones de los apartados anteriores para calcular dicha diferencia.

Es preciso conocer la masa de aire impulsado, siguiendo las exigencias del RITE IT 1.1.4.1.3, para ello realizan los siguientes cálculos:

$$v = \frac{T}{100} - 0,07 = \frac{27}{100} - 0,07 = 0,2m/s$$

Siendo:

V: velocidad del aire

T: temperatura interior del aire.

Además tenemos estos datos:

- temperatura del aire interior de 27°C
- humedad del 65%, (14,56g/kg).
- volumen de vapor ha extraer es de 102,48 kg_{agua}/h.
- caudal de aire de circulación (R): 6 ren/h.
- volumen del local (V): 9380m³.
- Temperatura exterior invierno: 1°C
- Humedad relativa invierno: 80%, (3,24g/kg).
- Temperatura exterior verano: 35°C
- Humedad relativa verano: 40%, (10,54g/kg).

Entonces ya podemos calcular el caudal de aire de circulación (q_a):

$$q_a = R \cdot V = \frac{6 \text{ren}}{h} \cdot 9380 \text{m}^3 = \frac{56.280 \text{m}^3}{h}$$

Y la masa de aire en circulación (m_a):

$$m_a = \frac{q_a}{v} = \frac{\frac{56.280 \text{m}^3}{h}}{\frac{0,833 \text{m}^3}{\text{kg}}} = 67.563,03 \frac{\text{kg}}{h}$$

Siendo v el volumen específico del aire a la temperatura del aire.

5.7.2. Humedad específica de descarga

A continuación se calculará la variación de la humedad relativa, calculada de la siguiente manera:

$$\Delta_W = \frac{M_e}{\dot{m}_a} = \frac{102,48 \cdot 10^3 \frac{\text{g}_{AGUA}}{h}}{67.563,03 \frac{\text{kg}}{h}} = 1,52 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

Entonces la humedad relativa es:

$$W_D = W_P - \Delta_W = 14,06 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - 1,52 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 12,54 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

5.7.3. Temperatura de mezcla y de descarga del aire en invierno

Se han recalculado cada apartado para las condiciones de verano obteniéndose los siguientes valores:

- $Q_{T, \text{inv}} = 90.554,89 \text{ W} = 325.997,6 \text{ kJ/h}$
- $Q_{T, \text{ver}} = -19342,1 \text{ W} = -133.787,0 \text{ kJ/h}$

Con el dato de carga total en invierno podemos calcular la diferencia de entalpía mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta_h = \frac{Q_t}{m_a} = \frac{325.997,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{67.563,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 4,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Entonces la entalpía de descarga es:

$$h_D = h_p - \Delta_h$$

Siendo:

h_D : Entalpía de descarga

h_p : Entalpía de la piscina

Para conocer el valor de la entalpía de la piscina, se deduce por un método gráfico mediante un psicograma⁹, a modo de explicación indicamos la siguiente figura:

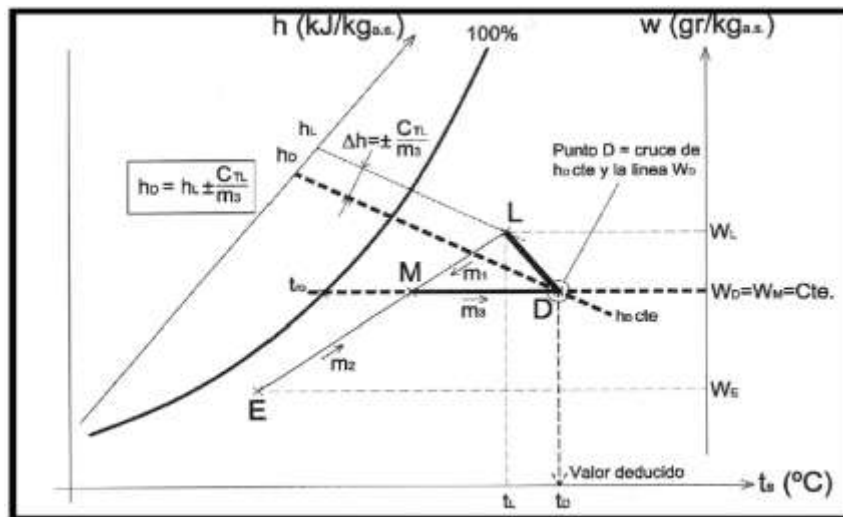


Figura 12: psicograma explicativo del método gráfico para deducir las entalpías y la temperatura de descarga.

Mediante este método se ha obtenido:

h_p : Entalpía de la piscina: $65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Por tanto:

$$h_D = h_p - \Delta_h = 65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 4,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 60,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

⁹ Ver anexo 2 donde se observa el psicograma.

Sabemos que la humedad en el interior queremos que sea del 65% a la temperatura del aire, por tanto mediante tablas se ha conocido la humedad específica:

- humedad específica de descarga: $W_D = W_M = 12,56 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire}}$

Entonces, con estos dos datos se ha podido conocer el valor de la temperatura de mezcla y de descarga para condiciones invernales utilizando el psicograma:

- temperatura de mezcla: $T_M = 20,2^\circ\text{C}$
- temperatura de descarga: $T_D = 28,1^\circ\text{C}$

5.7.4. Temperatura de mezcla y de descarga del aire en verano

Con los datos anteriores y recalculando los apartados adecuados se han calculado la temperatura de descarga en verano, teniendo en cuenta las cargas en esta estación. Además se debe tener presente que la temperatura exterior en verano se tomarán como la máxima, de 35°C y de una humedad de $10,9 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire}}$. Con el dato de carga total en invierno podemos calcular la diferencia de entalpía mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta_h = \frac{Q_t}{m_a} = \frac{-133.787,0 \text{ kJ/h}}{67.563,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = -1,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Entonces repitiendo la técnica gráfica se ha obtenido estos resultados:

- h_p : Entalpía de la piscina: $65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- $W_D = W_M$: humedad específica de descarga: $12,56 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{aire}}$
- h_D : Entalpía de descarga:

$$h_D = h_p - \Delta_h = 65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \left(-1,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) = 66,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- temperatura de mezcla: $T_M = 34,8^\circ\text{C}$.
- temperatura de descarga: $T_D = 31,2^\circ\text{C}$

5.7.5. Cálculo de potencia y energía para el acondicionamiento del aire

Para el cálculo de la potencia se ha empleado la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_D - T_M)$$

Y para el cálculo de la energía se emplea, siendo t el tiempo en el que se usa esa potencia:

$$E = Q \cdot t$$

A continuación se exponen los cálculos realizados para cada mes del año siguiendo el procedimiento expuesto anteriormente, hasta alcanzar los valores estimados de demanda energética. Éstos se separarán según sean de ACS, Agua de piscinas o de aire.

Tabla 8: cálculos de demanda de energía para ACS y para el agua de la piscina.

Mes	CALOR ACS (kW)	E acs (kJ)	Wext (g/kg)	Perdidas del agua piscina (W)	Cerramientos exterior (W)	Ventilación (W)	Calor agua piscina (W)	Energía agua piscina (kJ)
Enero	135	49.297.248	7,74	40.068	25.726	17.962	83.756	30.487.149
Febrero	137	47.927.880	7,63	40.270	26.177	18.277	84.725	29.653.626
Marzo	134	48.932.083	8,20	38.782	22.792	15.914	77.488	28.205.598
Abril	130	45.645.600	9,47	36.729	17.828	12.447	67.004	23.451.456
Mayo	120	43.819.776	10,10	34.618	12.186	8.508	55.312	20.133.552
Junio	105	36.867.600	11,13	31.699	2.031	1.418	35.148	12.301.737
Julio	90	32.864.832	11,86	32.016	-3.611	-2.521	25.884	9.421.877
Agosto	81	28.440.720	10,97	32.230	-4.513	-3.151	24.566	8.598.062
Septiembre	90	32.864.832	9,60	31.790	2.482	1.733	36.006	13.106.012
Octubre	100	35.112.000	8,26	34.461	11.735	8.193	54.388	19.035.953
Noviembre	120	43.819.776	7,91	39.074	23.469	16.386	78.930	28.730.455
Diciembre	130	45.645.600	6,83	42.676	31.368	21.901	95.944	33.580.507
ANUAL	137	491.192.302	9,14	521.190	13.991	9.769	59.929	256.736.784

Tabla 9: cálculos de demanda de energía para el aire.

Mes	Tª de mezcla (°C)	ΔH (kJ/kg)	Entalpía descarga (kJ/kg)	Tª de descarga (°C)	Tiempo (h)	Caudal másico aire (kg/h)	CALOR AIRE (kJ/h)	Energía aire (kJ)
Enero	22,2	2,08	63,02	28,1	364,00	67.563	398.622	145.098.363
Febrero	24,1	2,10	63,00	28,7	350,00	67.563	310.790	108.776.478
Marzo	26,8	1,92	63,18	29,2	364,00	67.563	162.151	59.023.063
Abril	28,4	1,66	63,44	29,8	350,00	67.563	94.588	33.105.885
Mayo	29,7	1,37	63,73	30,3	364,00	67.563	40.538	14.755.766
Junio	32,0	0,87	64,23	31,0	350,00	67.563	-67.563	-23.647.061
Julio	34,8	0,64	64,46	31,8	364,00	67.563	-202.689	-73.778.829
Agosto	33,6	0,61	64,49	31,2	350,00	67.563	-162.151	-56.752.945
Septiembre	29,7	0,89	64,21	30,9	364,00	67.563	81.076	29.511.532
Octubre	27,5	1,35	63,75	30,1	350,00	67.563	175.664	61.482.357
Noviembre	25,3	1,96	63,14	29,6	364,00	67.563	290.521	105.749.655
Diciembre	23,2	2,38	62,72	28,5	350,00	67.563	358.084	125.329.421

Por tanto la demanda anual de potencia y de energía sería de :

- Calefacción: 1.912.033,75 kJ/h y 682.832,52 MJ.
- Refrigeración: -432. 403 kJ/h y -154.178,83 MJ.

5.8. Medidas de ahorro energético

En este apartado se expondrán dos medidas de ahorro energético asociado a las condiciones de recuperación de calor del aire expulsado. En primer lugar la mera instalación de un recuperador de calor, y posteriormente la incorporación de un humidificador adiabático para mejorar la eficiencia en verano.

5.8.1. Recuperación de calor del aire expulsado

La recuperación del calor del aire expulsado se lleva a cabo para evitar la pérdida excesiva de calor debida a la extracción de aire del interior, tanto si está más frío como más caliente que el exterior. El recuperador es un intercambiador de calor en el que el aire extraído cede calor (en invierno) al aire entrante, que lo absorbe. Este intercambio se produce sin que haya mezcla entre ambos aires.

Este procedimiento es obligatorio como así se recoge en el RITE IT 1.2.4.5.2. El caudal de aire expulsado está en función de las horas de funcionamiento de la piscina, en nuestro caso como el caudal de circulación es de $15,63 \text{ m}^3/\text{s}$, como se ha calculado en el apartado anterior, y las horas de funcionamiento de 4284h (14h/día, 6 días/semana); por tanto, la eficiencia mínima del recuperador debe ser del 70% y las pérdidas máximas de presión iguales a 240Pa.

A continuación se expone un esquema de funcionamiento del equipo con el recuperador:

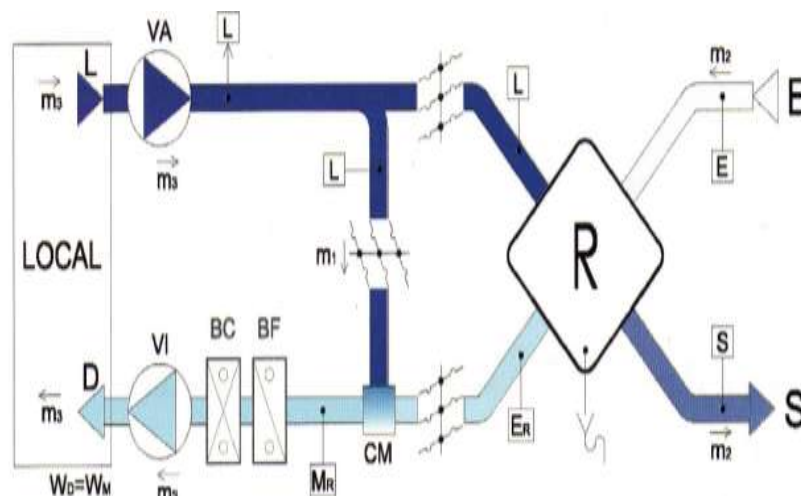


Figura 13: Esquema del funcionamiento del recuperador.

Donde:

L: Condiciones del local.

S: Condiciones del aire expulsado después de ceder calor.

E: Condiciones del aire exterior.

E_R: Condiciones del aire exterior después de absorber calor del recuperador.

M_R: Condiciones de la mezcla con calor recuperado.

R: Recuperador de calor de corrientes cruzadas.

VA: Ventilador de admisión.

VI: Ventilador de impulsión.

CM: Caja de mezcla.

Como el ambiente contiene cloro es recomendable emplear tratamientos anticorrosivos para evitar un deterioro anticipado del equipo. En nuestro caso consideraremos para realizar los cálculos energéticos un recuperador estático de placas de flujos cruzados ya que no se requieren energía eléctrica auxiliar.

Para conocer el caudal de aire es preciso diferenciar las masas de aire exterior y en circulación tanto para invierno como para verano. El caudal mínimo de aire exterior se detalla en el RITE IT 1.1.4.2.4, para la categoría de esta piscina que es IDA 2 (aire de buena calidad); se describe la fórmula para calcularlo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{caudal mínimo} = 2,5 \frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot S_m$$

Siendo S_m la superficie del recinto de la piscina, en nuestro caso de 800m² (40m x 20m). Por tanto,

$$\text{caudal mínimo} = 2,5 \frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot 800\text{m}^2 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 7.200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Aparte de garantizar el caudal mínimo caudal, vamos a optimizar esa circulación para conseguir las condiciones óptimas en el interior. Para ello se calculan para invierno y para verano el caudal de aire exterior y recirculado.

De los 67.563,03 kg/h, una parte será aire exterior y otra parte será aire de recirculación. Para calcularlo se ha utilizado un método gráfico ya que resulta más sencillo dar una idea de cómo se ha hecho, este se muestra el siguiente diagrama:

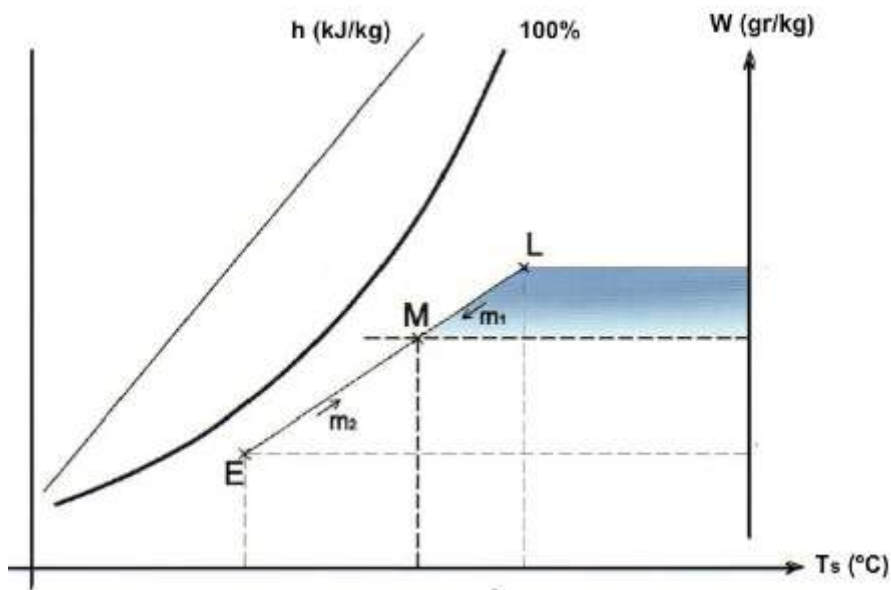


Figura 14: diagrama explicativo del método gráfico para deducir el aire exterior y de circulación.

Debemos tener en cuenta los datos de partida, expuestos anteriormente se han resuelto las siguientes ecuaciones, utilizando el diagrama psicrométrico:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$$

- Invierno

Aire recirculado: $m_1 = 13.512,61 \text{ kg/h}$

Aire exterior: $m_2 = 54.050,42 \text{ kg/h}$

$m_3 = 67.563,03 \text{ kg/h}$

$l_1 = 20\text{mm.}$

$l_2 = 80\text{mm.}$

- Verano

Aire recirculado: $m_1 = 35.390,16 \text{ kg/h}$

Aire exterior: $m_2 = 32.172,87 \text{ kg/h}$

$m_3 = 67.563,03 \text{ kg/h}$

$l_1 = 22\text{mm.}$

$l_2 = 20\text{mm.}$

Ahora necesitamos conocer la temperatura de mezcla tanto para condiciones de invierno como de verano. Las condiciones de la mezcla con el calor

recuperado (MR), se resuelve como se ha explicado anteriormente, corrigiendo las condiciones del aire exterior.

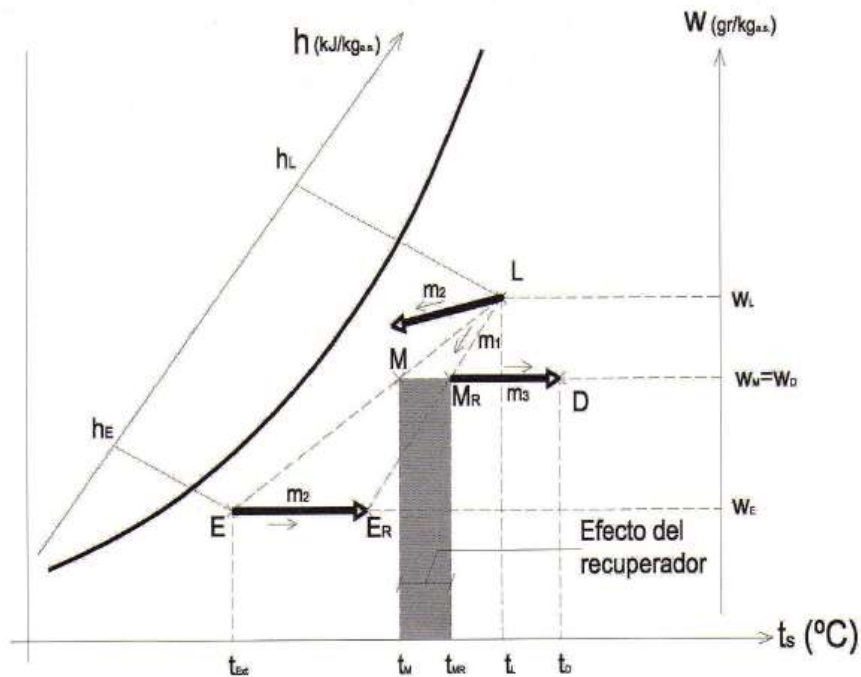


Figura 15: diagrama explicativo del método gráfico para deducir el aire exterior y de circulación.

Como ya se conocen las temperaturas del local y exterior, los caudales de aire exterior y de circulación y las humedades tanto de entrada, entonces, las temperaturas corregidas de mezcla son:

- temperaturas mezcla (INVIERNO) de 26,8°C.
- temperaturas mezcla (VERANO) de 33,0°C.

Ahora ya se puede calcular la potencia real, tras aplicar el efecto del recuperador y posteriormente la energía recuperada. Las condiciones del aire de la mezcla se han recalculado y son más próximos a las condiciones de descarga. La potencia calorífica ahora se calculará mediante:

$$Q = m_3 \cdot C_e \cdot (T_D - T_{MR})$$

Es fácilmente entendible que $T_D - T_{MR}$ será menor que $T_D - T_M$, cuando no se tenía en cuenta el recuperador.

Tabla 10: cálculos de demanda de energía para el aire con recuperador de calor.

Mes	T ^a de mezcla (°C)	T ^a de descarga (°C)	Tiempo (h)	Caudal másico aire (kg/h)	Potencia (kJ/h)	Energía aire (kJ)
Enero	26,80	28,1	364	67.563	87.832	31.970.826
Febrero	27,90	28,7	350	67.563	54.050	18.917.648
Marzo	28,60	29,2	364	67.563	40.538	14.755.766
Abril	29,00	29,8	350	67.563	54.050	18.917.648
Mayo	30,90	30,3	364	67.563	-40.538	-14.755.766
Junio	32,10	31	350	67.563	-74.319	-26.011.767
Julio	33,00	31,8	364	67.563	-81.076	-29.511.532
Agosto	32,60	31,2	350	67.563	-94.588	-33.105.885
Septiembre	31,30	30,9	364	67.563	-27.025	-9.837.177
Octubre	29,80	30,1	350	67.563	20.269	7.094.118
Noviembre	28,60	29,6	364	67.563	67.563	24.592.943
Diciembre	27,40	28,5	350	67.563	74.319	26.011.767

Por tanto la demanda anual de potencia y de energía sería de :

- Calefacción: 398.621,88 kJ/h y 142.260,72 MJ.
- Refrigeración: -317.546,24 kJ/h y -113.222,12 MJ

El resumen de la potencia demandada se detalla en las siguientes tablas:

TABLA 11: resumen de potencia en invierno

<u>PÉRDIDAS</u>	<u>POTENCIA (kW)</u>	<u>ENERGÍA (MWh)</u>
Sin recuperador	531,12	189,68
Recuperación de calor	110,73	40,31

El ahorro es de un 78,75% de energía. De energía representa un ahorro de Para mantener el cumplimiento del 70% de recuperación respecto al aire extraído, así que en potencia se cumple.

TABLA 12: resumen de potencia en verano

<u>PÉRDIDAS</u>	<u>POTENCIA (kW)</u>	<u>ENERGÍA (MWh)</u>
Sin recuperador	-120,11	-42,83
Recuperación de calor	-88,20	-30,87

El ahorro es de un 30,23% de energía. Para mantener el cumplimiento del 70% de recuperación respecto al aire extraído, así que se deben tomar más medidas de ahorro energético, como se verá en el subapartado siguiente.

5.8.2. Recuperador con enfriamiento adiabático

Cuando el aire exterior aumenta su humedad, la cantidad de aire exterior que se necesita para mantener la humedad de la piscina aumenta. Por tanto en condiciones muy húmedas, debe trabajar casi con todo aire exterior. La recuperación del calor extraído, debido a que la temperatura del aire exterior aumenta reduciendo la efectividad del recuperador a mínimos.

Entonces al hacer un enfriamiento adiabático en el aire de salida, aumentando las diferencias de temperatura de intercambio de calor con el aire exterior y así elevando la eficiencia del recuperador.

En la siguiente figura se observa el equipo con el humectador adiabático antes del recuperador en el conducto de salida de aire.

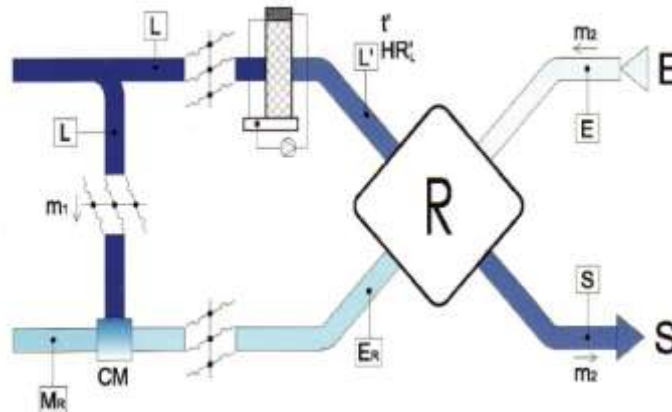


Figura 16: esquema del equipo con recuperador y con humectador adiabático.

Con este sistema se consigue un aumento en la diferencia de temperatura con el aire exterior da un aumento en la eficiencia de recuperación. Aumentando a su vez el ahorro energético. Además el subenfriamiento del aire de salida, puede llegar a alcanzar la temperatura deseada para mantener el local a 27° C, sin necesitar refrigeración mecánica.

Para realizar el cálculo de la potencia actualizada con este sistema, emplearemos el diagrama psicrométrico como se describe a continuación.

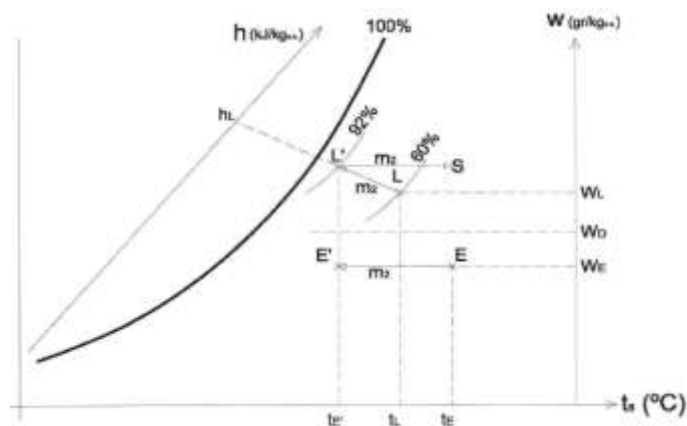


Figura 17: Recuperación de calor con humectación adiabática en verano.

Siendo:

LL' - Evolución de la humidificación adiabática en el humidificador, en el aire de extracción.

L'S - Calentamiento del aire extraído en el recuperador.

EE' - Subenfriamiento en el aire de entrada (por debajo de la temperatura del local) en el recuperador.

Se ha considerado que el humectador permite alcanzar una humedad relativa de un 92%. Poniendo los datos sobre el diagrama se ha obtenido una temperatura de entrada de $T_{MR'} = 32,1 \text{ }^\circ\text{C}$, para la misma humedad calculada en el apartado anterior (9,14g/kg). Ahora ya podemos calcular la potencia en verano actualizada con refrigeración con humectación adiabática antes de la salida del aire:

Ahora, siguiendo el mismo procedimiento realizado anteriormente, se puede calcular el ahorro de energía:

Tabla 13: cálculos de demanda de energía para el aire con recuperador de calor y enfriamiento adiabático.

Mes	Tª de mezcla (°C)	Tª de descarga (°C)	Tiempo (h)	Caudal másico aire (kg/h)	Potencia (kJ/h)	Energía aire (MJ)	E TOTAL AIRE (MJ)
Enero	26,8	28,1	364	67.563	87.832	31.971	153.563
Febrero	27,9	28,7	350	67.563	54.050	18.918	153.252
Marzo	28,5	29,2	364	67.563	47.294	17.215	143.539
Abril	29,1	29,8	350	67.563	47.294	16.553	116.391
Mayo	29,9	30,3	364	67.563	27.025	9.837	95.924
Junio	31,8	31	350	67.563	-54.050	-18.918	68.087
Julio	32,1	31,8	364	67.563	-20.269	-7.378	49.665
Agosto	31,4	31,2	350	67.563	-13.513	-4.729	48.862
Septiembre	30,7	30,9	364	67.563	13.513	4.919	75.482
Octubre	29,8	30,1	350	67.563	20.269	7.094	101.442
Noviembre	28,9	29,6	364	67.563	47.294	17.215	129.114
Diciembre	27,6	28,5	350	67.563	60.807	21.282	159.626

En la siguiente tabla se detallan las potencias y energías en verano para comparar los resultados.

TABLA 14: resumen de potencia en verano

<u>PÉRDIDAS</u>	<u>POTENCIA (kW)</u>	<u>ENERGÍA (MWh)</u>
Sin recuperador	-120,11	-42,83
Recuperación de calor	-88,20	-30,87
Con enfriamiento adiabático	-24,40	-8,54

El ahorro energético tras las medidas de ahorro en el deshumidificador supone un 80,01%, superando el límite exigido por ley (70%).

Además incluimos un gráfico en el que se detallan de forma visual al perfil de demanda de energía para cada mes del año.

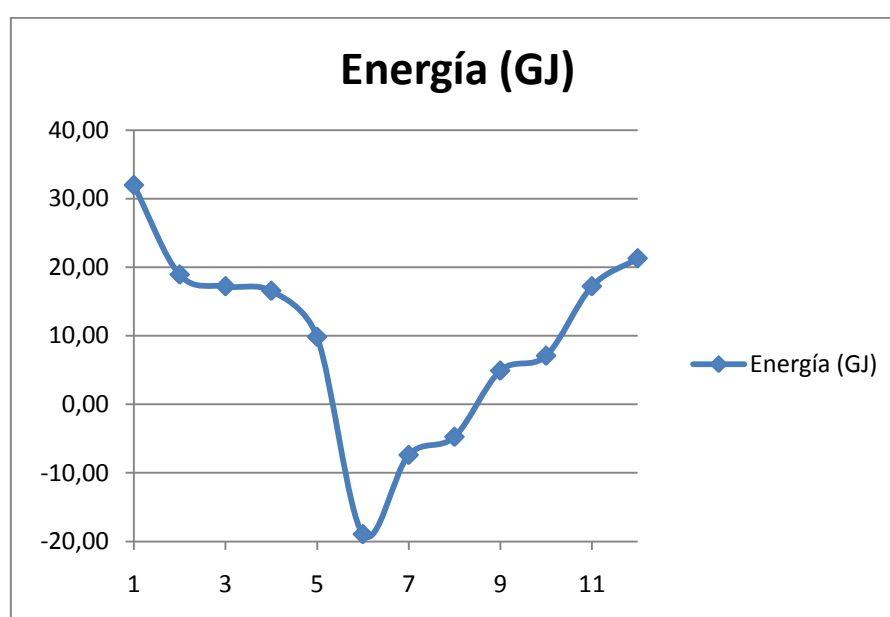


Figura 16: perfil de demanda de energía para cada mes, tras aplicar las medidas de ahorro energético.

A modo de resumen, se detallan las diversas partidas energéticas:

Tabla 15: resumen de las partidas de potencias nominales y energía anual.

Partida	Potencia nominal (kW)	Energía anual (GJ)
ACS	136,94	491,19
Agua	95,94	2.334,56
Aire invierno	110,73	145,12
Aire verano	-24,40	-30,74
TOTAL	343,61	3.001,61

También se expondrán datos imprescindibles obtenidos anteriormente para poder dimensionar los equipos:

Tabla 16: resumen datos de caudales nominales.

Partida	Caudal	Unidad
ACS	1,2	l/s
Agua	2,375	m ³ /h
Aire	15,63	m ³ /s
Humedad	102,48	Kg _{agua} /h

6. POSIBLES CONFIGURACIONES

Son muy diversas las disposiciones que pueden tener los diferentes elementos que conforman la instalación solar térmica. A continuación se expondrá algunas de ellas. Para poder entender los siguientes esquemas exponemos una pequeña leyenda con el significado de los símbolos utilizados:

















 Bomba circuladora	 Válvula de tall	 Sonda de temperatura
 Central solar (termòstat diferencial)	 Válvula antiretorn	 Válvula mescladora de 3 vies (termostàtica)
 Termòmetre	 Regulador de cabal	 Válvula de pressió diferencial
 Manòmetre	 Purgador	 Detector de flux
 Comptador volumètric	 Válvula de seguretat	
 Vas d'expansió	 Válvula motoritzada de 3 vies	

Figura 17: leyenda de los esquemas.

En la siguiente figura se observa una configuración muy utilizada hasta ahora. Esta ya cubre el total de la demanda puesto que cuenta con una caldera de apoyo para las horas punta. Cabe destacar que no incluye aporte geotérmico.

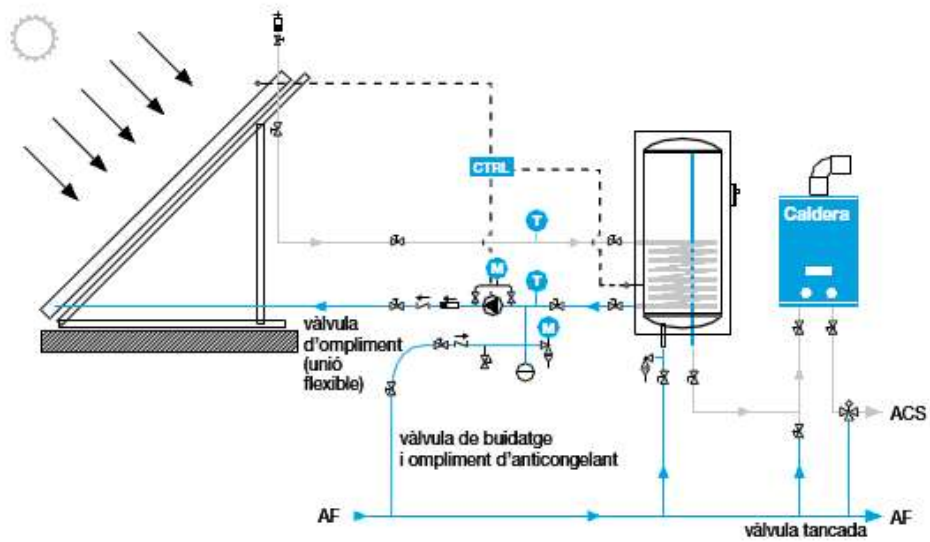


Figura 18: climatització mediante panes solars con apoyo de caldera de gas natural.

Desde esta figura ya se integra una bomba de calor geotérmica combinada con la instalación solar térmica. En el presente proyecto se optará por optimizar alguna de estas distribuciones.

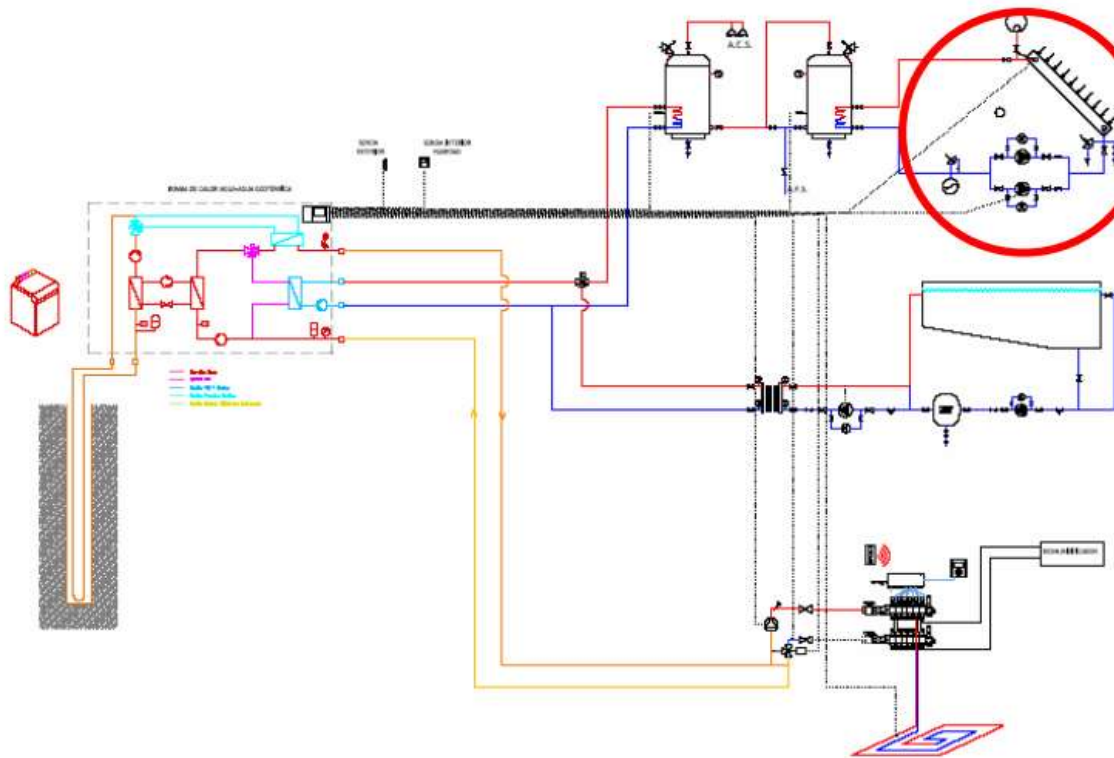


Figura 19: climatització mediante panes solars con apoyo de bomba de calor geotérmica.

En este caso se incorpora una caldera de condensación para las horas punta.

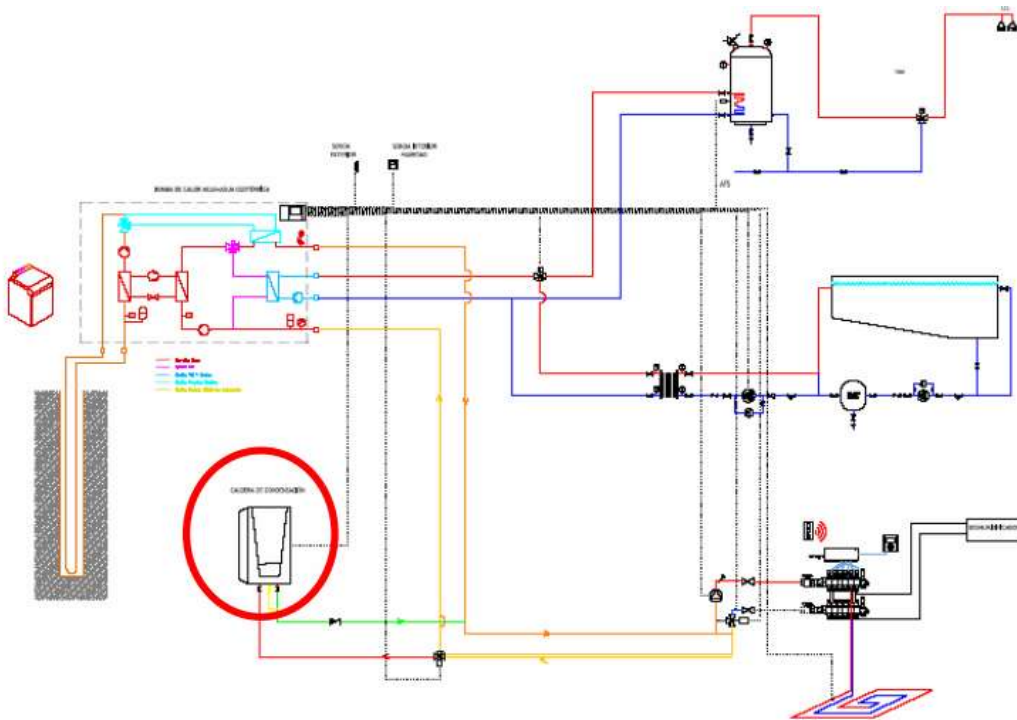


Figura 20: climatización mediante paneles solares con apoyo de bomba de calor geotérmica y caldera de condensación.

Aquí se incorpora en vez de una caldera una bomba de calor aire-agua. Esta opción presenta la ventaja de no consumir combustibles, aunque sí electricidad y se debe dimensionar adecuadamente para asegurar que cubre toda la demanda energética.

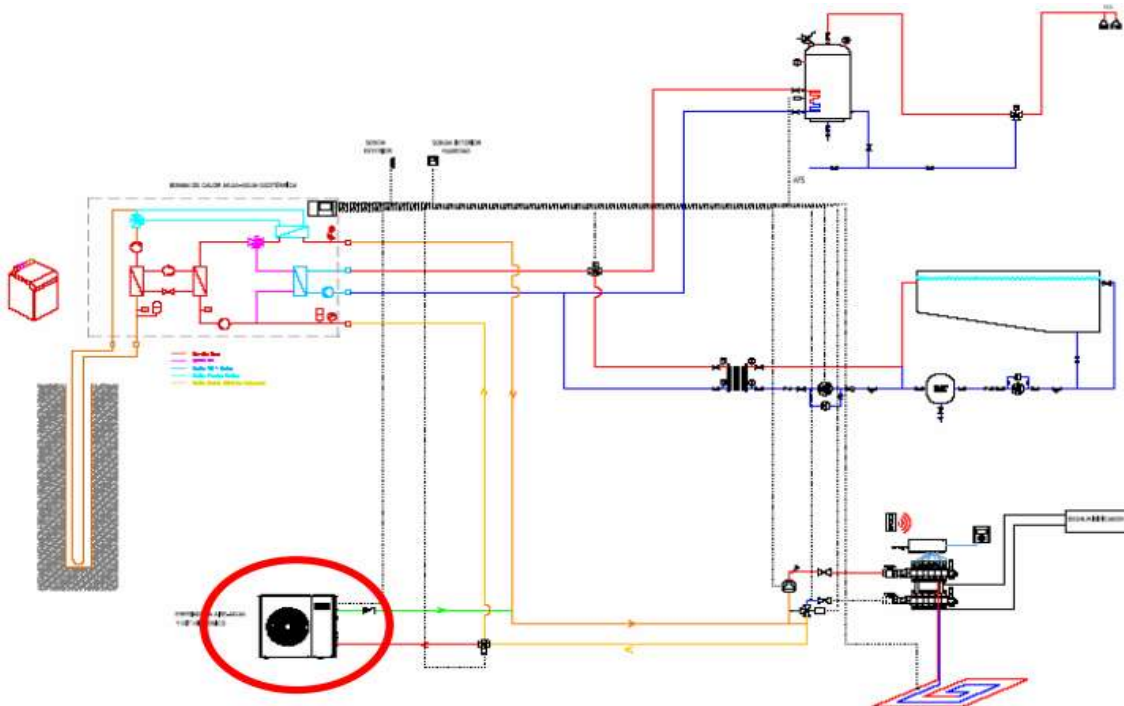


Figura 21: climatización mediante paneles solares con apoyo de bomba de calor geotérmica y bomba de calor aire-agua.

7. CARACTERIZACIÓN DE LAS DIFERENTES OPCIONES DE SUMINISTRO

En este apartado se plantearán las diversas soluciones técnicas para cubrir la demanda energética de climatización de la piscina y el recinto interior. En el presente proyecto se van a estudiar tres tipos de instalación, en primer lugar, una instalación solar térmica, ya que su aportación es obligada por normativa. La segunda es una instalación geotérmica y por último una caldera auxiliar para cubrir las puntas de demanda en invierno. Cabe destacar, que en la selección de la caldera se estudiarán tanto calderas de gas natural conectadas a la red nacional, como de pellets y similares.

Como uno de los objetivos fundamentales de este proyecto es buscar una solución lo más económicamente rentable, se plantearán a la hora de tomar la decisión de cobertura de cada tipo de instalación, diferentes escenarios, tomando como demanda anual la expuesta anteriormente.

7.1. Instalación solar térmica

Actualmente la normativa ya prevé la instalación de este tipo de equipos para aprovechar la energía solar para cubrir parte de la demanda de ACS. A continuación se expone dicha legislación.

Según el reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), en su instrucción técnica ITE-10, donde se exponen las instalaciones específicas de aprovechamiento de energía solar térmica se definen las siguientes normas:

7.1.1. Producción mediante sistemas solares activos

La energía captada por los captadores se almacenará en un depósito acumulador de agua caliente. Después de éste se instalará en serie un equipo convencional de apoyo o auxiliar, para cubrir la energía necesaria para la producción de agua caliente.

7.1.2. Cálculo del aporte energético del agua.

La cantidad de calor necesaria para calentar el ACS se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q = V \rho c_e \Delta t$$

Donde:

Q: es la cantidad de calor necesaria (kcal), en unidades del S.I.: 860 kcal/1kWh.

V: volumen diario de consumo (l).

ρ : es la densidad del agua (1kg/l).

c_e : es el calor específico del agua (1 kcal/kg·°C).

Δt : es el incremento de temperatura (°C), $\Delta t = T_{\text{consumo}} - T_{\text{red}}$. Tomaremos la temperatura de consumo como los 45°C, y la de la red la de la tabla expuesta en el apartado de datos climatológicos expresados para cada mes.

Aplicando la fracción solar a cubrir por esta instalación al agua a calentar, nos da una energía de:

$$E_{\text{solar}} = E_{\text{necesaria}} \cdot \frac{F_{\text{solar}} (\%)}{100}$$

7.1.3. Rendimiento de los captadores

Del total de la radiación incidente en la superficie de los captadores una parte se perderá por reflexión y absorción del vidrio de la cubierta. El rendimiento del mismo se calcula con la siguiente expresión:

$$\eta = \eta_0 - m_1 \cdot \left[\frac{(T_m - T_a)}{I} \right] - m_2 \cdot \left[\frac{(T_m - T_a)}{I} \right]^2$$

Donde:

η : Rendimiento en tanto por uno.

η_0 : Rendimiento óptico del captador, es un valor adimensional proporcionado por el fabricante.

m_1, m_2 : factor de pérdidas, lo da el fabricante tras haber testado el panel, (W/m²·°C).

T_m : Temperatura media del captador.

T_a : Temperatura ambiental media diurna, durante las horas de sol.

I: intensidad de la radiación media durante las horas de sol, en W/m². Se obtiene de dividir la radiación global diaria entre el nº de horas de sol.

A continuación se exponen las tablas del nº de horas de sol y de temperaturas medias diurnas.

Tabla 17: nº de horas de sol y temperaturas medias diurnas, para cada mes del año. Fuente: Institut Català de Meteorologia.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T^a m diurna (°C)	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12
Horas sol (h)	7,5	8	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7

7.1.4. Pérdidas por orientación e inclinación

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la siguiente tabla.

Tabla 18: pérdidas límite.

PÉRDIDAS LÍMITE (%)			
Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
general	10	10	15
superposición	20	15	30
integración arquitectónica	40	20	50

En todos los casos se han de cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores obtenidos con orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna.

Como se determina en el apartado 3.5 del DB HE-4 del CTE, el cálculo de las pérdidas debidas a la orientación y la inclinación viene dado por la siguiente expresión:

$$C_p(\%) = 100 \cdot \left(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right)$$

Donde:

β : Inclinación.

β_{opt} : Latitud +10°.

α : Desviación respecto al sur, positivo hacia el oeste.

Las pérdidas por sombras no se tendrán presentes puesto que en el caso que nos ocupa no hay obstáculos.

7.1.5. Energía aprovechada por el sistema

Aunque esté calculada la energía generada, es preciso tener en cuenta varias pérdidas debidas a la parte de ACS que no se aprovecha y ese calor residual se pierde por las paredes del acumulador.

Como no existe un cálculo exacto, se tiene tabuladas [fuente ICAEN] estas pérdidas entre:

- Instalaciones muy eficientes: 0,92.
- Instalaciones antiguas: 0,80.

Entonces la energía del sistema es:

$$E_{apro, sist} = E_{gen} \cdot C_{perdidas}$$

7.1.6. Cálculo de la superficie de captación

La superficie de captación para cubrir la demanda anual prevista se realiza mediante:

$$N \text{ col} = E \text{ necesaria} \cdot \frac{F_{solar}}{E_{apro, sist}}$$

Siendo N el nº de captadores.

Se debe tener presente que como se expuso en la normativa: “ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 %”.

7.1.7. Radiación solar global

La radiación solar global oficial en la zona es la siguiente:

Tabla 19: radiación solar global sobre la superficie vertical (kWh/m²/día).

Fuente: Institut Català de la Energia (ICAEN).

Azimut	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
0°	3.89	4.00	3.95	3.46	2.91	2.64	2.77	3.27	3.82	4.18	3.96	3.79
15°	3.78	3.89	3.86	3.52	3.05	2.77	2.91	3.35	3.81	4.07	3.85	3.68
30°	3.45	3.60	3.73	3.63	3.33	3.12	3.23	3.53	3.77	3.84	3.53	3.36
45°	2.98	3.23	3.54	3.70	3.58	3.46	3.54	3.67	3.67	3.54	3.08	2.88
60°	2.49	2.82	3.29	3.68	3.76	3.72	3.76	3.72	3.49	3.19	2.60	2.37
75°	2.01	2.40	2.98	3.54	3.80	3.84	3.84	3.64	3.23	2.80	2.13	1.88
90°	1.55	1.98	2.63	3.33	3.73	3.84	3.81	3.48	2.92	2.39	1.68	1.42
105°	1.16	1.57	2.24	2.99	3.50	3.67	3.62	3.18	2.53	1.95	1.28	1.04
120°	0.86	1.22	1.84	2.63	3.19	3.40	3.32	2.83	2.13	1.55	0.96	0.75
135°	0.67	0.96	1.49	2.21	2.77	3.01	2.92	2.41	1.75	1.22	0.75	0.59
150°	0.60	0.81	1.22	1.82	2.33	2.56	2.47	1.98	1.42	0.99	0.67	0.55
165°	0.60	0.78	1.07	1.50	1.93	2.15	2.06	1.63	1.19	0.89	0.66	0.55
180°	0.60	0.78	1.03	1.35	1.76	2.00	1.89	1.47	1.11	0.88	0.66	0.55

La temperatura media del agua y la irradiación global diaria se expusieron en el apartado de condiciones climatológicas.

7.1.8. Criterios generales de diseño

Los colectores se colocarán en filas paralelas y estar bien alineadas. En cada fila y entre filas se conectarán en paralelo. Como máximo se conectarán en serie 3 colectores, ni más de 3 filas de colectores conectados en paralelo.

La entrada tendrá una pendiente ascendente en el sentido del avance del fluido del 1%. Los colectores se orientarán hacia el sur geográfico, con desviaciones no mayores que 25° con respecto a dicha orientación. El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal se determinará en función de la latitud geográfica Φ y del período de utilización de la instalación.

La separación entre filas de colectores será igual o mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d=k \cdot h$$

Siendo:

d: la separación entre filas.

h: la altura de colector.

k: un coeficiente cuyo valor se obtiene en la tabla siguiente a partir de la inclinación de los colectores con respecto a un plano horizontal.

Tabla 20: Coeficiente de separación entre filas de colectores.

INCLINACIÓN (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
COEFICIENTE K	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,97	1,992

La distancia entre la primera fila de colectores y los obstáculos (de altura a) que puedan producir sombras sobre las superficies captadoras, por ello debe ser mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d = 1,732 \cdot a$$

Los acumuladores se dispondrán verticalmente, para favorecer la estratificación. El caudal del fluido portador se determinará en función de la superficie total de colectores instalados. Su valor estar comprendido entre 1,2 l/s y 1,6 l/s por cada 100 m² de área de colectores.

7.1.9. Sistema de control

El control de las bombas debe ser de tipo diferencial y debe actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de colectores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor que 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor que 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.

Por su parte el Código Técnico de Edificación (R.D. 19 de octubre (BOE 23/10/2007)), en su documento básico DB HE - 4, sobre ahorro de energía y la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria se exponen las siguientes normas aplicables en este contexto.

7.1.10. Volumen de acumulación

La contribución solar mínima anual es la fracción de la demanda energética anual que es cubierta por la energía solar. Gavà está en la zona climática II, con lo que la cobertura de demanda de agua caliente para una temperatura de

referencia de 60 °C de acumulación, para piscinas cubiertas es del 30% como mínimo.

Además la cobertura de agua caliente sanitaria (ACS) es de 20 l/día por servicio, sea de baño o de ducha en los vestuarios, como recomienda el ICAEN. Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

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

Siendo

A: la suma de las áreas de los captadores [m²];

V: el volumen del depósito de acumulación solar [litros].

7.1.11. Sistema de intercambio

Para el caso de utilizar un intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P, se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m² y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo

P: potencia mínima del intercambiador [W];

A: el área de captadores [m²].

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

7.1.12. Caudal del circuito primario

Se recomienda un caudal de 1 l/min por cada m² de captador.

7.1.13. Dimensionado de la bomba

La bomba de circulación será de un 1 % de la potencia térmica del intercambiador.

7.1.14. Cálculo de tuberías

El cálculo de tuberías se basa en las ecuaciones de Colebrook. Se fija una velocidad máxima y una pendiente máxima y así ya se puede determinar el diámetro adecuado. Las pérdidas de presión se calculan posteriormente. Hay tres cálculos de pérdidas, la de los accesorios, el de las tuberías y la de la maquinaria.

Para simplificar el cálculo se agrupará por zonas de igual caudal e igual diámetro como se detalla a continuación:

Zona 1: del circuito de captadores al acumulador.

Zona 2: del acumulador al emisor.

Zona 3: circuito emisor.

- Pérdidas por accesorios

Como accesorios se entienden derivaciones y codos, para ello se calculará mediante:

$$h_{ac} = K \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right)$$

Donde:

h_{ac} : Pérdida de carga por accesorio (m.c.a.).

K: constante de singularidad.

V: velocidad del fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

El coeficiente K se define según sea el accesorio como:

Tabla 21 : Coeficiente de seguridad K para cada accesorio.

ACCESORIO	K
T cerrada	0,4
T abierta	1
Codo 90°	1
Reducción de sección	0,5

Válvula abierta	0,2
Válvula de seguridad	2,5
Válvula de retención	2

- Pérdidas por tramos rectos

En este caso se emplea esta ecuación:

$$h_c = f \cdot \left(\frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \right)$$

Siendo:

f: Coeficiente de fricción de Darcy.

h_c : pérdida de carga, en m.

Para determinar el coeficiente de fricción de Darcy se emplea el diagrama de MOODY. Para conocerlo es preciso el número de Reynolds y la rugosidad relativa, donde las tuberías de polietileno utilizadas tienen una rugosidad absoluta de 0,007 mm, mientras que las de cobre la tienen de 0,0015 mm.

El factor de fricción representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en la tubería. Si las primeras son predominantes (Re bajos), el fluido va de forma laminar. Cuando las fuerzas de inercia predominan (Re elevados), el fluido se mueve en régimen turbulento.

Cuando el régimen es laminar, la rugosidad importa menos pero la influencia de la rugosidad es mayor. El coeficiente de fricción se calcula con la ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

- Pérdidas por la maquinaria

Éstas vienen dadas por el fabricante mediante ensayos normalizados.

7.2. Instalación geotérmica

En primer lugar es imprescindible caracterizar geológicamente el terreno de la instalación para posteriormente poder evaluar su dimensionado. Por tanto, el emplazamiento se cataloga, según el Institut Geològic de Catalunya en 2005, en el catálogo del Baix Llobregat, como Qg, lo cual indica que es pie de monte debido al transporte de material de zonas de más altitud, como es habitual en zonas de delta de ríos, como en este caso.

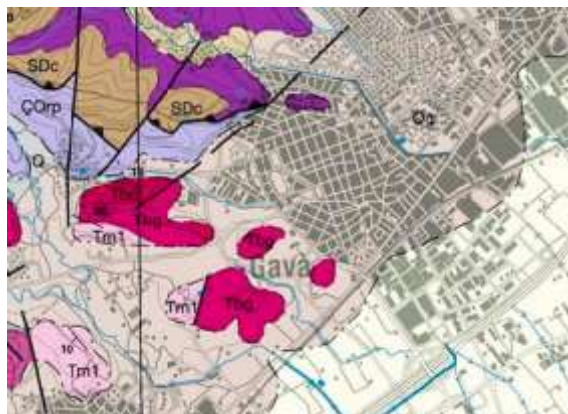


Figura 22: "Mapa geológico para la zona de Gavà. Fuente: Institut Geològic de Catalunya.

A continuación se expone una tabla facilitada por IDAE sobre las conductividades térmicas para cada tipo de terreno.

Tabla 23: conductividades térmicas para cada tipo de terreno.

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica (MJ/m ³ K)
	Mín.	Valor típico	Máx.	
Rocas magmáticas				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Grabo	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
Rocas metamórficas				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Micasquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
Rocas sedimentarias				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Sal	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argillitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8
Otros materiales				
Bentonita	0,5	0,6	0,8	aprox. 3,9
Hormigón	0,9	1,6	2	aprox. 1,8
Hielo (-10°C)		2,32		1,87
Plástico (PE)		0,39		
Aire (0 - 20 °C, seco)		0,02		0,0012
Acero		60		3,12
Agua (+ 10 °C)		0,58		4,19

En edificios próximos se ha catalogado el terreno a unos 100m como de arcillas saturadas de agua (9m del nivel del mar en superficie) con lo cual no será difícil instalar los colectores geotérmicos. Además como se observa en la tabla, la conductividad térmica típica es de 1,7W/m·K y una conductividad térmica volumétrica de entorno a 2,5MJ/m³·K.

La eficiencia del sistema geotérmico en el proceso de calefacción puede representar un ahorro aproximado de más del 75%, mientras que en el proceso de refrigeración representa un ahorro de entorno al 80%. Esta eficiencia puede llegar a ser un 50% mayor que en los sistemas tradicionales de refrigeración con bombas de calor no geotérmicas.

La instalación geotérmica está compuesta fundamentalmente por dos equipos que son:

1. Circuito de intercambio geotérmico (UGI).
2. Bomba de calor.

A continuación detallaremos cada uno de ellos.

7.2.1. Circuito de intercambio geotérmico (UGI).

Aunque existen diferentes tipologías de captación, como son las de contacto de agua superficial o la de pantallas, en nuestro país se suelen diseñar las de captación vertical u horizontal.

La captación vertical consiste en de una o varias perforaciones en las cuales se introducen los captadores de energía. La profundidad está comprendida entre los 50 y los 200 m. Tienen la ventaja de que ocupan poco espacio y proporcionan una gran estabilidad de las temperaturas. Por el contrario, su ejecución es más cara el sistema horizontal.

Éste último, consiste en una serie de zanjas en las cuales se colocan los colectores. Su profundidad está comprendida entre los 0,6 m a 1,5 m aprox. Se trata de un sistema más económico que las perforaciones pero presenta el inconveniente que necesita bastante superficie de terreno, el cual no podrá ser utilizado para plantar árboles o construir estructuras sobre él.

Para realizar el dimensionado se empleará la publicación de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers): "*Comercial / Institucional GSHP Engineering Manual (1995)*". Debido a la ubicación de la piscina y puesto que no existe superficie libre a su alrededor como para instalar una captación horizontal, se tomará como mejor opción la captación vertical mediante perforación. Pero se debe tener presente que el emplazamiento tan solo se encuentra a 9m sobre el nivel del mar, por ello se deberá tener en cuenta a la hora de conocer la capacidad calorífica del terreno.

Conocido el tipo de terreno y las necesidades energéticas del edificio, necesitaremos una serie de datos, como son:

- la temperatura de confort a climatizar: 40°C.
- conductividad térmica del terreno: 1,7 W/m·K

- conductividad térmica del tubo de polietileno: 0,47W/m·K
- conductividad térmica del etilenglicol: 0,26 W/m·K
- conductividad térmica del agua: 0,60 W/m·K
- conductividad térmica fluido: 0,498 W/m·K
- la temperatura del subsuelo: 15°C (pero cada 100m aumenta entre 1,5 y 3°C).
- Fluido geotérmico: Tyfocor (mezcla de etilenglicol al 30% (70% agua)).
- Calor Específico a 15 °C del etilenglicol: 2,185 kJ/Kg·K
- la potencia de la bomba de calor: la potencia que no podamos extraer del subsuelo.
- su COP y su ciclo de trabajo.

ASHRAE propone la siguiente ecuación para conocer la longitud aproximada, posteriormente se realiza unos cálculos para dimensionar la longitud de los colectores con exactitud, para ello, es preciso conocer el coeficiente de convección del fluido con el subsuelo.

$$L = 0,05506 \cdot \frac{E_{extraída}}{(T_e - T_s)}$$

Dónde:

L: longitud de sondeo (m)

Eextraída : energía extraída del terreno (MJ)

Ts: temperatura del terreno (° C)

Te: temperatura de entrada (° C)

Para hacerlo se realizará un procedimiento iterativo mediante hoja de cálculo para poder conocer los parámetros necesarios para llegar a conocer el coeficiente de convección.

En primer lugar se debe calcular el Reynolds, que se recomienda sea mayor a 2.300, para que asegure una turbulencia adecuada:

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

u: velocidad del fluido (m/s):

D: el diámetro interno del tubo (m)

v: La viscosidad cinemática (m²/s) a la temperatura media del conducto (T_c),

$$v = \mu/\rho$$

μ: viscosidad (kg/s·m)

ρ: densidad (kg/m³)

$$T_c = \frac{T_e + T_s}{2}$$

T_e: T^a entrada del fluido.

T_s: T^a salida del fluido.

La variación de la temperatura a lo largo del conducto sigue una distribución logarítmica, mientras que se considera constante la temperatura del subsuelo, así calcularemos la variación logarítmica media de la temperatura (ΔT_{lm}):

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

A continuación exponemos la ecuación del calor obtenido del terreno:

$$Q = UA \cdot F \cdot \Delta T_{lm}$$

Donde:

Q: Potencia calorífica obtenida del terreno.

F: coeficiente de corrección en función de la forma del intercambiador.

UA: inverso de las resistencias térmicas:

$$UA = \frac{1}{h_{int}} + \frac{1}{R_{Cond}} + \frac{1}{R_{suelo}}$$

Siendo:

$$h_{int} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot h_c \cdot L}$$

$$R_{cond} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot k_{tubo} \cdot L}$$

$$R_{suelo} = \frac{\ln \frac{2 \cdot h}{r_{media}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{suelo} \cdot L}$$

r_1 : Radio interior conducto polietileno (m).

r_2 : Radio exterior conducto polietileno (m).

r_{med} : Radio medio conducto polietileno (m).

k_{tubo} : Coeficiente conductividad termica polietileno (W/m·°C).

$k_{suelo} \rightarrow$ [W/m·°C]. Coeficiente conductividad termica subsuelo (W/m·°C).

L : Longitud tubo (m).

h : Distancia que separa unos conductos de otros: 5m.

h_c : Coeficiente convección (W/m²·°C).

A continuación se calculará el Prandtl:

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k}$$

Donde:

C_p : Calor específico a presión constante es de 2,185 kJ/Kg·K.

k : Conductividad térmica = 1,7+0,47+0,498 = 3,58 W/m·K

A través de la ecuación de Gnielinski se calcula el número de Nusselt y así calcular el coeficiente de convección. Para poder aplicar esta fórmula al fluido han de cumplir las siguientes condiciones:

$$0,5 \leq Pr \leq 2000 \quad \text{y} \quad 3000 \leq Re \leq 5 \cdot 10^6$$

Después de confirmar esto, ya se puede calcular el Nusselt.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^n$$

Siendo n un coeficiente que vale 0,3 si el fluido se enfría y 0,4 si se calienta.

Ahora ya se puede obtener el coeficiente de convección:

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{D}$$

Conocidos los datos ya podemos ratificar la longitud de los colectores con precisión. Conociendo la potencia que necesitamos absorber o ceder, se determinará la superficie necesaria de contacto y por tanto con las tablas del fabricante de colectores, se determinará el diámetro.

Además conocidos estos datos se puede conocer el caudal másico del fluido geotérmico, mediante:

$$P_g = \dot{m} \cdot c_e \cdot (t_{G,e} - t_{G,s})$$

7.2.2. Bomba de calor

Es el fabricante el encargado de proporcionar su rendimiento, y de las diversas bombas de calor se seleccionará la que tenga mayor eficiencia mediante el COP (*coefficient of performance*), este se define como:

$$COP = \frac{Q_H}{W}$$

Otro ratio importante es el EER (*Energy Efficiency Ratio*), que es la relación entre la capacidad de refrigeración y la electricidad consumida. Como su definición indica se usa para ver la eficiencia de la bomba de calor en su modo de enfriamiento. En el presente proyecto se empleará el concepto de EER que se define de la siguiente manera:

$$EER = \frac{Q_L}{W}$$

Donde Q_H es el calor extraído del recinto durante verano, mientras que Q_L es el calor aportado en condiciones calefacción y W el trabajo eléctrico que necesita el compresor (y las bombas de circulación).

Además se cumple que:

$$COP = EER + 1$$

Existen diferentes tipos de bomba de calor en función de la fuente de donde se obtenga el calor y fluido que lo distribuya. Entre los diferentes tipos se pueden clasificar en bombas aire-aire, aire-agua, agua-aire y agua-agua. En el caso

que nos ocupa se emplearán bombas mixtas agua-aire y agua-agua. A veces también se emplea la terminología “bomba tierra-agua o tierra-aire”.

Para poder dimensionar correctamente la bomba de calor a instalar es preciso realizar los siguientes cálculos. En primer lugar conocer el calor a transportar:

$$Q = \eta \cdot \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{g,ent} - T_{g,sal}) = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_2 - T_1) = C_{geo} \cdot UA \cdot \Delta T_{m,log}$$

- Variación del COP

En función de las condiciones de operación de la bomba el rendimiento (COP) en función de la Temperatura del fluido. Esta variación es muy significativa. Después de realizar los cálculos pertinentes se obtiene una gráfica similar a esta:

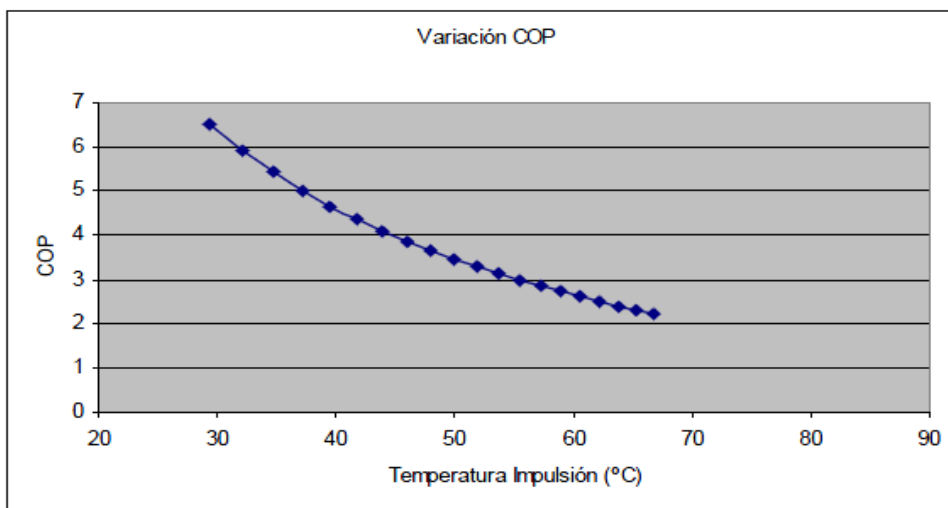


Figura 23: Variación del COP a diferentes temperaturas del fluido

7.2.3. Sistema de distribución de calor

El sistema de distribución de calor para el agua de la piscina va a la central de higienización, este no se incluye en el presente proyecto puesto que no está incluido en la climatización. Por su parte, el sistema de distribución del agua de ACS no existe porque se distribuye directamente.

Por último en la climatización del aire está incluida en el deshumidificador mediante “fan-coils” y van integrados en el equipo. Su funcionamiento se describe a continuación.

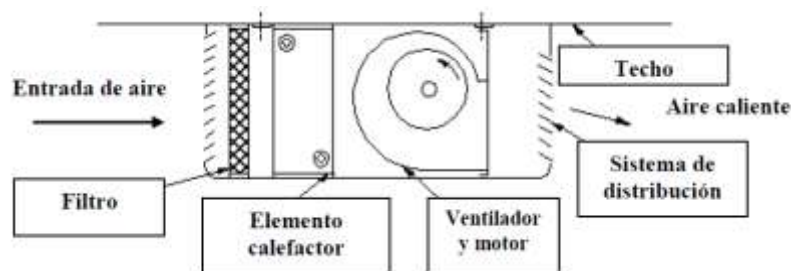


Figura 24: diagrama de funcionamiento de un fan-coil.

El sistema es simple, está formado por un filtro de aire, un sistema de tubos calefactores, que corresponden al circuito secundario de la bomba de calor y un ventilador centrífugo que mueve el aire caliente hacia el recinto. En nuestro caso hay dos, uno para el sistema de calefacción y otro para el de refrigeración.

7.3. Sistema de apoyo

Hay diversas alternativas para cubrir las puntas de demanda. Principalmente diferenciaremos entre dos grandes grupos, los eléctricos y los de combustible. Como esos picos son en invierno, solo nos plantearemos la calefacción. Esta se puede conseguir mediante calefacción eléctrica o mediante caldera. En este último equipo puede alimentarse con diversos combustibles, evaluaremos la posibilidad de instalar tanto caldera de gas natural como procedente de biomasa, de “*pellets*” o de residuos.

7.3.1. Calefacción eléctrica

Este equipo presenta varias ventajas, en primer lugar la comodidad en su uso, puesto que está conectado a red y no precisa de aporte de combustible. Tampoco es necesario realizar obras ni se emiten gases. Además su rendimiento, con equipos avanzados es elevado. Por el contrario, se detallará en el próximo apartado el coste económico, que por lo general suele resultar más elevado que otras tecnologías. Antiguamente, con la tarifa nocturna (53% más barata que la diurna) y con el uso de un acumulador de calor, resultaba una alternativa muy atractiva.

7.3.2. Caldera de condensación de gas natural

Este sistema es uno de los más empleados en este tipo de instalaciones. El gas natural es más limpio que el de gasoil y con el sistema de recuperación del calor latente mediante el sistema de condensación resulta una alternativa eficaz. Una vez instalada, puede ser utilizado tanto como calefacción como para la producción de agua caliente si fuera preciso. Además tiene una regulación del calor excelente y no requiere de tanques de combustible, evitando los costes de mantenimiento y no requiere de hacer el pedido periódicamente. Por el contrario presenta algunas desventajas, como son, tener que hacer una instalación previa, sobretodo de los conductos de gas natural o la necesidad de tener que pagar la parte de factura por tener contador y tener cubierta una potencia, y no solo pagar por el combustible consumido.

7.3.3. Caldera de pellets

Los pellets son un combustible ecológico que procede de residuos fundamentalmente forestales, esos restos de madera triturada y prensada en pequeños cilindros, como se ve en la figura siguiente, que tiene mejor capacidad de quemar que la madera en tronco.



Figura 25: imagen de pellets.

La energía que contienen los pellets es alta en comparación con su bajo precio ya que su poder calorífico aproximadamente el 50% que el del gasóleo. Las principales características son:

- contenido máximo de humedad del 8%.
- poder calorífico de 4000-4500 kcal/kg.
- una densidad 700 kg/m.

El coste de los pellets está en torno a 0,15 €/kg. Por ello se ahorrarían hasta un 40% comparándolas con el consumo de una caldera a gasóleo. Las calderas

de este tipo son capaces de autoalimentarse, estando programada para mantener una determinada temperatura o encenderse y apagarse automáticamente a una hora concreta.



Figura 26: caldera de pellets con depósito instalado.

Además estas calderas reciben subvenciones para fomentar su instalación, tienen rendimientos elevados (en torno al 90-92%) no presentan condensaciones indeseadas, pueden aprovechar el calor latente si la caldera es de condensación, son seguras, amplio rango de temperatura de salida, bajo mantenimiento ya que presentan un sistema de autolimpieza, mediante una sonda lambda envía la cantidad óptima de aire para conseguir un quemado lo mas eficiente posible. Por el contrario, requiere de una carga periódica, actualmente no hay muchos fabricantes de pellets y requieren de mas espacio de almacenaje que otras calderas.

7.3.4. Caldera de biomasa

Aunque las calderas de pellets se consideran de biomasa, en este apartado incluiremos las que queman huesos de aceituna o cáscaras de frutos secos. En esta evaluación solo tendremos en cuenta las más utilizadas que son las de cáscara de almendra y de huesos de aceituna ya que son las más extendidas y las que presentan un PCS más elevado.

Precio del kg de huesos ya empaquetado es de entorno a 0,065€/kg y el de la cáscara de almendra de unos 0,086€/kg. Los poderes caloríficos de los huesos son 4,70 kWh/kg y de las cáscaras 10,22kWh/kg.

Por tanto resulta:

- Huesos: 0,0127€/kWh.
- Cáscaras: 0,0064€/kWh.
- Gasóleo: 0,0906 €/ kWh.

Por lo demás tiene las mismas ventajas e inconvenientes que las de pellets.

7.3.5. Caldera de residuos

Estas calderas que se asemejan a las anteriores lo único diferente es el uso de otro tipo de combustible sólido, el CDR, Combustible Derivado de Residuos. Éste se obtiene de la separación de los residuos sólidos urbanos en las plantas de selección de residuos reciclables. Fundamentalmente está compuesto por pequeños trozos de papel manchado y de pequeños trozos de plásticos no reciclables. Éstos una vez higienizados y aptos para ser conservados, sin pudrirse, es un excelente combustible. Ya se utiliza mucho combinado con otros combustibles sólidos en la industria.



Figura 27: imagen de CDR triturado.

Algunas de sus características son:

- Bajo nivel de humedad (inferior al 17%).
- Poder calorífico por encima de las 4.500 kcal/kg.

8. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se realizará una evaluación económica para conocer el “mix” de cada tipo de instalación para conseguir que se aproxime más al óptimo económico. Debe tenerse en cuenta que para producir poca energía la instalación resulta más cara, a partir de aquí el coste unitario va descendiendo hasta llegar al óptimo, a partir de ahí el coste aumenta, esto es así porque para cubrir las puntas de energía (que se da pocas veces al año) sería necesario sobredimensionar mucho la instalación para producir pocos kWh al año.

8.1. Evaluación de la instalación solar térmica

Con los datos de irradiación global, las horas de sol al año y la diferencia de temperaturas del fluido antes y después de pasar por el captador se han obtenido la potencia específica y la energía por unidad de superficie. Así pues, conocidas las potencias a cubrir se han calculado la superficie necesaria y el número de captadores para cada posible potencia, en intervalos del 5%.

Así mismo se ha tomado un valor medio de rendimiento y de coste para calcular el coste para cada caso. Después se le ha añadido el coste de instalación y se le ha aplicado el factor de utilización (nº de horas utilizada) hasta obtener los valores del ratio €/kWh anuales, como se detalla a continuación.

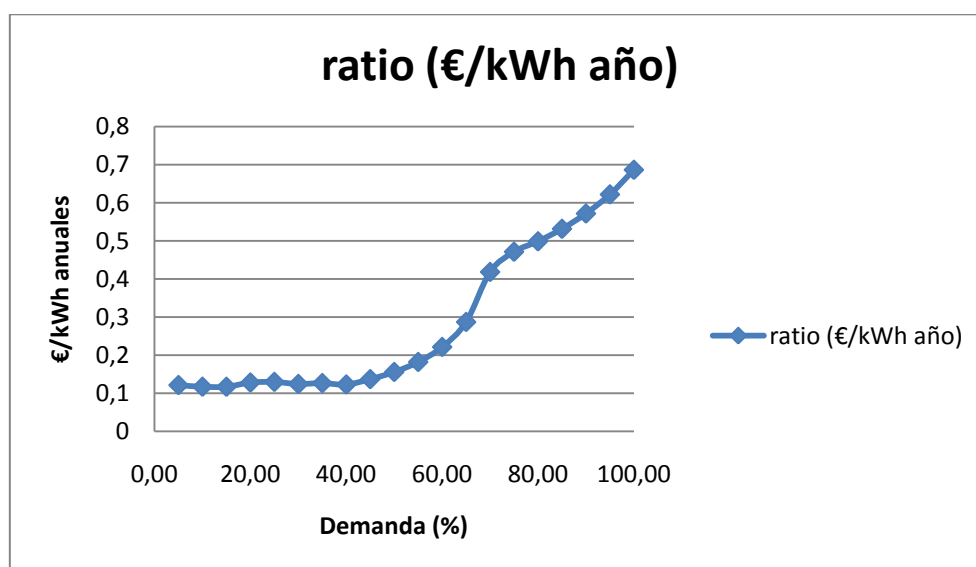


Figura 24: ratio €/kWh anuales para la instalación solar térmica.

Por ello, se decide cubrir el 40% de la demanda (137,45kW) con este tipo de instalación.

8.2. Evaluación de la instalación geotérmica

Para este tipo de instalación se ha realizado de forma similar al anterior, si bien es cierto que el procedimiento de dimensionado es diferente, como se expuso en el apartado de caracterización. Hay que tener en cuenta que el coste de la instalación incluye además de los colectores, hacer las perforaciones y la compra de la bomba de calor. Tras realizarlo se han obtenido estos resultados:

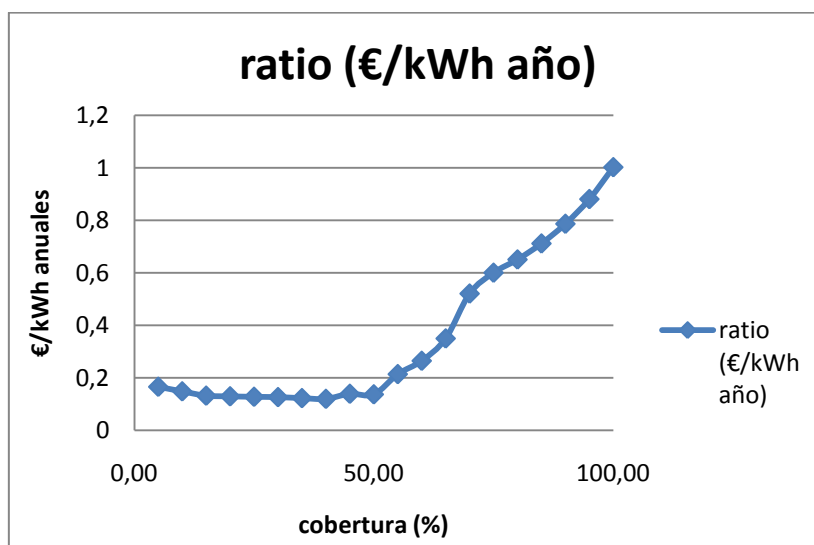


Figura 28: ratio €/kWh anuales para la instalación geotérmica.

Para verlo más claramente, ampliaremos la zona de menor ratio:

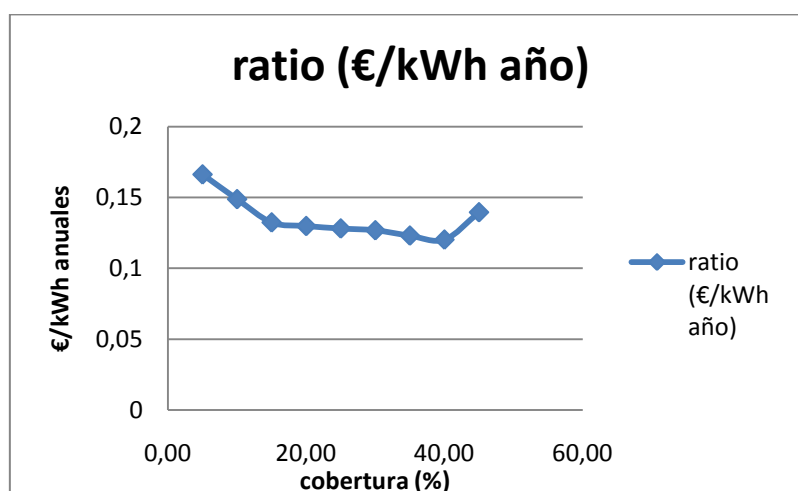


Figura 29: Ampliación del ratio €/kWh anuales para la instalación geotérmica.

Por ello, se decide cubrir también el 40% de la demanda (137,45kW) con este tipo de instalación.

8.3. Evaluación del sistema se apoyo

En este caso, el resto de demanda se deberá cubrir con el sistema de apoyo de caldera. Ese 20%, que representan un 68,73kW, se deberá sobredimensionar para cubrir bajos rendimientos del sistema solar térmico, en días nublados.

Para diferenciar entre qué tipo de caldera se instalará se siguió el método de calcular el mínimo coste del conjunto caldera y del combustible para cubrir la potencia deseada, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 25: comparativa de costes actualizados para cada tipo de caldera.

PARÁMETRO	ELECTRICIDAD	GAS NATURAL	PELLETS	HUESOS	CÁSCARAS	CDR
Densidad energética (kcal/kg)	-	9.560	4.500	4.600	4.760	4.800
Coste combustible (€/kg)	-	-	0,15	0,14	0,14	0,17
Coste energía (€/kWh)	0,10	0,06	0,036	0,033	0,032	0,038
Energía (kWh)	73.122	73.122	73.122	73.122	73.122	73.122
€ gastados año1	7.312	4.534	2.621	2.393	2.313	2.785
Coste caldera (€)	3.500	3.000	12.000	10.000	10.000	10.000
€ gastados 20 años	182.806	113.340	65.536	59.837	57.826	69.632
COSTE total (k€)	186,31	116,34	77,54	69,84	67,83	79,63

Para verlo mejor se expone el siguiente gráfico:

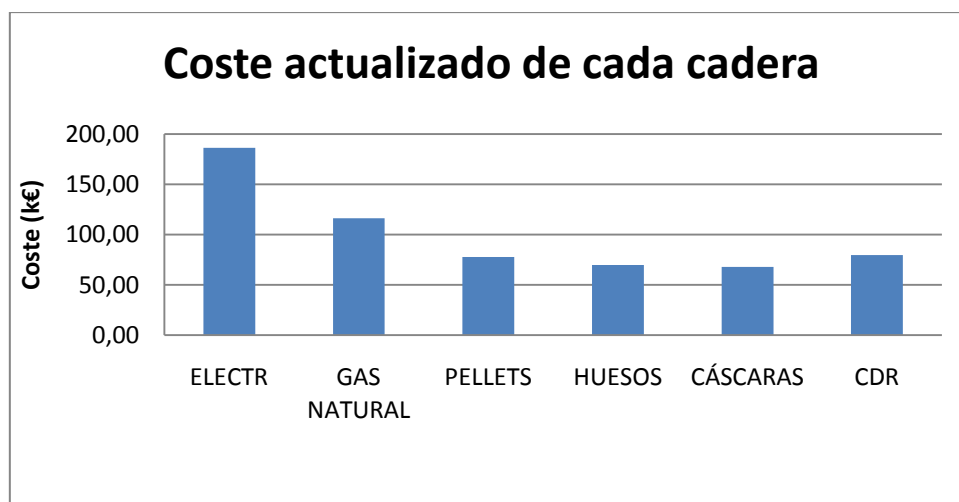


Figura 30: comparativa de costes actualizados para cada tipo de caldera en función del combustible utilizado.

Es por ello, que el tipo de caldera escogida es el de cáscara de almendra.

9. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

A continuación se representa un esquema de la instalación. En los planos anexos se describen también las conexiones entre los diversos equipos.

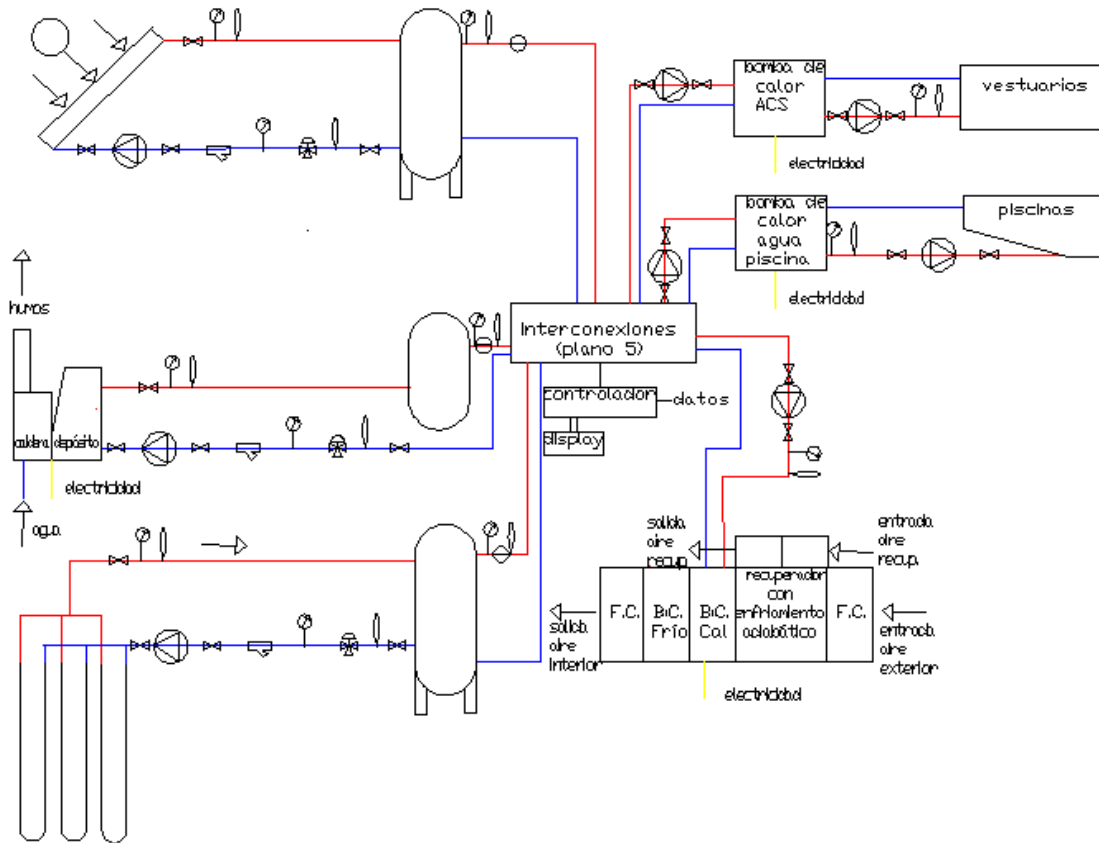


Figura 31: Esquema de la instalación.

10. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

Como esta tecnología está muy extendida, se ha partido de la ficha técnica de un colector medio, tanto en rendimiento como en coste.

10.1. Colectores

En este caso se ha elegido un COLECTOR PLANO **WS-P7300**. Los datos del colector son:

Superficie útil: 2,3 m².

η_0 : 0,82

m_1 : 4,39 W/m²·K

m_2 : 0,01 W/m²·K²

$$\eta = \eta_0 - m_1 \cdot \left[\frac{(T_m - T_a)}{I} \right] - m_2 \cdot \left[\frac{(T_m - T_a)}{I} \right]^2$$

Obteniendo la siguiente recta de rendimiento:

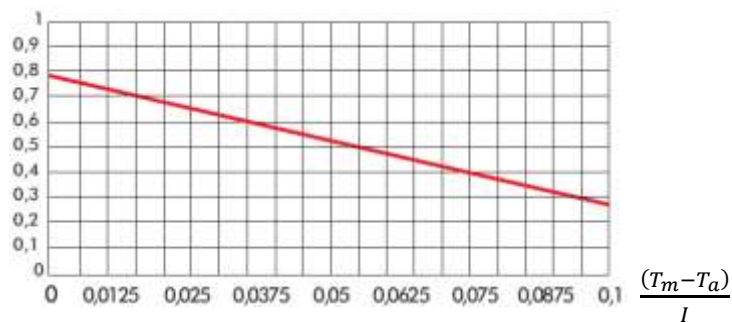


Figura 32: rendimiento del captador [FUENTE: wolss-sunrain].

Los valores de potencias, de energía y de rendimiento son las siguientes:

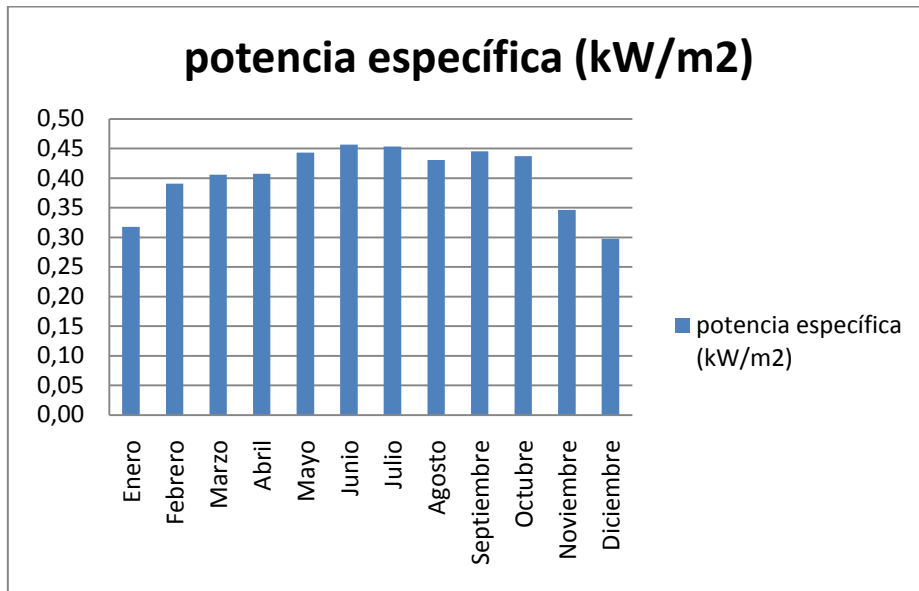


Figura 33: potencia específica media mensual.

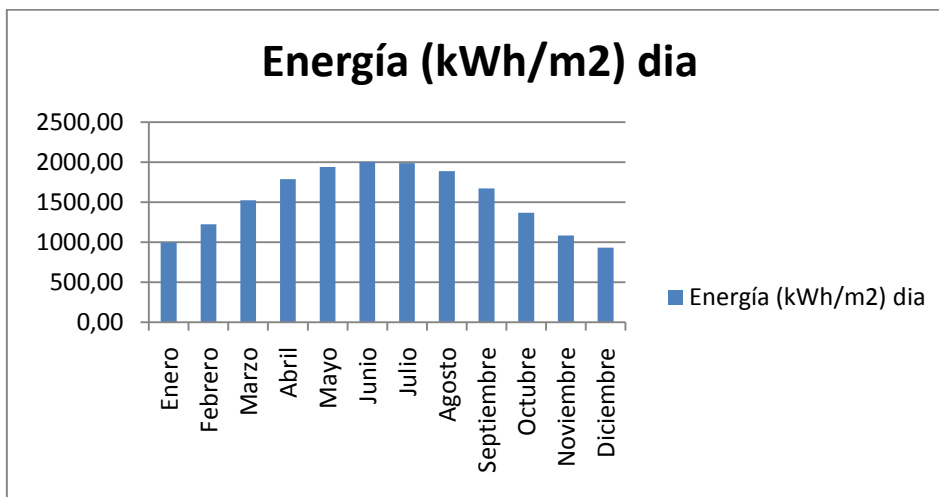


Figura 34: energía media mensual producida.

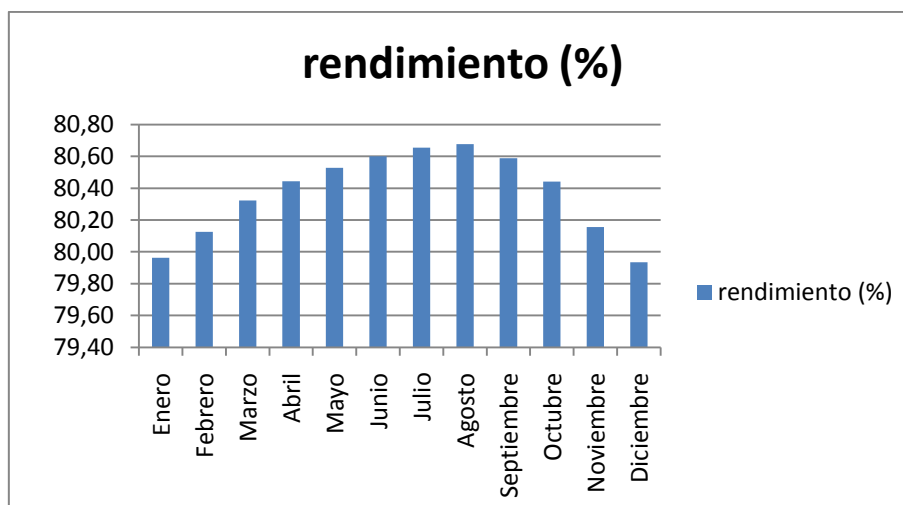


Figura 35: rendimiento medio mensual.

Para cubrir la potencia necesaria de 137,44kW, y teniendo en cuenta un rendimiento medio del **80,37%**, una potencia específica de **0,40kW/m²** y la superficie de cada colector, serán necesarios **149 colectores** proporcionando una superficie útil de **341,44 m²** cubriendo una potencia real de **137,96kW**.

Se conectarán en 2 filas, la primera de 4x19 colectores y la segunda de 4x18 colectores más 1x 3 en serie con esta segunda fila. El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal será de 30° y la orientación será Sur.

La separación entre filas de colectores debe ser igual o mayor que el valor obtenido mediante la expresión, teniendo en cuenta que la altura de colector es de 2,356m:

$$d=k \cdot h = 1,732 \cdot 2,356 = 4,08m$$

Por tanto entre una fila y la otra estarán distanciadas 6m, ya que hay superficie suficiente en el tejado. No se tienen en cuenta las pérdidas por sombras ya que no hay obstáculos cercanos. El caudal del fluido portador será de 3 l/s ya que es de aprox. 1,5l/s por cada 100 m² de área de colectores. Por tanto el caudal total será de **5l/s**, por tanto de **2,5l/s por cada fila**.

10.2. Acumulador de agua

La relación entre el volumen del acumulador y la superficie de los captadores será de 58,6 l/m², obteniendo un volumen total de **20 m³**, dispuestos en **4 acumuladores** de 5.000 l cada uno del modelo SOLARIS Gama VS-5000 (ref. 03ACU0005). Este acumulará agua a **60°C**.

10.3. Pérdidas por orientación

Las pérdidas por orientación, son de un:

$$C_p(\%) = 100 \cdot (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (30^\circ - 41,15^\circ)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0^2) = \mathbf{1,49\%}$$

10.4. Sistema de intercambio

La potencia del intercambiador P se ha calculado:

$$P = 500 \cdot 341,41 \text{ m}^2 = \mathbf{170,7kW}$$

Los serpentines seleccionados serán los Acumulador Roth W-200. Con una potencia de intercambio de **200kW** y una superficie total de Por tanto, una superficie total de intercambio de **52,72m²**, lo cual está dentro de la norma que exigía una superficie 0,15 veces la superficie de captación, o sea **51,21m²**. Este está incorporado en el acumulador.

10.5. Dimensionado de la bomba

La bomba de circulación será de un 1% de la potencia térmica del intercambiador, por tanto, de **1,7kW** del tipo Lorentz PS1800 CS-36-1 de 1,8kW.

10.6. Cálculo de tuberías

10.6.1. Pérdidas por accesorios

Como accesorios se entienden derivaciones y codos, para ello se calculará mediante:

TABLA :26 pérdidas de carga por cada accesorio.

Zona 1	Accesorio	Vel (m/s)	Nº accesorios	K	H _{ac} (m.c.a.)
	T cerrada	1,50	3,00	0,40	0,14
	T abierta	1,50	4,00	1,00	0,46
	Codo	1,50	25,00	1,00	2,87
	Red. sección	1,50	4,00	0,50	0,23
	Válvula abierta	1,50	5,00	0,20	0,11
	Válvula seguridad	1,50	2,00	2,50	0,57
	Válvula retención	1,50	0,00	2,00	0,00
TOTAL 1					4,38
Zona 2					
	Accesorio	Vel (m/s)	Nº accesorios	K	H _{ac} (m.c.a.)
	T cerrada	1,50	0,00	0,40	0,00
	T abierta	1,50	2,00	1,00	0,23
	Codo	1,50	5,00	1,00	0,57
	Red. sección	1,50	2,00	0,50	0,11

Válvula abierta	1,50	4,00	0,20	0,09
Válvula seguridad	1,50	0,00	2,50	0,00
Válvula retención	1,50	0,00	2,00	0,00
TOTAL 2				1,01
Zona 3				
Accesorio	Vel (m/s)	Nº accesorios	K	H_{ac} (m.c.a.)
T cerrada	1,50	3,00	0,40	0,14
T abierta	1,50	4,00	1,00	0,46
Codo	1,50	25,00	1,00	2,87
Red. sección	1,50	4,00	0,50	0,23
Válvula abierta	1,50	5,00	0,20	0,11
Válvula seguridad	1,50	3,00	2,50	0,86
Válvula retención	1,50	0,00	2,00	0,00
TOTAL 4				4,67
GLOBAL				10,06

En la tabla anterior se han detallado la diferente valvulería. Estas serán del modelos GALEFFI-GEO (véase el anexo referido a las fichas técnicas).

10.6.2. Pérdidas por tramos rectos

En este caso:

TABLA 27: pérdidas de carga para tramos rectos.

Zona	Caudal (l/h)	Vel (m/s)	Long (m)	D teórico(m)	D real (m)	Re	e/D	f	Hc (m.c.a.)
1,00	10800	1,50	45,00	0,02	0,20	235384	0,03	0,06	1,53
2,00	5400	1,50	7,00	0,02	0,20	235384	0,03	0,06	0,24
3,00	7200	1,50	32,00	0,02	0,20	9870	0,01	0,03	0,62
TOTAL									2,38

Por tanto la longitud total de conductos es de 84 m.

10.6.3. Pérdidas por la maquinaria

Éstas vienen dadas por el fabricante mediante ensayos normalizados.

TABLA 28: pérdidas de carga por la maquinaria.

Máquina	Nº maquinaria	Hm unitarias (mca)	Hm total (mca)
Captadores	1	4,5	4,5
acumulador	1	0,9	0,9
circuito emisor	1	2,3	2,3
		TOTAL	7,7

11. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

Esta instalación servirá para cubrir parte de las tres climatizaciones, agua de las piscinas, ACS e íntegramente el aire del recinto. Es por ello que colocamos el deshumidificador en este apartado, ya que utiliza una bomba de calor geotérmica en el equipo.

11.1. Deshumidificador con recuperación y enfriamiento adiabático

Como ya se ha calculado anteriormente el caudal de aire necesario y la potencia térmica de la bomba de calor integrada, se ha decidido por **dos** deshumidificadores con recuperadores incorporado **Mernega ThermoCond SolVent 25kW** de **30.000m³/h** cada uno, lo que equivale a **8,3m³/s** cada uno, y de **16,6 m³/s** que cubre los 15,63 m³/s calculados. Como se observa en el esquema se distingue el equipo de enfriamiento adiabático.

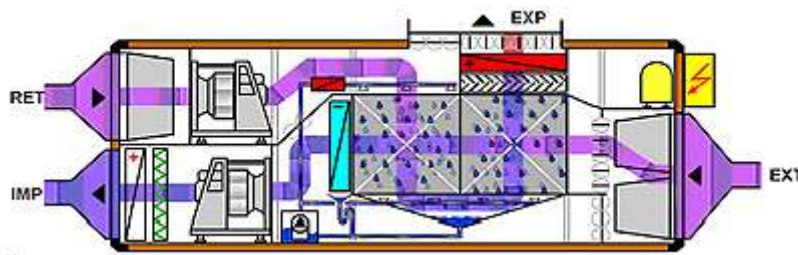


Figura 36: esquema del deshumidificador

Los “fan-coils” van integrados en el deshumidificador. También se incorpora la bomba de calor aire-agua de **125kW** para calefacción y de **25kW** de refrigeración, para cubrir los 110kW y 24,4kW respectivamente calculados. La energía eléctrica consumida para su funcionamiento es de **29kW** en calefacción y de **6,6kW** en para la bomba de refrigeración.

Con lo que el rendimiento nominal es de un **72,9%** para la calefacción y de un **73,6 %** para la calefacción. Además, podríamos tomar como valor medio, teniendo en cuenta la temperatura media del agua para calefacción, un **COP** de **3,21**. Y el rendimiento de esta bomba de calor actuando para refrigeración: **EER** de **3,79**. Cabe reseñar que también precisan de electricidad para hacer el funcionamiento de los ventiladores centrífugos.

11.2. Colectores enterrados

Los colectores verticales son de polietileno (PE), se han escogido de **RAUGEO PE-100**, tras hacer los cálculos pertinentes, mediante la aproximación se obtuvieron 825,30 m y tras calcular los coeficientes de convección, etc. mediante el método ASHRAE se han obtenido **859,69 m**, obviamente se escogerá este último. Tras los cálculos la superficie de captación asciende a **113,38 m²**.

Por tanto El diámetro interior de los mismos es de **42 mm (2")**, con una presión de 6 bar, según fabricantes. Con lo cual se obtiene una Se tomará este último valor por ser un método más exacto. Para alcanzar esta longitud se realizarán 5 perforaciones DOBLES de 80m cada una y una perforación simple de 60m, siguiendo los procedimientos habituales. El flujo másico óptimo para estos colectores es de **7.106,81 kg/h**.

11.3. Acumulador de calor

De forma similar al acumulador de ACS es preciso conectar la salida del circuito de captación un depósito para poder disponer de reserva de agua y favorecer el intercambio. De modo similar al de ACS se ha dimensionado esta. Por ello, el depósito que se instalará será de ENERTRES con una capacidad de **5000l** ya que sería 50 veces la superficie de captación.

11.4. Sistema de tuberías

De forma similar al cálculo de la red de tuberías de la instalación solar, se calcularán las pérdidas de presión de las mismas.

11.4.1. Pérdidas por accesorios

Los accesorios son:

TABLA 29: pérdidas de carga por cada accesorio.

Accesorio	Vel (m/s)	Nº accesorios	K	H _{ac} .(m.c.a.)
T cerrada	2,00	16,00	0,40	1,30
T abierta	2,00	21,00	1,00	4,28
Codo	2,00	42,00	1,00	8,56
Red. Sección	2,00	9,00	0,50	0,92
Válvula abierta	2,00	26,00	0,20	1,06
Válvula seguridad	2,00	8,00	2,50	4,08
Válvula retención	2,00	8,00	2,00	3,26
			TOTAL	23,47

11.4.2. Pérdidas por tramos rectos

En este caso:

TABLA 30: pérdidas de carga para tramos rectos.

Zona	Caudal (l/h)	Vel (m/s)	Long (m)	D real (m)	Re	e/D	f	Hc (m.c.a.)
ACS	4320	2,00	23,00	0,20	313846	0,03	0,06	1,39
PISCINAS	2375	2,00	53,00	0,20	313846	0,03	0,06	3,20
total								4,59

La longitud total de las tuberías es de 76m.

11.4.3. Pérdidas por la maquinaria

TABLA 31: pérdidas de carga por la maquinaria.

Máquina ¹⁰	Nº maquinaria	Hm unitarias (mca)	Hm total (mca)
Bombas de calor	3	3,7	11,1
Depósito de inercia	2	0,9	1,8
Deshumidificador	1	2,25	2,25
		TOTAL	15,15

11.4.4. Otros

- Colectores de distribución

El colector de distribución es el encargado de juntar el agua de los colectores enterrados y llevarla al depósito de inercia. En nuestro caso serán preciso dos colectores de 6 bocas cada una.



Figura 37: colectores de distribución.

¹⁰ Los datos han sido facilitados por los distintos fabricantes.

11.5. Bombas de calor del agua de la piscina

Esta bomba de calor debe permitir garantizar una potencia de 95,94kW, por tanto se ha optado por una bomba agua-agua de **Barti-WB-36ST** de **98,6kW**. La energía eléctrica consumida para su funcionamiento es de **21,2kW**. Con lo que el rendimiento nominal es de un **78,5%** y un COP de **3,91**. Esta bomba de calor agua-agua puede estar alimentada con agua de las tres instalaciones. El caudal de agua a suministrar es de **2375 l/h**.

11.6. Bombas de calor del agua de ACS

En este caso, y de forma similar al anterior, se ha escogido la bomba en función de la potencia a generar, que es de 136,94kW, por tanto se ha optado por una bomba agua-agua de **Barti-WB-36ST** de **143,0kW**. La energía eléctrica consumida para su funcionamiento es de **35,8kW**.

Con lo que el rendimiento nominal es de un **74,07 %**, con un COP en este caso de **1,45**, es menor ya que la diferencia de temperaturas es mayor. Esta bomba de calor puede estar alimentada con agua de las tres instalaciones, aunque preferentemente la de los captadores solares. El caudal de agua máximo a suministrar es de **4320 l/h**.

11.7. Sistema de control central

El sistema de control central es el encargado de abrir y cerrar válvulas, mezclar el agua si es necesario o encender la caldera de apoyo si es necesario. Para ello dispone de una serie de sensores de temperatura y de caudal, una unidad de control central donde llega la señal de los sensores y se procesan los datos y una terminal de mando. El controlador y la unidad terminal son **HWS**.

Los sensores de temperatura se colocarán en:

- La entrada de agua de la red.
- Agua de salida del depósito de inercia geotérmico.
- Agua de salida de acumulador de los captadores solares.
- Agua a la salida de la caldera.
- Agua entrada B.C. del deshumidificador
- Agua entrada B.C. ACS.

- Agua entrada B.C. agua de la piscina

Los manómetros estarán situados detrás de los sensores de temperatura.

Los sensores de caudal se controlarán en:

- Circuito captación geotérmico
- Circuito captación solar
- Entrada del agua a caldera
- Entrada de agua en piscina
- Agua entrada B.C. del deshumidificador
- Agua entrada B.C. ACS.
- Agua entrada B.C. agua de la piscina
- Entrada aire del deshumidificador

Además se deberá encargarse de gestionar las bombas y válvulas mezcladoras así como los ventiladores centrífugos de la unidad de deshumidificación.

12. DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA DE APOYO

Como ya se ha expuesto anteriormente se precisa una caldera de apoyo para cubrir las puntas de demanda energética y para suplir los momentos de bajo rendimiento de la instalación solar térmica durante los días nublados. Para ellos se decidió por razones económicas una caldera de biomasa que usa como combustible preferiblemente cáscara de almendra molida, aunque permite otros combustibles como pellets o huesos de oliva, etc.

Se ha escogido una caldera CLIBER-HPK-RA-160/4.1 que tiene las siguientes características:

Tabla 32: Ficha técnica de la caldera de biomasa

CARACTERÍSTICAS	CLIBER-HPK-RA-160/4.1
Potencia nominal	160 kW
Presión máxima	3 bar
Tª máxima impulsión	95 °C
Tª mínima retorno	55 °C
Nº conductos intercambio	3
Superficie intercambio	13,3 m ²
Contenido de agua	620 l
Peso caldera	2463 kg
Tª gases	130-200 °C
Suministro eléctrico	400 V – 50Hz
Cajón de cenizas	43 l

Aunque en el dimensionado se ha calculado que la potencia a cubrir por la caldera debería ser de un 20% (68,72 kW), se ha optado por una caldera de 160kW para poder cubrir la potencia de la instalación solar térmica en días de bajo rendimiento de la misma. Además el sobrecoste económico en la caldera por instalar una de mas potencia es proporcionalmente reducido, en torno a un 22,2%).

El rendimiento de esta caldera es de un 92% para la potencia nominal. Además permite una variación de potencia desde el 30% (48kW). También exponemos las dimensiones de la misma y el espacio que se debe reservar por seguridad.

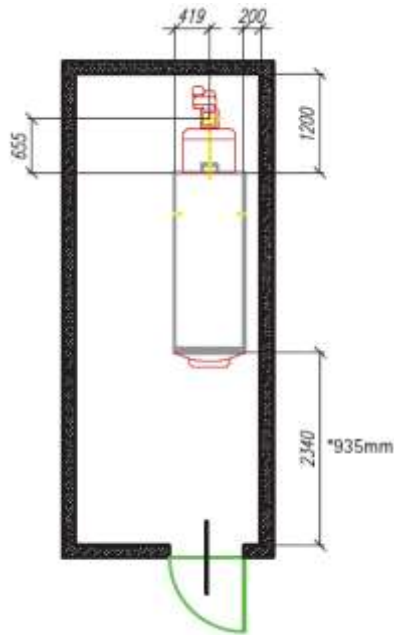


Figura 38: Dimensiones de la caldera y espacio reservado de seguridad.

Además se debe tener en cuenta que al lado de la caldera se instala un depósito doble de combustible con capacidad total para 1000kg y mediante un sistema automatizado y un tornillo sinfín se va introduciendo en la caldera.

12.1. Consumo de combustible estimado

Como esta es la única instalación que utiliza combustible, es necesario estudiar no solo la potencia necesaria de la caldera sino la energía aportada al sistema durante un año y a su vez su equivalente en combustible utilizado, en este caso en kilogramos.

Tomaremos como partida los datos de demanda energética. Los valores siguientes exponen la aportación energética de cada tipo de instalación. Cabe destacar que se toman valores medios y que en los meses en los que no se emplea la caldera de apoyo porque con las otras dos instalaciones se cubre toda la demanda y se toma la aportación solar del 40% y la de geotermia de 60%, ya que esta última es más estable.

Tabla 33: aportes energéticos de cada instalación.

Mes	Energía total (kWh)	Energía Solar (kWh)	Energía Solar (%)	Energía Geotermia (kWh)	Energía Geotermia (%)	Energía caldera (kWh)	Energía caldera (%)
Enero	31.043	5.540	17,85	2.263	7,29	23.240	74,86
Febrero	26.805	5.901	22,01	2.937	10,96	17.968	67,03
Marzo	26.209	7.675	29,28	9.709	37,04	8.826	33,67
Abril	23.792	9.517	40,00	14.275	60,00	0	0,00
Mayo	20.497	8.199	40,00	12.298	60,00	0	0,00
Junio	8.403	3.361	40,00	5.042	60,00	0	0,00
Julio	9.697	3.879	40,00	5.818	60,00	0	0,00
Agosto	8.975	3.590	40,00	5.385	60,00	0	0,00
Septiembre	14.136	5.654	40,00	8.482	60,00	0	0,00
Octubre	17.012	6.805	40,00	10.207	60,00	0	0,00
Noviembre	24.935	5.776	23,16	8.647	34,68	10.512	42,16
Diciembre	27.919	4.493	16,09	9.300	33,31	14.127	50,60
ANUAL	816.593	70.389	32,37	94.363	45,27	74.671	22,36

Por tanto, en energía producida se reparte de la siguiente manera:

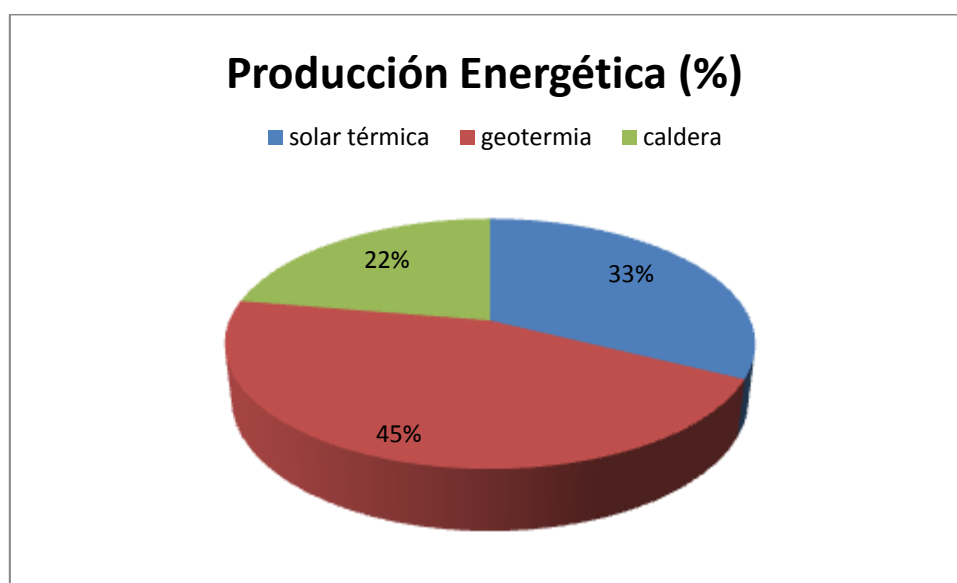


Figura 39: producción energética por instalación.

Con los datos anteriores ya podemos conocer el consumo de energía, teniendo en cuenta el poder calorífico del combustible y del rendimiento de la caldera.

Tabla 34: consumos de combustible.

Mes	Energía caldera (kWh)	Energía consumida (kJ)	Consumo (kg)
Enero	23.240	25.261	4.528
Febrero	17.968	19.530	3.501
Marzo	8.826	9.593	1.720
Abril	0	0	0
Mayo	0	0	0
Junio	0	0	0
Julio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	0	0
Octubre	0	0	0
Noviembre	10.512	11.426	2.048
Diciembre	14.127	15.355	2.752
ANUAL	74.671	81.165	14.549

Por tanto el consumo de cáscara de almendra molida al año es de **14.549,10 kg**. El coste de esta cantidad de combustible ascendería a **960,22 €** y presenta el inconveniente de haber de recargar el depósito 15 veces al año.

13. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el apartado de evaluación económica se ha realizado una evaluación genérica para decidir qué tanto por ciento de demanda se cubrirá. Ahora ya se conoce con detalle las diferentes instalaciones y por ello ya se puede calcular tanto el presupuesto como la rentabilidad, amortización y comparar esos costes con otras tecnologías.

13.1. Presupuesto

En la siguiente tabla se detallan los costes de cada parte de la instalación y el resto de gastos asociados a su diseño e instalación.

Tabla 35: presupuesto de la instalación de climatización¹¹

instalación solar térmica				
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€)	PRECIO	
captadores solares	100	290	29.000	
acumuladores	4	550	2.200	
bomba de calor ACS	1	9.000	9.000	
tuberías (m, €/m)	84	15	1.260	
valvulería	32	55	1.760	
instalación (h)	320	25	8.000	
subtotal			51.220	
instalación geotermia				
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€)	PRECIO	
perforación (h)	40	260	10.400	
captadores enterrados (m)	580	3	1.450	
depósito de inercia	1	490	490	
bomba de calor piscina	1	13.680	13.680	
deshumidificador con recuperador	1	19.800	19.800	
sistema de control central	1	3.800	3.800	
tuberías (m, €/m)	24	15	360	
valvulería	40	55	2.200	
instalación (h)	400	25	10.000	
subtotal			62.180	
instalación caldera apoyo				
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€)	PRECIO	
caldera	1	9.000	9.000	
tuberías (m, €/m)	14	15	210	
valvulería	10	55	550	
instalación (h)	16	25	400	

¹¹ La bomba de calor del deshumidificador va incluida en este.

	subtotal	10.160
	Total Bruto	123.560
otros		
CONCEPTO	COSTE (%)	PRECIO
costes de ingeniería	10	12.356
tasas municipales	4	4.942
subvenciones	30	-37.068
	subtotal	-19.770
	<u>TOTAL</u>	<u>103.790</u>

13.2. Viabilidad económica

El análisis económico del proyecto toma valores actuales y prevé la evolución futura de los mismos, esto nos permite obtener una visión sobre la viabilidad del proyecto. Para ello se calculará el VAN, TIR y a la Recuperación de la Inversión. Tomaremos los siguientes datos de partida:

- Periodo de vida de la instalación: 20 años.
- Precio actual del kWh eléctrico: 0,11248 €/kWh
- Precio actual del gas natural: 4,26871 c€/kWh

Los parámetros se definen de la siguiente manera:

- VAN (Valor actual neto):

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_F$$

VAN: Valor actual neto, mide la rentabilidad absoluta.

FC: Flujo de caja del año j.

I_F : Inversión inicial.

- TIR (Tasa interna de rentabilidad):

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} - I_F = 0$$

TIR: mide la rentabilidad respecto la inversión.

- PR (Periodo de retorno):

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_F = 0$$

PR: describe el número de años que tarda hasta la suma de flujo de cajas actualizadas que iguale el capital inmovilizado.

A continuación se exponen los parámetros de cálculo:

Tabla 36: Parámetros para cada escenario.

PARÁMETRO	Pesimista	Realista	Optimista
Coste de explotación (z)	0,04	0,04	0,04
Tasa de descuento real (r)	0,09	0,075	0,04
Tipo interés (k)	0,06	0,045	0,03
Tasa inflación (g)	0,03	0,03	0,03

Tras realizar los cálculos pertinentes se han obtenido estos resultados, para los tres escenarios diferentes, pesimista, optimista y realista:

Tabla 37: VAN para cada escenario.

ESCENARIO	PESIMISTA		OPTIMISTA		REALISTA	
	tasa (€)	VAN (€)	tasa (€)	VAN (€)	tasa (€)	VAN (€)
0	-103.790	-103.790	-103.790	-103.790	-103.790	-103.790
1	10.973	-92.817	11.566	-92.224	11.405	-92.386
2	10.470	-82.347	11.348	-80.877	11.033	-81.352
3	9.990	-72.357	11.134	-69.743	10.674	-70.678
4	9.532	-62.826	10.924	-58.819	10.327	-60.352
5	9.094	-53.731	10.718	-48.102	9.990	-50.361
6	8.677	-45.054	10.515	-37.586	9.665	-40.696
7	8.279	-36.775	10.317	-27.269	9.350	-31.346
8	7.899	-28.876	10.122	-17.147	9.046	-22.300
9	7.537	-21.339	9.931	<u>-7.216</u>	8.751	-13.548
10	7.191	-14.148	9.744	<u>2.528</u>	8.467	<u>-5.082</u>
11	6.861	-7.286	9.560	12.088	8.191	<u>3.109</u>
12	6.547	<u>-740</u>	9.380	21.468	7.924	11.033
13	6.246	<u>5.506</u>	9.203	30.670	7.666	18.700
14	5.960	11.466	9.029	39.699	7.417	26.116
15	5.686	17.153	8.859	48.558	7.175	33.291
16	5.426	22.578	8.692	57.250	6.942	40.233
17	5.177	27.755	8.528	65.777	6.716	46.948

18	4.939	32.694	8.367	74.144	6.497	53.445
19	4.713	37.407	8.209	82.353	6.285	59.731
20	4.496	41.903	8.054	90.407	6.081	65.811

Por tanto, los valores del VAN, TIR y del PR son:

Tabla 38: VAN, TIR y PR para cada escenario.

ESCENARIO	VAN (€)	TIR (%)	PR (años)
PESIMISTA	41.903	7	12,1
OPTIMISTA	90.406	11	9,3
REALISTA	65.811	9	10,4

Con lo cual podemos confirmar que la inversión es rentable.

También resulta interesante conocer otros parámetros:

- Coste unitario de producción

$$c = \frac{I - V_R(1+r)^{-n} + \sum_{j=1}^n (OM_j + F_j)(1+r)^{-j}}{\sum_{j=1}^n E_j}$$

c: coste unitario de producción (€/kWh) en unidades monetarias constantes.

VR: valor residual de la instalación al fin de su vida útil (umc del año n), en este caso se tomará como 0.

OM_j: costes de operación y mantenimiento en el año j (umc del año j):

$$OM_j = OM_0(1+z)^j$$

F_j: costes financieros correspondientes al año j (unidades monetarias nominales año j):

E_j: energía producida en el año j (kWh)

- Costes de explotación totales:

$$OMT = OM_0 \cdot \left(\frac{1+z}{r-z} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{1+z}{1+r} \right)^n \right]$$

- Costes financieros totales:

$$FT = i \cdot I \cdot \frac{1}{r} \cdot \left[I - \frac{1}{(1+r)^n} \right]$$

Tras hacer los cálculos, el coste unitario es de:

Tabla 39: coste unitario para cada escenario.

ESCENARIO	OMT (€)	FT (€)	C (€/kWh)
PESIMISTA	79248	71428	0,0837
OPTIMISTA	60941	56847	0,0729
REALISTA	69212	63485	0,0778

13.3. Estudio comparativo

A continuación se comparará las inversiones y las tasas de ahorro de diferentes posibles configuraciones. Como tan solo es un estudio comparativo, solo se realizarán los cálculos para el escenario realista.

Tabla 40: Estudio comparativo de diferentes instalaciones.

ESCENARIO	VAN (€)	TIR (%)	PR (años)
30% SOLAR Y ELECTRICIDAD	9.579	1,4	18,6
30% SOLAR Y GAS NATURAL	54.054	6,8	12,7
PROYECTADA	65.811	9	10,4

Por tanto se observa que pese a tener una inversión inicial superior, se ha demostrado que el ahorro de gas natural o de electricidad durante los 20 años de vida útil de la instalación compensa esos costes iniciales.

14. IMPACTO AMBIENTAL

En la evaluación medio ambiental se evaluarán tanto el aprovechamiento de las instalaciones solares y geotérmicas como el ahorro en combustible como en emisiones de la caldera seleccionada comparándola con otros combustibles.

En primer lugar evaluaremos los efectos de las perforaciones, ya sean pozos someros para medir el gradiente geotérmico en la fase de estudio, o bien, pozos de producción. Se debe tener en cuenta que hay una tierra que se deberá depositar en lugares adecuados. Además de las molestias como polvo y ruido durante las obras. Si bien es cierto que una vez acaban las obras tanto el ruido como el polvo desaparece.

Por otro lado, tanto la instalación solar como la geotermia tienen efectos beneficiosos en términos de reducción de CO₂, NO_x y SO_x cuando se comparan con otras posibilidades de calefacción y de refrigeración mediante gas natural y electricidad. Esta última aunque no produce gases en su operación si los produce en generación, como residuos nucleares, o los gases producidos por centrales de ciclo combinado o de carbón.

.

14.1. Emisiones de CO₂

Es interesante comprobar el ahorro de emisiones de CO₂ para el caso que nos ocupa, este ahorro no es solo un ahorro de emisiones si no también es un ahorro económico en el momento en que se pone un precio al derecho de emisión. Ya que desde el año 2005 se ha establecido un mercado financiero donde se compran y venden derechos de emisión.

Estos derechos representan la posibilidad de emitir una tonelada de CO₂ a la atmosfera. Su precio oscila alrededor de los 16,77 €/tn (dato a 31 de mayo 2011). Por lo tanto es muy importante en todo tipo de instalaciones energéticas modernas calcular las nuevas emisiones de CO₂, ya que todo ahorro de tipo medioambiental supone un ahorro económico importantísimo.

Las emisiones de CO₂ de la caldera y el ahorro de las instalaciones geotérmicas y solares son:

14.1.1. Caldera:

En la instalación se consumirán 14,55 tn de cáscaras de almendra. En su combustión por tanto se consumirán:

$$14.549,10 \text{ kg cas} \cdot \frac{72 \text{ kg}_c}{162 \text{ kg cas}} = 6.466,28 \text{ kg}_c$$

$$6.466,28 \text{ kg}_C \cdot \frac{1 \text{ mol}_C}{72 \text{ kg}_C} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{CO_2}}{1 \text{ mol}_C} \cdot \frac{44 \text{ kg}_{CO_2}}{1 \text{ mol}_{CO_2}} = 3.951,6 \text{ kg}_{CO_2}$$

14.1.2. Geotermia y solar-térmica

Se debe tener en cuenta las emisiones unitarias de emisiones tanto para electricidad como para el gas natural, que son de 0,68kgCO₂/kWh y de 0,29kg CO₂/kWh respectivamente. Por tanto:

Tabla 41: emisiones de CO₂ si se emplearan otros combustibles.

	Energía (kWh)	gas natural (kg CO ₂)	electricidad (kg CO ₂)
Geotermia	94.362	27.365	64.166
Solar térmica	70.388	20.412	47.864

Para calcular los derechos de emisión consumidos se emplea la siguiente expresión:

$$t_{CO_2} = DA \text{ (kWh)} \cdot FE \left(\frac{t_{CO_2}}{\text{kWh}} \right)$$

Donde,

t_{CO_2} : Toneladas de dióxido de carbono emitidas.

DA: Datos de la actividad. Representa la diferencia del consumo de electricidad de un sistema convencional de un sistema geotérmico y solar.

FE: Factor de emisión. Ratio entre los Kg de CO₂ emitidos por cada kWh de electricidad en España.

Por tanto, ya se puede calcular el ahorro de emisiones, teniendo en cuenta un FE de $0,501 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{kWh}}$ y una producción anual entre las instalaciones solar y geotérmica de 164.751,56kWh.

$$t_{CO_2} = 0,501 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{kWh}} \cdot 164.751,56 \text{ kWh} = 82.540,53 \text{ kg}_{CO_2}$$

14.1.3. Aprovechamiento geotérmico

El grado de aprovechamiento se define mediante el EAPG:

$$EAPG = \frac{P_G}{\dot{m} \cdot c_e \cdot (t_G - t_a)} \cdot 100 = 75,31\%$$

15. CONCLUSIONES

A continuación se exponen las principales conclusiones a las que se ha llegado tras realizar este proyecto:

En primer lugar debemos señalar que para la climatización de la piscina semi-olímpica cubierta situada Gavà serán precisos **344 kW** repartidos en 137kW para suministrar agua caliente sanitaria, 96kW para calentar el agua de la piscina hasta los 25°C, 111kW para calefacción del aire del recinto y 25kW en refrigeración para mantener el aire a 27°C y 65% de humedad.

Además la demanda energética asciende a unos **834 MWh**, siendo las principales demandas, las de ACS (39%), las pérdidas por evaporación de la lámina de agua (19%) y las pérdidas por renovación del aire en invierno (12%).

Aparte de las condiciones térmicas del local se ha previsto la instalación de un deshumidificador con recuperación de calor y enfriamiento adiabático que elimine los **103 kg/h de agua evaporada** y aprovechar el calor latente hasta un **79,4%** del mismo. Además incluye una bomba de calor con **COP de 3,21** y **EER de 3,79**.

Tras caracterizar las diferentes opciones de suministro de los tres tipos de instalaciones, solar térmica, geotérmica y caldera de apoyo; se ha realizado un pequeño estudio económico de cada una en función de la potencia a cubrir por cada una, así pues, se obtuvo el óptimo económico en un mix en potencia de **40% solar, 40% geotermia, 20% caldera** de cáscara de almendra.

La instalación contará con un sistema de **341,44 m²** captadores solares (de rendimiento medio del **80,37%**) que suministran **138kW** y cubren un **33%** de la energía. Esa agua se envía a depósitos con intercambiadores que suministrarán agua a 40°C para ACS y tras ser mezclada agua a la piscina a 25°C.

También se han instalado un sistema de captadores geotérmicos dobles de **860m** y **2"** que suministran calor o frío a las 3 bombas de calor. Tanto la citada anteriormente como en la bomba de calor de ACS (**COP del 1,45**, consumo eléctrico de **36kW**) y de agua de la piscina (**COP del 3,91**, consumo eléctrico de **21kW**).

La tercera instalación es una caldera de cáscara de almendra de **160kW**, sobredimensionada para cubrir los descubiertos de la instalación solar. Esta cubre al cabo del año el **22% de la energía** y tiene un consumo de unas **15tn** que implican un gasto de unos **1.000€ anuales**.

El presupuesto de este proyecto asciende a **103.790€** y con una vida útil de 20 años se obtiene un **VAN entre 41.000 y 90.000€** según el escenario. Un **TIR** de entre el **7 y 11%**. Y un **periodo de retorno** de entre **9 y 12 años**. El coste unitario de unos **8c€/kWh**. Esta instalación se amortiza dos años antes que una con gas natural y 8 años antes que usando electricidad. Por tanto, podemos afirmar que el presente proyecto es **económicamente rentable**.

El estudio del impacto ambiental indica unas emisiones de unas **4 tn de CO₂** y un ahorro, al no usar electricidad ni gas natural de, **82,5tn**. Con lo que supe las emisiones de la caldera. Además el aprovechamiento geotérmico (**EAPG**) asciende a un **75%**.

16. BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía y las referencias utilizadas y citadas en el presente proyecto se enumeran a continuación:

- [1] Decreto 95/2000, de 22 de febrero, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a las piscinas de uso público.
- [2] Climatización de piscinas cubiertas. Agustín Maillo. CIATESA (compañía industrial de aplicaciones térmicas, S.A.).
- [3] Ahorro de energía en piscinas cubiertas. Eva M^a Albarracín Moreno. CIATESA.
- [4] Eficiencia y confort en piscinas cubiertas. Agustín Maillo Pérez. CIATESA (compañía industrial de aplicaciones térmicas, S.A.)
- [5] Bombas de calor geotérmicas acopladas con el terreno. R. Rubio y M. Zamora. CIATESA para la revista Montajes e instalaciones. Ed. 82. Enero 2009.
- [6] Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE). 20 de julio de 2007 aprobó el Real Decreto 1027/2007.
- [7] Comentarios al RITE-ITE10 Instrucciones específicas. IDAE.
- [8] Energía solar térmica. Col·lecció Quadern Pràctic, núm. 3. ICAEN (Institut Català de l'energia). Generalitat de Catalunya.
- [9] Energía solar térmica. IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía). Ministerio de industria.
- [10] Guía técnica para el ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización. IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía). Ministerio de industria.

- [11] Código técnico para la edificación. RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008).
- [12] Estudi de l'aire en piscines d'ús públic. Bases teòriques i eines d'actuació.
- [13] Integración de las bombas de calor geotérmicas de muy baja entalpía con sistemas de paneles solares. Manuel Herrero (Ferrolí España). Revista Obras Urbanas. Abril 2010. Pág. 98-101.
- [14] Integración de las bombas de calor geotérmicas de muy baja entalpía en instalaciones de climatización. Manuel Herrero. IDAE. Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid.
- [15] Climatización geotérmica de un edificio. Carlos Sanz Jimeno. ICAI. Escuela técnica Superior de ingeniería. U. de Comillas.
- [16] Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica. IDAE. Ministerio de Industria.
- [17] Mapa geològic comarcal de Catalunya 1:50.000. Institut Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya.
- [18] Guía de energía geotérmica. Comunidad de Madrid. Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid.
- [19] 1r congreso geotermia de Galicia. Geotermia, por un futuro eficiente. Investigación geotérmica de España. Posibilidades y perspectivas. 30 de noviembre de 2010.
- [20] Geothermal Energy. Annual Report 2004. International Energy Agency (IEA). Agosto 2005.

- [21] Guía técnica para el mantenimiento de instalaciones térmicas. IDAE. Ministerio de Industria.
- [22] DECRETO 95/2000, de 22 de febrero, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a las piscinas de uso público. DOGC 3092-6.3.2000.
- [23] Fitxes tècniques d'equipaments esportius. Consell General de L'esport. Generalitat de Catalunya.

Páginas web consultadas:

- Unión española de geotermia (UGE). <http://www.googlenergy.com>
- CIEMAT: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/>
- Guías técnicas IDAE: <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.1030/id.430/reلمenu.53>
- CIETASA: <http://www.ciatesa.es/>
- Consejo Superior de deportes, instalaciones públicas/ piscinas cubiertas: <http://www.csd.gob.es>
- Empresa: Girod Geotermia: <http://www.girodgeotermia.com>
- Bartl: <http://www.bartl.es/download/pdf/Geotermia.pdf>
- Solaris: <http://www.solaris.es/>
- Menerga_ climatización eficiente: <http://www.agendascomunes.net>

Climatització de una piscina coberta mediante la combinació de energia solar tèrmica, geotermia y caldera de apoyo de biomasa.

ANEXOS

Autor: Jordi Noguera Sebastián
Director: Dr. Miguel Villarrubia López
Convocatòria: Juny-2011.



**Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia**

ANEXO 1: Planos

Plano 1: Ubicación de la instalación.

Plano 2: Piscina.

Plano 3: Captadores en planta.

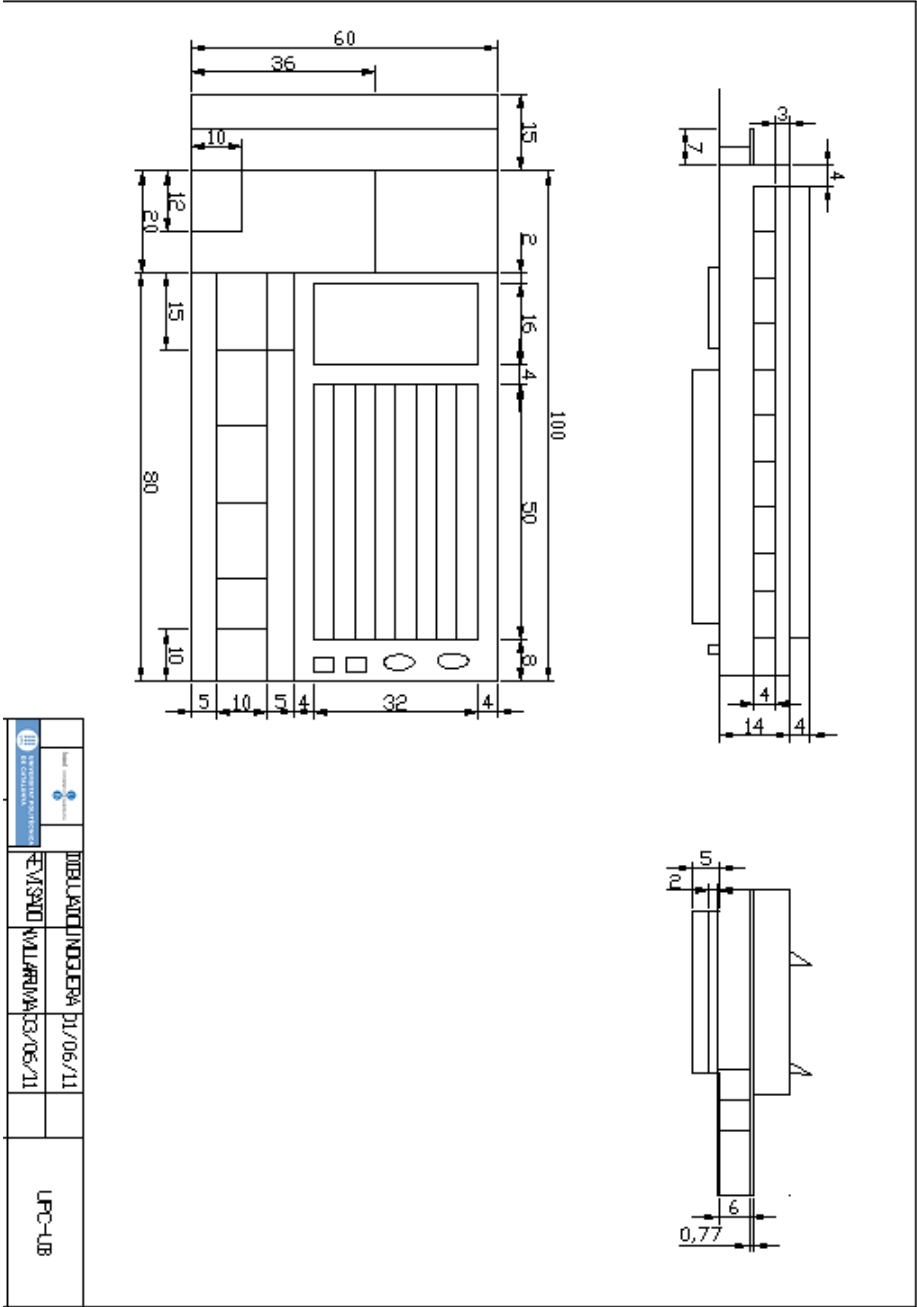
Plano 4: Esquema de la instalación.

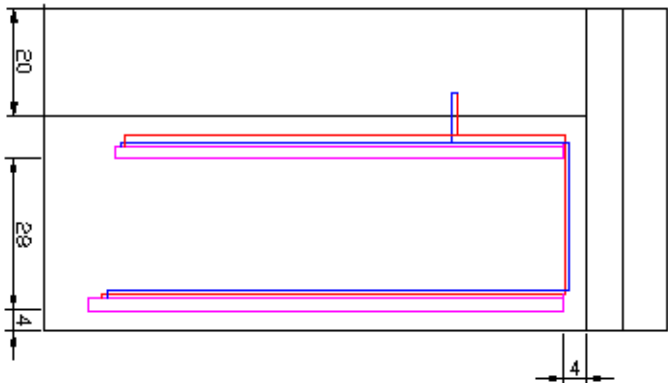
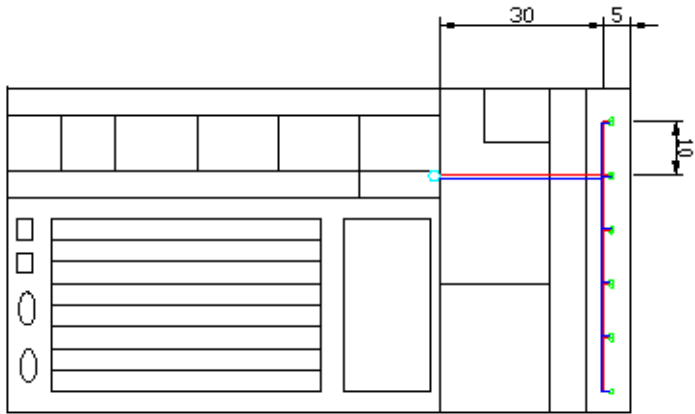
Plano 5: Detalle de interconexiones.



■ UBICACION

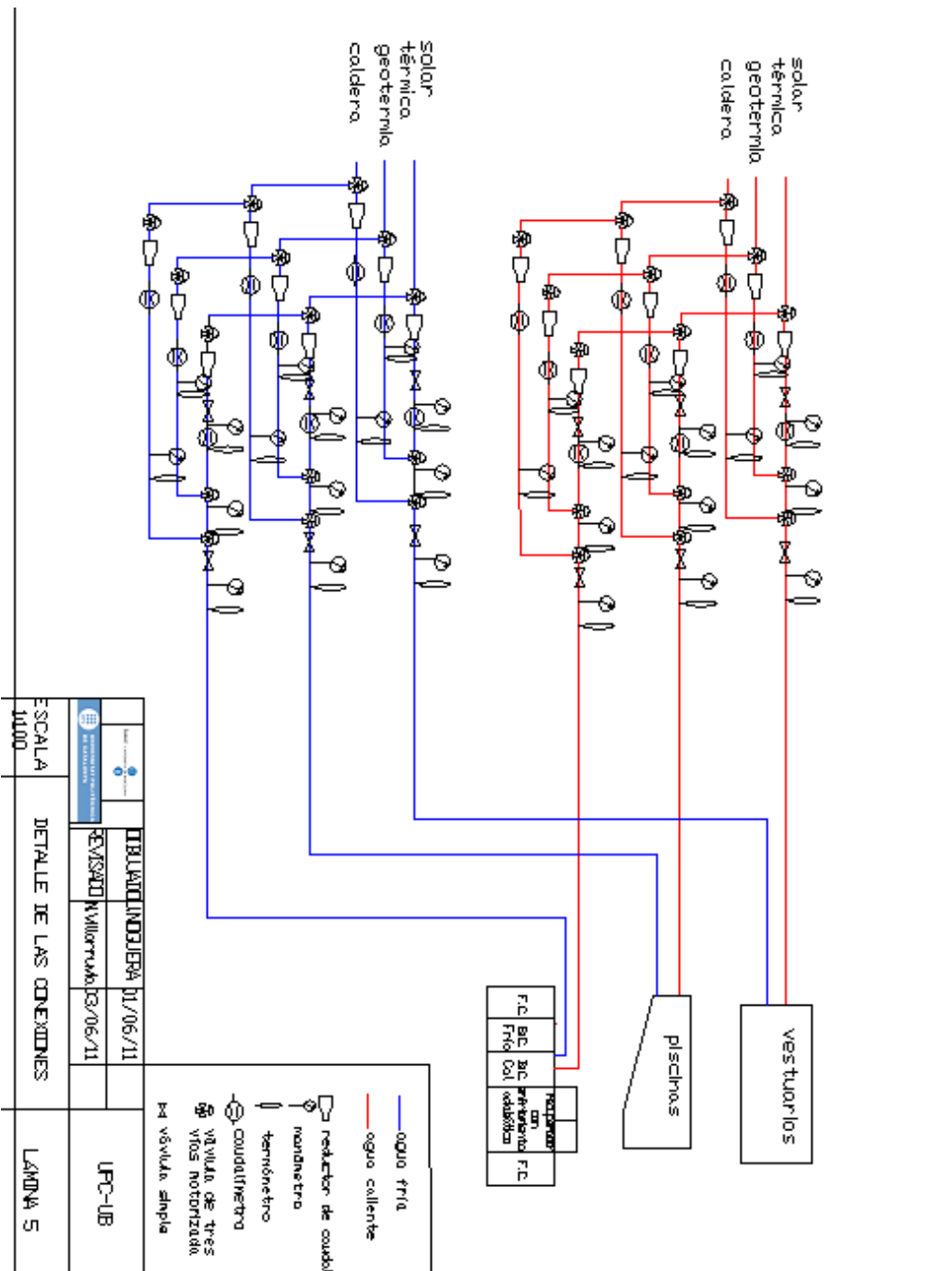
 UNIVERSIDAD DE LA PAZ ESCALA 1:1000	DISEÑO: INDOLESA 01/06/11		UPC-UB
	REVISÓ: WILLERMA 13/06/11		
UBICACION			

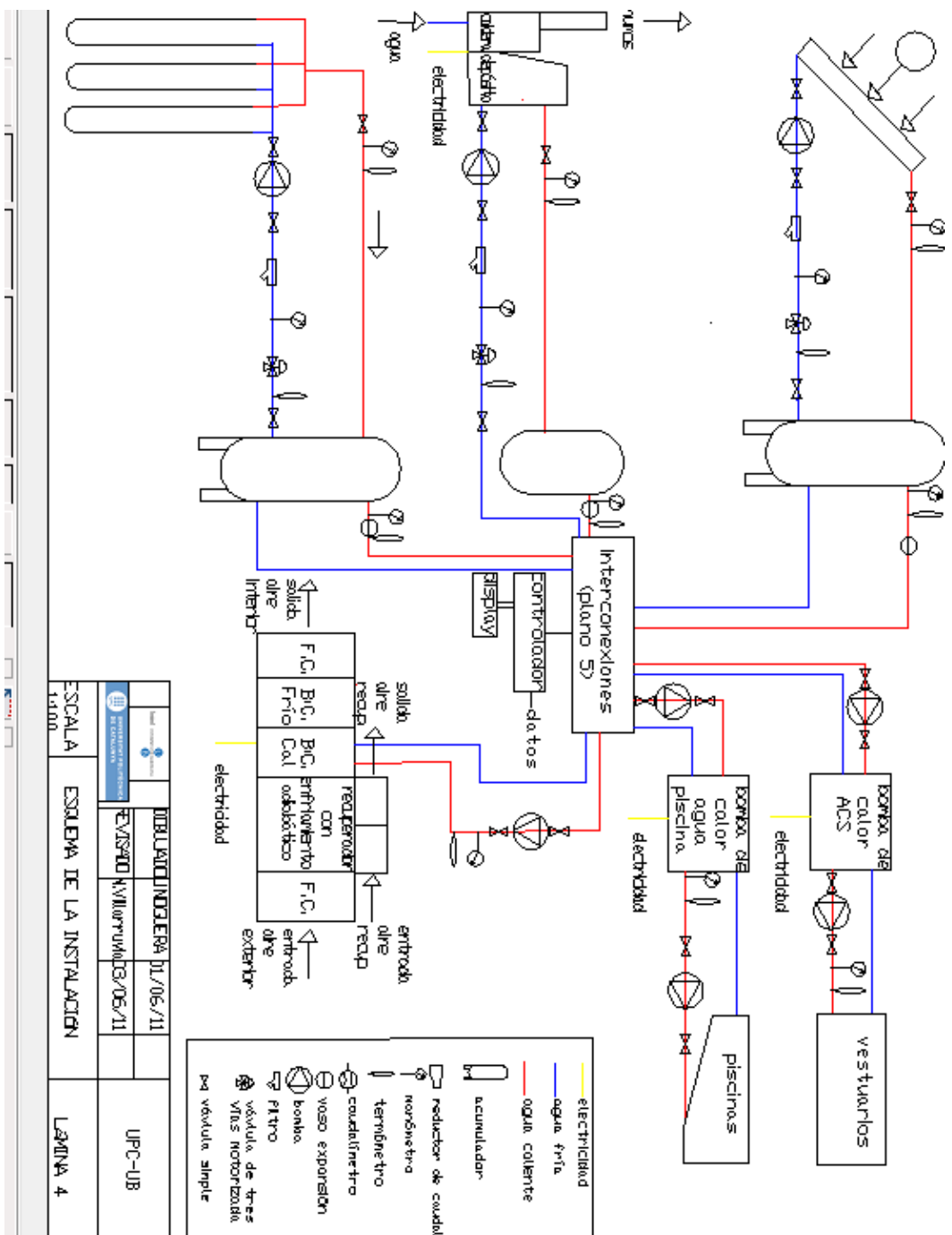




- acumulador
- tubería de agua caliente
- tubería de agua fría
- pozo geotérmico
- colector solar

	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ	DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA	11/06/11	UPC-UB
ESCALA 1:100	COLECTORES SOLAR Y GEOTÉRMICA	REVISADO	11/03/06/11	LÁMINA 3



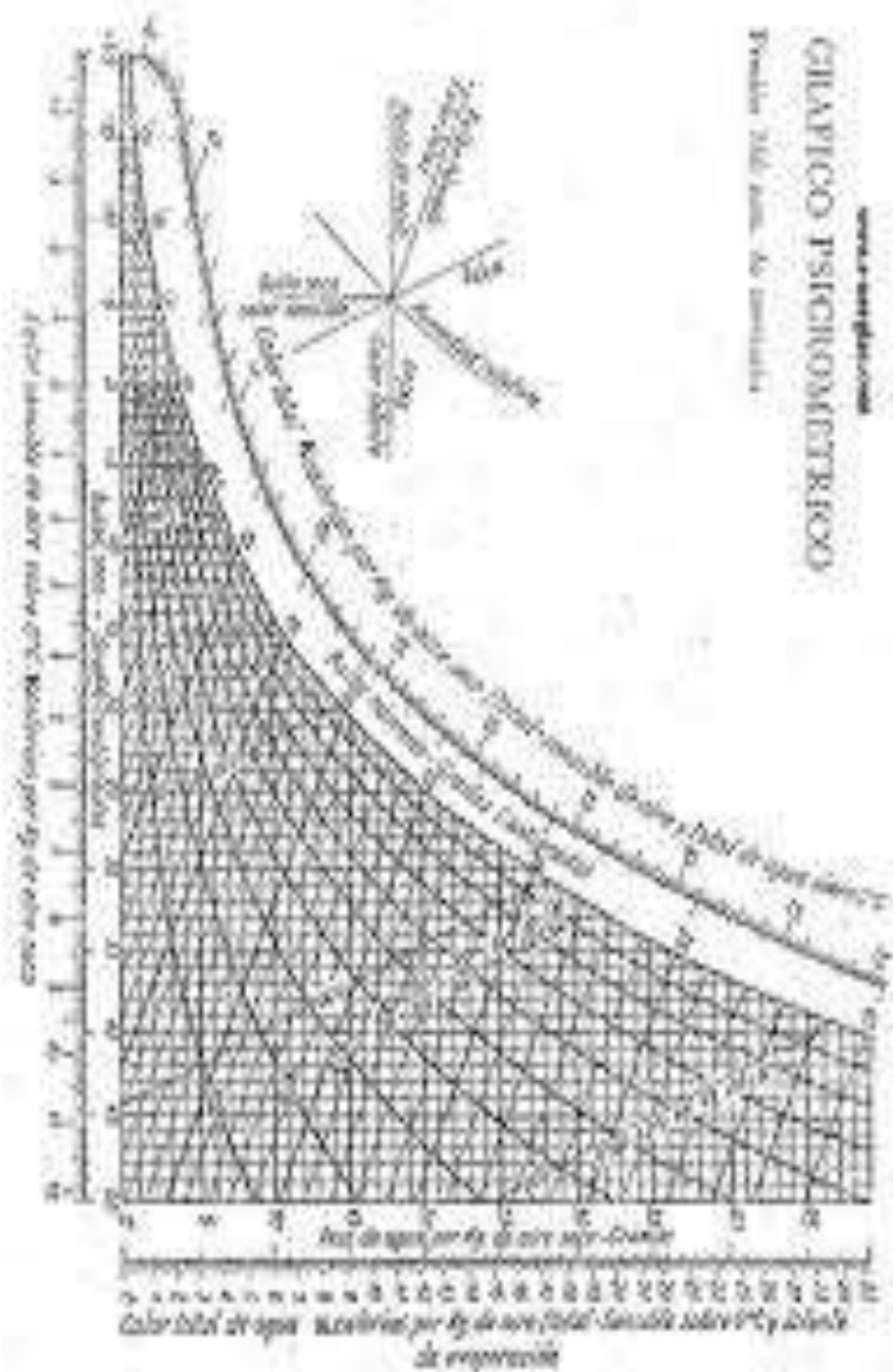


	DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INGENIERÍA EN SISTEMAS	BOLETA DE INGENIERÍA 01/06/11 FECHA DE EMISIÓN 03/06/11	UPC-UB
ESCALA 1:100	ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN	LÁMINA 4	

ANEXO 2: Diagrama Psicrométrico

GRAFICO PSICHIOMETRICO

Problema 2000. 100. 10. 1000



ANEXO 3: Tabla de Humedades Relativas

Temp. de trabajo en °C	Presión del vapor en Pa	Vol. específico de vapor en m³/kg	Vol. específico de aire en m³/kg	Formas de moléculas (H ₂ O)																			
				Formas de moléculas en g/g																			
				0%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	100%	
-25	62,76	1011,43	0,79323	0,03	0,04	0,05	0,06	0,10	0,17	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
-20	103,26	1122,63	0,71625	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,23	0,25	0,29	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63
-15	156,26	1211,51	0,70988	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,41	0,45	0,51	0,55	0,61	0,65	0,71	0,75	0,81	0,85	0,91	0,97	1,03
-10	209,80	1271,38	0,74653	0,08	0,15	0,24	0,33	0,40	0,48	0,56	0,64	0,73	0,80	0,88	0,95	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60
-5	263,93	1301,89	0,74118	0,08	0,17	0,26	0,35	0,44	0,53	0,61	0,70	0,79	0,87	0,95	1,03	1,11	1,20	1,29	1,40	1,48	1,57	1,65	1,73
-2	309,80	1321,18	0,75037	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,75	0,85	0,93	1,02	1,11	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,81	1,91
2	356,16	1331,58	0,75325	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52	0,63	0,73	0,83	0,94	1,04	1,14	1,25	1,35	1,45	1,55	1,67	1,77	1,87	1,98	2,08
4	383,74	1341,32	0,75623	0,11	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68	0,79	0,91	1,02	1,13	1,25	1,36	1,47	1,58	1,70	1,80	1,90	2,04	2,16	2,27
6	401,75	1348,35	0,75823	0,12	0,25	0,37	0,48	0,60	0,74	0,86	0,99	1,11	1,24	1,36	1,48	1,61	1,73	1,85	1,98	2,10	2,23	2,35	2,48
8	411,43	1354,24	0,75929	0,12	0,27	0,40	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,35	1,48	1,62	1,75	1,89	2,02	2,15	2,29	2,43	2,56	2,70
10	415,06	1357,17	0,75948	0,15	0,29	0,44	0,59	0,73	0,88	1,02	1,17	1,32	1,46	1,61	1,75	1,91	2,05	2,20	2,35	2,49	2,64	2,79	2,94
12	417,73	1358,87	0,75977	0,15	0,30	0,46	0,64	0,80	0,96	1,11	1,27	1,43	1,59	1,75	1,91	2,07	2,23	2,39	2,54	2,71	2,87	3,03	3,19
14	420,67	1360,45	0,75995	0,17	0,32	0,50	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	1,91	2,09	2,26	2,43	2,60	2,78	2,96	3,13	3,30	3,47
16	421,15	1361,48	0,75994	0,18	0,33	0,52	0,72	0,94	1,13	1,32	1,52	1,71	1,90	2,09	2,28	2,46	2,64	2,83	3,02	3,21	3,39	3,58	3,77
18	421,18	1362,05	0,75992	0,20	0,40	0,61	0,81	1,01	1,21	1,41	1,62	1,82	2,02	2,23	2,43	2,63	2,84	3,04	3,24	3,44	3,64	3,84	4,04
20	420,80	1362,05	0,75989	0,23	0,43	0,65	0,87	1,08	1,30	1,52	1,74	1,96	2,17	2,39	2,61	2,83	3,05	3,27	3,48	3,71	3,92	4,14	4,35
22	419,80	1361,51	0,75981	0,23	0,47	0,70	0,93	1,13	1,40	1,63	1,87	2,10	2,34	2,57	2,80	3,04	3,27	3,51	3,74	3,98	4,23	4,46	4,69
24	418,28	1360,48	0,75968	0,25	0,50	0,75	1,00	1,26	1,58	1,75	2,00	2,25	2,51	2,75	3,01	3,26	3,52	3,77	4,02	4,27	4,53	4,78	5,03
26	416,28	1358,98	0,75951	0,27	0,54	0,80	1,07	1,34	1,61	1,88	2,15	2,42	2,69	2,95	3,23	3,49	3,77	4,04	4,31	4,58	4,85	5,13	5,40
28	413,78	1357,05	0,75929	0,29	0,57	0,85	1,15	1,44	1,73	2,02	2,31	2,59	2,88	3,17	3,45	3,75	4,03	4,32	4,61	4,90	5,19	5,48	5,76
30	410,80	1354,77	0,75893	0,31	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78	3,08	3,40	3,71	4,02	4,34	4,65	4,96	5,27	5,58	5,89	6,21
32	407,43	1352,18	0,75843	0,33	0,67	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,65	2,98	3,31	3,64	3,98	4,31	4,64	4,98	5,31	5,64	5,98	6,32	6,65
34	402,80	1349,34	0,75780	0,35	0,71	1,05	1,41	1,77	2,13	2,48	2,83	3,18	3,54	3,90	4,25	4,61	4,97	5,33	5,68	6,03	6,41	6,77	7,13
36	397,20	1346,23	0,75705	0,38	0,75	1,13	1,51	1,88	2,27	2,65	3,03	3,41	3,79	4,17	4,55	4,94	5,32	5,71	6,09	6,47	6,86	7,24	7,63
38	390,80	1342,88	0,75618	0,40	0,81	1,21	1,62	2,02	2,43	2,83	3,24	3,65	4,05	4,45	4,87	5,28	5,69	6,10	6,51	6,92	7,34	7,75	8,15
40	383,80	1339,31	0,75518	0,43	0,86	1,29	1,73	2,15	2,58	3,02	3,45	3,88	4,31	4,73	5,15	5,58	6,00	6,42	6,84	7,27	7,69	8,11	8,53
42	376,50	1335,58	0,75405	0,45	0,92	1,38	1,84	2,31	2,77	3,23	3,70	4,17	4,62	5,10	5,57	6,03	6,50	6,97	7,44	7,91	8,38	8,85	9,32
44	368,90	1331,71	0,75279	0,46	0,97	1,48	1,95	2,41	2,91	3,39	3,89	4,37	4,82	5,30	5,77	6,24	6,71	7,18	7,65	8,12	8,59	9,06	9,54
46	360,40	1327,73	0,75141	0,47	1,02	1,57	2,05	2,53	3,03	3,53	4,03	4,51	5,00	5,47	5,95	6,42	6,89	7,36	7,83	8,30	8,77	9,24	9,71
48	351,20	1323,66	0,75000	0,48	1,07	1,67	2,17	2,66	3,17	3,68	4,19	4,67	5,16	5,63	6,11	6,58	7,05	7,52	7,99	8,46	8,93	9,40	9,87
50	341,60	1319,51	0,74856	0,49	1,12	1,78	2,29	2,80	3,32	3,84	4,36	4,83	5,32	5,79	6,27	6,74	7,21	7,68	8,15	8,62	9,09	9,56	10,03
52	331,80	1315,29	0,74709	0,50	1,17	1,89	2,43	2,95	3,48	4,01	4,54	5,06	5,57	6,07	6,56	7,05	7,54	8,03	8,52	9,01	9,50	10,00	10,49
54	321,90	1311,01	0,74559	0,51	1,22	2,00	2,55	3,09	3,64	4,19	4,74	5,27	5,79	6,30	6,80	7,30	7,80	8,29	8,78	9,27	9,76	10,25	10,74
56	312,00	1306,69	0,74406	0,52	1,27	2,11	2,67	3,23	3,79	4,36	4,92	5,47	6,00	6,52	7,04	7,55	8,06	8,56	9,06	9,56	10,06	10,56	11,06
58	302,30	1302,34	0,74250	0,53	1,32	2,22	2,79	3,37	3,95	4,54	5,12	5,69	6,25	6,80	7,34	7,87	8,40	8,92	9,44	9,96	10,48	11,00	11,52
60	292,90	1297,96	0,74091	0,54	1,37	2,33	2,91	3,50	4,10	4,70	5,30	5,88	6,45	7,01	7,56	8,10	8,63	9,16	9,68	10,20	10,72	11,24	11,76
62	283,80	1293,55	0,73929	0,55	1,42	2,44	3,03	3,63	4,24	4,85	5,46	6,05	6,63	7,20	7,76	8,31	8,85	9,38	9,91	10,43	10,95	11,47	11,99
64	275,00	1289,12	0,73764	0,56	1,47	2,55	3,15	3,76	4,38	5,00	5,62	6,22	6,80	7,37	7,93	8,48	9,02	9,55	10,07	10,59	11,11	11,63	12,15
66	266,60	1284,67	0,73596	0,57	1,52	2,66	3,27	3,89	4,52	5,15	5,77	6,37	6,94	7,51	8,07	8,61	9,14	9,66	10,17	10,68	11,19	11,70	12,21
68	258,60	1280,21	0,73425	0,58	1,57	2,77	3,39	4,02	4,66	5,30	5,93	6,54	7,12	7,69	8,24	8,77	9,29	9,80	10,30	10,80	11,30	11,80	12,30
70	251,00	1275,84	0,73251	0,59	1,62	2,88	3,51	4,15	4,80	5,45	6,09	6,71	7,30	7,87	8,41	8,93	9,44	9,94	10,44	10,93	11,42	11,91	12,40
72	243,80	1271,56	0,73074	0,60	1,67	2,99	3,63	4,29	4,95	5,61	6,25	6,87	7,46	8,03	8,56	9,07	9,57	10,06	10,55	11,03	11,51	12,00	12,48
74	237,00	1267,36	0,72894	0,61	1,72	3,10	3,75	4,43	5,10	5,77	6,43	7,07	7,68	8,25	8,79	9,31	9,81	10,30	10,78	11,26	11,73	12,21	12,68
76	230,60	1263,24	0,72711	0,62	1,77	3,21	3,87	4,56	5,24	5,92	6,58	7,21	7,81	8,38	8,91	9,42	9,91	10,39	10,86	11,33	11,79	12,25	12,71
78	224,60	1259,20	0,72525	0,63	1,82	3,32	4,00	4,70	5,39	6,08	6,74	7,36	7,95	8,52	9,05	9,56	10,05	10,52	11,00	11,46	11,91	12,36	12,81
80	219,00	1255,24	0,72336	0,64	1,87	3,43	4,12	4,83	5,53	6,23	6,90	7,51	8,10	8,67	9,20	9,71	10,20	10,67	11,14	11,59	12,04	12,49	12,93
82	213,80	1251,36	0,72144	0,65	1,92	3,54	4,25	5,00	5,71	6,42	7,09	7,69	8,27	8,83	9,36	9,87	10,35	10,81	11,27	11,72	12,17	12,61	13,05
84	209,00	1247,56	0,71949	0,66	1,97	3,65	4,37	5,13	5,85	6,57	7,24	7,83	8,41	8,97	9,50	10,00	10,48	10,94	11,39	11,83	12,27	12,70	13,13
86	204,60	1243,84	0,71751	0,67	2,02	3,76	4,49	5,26	6,00	6,73	7,40	8,00	8,57	9,12	9,64	10,14	10,61	11,06	11,50	11,93	12,36	12,78	13,20
88	200,60	1240,20	0,71550	0,68	2,07	3,87	4,61	5,39	6,14	6,88	7,55	8,15	8,72	9,26	9,77	10,25	10,71	11,16	11,59	12,01	12,43	12,84	13,25
90	197,00	1236,64	0,71346	0,69	2,12	3,98	4,73	5,52	6,28	7,03	7,70	8,30	8,87	9,40	9,91	10,40	10,85	11,29	11,71	12,12	12,53	12,93	13,33
92	193,80	1233,16	0,71139	0,70	2,17	4,09	4,85	5,65	6,41	7,17	7,84	8,44	9,01	9,53	10,03	10,51	10,97	11,40	11,81	12,21	12,61	13,00	13,39
94	191,00	1229,76	0,70929	0,71	2,22	4,20	4,97	5,77	6,54	7,31	7,98	8,58	9,15	9,66	10,15								

Temp. de entrada en °C	Presión del vapor en Pa	Vol. específico de vapor en m³/kg	Vol. específico de agua en m³/kg	Temperatura relativa (%)																				
				Temperatura absoluta en pPa																				
				1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%				
36	0.9802	20.21	0.0047	2.16	4.31	6.51	8.71	10.96	13.26	15.60	17.97	20.38	22.83	24.00	26.36	28.76	31.00	34.00	36.40	38.80	41.20	43.30	45.10	
40	0.9825	19.68	0.0050	2.27	4.57	6.97	9.29	11.66	14.08	16.56	19.10	21.70	23.36	25.00	26.64	28.28	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00	41.00	43.00	45.00
44	0.9848	19.14	0.0053	2.40	4.82	7.25	9.71	12.22	14.79	17.42	20.10	22.83	24.60	26.40	28.20	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00	41.00	43.00	45.00	47.00
47	0.9862	18.74	0.0057	2.52	5.08	7.65	10.20	12.86	15.63	18.41	21.21	24.06	25.92	27.80	29.70	31.60	33.60	35.60	37.60	39.60	41.60	43.60	45.60	47.60
49	0.9872	18.46	0.0060	2.67	5.36	8.07	10.80	13.68	16.68	19.70	22.74	25.80	27.70	29.60	31.50	33.40	35.40	37.40	39.40	41.40	43.40	45.40	47.40	49.40
54	0.9912	17.50	0.0067	2.81	5.64	8.50	11.40	14.50	17.70	20.90	24.10	27.30	29.40	31.50	33.60	35.60	37.60	39.60	41.60	43.60	45.60	47.60	49.60	51.60
60	0.9952	15.48	0.0072	3.03	6.08	9.00	12.00	15.20	18.60	22.00	25.40	28.80	31.20	33.60	36.00	38.40	40.80	43.20	45.60	48.00	50.40	52.80	55.20	57.60
65	1.0002	13.60	0.0080	3.28	6.58	9.94	13.00	16.40	20.00	23.60	27.20	30.80	33.40	36.00	38.60	41.20	43.80	46.40	49.00	51.60	54.20	56.80	59.40	62.00
70	1.0052	11.94	0.0087	3.46	6.94	10.50	14.00	17.60	21.40	25.20	29.00	32.80	36.60	40.40	44.20	48.00	51.80	55.60	59.40	63.20	67.00	70.80	74.60	78.40
75	1.0102	10.56	0.0095	3.62	7.28	11.00	14.80	18.60	22.40	26.40	30.40	34.40	38.40	42.40	46.40	50.40	54.40	58.40	62.40	66.40	70.40	74.40	78.40	82.40
80	1.0152	9.36	0.0104	3.77	7.57	11.50	15.50	19.60	23.60	27.80	32.00	36.20	40.40	44.60	48.80	53.00	57.20	61.40	65.60	69.80	74.00	78.20	82.40	86.60
85	1.0202	8.34	0.0113	3.91	7.84	12.00	16.20	20.60	24.80	29.20	33.60	38.00	42.40	46.80	51.20	55.60	60.00	64.40	68.80	73.20	77.60	82.00	86.40	90.80
90	1.0252	7.48	0.0122	4.04	8.09	12.50	16.90	21.60	26.00	30.60	35.20	39.80	44.40	49.00	53.60	58.20	62.80	67.40	72.00	76.60	81.20	85.80	90.40	95.00
95	1.0302	6.76	0.0131	4.17	8.32	13.00	17.60	22.60	27.20	31.80	36.60	41.40	46.20	51.00	55.80	60.60	65.40	70.20	75.00	79.80	84.60	89.40	94.20	99.00
100	1.0352	6.16	0.0140	4.29	8.53	13.50	18.30	23.60	28.40	33.00	38.00	43.00	48.00	53.00	58.00	63.00	68.00	73.00	78.00	83.00	88.00	93.00	98.00	103.00
105	1.0402	5.64	0.0149	4.40	8.73	14.00	19.00	24.60	29.60	34.20	39.40	44.60	50.00	55.40	60.80	66.20	71.60	77.00	82.40	87.80	93.20	98.60	104.00	109.40
110	1.0452	5.18	0.0157	4.51	8.92	14.50	19.70	25.60	30.80	35.60	41.00	46.40	52.00	57.60	63.20	68.80	74.40	80.00	85.60	91.20	96.80	102.40	108.00	113.60
115	1.0502	4.78	0.0165	4.61	9.10	15.00	20.40	26.60	32.00	36.80	42.40	48.00	53.80	59.60	65.40	71.20	77.00	82.80	88.60	94.40	100.20	106.00	111.80	117.60
120	1.0552	4.42	0.0173	4.71	9.28	15.50	21.10	27.60	33.40	38.20	43.80	49.60	55.60	61.60	67.60	73.60	79.60	85.60	91.60	97.60	103.60	109.60	115.60	121.60
125	1.0602	4.10	0.0180	4.80	9.45	16.00	21.80	28.60	34.80	39.60	45.20	51.20	57.20	63.40	69.60	75.80	82.00	88.20	94.40	100.60	106.80	113.00	119.20	125.40
130	1.0652	3.82	0.0187	4.89	9.61	16.50	22.50	29.60	36.40	41.20	46.80	52.80	59.00	65.20	71.40	77.60	83.80	90.00	96.20	102.40	108.60	114.80	121.00	127.20
135	1.0702	3.58	0.0194	4.97	9.76	17.00	23.20	30.60	37.40	42.60	48.40	54.60	60.80	67.20	73.60	79.80	86.20	92.60	99.00	105.40	111.80	118.20	124.60	131.00
140	1.0752	3.36	0.0200	5.05	9.90	17.50	23.90	31.60	38.60	44.00	50.00	56.40	62.80	69.40	76.00	82.60	89.20	95.80	102.40	109.00	115.60	122.20	128.80	135.40
145	1.0802	3.16	0.0206	5.12	10.04	18.00	24.60	32.60	39.80	45.40	51.80	58.20	64.80	71.40	78.00	84.60	91.20	97.80	104.40	111.00	117.60	124.20	130.80	137.40
150	1.0852	2.98	0.0212	5.19	10.17	18.50	25.40	33.60	41.00	46.80	53.20	59.80	66.40	73.00	79.60	86.20	92.80	99.40	106.00	112.60	119.20	125.80	132.40	139.00
155	1.0902	2.82	0.0217	5.26	10.30	19.00	26.20	34.60	42.20	48.20	54.60	61.20	68.00	74.80	81.60	88.40	95.20	102.00	108.80	115.60	122.40	129.20	136.00	142.80
160	1.0952	2.68	0.0222	5.32	10.42	19.50	27.00	35.60	43.40	49.60	56.00	62.80	69.60	76.40	83.20	90.00	96.80	103.60	110.40	117.20	124.00	130.80	137.60	144.40
165	1.1002	2.55	0.0227	5.38	10.54	20.00	27.80	36.60	44.60	51.00	57.40	64.20	71.20	78.20	85.20	92.20	99.20	106.20	113.20	120.20	127.20	134.20	141.20	148.20
170	1.1052	2.43	0.0231	5.43	10.65	20.50	28.60	37.60	45.80	52.40	58.80	65.60	72.60	79.60	86.60	93.60	100.60	107.60	114.60	121.60	128.60	135.60	142.60	149.60
175	1.1102	2.32	0.0235	5.48	10.76	21.00	29.40	38.60	47.00	53.80	60.20	67.20	74.20	81.20	88.20	95.20	102.20	109.20	116.20	123.20	130.20	137.20	144.20	151.20
180	1.1152	2.22	0.0239	5.53	10.86	21.50	30.20	39.60	48.20	55.20	61.60	68.60	75.60	82.60	89.60	96.60	103.60	110.60	117.60	124.60	131.60	138.60	145.60	152.60
185	1.1202	2.13	0.0242	5.58	10.96	22.00	31.00	40.60	49.40	56.60	63.00	70.00	77.00	84.00	91.00	98.00	105.00	112.00	119.00	126.00	133.00	140.00	147.00	154.00
190	1.1252	2.05	0.0245	5.62	11.06	22.50	31.80	41.60	50.60	58.00	64.40	71.40	78.40	85.40	92.40	99.40	106.40	113.40	120.40	127.40	134.40	141.40	148.40	155.40
195	1.1302	1.97	0.0248	5.67	11.16	23.00	32.60	42.60	51.80	59.40	65.80	72.80	79.80	86.80	93.80	100.80	107.80	114.80	121.80	128.80	135.80	142.80	149.80	156.80
200	1.1352	1.90	0.0251	5.71	11.26	23.50	33.40	43.60	53.00	60.80	67.20	74.20	81.20	88.20	95.20	102.20	109.20	116.20	123.20	130.20	137.20	144.20	151.20	158.20
205	1.1402	1.83	0.0254	5.75	11.36	24.00	34.20	44.60	54.20	62.20	68.60	75.60	82.60	89.60	96.60	103.60	110.60	117.60	124.60	131.60	138.60	145.60	152.60	159.60
210	1.1452	1.77	0.0257	5.79	11.46	24.50	35.00	45.60	55.40	63.40	70.00	77.00	84.00	91.00	98.00	105.00	112.00	119.00	126.00	133.00	140.00	147.00	154.00	161.00
215	1.1502	1.71	0.0260	5.83	11.56	25.00	35.80	46.60	56.60	64.60	71.40	78.40	85.40	92.40	99.40	106.40	113.40	120.40	127.40	134.40	141.40	148.40	155.40	162.40
220	1.1552	1.65	0.0263	5.87	11.66	25.50	36.60	47.60	57.80	65.80	73.00	80.00	87.00	94.00	101.00	108.00	115.00	122.00	129.00	136.00	143.00	150.00	157.00	164.00
225	1.1602	1.60	0.0266	5.91	11.76	26.00	37.40	48.60	59.00	67.20	74.80	81.80	88.80	95.80	102.80	109.80	116.80	123.80	130.80	137.80	144.80	151.80	158.80	165.80
230	1.1652	1.55	0.0269	5.95	11.86	26.50	38.20	49.60	60.20	68.60	76.20	83.20	90.20	97.20	104.20	111.20	118.20	125.20	132.20	139.20	146.20	153.20	160.20	167.20
235	1.1702	1.50	0.0272	5.99	11.96	27.00	39.00	50.60	61.40	70.00	77.60	84.60	91.60	98.60	105.60	112.60	119.60	126.60	133.60	140.60	147.60	154.60	161.60	168.60
240	1.1752	1.46	0.0275	6.03	12.06	27.50	39.80	51.60	62.60	71.40	79.00	86.00	93.00	100.00	107.00	114.00	121.00	128.00	135.00	142.00	149.00	156.00	163.00	170.00
245	1.1802	1.42	0.0278	6.07	12.16	28.00	40.60	52.60	63.80	72.80	80.40	87.40	94.40	101.40	108.40	115.40	122.40	129.40	136.40	143.40	150.40	157.40	164.40	171.40
250	1.1852	1.38	0.0281	6.11	12.26	28.50	41.40	53.60	65.00	74.20	81.80	88.80	95.80	102.80	109.80	116.80	123.80	130.80	137.80	144.80	151.80	158.80	165.80	172.80
255	1.1902	1.34	0.0284	6.15	12.36	29.00	42.20	54.60	66.20	75.60	83.20	90.20	97.20	104.20	111.20	118.20	125.20	132.20	139.20	146.20	153.20	160.20	167.20	174.20
260	1.1952	1.30	0.0287	6.19	12.46	29.50	43.00	55.60	67.40	77.00	84.60	91.60	98.60	105.60	112.60	119.60	126.60	133.60	140.60	147.60	154.60	161.60	168.60	175.

ANEXO 4: Fichas Técnicas