



## PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

---

# CLIMATIZACIÓN DE UNA CASA UNIFAMILIAR MEDIANTE UNA MÁQUINA DE ABSORCIÓN DE TRIPLE ESTADO ALIMENTADA CON PANELES SOLARES TÉRMICOS. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL EN COMPARACIÓN CON SISTEMAS CONVENCIONALES.

---

Autor:

**Luis Gallardo Carro**

Director del proyecto:

**Dr. Tero Tynjälä**

Tutor del proyecto:

**Dr. Jose María Marín Herrero**

Zaragoza, Junio 2011

Área de máquinas y motores térmicos

Departamento de ingeniería mecánica



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology



CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR



DTO. INGENIERÍA MECÁNICA

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi familia, a los papas, a los yayos y a mi hermana, todo el apoyo constante, recibido durante todos estos años de carrera. Apoyo necesario en muchas etapas y momentos buenos y malos, cuando el agobio invade tu mente y no te deja pensar con claridad ni lucidez.

A mi novia, por su confianza ciega depositada en mí desde el principio, para la consecución de la carrera, y por todo el apoyo recibido.

A todos mis amigos, algunos, que por circunstancias no se encuentran cerca de mí, y me hicieron pasar muchos momentos inolvidables durante éste periodo. Amigos muy influyentes en la consecución de ésta etapa de mi vida, debido a su ayuda desinteresada en algunos momentos.

A la universidad de Zaragoza, por haberme brindado el privilegio y la oportunidad de poder realizar el proyecto final de carrera en el extranjero.

A mi director del proyecto Tero, por su ayuda y a mi tutor José María Marín, el cual, desde el primer momento me ofreció su apoyo para la realización del mismo.

A todos, muchas gracias

Luis Gallardo Carro

Zaragoza, Mayo 2011

## **Resumen**

El objetivo del presente proyecto es conseguir un grado de confort tanto en invierno como en verano, similar al que ofrecen los sistemas de refrigeración y calefacción convencionales, para los 6 ocupantes de una vivienda unifamiliar de 200 m<sup>2</sup> situada en la Comunidad de Madrid, la cual, posee una piscina propia. Para llevar a cabo el proyecto, se utilizará una máquina de absorción de triple estado (ClimateWell\_10), la cual dará cobertura tanto a la refrigeración, como a la calefacción, como al ACS.

La energía necesaria para el funcionamiento de la máquina de absorción, será obtenida mediante la utilización de paneles solares térmicos. Además, se especificarán las condiciones técnicas de funcionamiento del circuito, junto con el esquema del mismo para que funcione correctamente; todo esto, siguiendo las recomendaciones y especificaciones del fabricante.

Para el buen funcionamiento de la máquina de absorción, ésta, necesita tres circuitos básicos. El circuito de captación de calor (paneles solares), el circuito de disipación de calor (piscina), y el circuito de distribución (suelo radiante, que dará cobertura tanto a calefacción como a refrigeración). Además, se instalará una caldera auxiliar y un tanque de almacenamiento de agua para garantizar la demanda de ACS y calefacción. Hay que tener en cuenta, que se contará con dos intercambiadores de calor, tanto en el circuito de captación como en el circuito de disipación de calor para separar los flujos correspondientes, con sus respectivas bombas hidráulicas, sensores, válvulas de corte, etc.

Se analizarán las energías renovables en el marco actual, y más concretamente en los paneles solares, a la vez que se realizará un estudio del sistema de refrigeración por compresión y por absorción para, a continuación, hacer una comparativa con la máquina de absorción elegida. Además, una descripción de la vivienda donde se lleva a cabo el proyecto, con su posterior explicación del cálculo de cargas térmicas para la determinación de las demandas necesarias.

En toda la realización del proyecto, se tendrá en cuenta la cumplimentación de la normativa vigente tanto a nivel estatal como de la misma Comunidad y del Ayuntamiento de Madrid.

Finalmente se realiza un cálculo detallado mediante el software dinámico denominado “TRNSYS”, (proporcionado por la misma empresa ClimateWell) en el que se obtendrá un informe comparativo tanto económico como medioambiental del sistema utilizado en el proyecto, en relación a un sistema convencional. A partir del informe obtenido, se calculará la rentabilidad económica del mismo, dependiendo del precio de combustible y de las subvenciones existentes en el momento, llegando a una serie de conclusiones que se comentarán al final del proyecto.

# **Tabla de contenidos**

Agradecimientos.....	I
Resumen.....	II
Tabla de contenidos.....	III
Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas.....	VIII

<b><u>MEMORIA</u></b> .....	1
1. Introducción, objetivos del proyecto y metodología.....	1
1.1. Introducción y motivaciones del proyecto.....	1
1.2. Objetivos del proyecto.....	2
1.3. Metodología.....	2
2. Descripción global de la instalación.....	3
3. Circuito de captación solar.....	5
3.1. Sistema de captación solar.....	5
3.2. Fluido caloportador.....	8
3.3. Intercambiador de calor del circuito de captadores solares.....	9
4. Máquina de refrigeración por absorción. (ClimateWell_10).....	11
4.1. Funcionamiento y características.....	12
4.1.1. Carga.....	14
4.1.2. Descarga.....	16
4.1.2.1. Refrigeración.....	16
4.1.2.2. Calefacción.....	18
5. Circuito de disipación de calor.....	21
5.1. Intercambiador de calor del circuito de disipación.....	22
6. Circuito de distribución.....	23
7. Otros elementos.....	24
7.1. Sistema de acumulación.....	24
7.2. Sistema de energía auxiliar.....	25
7.3. Tuberías.....	25
7.4. Bombas de circulación.....	26
7.5. Elementos “pequeños”.....	27
7.5.1. Purgadores automáticos de aire.....	27
7.5.2. Válvulas de llenado automático.....	27
7.5.3. Válvulas de alivio.....	27
7.5.4. Válvula reductora de presión.....	28
7.5.5. Vaso de expansión anti-golpe de ariete.....	28
7.5.6. Válvulas anti-retorno.....	28
7.5.7. Válvulas de corte rápido.....	28
7.5.8. Vasos de expansión.....	28
7.5.9. Válvulas de vaciado.....	28

7.5.10. Válvulas de seguridad.....	28
7.5.11. Filtros.....	29
7.5.12. Compensadores de dilatación.....	29
7.5.13. Medición y seguimiento.....	29
8. Control y funcionamiento.....	29
8.1. Sistema de monitorización y control interno.....	29
8.1.1. Modo sencillo.....	30
8.1.2. Modo doble.....	30
8.2. Sistema de monitorización y control externo.....	30
8.3. Funcionamiento del sistema completo.....	31
9. Simulación del sistema.....	35
10. Análisis medioambiental.....	36
11. Análisis económico.....	37
12. Conclusiones.....	39
13. Bibliografía.....	40
 <u>ANNEX</u> .....	44
Annex 1. Characteristic equations of the main equipment.....	46
1.1. Characteristic curve of equations and flat solar collector.....	46
1.2. Heat Exchanger.....	47
Annex 2. Technical specifications.....	49
Annex 3. Solar collector.....	51
Annex 4. Propilenglicol.....	55
Annex 5. Heat exchanger.....	57
Annex 6. ClimaDeck.....	58
Annex 7. Hot water tank.....	60
Annex 8. Boiler.....	62
Annex 9. Simulation report.....	63
Annex 10. Economic profitability analysis.....	69
 Annex A. Thermal solar energy.....	70
A.1. Current situation.....	70
A.2. Potential of solar thermal energy.....	74
A.2.1. Contribution of solar thermal to the EU 20% renewable energy target... <td>75</td>	75
A.2.2. Economic effects.....	76
A.2.3. Solar thermal contribution to the energy supply and CO <sub>2</sub> reduction.....	77
A.2.4. Long-term potential.....	77
A.3. Regional and annual variations in heating and cooling power demand.....	78
A.3.1. Calculation of monthly energy demand of the building.....	81
A.3.2. Calculation of energy provides by a solar system for heating and cooling.....	84
Annex B. Solar heating technology.....	90
B.1. Solar thermal for hot water, pool heating, radiant floor heating.....	90
B.1.1. Solar thermal hot water (DHW).....	90

B.1.2. Solar thermal energy for heating swimming pools.....	91
B.1.3. Solar energy for radiant floor heating.....	92
<b>B.2. Solar collectors.....</b>	<b>93</b>
B.2.1. Flat-plate collectors.....	93
B.2.1.1. Liquid collectors.....	94
B.2.1.2. Air collectors.....	96
B.2.2. Evacuated-tube collectors.....	96
B.2.3. Concentrating collectors.....	98
<b>B.3. Storage of solar thermal energy.....</b>	<b>99</b>
B.3.1. Thermal energy storage mechanisms.....	99
B.3.2. Storage applications.....	100
<b>Annex C. Cooling technology.....</b>	<b>101</b>
<b>C.1. Cooling vapor compression machines.....</b>	<b>101</b>
C.1.1. Phaseout of R22 and R12 refrigerants.....	103
C.1.2. Coefficient of cooling efficiency.....	103
<b>C.2. Absorption refrigeration.....</b>	<b>104</b>
C.2.1. Simple absorption cycle (More expanded).....	107
C.2.2. Couples of fluids used in absorption.....	110
C.2.2.1. Mixture of Lithium Bromide-Water.....	110
C.2.2.2. Mixture of Water-Ammonia.....	112
C.2.2.3. Coefficient of performance (C.O.P.).....	114
C.2.2.4. Available coolers by absorption.....	114
<b>Annex D. Description of housing.....</b>	<b>115</b>
<b>D.1. Location and site.....</b>	<b>115</b>
<b>D.2. Characteristics of the closing.....</b>	<b>116</b>
D.2.1. Coefficients of heat transfer.....	116
D.2.2. External enclosures.....	120
D.2.3. Interior partitions.....	122
D.2.4. Deck enclosures.....	123
<b>Annex E. Calculation of thermal loads.....</b>	<b>124</b>
<b>E.1. Technical burdens in housing.....</b>	<b>125</b>
E.1.1. Indoor conditions.....	125
E.1.2. Outdoor conditions.....	125
<b>E.2. Calculating loads of cooling.....</b>	<b>125</b>
E.2.1. Sensible load.....	126
E.2.1.1. Solar gain due to the glass.....	126
E.2.1.2. Solar gain through the transmission of decks, interior walls and exterior walls .....	126
E.2.1.3. Sensible heat due to infiltrations.....	128
E.2.1.4. Sensible internal heat.....	128
E.2.1.5. Sensible heat of ventilation.....	129
E.2.2. Latent load.....	129
<b>E.3. Calculating loads of heating.....</b>	<b>130</b>
<b>Annex F. Report (English).....</b>	<b>131</b>

# Índice de Figuras

Figura 1: Esquema simplificado de la instalación.....	4
Figura 2: Curvas de rendimientos de diferentes tipos de captadores.....	6
Figura 3: Configuración hidráulica de la conexión de los captadores solares.....	8
Figura 4: ClimateWell_10. Compuesta por dos barriles idénticos.....	12
Figura 5: Presión de vapor de LiBr, LiCl y H <sub>2</sub> O dependiendo de la temperatura.....	13
Figura 6: Proceso de carga de la máquina de absorción.....	14
Figura 7: Proceso de carga.....	15
Figura 8: Rendimiento de carga de ClimateWell_10.....	15
Figura 9: Proceso de descarga de la máquina de absorción.....	16
..Figura 10: Balance energético durante la refrigeración.....	17
Figura 11: Rendimiento de enfriamiento.....	18
Figura 12: Balance de energía durante el calentamiento.....	19
Figura 13: Rendimiento de calefacción de CW_10.....	19
Figura 14: Uno de los dos tanques que componen CW_10. Conexiones internas dependiendo de si la máquina trabaja en carga/descarga o refrigeración/calefacción, controladas internamente dependiendo el modo de funcionamiento.....	21
Figura 15: Circuito hidráulico de toda la instalación.....	32
Figura 16: VAN de la instalación dependiendo de las subvenciones proporcionadas.....	38
Figure 17: Temperatures evolution of heat exchanger.....	48
Figure 18: Air flow inside the hollow core slabs.....	58
Figure 19: Square meter and kWth installed in Europe for the past years.....	71
Figure 20: The Dynamic Evolution of the European Solar Thermal Market.....	72
Figure 21: Newly Installed Capacity for Markets.....	72
Figure 22: Solar Thermal Market in Spain.....	73
Figure 23: Development of EU-27 solar thermal capacity according to 3 scenarios (2005-2050).....	75
Figure 24: Total heating and cooling demand of EU-27 and contribution of solar thermal by sector according to the Full R&D and Policy Scenario (RDP).....	76
Figure 25: Jobs in the solar thermal sector based on the Full R&D and Policy Scenario.....	77
Figure 26: Annual contribution to the CO <sub>2</sub> reduction by solar thermal systems in the respective year – according to the Full R&D and Policy Scenario (RDP).....	77
Figure 27: Hot water demand and solar contribution.....	79
Figure 28: Heating demand and solar contribution.....	80
Figure 29: Heating and cooling demands.....	81
Figure 30: Schematic of an installation of hot water by	

solar thermal panels in a single family dwelling.....	91
Figure 31: Schematic of a heating installation of pool water with solar thermal combined with DHW.....	92
Figure 32: Installation of radiant floor heating combined with DHW.....	93
Figure 33: Flat-Plate Collector.....	94
Figure 34: Unglazed Solar Collectors.....	95
Figure 35: Solar Air Collector.....	96
Figure 36: Evacuated-Tube Collector.....	97
Figure 37: Parabolic-Trough Collector.....	98
Figure 38: The components of a vapor-compression refrigeration cycle: compressor, condenser, expansion valve, and evaporator.....	101
Figure 39: Cycle (T-S) of vapor-compression refrigerator.....	102
Figure 40: Different components and processes of a simple effect absorption cycle machine.....	106
Figure 41: Traditional scheme of an absorption cycle.....	109
Figure 42: Installation scheme of a simple effect cooling absorption system.....	110
Figure 43: Simple effect absorption cycle H <sub>2</sub> O/LiBr.....	111
Figure 44: Plot of crystallization of LiBr.....	112
Figure 45: Detached house possible in the Community of Madrid.....	115
Figure 46: Exterior walls.....	120
Figure 47: Typical interior partition.....	122

# **Índice de tablas**

Tabla 1: Tabla resumen de las características de los captadores solares.....	6
Tabla 2: Cantidad total de superficie de captación en función del número de máquinas de CW_10 utilizadas.....	7
Tabla 3: Mezcla de propilenglicol con agua, dependiendo del punto de congelación...	9
Tabla 4: Propiedades termofísicas del agua a 80°C.....	10
Tabla 5: Datos técnicos de CW_10.....	11
Tabla 6: Propiedades eléctricas de CW_10.....	12
Tabla 7: Datos para el cálculo de los parámetros del sumidero.....	21
Tabla 8: Propiedades termofísicas del agua a 40°C.....	22
Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de la utilización de techo/suelo radiante.....	23
Tabla 10: Posicionamiento de las válvulas motorizadas.....	33
Tabla 11: Coste de la instalación.....	37
Table 12: Values of cold water temperature [Tcw].....	83
Table 13: Calculate the demands of hot water.....	84
Table 14: Average temperatures in the street; depend on each province and during the daylight hours in each month.....	86
Table 15: Different K depends on the town and the inclination of the solar panels for the calculus of Kmes.....	87
Table 16: Consumed electricity in each month of the year.....	88
Table 17: Main differences between the couples used in absorption system.....	113
Table 18: Thermal conductivity of different materials.....	118
Table 19: Thermal conductivity of different materials.....	119
Table 20: Surfaces coefficients of heat transfer inside and outside.....	120
Table 21: Thermal resistance R .....	121
Table 22: Heat transmission coefficient of enclosure for windows.....	121
Table 23: Heat transmission coefficient of enclosure for doors.....	122
Table 24: Thermal resistance R.....	123

# 1. Introducción, objetivos del proyecto y metodología

## 1.1. Introducción y motivaciones del proyecto

La evolución del mercado europeo de la energía en los últimos años, está marcada por la progresiva liberalización de los diferentes sectores y por la creciente preocupación del impacto de la actividad energética sobre el **medio ambiente**. El consumo masivo de hidrocarburos está produciendo el conocido **efecto invernadero**, el cual, está incrementando las temperaturas promedio mundiales (+0,17°C por año). Además, éstos son los causantes de la llamada **lluvia ácida**.

Actualmente, y aún siendo el sector de la climatización un mercado emergente en nuestro territorio (España), ya se considera que el 12% de la demanda eléctrica está destinada a la climatización de edificios y viviendas, y es la principal causante de los **picos de demanda** anuales en los meses de julio y agosto. Estos provocan que las redes eléctricas de transporte y distribución en algunas zonas de España (sobre todo en el sur) lleguen hasta el límite de sus posibilidades, provocando incrementos del precio de la electricidad en el mercado.

El **Protocolo de Kioto** obliga a los países desarrollados, a reducir sus emisiones un 5,2% en 2012 respecto al nivel de 1990, por lo que como solución a estos problemas medioambientales es importante la sustitución de las fuentes de energía convencionales tales como el carbón o el petróleo por **energías limpias y renovables** para conseguir mantener un crecimiento económico sostenible que garantice el suministro energético.

En la actualidad, en España, gracias a la entrada en vigor del **Código Técnico de la Edificación** (CTE, 2006) la energía solar térmica está experimentando una mayor implantación. Según el Documento Básico HE Ahorro de Energía en la sección “HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” (HE 4, 2004), tanto los edificios de nueva construcción como los rehabilitados, deben cubrir parte de la demanda de agua caliente sanitaria con la incorporación de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura. Así mismo, ésta obligación se extiende a la climatización de piscinas.

Los sistemas actuales de refrigeración, principalmente los de **compresión**, son una ironía técnica, pues envían más calor al planeta, que frío a las necesidades de las personas. Esto supone que si seguimos utilizando los sistemas de refrigeración convencionales, continuaremos acelerando la espiral de calentamiento global.

El sistema que desde hace años se utiliza, como alternativa a los ciclos de compresión, es el basado en el ciclo frigorífico denominado de **absorción**, en el que la circulación de los fluidos se consigue utilizando el calor procedente de la combustión de cualquier combustible, fuentes residuales como equipos de cogeneración, o gratuitas, como es el caso que pretendemos estudiar, de captación de radiación solar (**placas solares térmicas**).

## **1.2. Objetivos del proyecto**

Para solucionar el problema de los picos de demanda eléctrica, y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, existe en el mercado otro sistema para pequeñas potencias de climatización (tanto para frío como para calor) que es una alternativa a las máquinas de absorción de bromuro de litio-agua. Ésta, se encargará de la climatización de la casa, es decir, calor para calefacción en invierno, agua caliente sanitaria (ACS) durante todo el año, y producción de frío generalmente en verano.

El proyecto a realizar pretende diseñar una instalación de refrigeración solar para una vivienda unifamiliar de 200 m<sup>2</sup> situada en la **Comunidad de Madrid**, donde habitan 6 personas durante todo el año, mediante una instalación de energía solar térmica que abastece a una máquina de refrigeración por absorción (ClimateWell\_10). Además, se instalará una caldera auxiliar y un tanque de almacenamiento de agua para poder proporcionar las demandas de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción en caso de necesidad.

El objetivo que se persigue con esta instalación, es lograr un modelo de edificación más sostenible, mostrando el potencial de las energías renovables y fomentando una mayor aplicación de éstos sistemas en la sociedad.

Además, se especificarán las condiciones técnicas de la instalación de refrigeración solar por absorción para que funcione correctamente todo el circuito.

## **1.3. Metodología**

Lo primero a desarrollar, es un análisis actual de la energía solar térmica tanto en España como en Europa, comentando el potencial actual y futuro de la misma para alcanzar el objetivo del triple 20 impuesto por la Comunidad Europea en el ámbito de las energías renovables, comentando los beneficios tanto económicos como medioambientales que esto producirá a corto y largo plazo. Además, se estudiarán las variaciones regionales y anuales de la energía solar térmica, más concretamente en España; y finalmente el método de cálculo para las estimaciones de las demandas, todo esto, comentado en el **ANEXO A**.

A continuación, en el **ANEXO B**, se explicará la tecnología de calefacción, es decir, en primer lugar, el uso de la energía solar térmica para la producción de ACS, y para el calentamiento de piscinas y suelo radiante. En el mismo anexo, se comentarán los diferentes tipos de colectores solares que existen en el mercado, viendo sus diferencias y sus usos, y por último, una pequeña explicación del almacenamiento de energía térmica.

En el **ANEXO C**, se hará un estudio de los sistemas de refrigeración por compresión y por absorción, desarrollando las principales diferencias que existen entre ellos; además de comentar los diferentes tipos y ciclos de absorción y haciendo una comparación entre los mismos.

A continuación, en el **ANEXO D**, se hará una breve descripción de la situación de la casa, localización de la misma y el método de cálculo para los coeficientes de transferencia de calor de los diferentes cerramientos.

Para el cálculo de las demandas térmicas del Anexo B, se ha de tener en cuenta las diferentes cargas térmicas de edificio, por lo que en el **ANEXO E**, se explicarán las diferentes cargas térmicas existentes en una casa, y el método de cálculo de las mismas.

El **ANEXO F** mostrará la presente memoria desarrollada en inglés, ya que el proyecto ha sido llevado a cabo en el extranjero, y más concretamente en Finlandia, mediante el programa Erasmus, de intercambio de alumnos.

En la presente memoria, se calcularán las unidades terminales para la instalación a desarrollar, teniendo en cuenta los diferentes circuitos necesarios para el correcto funcionamiento de la misma, todo esto, siguiendo los consejos del fabricante de la máquina de absorción. A continuación, se presentará un esquema hidráulico del circuito realizado con AutoCad, con su correspondiente sistema de control.

Mediante el software de cálculo dinámico denominado “**TRNSYS**” se realizará un cálculo tanto económico como medioambiental del proyecto, haciendo una comparativa con los sistemas convencionales utilizados hasta la actualidad.

Se realizará un estudio de las posibles subvenciones a nivel local y autonómico (Ayuntamiento y Comunidad de Madrid) y estatal (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía – IDAE -) por tratarse de un sistema novedoso que utiliza energía solar como fuente principal de energía, para así, poder llevar a cabo el análisis de rentabilidad de la instalación.

En la memoria, se hace referencia a una serie de anexos, los cuales van desde el **ANEXO 1** hasta el **ANEXO 10**, en los que se reflejan las hojas de características de los diferentes componentes, las ecuaciones de los principales de los componentes del sistema, el esquema hidráulico del circuito, el suelo radiante elegido, una tabla generada con Excel para el cálculo de la rentabilidad económica y el informe proporcionado por la simulación del sistema después de realizar los cálculos correspondientes.

## **2. Descripción global de la instalación**

La obtención de la energía para nuestro proyecto se hará mediante un conjunto de colectores solares planos de baja temperatura, los cuales estarán conectados con un intercambiador de calor. También constará con un depósito de acumulación para la producción de ACS, una caldera auxiliar de apoyo para la calefacción, una máquina de absorción que se encargará de proporcionar el calentamiento o la refrigeración de la casa dependiendo de las necesidades del usuario, un circuito para la disipación de calor (piscina) el cual estará separado de la máquina de absorción mediante un segundo intercambiador de calor, y un circuito hidráulico de ida y retorno mediante suelo radiante tanto para el calentamiento en invierno, como para la refrigeración en verano.

El esquema de energía solar térmica que se intentará desarrollar en la instalación se muestra en la figura 1.

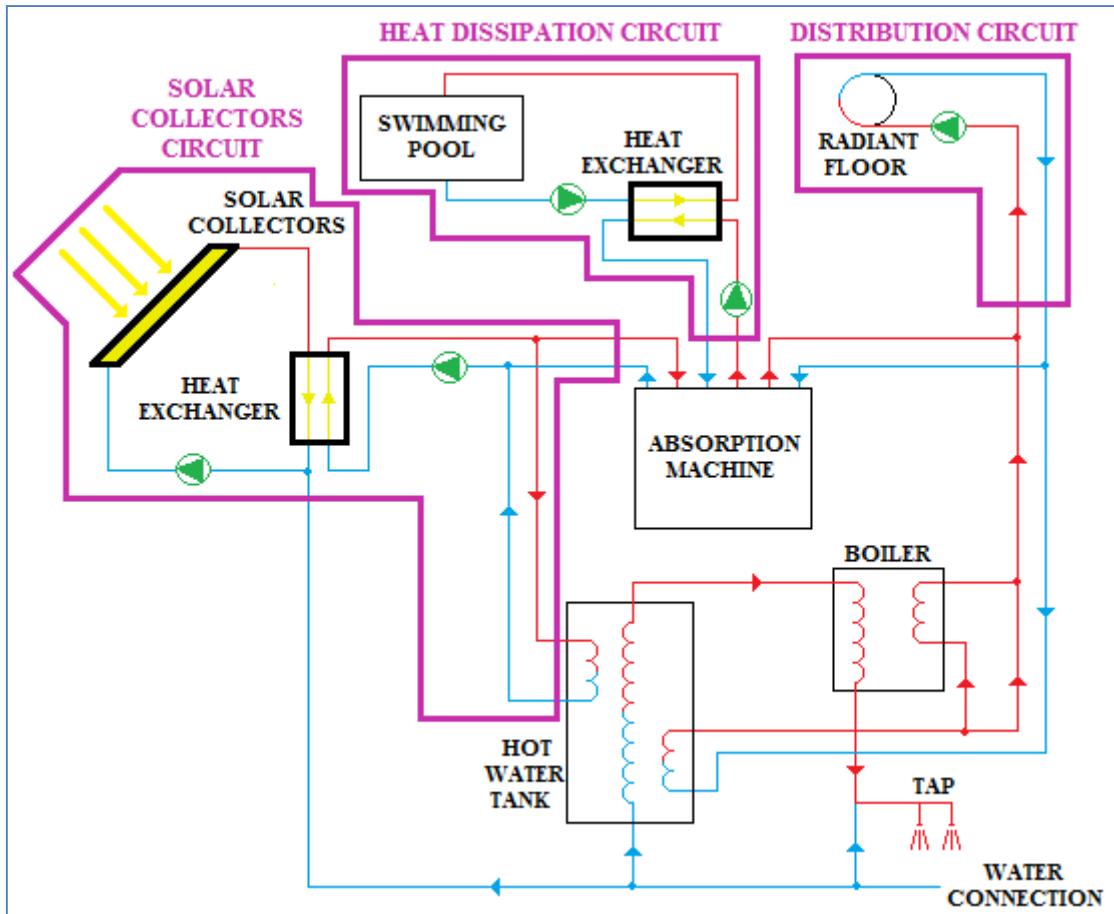


Figura 1: Esquema simplificado de la instalación.

Los componentes principales del sistema son:

- **Sistema de captación solar:** Compuesto por varios colectores solares conectados entre sí, con el propósito de alcanzar la temperatura deseada en el fluido.
- **Máquina de absorción:** En nuestro caso, la máquina elegida se denomina ClimateWell\_10 (CW\_10), la cual proporciona en un solo sistema integrado, las demandas necesarias de calefacción y refrigeración.
- **Sistema de acumulación:** También se conoce con el nombre de acumulador, y está formado por uno o varios depósitos de almacenamiento de agua caliente. Además sirve de apoyo a la máquina de absorción en días nublados, cuando la energía obtenida de los captadores solares no sea suficiente para la producción de energía necesaria para la máquina de absorción.
- **Sistema de disipación:** Será el encargado de la disipación de calor, tanto en el proceso de carga como en el de descarga, como se comentará más adelante, haciendo que la máquina de absorción funcione correctamente.
- **Sistema de distribución:** Conjunto de equipos y dispositivos que se encargan de transportar el agua caliente producida, hasta los puntos de consumo. Está formado por intercambiadores de calor, tuberías, bombas y elementos de seguridad, entre otros.

· **Sistema auxiliar:** Suele ser una caldera convencional o un calentador eléctrico, el cual, entra en funcionamiento cuando la temperatura del agua sanitaria a la salida del acumulador es inferior a la demandada, y además, para dar cobertura, en caso de necesidad, a la máquina de absorción durante el invierno.

La prioridad del circuito, tanto en invierno como en verano, será la del calentamiento del ACS, si existe una necesidad de demanda de la misma. Debido a esto, el flujo caliente procedente del intercambiador de calor del circuito secundario de captación solar, actuará en primer lugar en el intercambiador de calor del tanque de agua caliente; y solo, si ésta necesidad está cubierta, ésta agua caliente, alimentará a la máquina de absorción.

A su vez, si para el consumo, no es suficientemente alta la temperatura del agua que se encuentra en el interior del tanque, ésta entrará en la caldera para así aumentar su temperatura hasta la temperatura de salida requerida.

Como se explicará más adelante y con más detalle, la caldera también proporcionará el calentamiento del agua procedente del tanque, si ésta no posee una temperatura suficientemente alta para el calentamiento del suelo radiante en invierno; en caso de que la máquina de absorción no pueda proporcionar el calentamiento del mismo.

En verano, la refrigeración, y en invierno, la calefacción necesaria, será aportada mediante la máquina de absorción, la cual, como se explicará en el apartado 5 de la presente memoria, necesita del uso de un circuito de disipación, produciendo así, un aumento de temperatura del agua de la piscina.

Además, como se puede observar en la figura anterior, todos los circuitos cuentan con una entrada de agua de red para así poder producir el llenado de los mismos, al igual que dar cobertura a las necesidades de agua fría demandadas en la casa.

En los siguientes apartados, se explicarán con más detenimiento los circuitos nombrados hasta el momento, con sus diferentes componentes, para que todo el circuito funcione de manera adecuada.

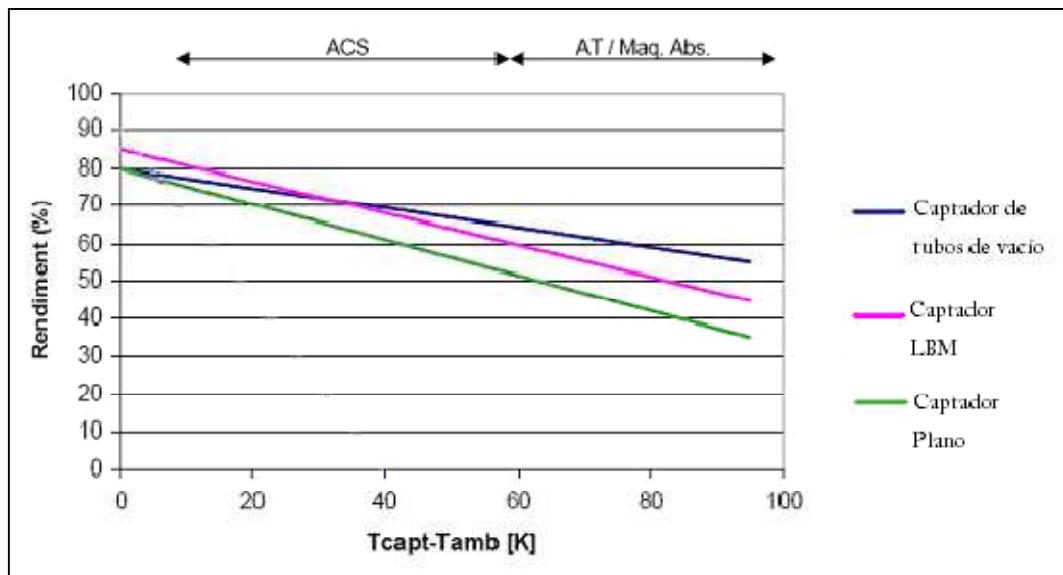
### **3. Circuito de captación solar**

#### **3.1. Sistema de captación solar**

Como se comenta en el **ANEXO B**, los sistemas de captación solar más adecuados son los captadores planos selectivos o los de tubo de vacío, los cuales tienen una temperatura de entrada del agua en torno a 90°C, por lo que harán funcionar de una manera correcta a nuestra máquina de absorción. La otra opción, sería usar captadores parabólicos con seguimiento solar, pero esta opción se ha descartado debido al encarecimiento que supondría en el coste del proyecto, además de las potencias desorbitadas que produciría el mismo.

Por tanto, se plantea la posibilidad de utilizar captadores de baja temperatura ( $T < 100^{\circ}\text{C}$ ), es decir, captadores planos o captadores de tubos de vacío.

En general, con el captador de tubo de vacío se requiere una menor superficie de captación para cubrir la misma demanda térmica. En España, como se puede observar en la figura 2, para aplicaciones de baja temperatura, no hay una gran diferencia de rendimiento entre los planos y los de tubo de vacío. Por lo tanto, si se opera a bajas temperaturas, como en el caso que nos ocupa, el sobrecoste del captador de tubos de vacío no suele compensar. En cambio, para aplicaciones a temperaturas mayores, la utilización del mismo empieza a tener más fuerza.



**Figura 2: Curvas de rendimientos de diferentes tipos de captadores en función de la diferencia de temperaturas entre el colector y el ambiente con una radiación de apertura de  $800 \text{ W/m}^2$ .**

La tabla 1, hace una comparativa del captador de tubos de vacío, del captador plano selectivo y de un captador plano normal, tanto en rendimientos como en costes:

**Tabla 1: Tabla resumen de las características de los captadores solares.**

Tipo de captador	Modelos comerciales	Rend. óptimo	Coeficiente de pérdidas [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	Rendimiento instantáneo a $90^{\circ}\text{C}$	Área del captador [ $\text{m}^2\text{sup.útil}$ ]	Precio unit. [ $\text{€/m}^2\text{sup.útil}$ ]
<b>Captador normal</b>	EURO-C2/HTF	0,81	3,47	30-35%	2,39	304
<b>Gran captador plano selectivo</b>	LBM 100 AR	0,83	2,43	45-50%	9,1	415
<b>Captador de tubos de vacío</b>	Vitosol 300 H30	0,825	1,19	55-60%	3,21	1.036

En el **ANEXO 1**, se pueden apreciar las fórmulas que rigen el comportamiento del colector elegido, es decir, del colector solar plano.

Como se puede apreciar en los datos técnicos de la máquina de absorción ofrecidos por el fabricante (**ANEXO 2**), el circuito de captación solar requiere un caudal entre 15 y 20 l/min para que la máquina de absorción funcione en sus condiciones óptimas de diseño. Debido a esto, se diseñará un caudal de flujo para el circuito primario de captación solar de **17,5 l/min**, haciendo que ésta manera se produzca una óptima transferencia de calor en el intercambiador de calor del circuito de captación.

Como consecuencia, se necesitará un caudal de fluido caloportador en cada captador solar de 1,25 l/min, haciendo que se precisen un total de **14 captadores** para poder asegurar los 17,5 l/min de caudal en el circuito primario.

En la tabla 2, y a modo de comprobación, se pueden observar los requerimientos aproximados en  $\text{m}^2$  de captación solar que recomienda el fabricante en función del número de máquinas de refrigeración utilizadas:

**Tabla 2: Cantidad total de superficie de captación en función del número de máquinas de CW\_10 utilizadas. (Datos ofrecidos por del fabricante)**

Número de máquinas CW_10	Tamaño paneles [ $\text{m}^2$ ]	Potencia paneles [kW]
1	30	15-20
2	60	30-40
10	300	150-200

Como se ha comentado con anterioridad, los paneles solares a utilizar serán de la marca Wagner, en concreto el modelo captador solar **EURO C2/HTF**. En el **ANEXO 3** se muestra la ficha técnica del captador solar elegido, donde se puede observar que posee una superficie útil de  $2,39 \text{ m}^2$  por cada captador solar, con lo que si se multiplica por los 14 colectores obtenidos anteriormente, se obtiene una superficie bruta de captación igual a  **$33,46 \text{ m}^2$** . Si se compara dicho valor con el recomendado por el fabricante en la tabla 2, se puede concluir que el dimensionamiento ha sido correcto.

La conexión de los paneles, se realizará mediante la técnica de retorno invertido para asegurar la misma caída de presión en cada batería de colectores, independientemente del caudal que circule por los mismos. Para ello, la conexión de entrada a cada línea o fila de colectores, se realizará por el tubo de conexión inferior del primer colector y la salida por el tubo de conexión superior del último colector de la línea. Éste es un requisito necesario cuando se trabaja con caudales variables.

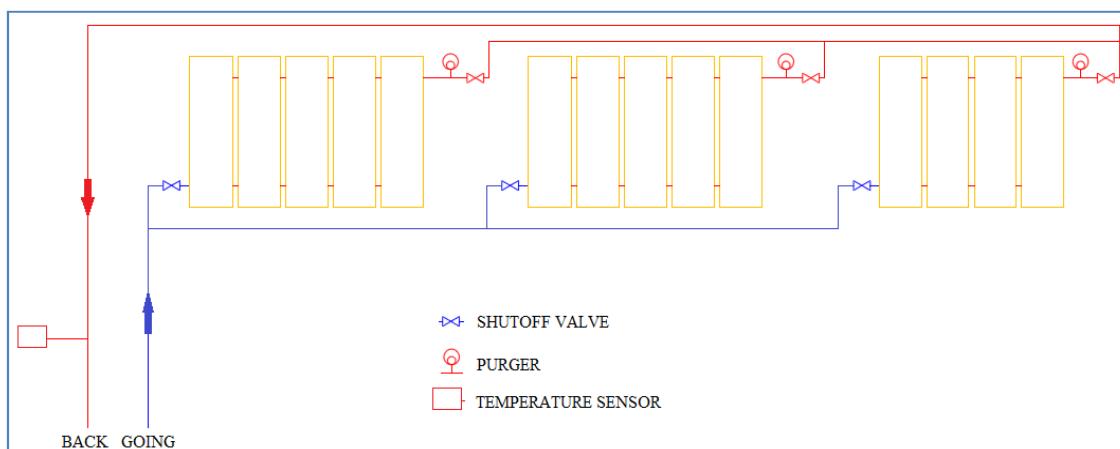
Además de las especificaciones generales que nos proporciona el fabricante en la ficha técnica de los colectores solares, se debe de conocer el número máximo de colectores conectados en paralelo recomendado por el mismo. Éste número es seis.

Como se muestra en la figura 3, el conjunto de los 14 captadores se conectan en paralelo en dos filas idénticas de 5 captadores, y otra de 4 captadores.

Se utilizará un sensor de temperatura de inmersión en el último colector de la batería de colectores en serie, y un segundo sensor próximo al intercambiador de calor,

pero en el circuito primario, el cual será el que controle la bomba solar del circuito primario de captación solar, si la temperatura del colector supera los 120°C. Además, hay que asegurarse de que el sensor esté midiendo la temperatura del colector y no el flujo de las tuberías, ya que un sensor de temperatura situado sobre una tubería no puede ser utilizado para el control de la bomba, dado que éste, debe poder medir la temperatura del colector aún cuando la bomba solar esté apagada.

A la salida de cada grupo de captadores solares se instalará un purgador automáticos de boya para permitir la salida del aire de los captadores, además de una válvula de seguridad a la entrada y a la salida de cada fila de captadores para el cambio o reparación de los mismos en caso de avería.



**Figura 3: Configuración hidráulica de la conexión de los captadores solares, en la que se puede apreciar las válvulas de corte, los purgadores y el sensor de t<sup>a</sup>.**

Los colectores solares se montarán directamente a lo largo de la cubierta sur de la edificación, donde la radiación solar es mayor. Si la cubierta tiene una inclinación aproximada de 30° (ángulo de inclinación óptimo en la península) se montarán directamente, y si no posee dicha inclinación, se colocarán unas estructuras metálicas que sujetarán los paneles solares, para que de esta manera, la inclinación sea de 30°. Se supondrá que en el proyecto no hay superposiciones, ni sobras.

### **3.2. Fluido caloportador**

El fluido caloportador es aquel que circula por el circuito primario (en el lado de los paneles solares) y mediante el intercambiador de calor, transfiere el calor al circuito secundario (lado de la máquina de absorción). Dicho fluido consta de una mezcla de anticongelante y agua para evitar que ésta última se pueda congelar. Poseerá una serie de inhibidores de legionella y de corrosión no tóxicos, para poder amortiguar el PH del mismo, haciendo que a 20°C se mantenga entre 5 y 9 (como dice Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura para Instalaciones de Energía Solar Térmica).

El anticongelante recomendado por el fabricante a utilizar es el **propilenglicol** con inhibidores de corrosión no tóxicos, y con capacidad amortiguadora de PH. A su vez, hay que tener en cuenta, que el anticongelante ha de soportar al menos 170°C sin sufrir alteraciones. Tras mirar los datos técnicos del fabricante, que se adjuntan en el

**ANEXO 4**, el anticongelante puede soportar entre 184 y 189°C antes de su ebullición, por lo que la elección del mismo ha sido correcta.

Para determinar el porcentaje de propilenglicol que deberá de contener el fluido caloportador del circuito de captadores solares, se debe tener en cuenta la temperatura mínima de los últimos años en Madrid. En 1963, se registró la temperatura mínima histórica de toda la Comunidad de Madrid, llegando a los -14,8°C.

A partir de la temperatura mínima registrada en el emplazamiento, se determina el porcentaje en masa de propilenglicol a partir de la tabla 3, la cual indica la temperatura de congelación del fluido caloportador, en función del porcentaje en peso. Debido a lo comentado en el párrafo anterior, se toma un **30% de anticongelante**, al cual le corresponde una temperatura de congelación de -15°C.

**Tabla 3: Mezcla de propilenglicol con agua, dependiendo del punto de congelación.**

PROPILENGLICOL % DEL PESO	PUNTO DE CONGELACIÓN EN °C
10	-3,5
16	-6,3
20	-8
26	-12
30	-15
36	-20
40	-24
45	-30
50	-36
80	-47

### **3.3. Intercambiador de calor del circuito de captadores solares**

La utilización de un intercambiador de calor se debe, a que el líquido que circula por el captador, no puede ser utilizado ni directamente en el circuito de refrigeración, ni para el consumo, debido a la presencia de anticongelante en el fluido caloportador.

Existen dos tipos diferentes de intercambiadores de calor, dependiendo si el intercambio de calor se produce mediante placas externas al acumulador, o en el serpentín interno del mismo, ambos con un comportamiento térmico bastante similar.

El intercambiador seleccionado es de placas y conectará térmicamente, sin mezclar ambos fluidos en el circuito primario (captadores) y en el secundario (agua caliente que alimenta al depósito de acumulación y a la máquina de refrigeración). Se ha elegido éste y no el de serpentín interno del acumulador, debido a la necesidad de abastecimiento de nuestra máquina de absorción; ya que el circuito tiene que proporcionar el calentamiento de ACS, y además alimentar a la máquina de absorción, tal y como recomienda el fabricante.

En el **ANEXO 1** se muestran las ecuaciones para el cálculo del intercambiador de calor y para el cálculo de la potencia de éste, se ha de hacer utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{int} = \dot{m}_1 [Kg/s] * Cp_1 [kJ/Kg^{\circ}C] * (T_{e1} - T_{s1}) [^{\circ}C] = \dot{m}_2 * Cp_2 * (T_{e2} - T_{s2})$$

El caudal másico de agua caliente,  $\dot{m}$ , se obtiene a partir de su caudal volumétrico  $Q$ , y de su densidad,  $\rho$ , a la temperatura de trabajo del fluido.

Debido a que la potencia del intercambiador de calor se puede calcular mediante la utilización del fluido del circuito primario o del circuito secundario; aunque haremos circular los mismos litros por segundo por ambos circuitos, utilizaremos el circuito secundario, ya que por él solo circula agua, y la obtención de sus propiedades físicas dependiendo de la temperatura del fluido, resultará más fácil que en el circuito primario, ya que en éste, el agua se encuentra mezclada con el anticongelante.

Según las recomendaciones del fabricante, la diferencia de temperaturas entre el circuito primario y el secundario ha de ser de  $3^{\circ}C$ , por lo que se diseñará para que la temperatura del líquido del circuito secundario esté a  $80^{\circ}C$  y la del primario esté a  $83^{\circ}C$  (El fabricante de Climatewell recomienda que la  $T^a$  en el secundario esté entre  $75-95^{\circ}C$ , siempre  $50^{\circ}C$  superior a la fuente de disipación de calor y el mismo caudal en el circuito primario que en el secundario).

Para aplicar la ecuación, es necesario conocer los datos específicos del fluido que circula en el circuito secundario. La tabla 4 muestra las propiedades termofísicas del fluido (agua) a la temperatura de trabajo en el circuito secundario del intercambiador.

**Tabla 4: Propiedades termofísicas del agua a  $80^{\circ}C$ . (METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3<sup>a</sup> Edición (1995))**

<b>Temperatura de trabajo (<math>^{\circ}C</math>)</b>	80
<b>Densidad <math>\rho</math> (<math>Kg/m^3</math>)</b>	971,8
<b>Calor específico <math>Cp</math> (<math>kJ/Kg \cdot ^{\circ}C</math>)</b>	4,205

$$P_{int} = 17,5 [l/min] * 1/60 [min/s] * 971,8 [Kg/m^3] * 1/1000 [m^3/l] * 4,205 [kJ/Kg^{\circ}C] * (20^{\circ}C) = \mathbf{23,84 kW}$$

La diferencia de temperatura entre la entrada y en la salida del intercambiador será de  $20^{\circ}C$  como nos dice el fabricante después de hacer las pruebas oportunas.

Conocida la potencia necesaria aproximada del intercambiador, se ha elegido el modelo **S1-9TLA** de la empresa Pilan. Como se puede ver en el **ANEXO 5**, puede operar con una potencia de hasta  $26,7$  kW y el caudal máximo de trabajo del mismo ( $26$  l/min), es acorde a las necesidades de diseño ( $17,5$  l/min).

Según lo especificado por el fabricante de CW\_10, el intercambiador seleccionado debe de estar entre  $20$  y  $30$  kW, y además el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones a Baja Temperatura (2009) nos dice que  $P > 500 * \text{Área} [m^2 \text{ de los captadores}]$  ( $P > 17.050$  W), por lo que se puede concluir diciendo que el dimensionamiento ha sido correcto.

## **4. Máquina de refrigeración por absorción. (ClimateWell 10)**

La máquina de refrigeración por absorción elegida es ClimateWell\_10, la cual proporciona el almacenamiento e integración de la energía gracias a su tecnología de absorción de triple estado (solido, líquido y gas), permitiendo una continua refrigeración o calentamiento dependiendo de las necesidades del usuario.

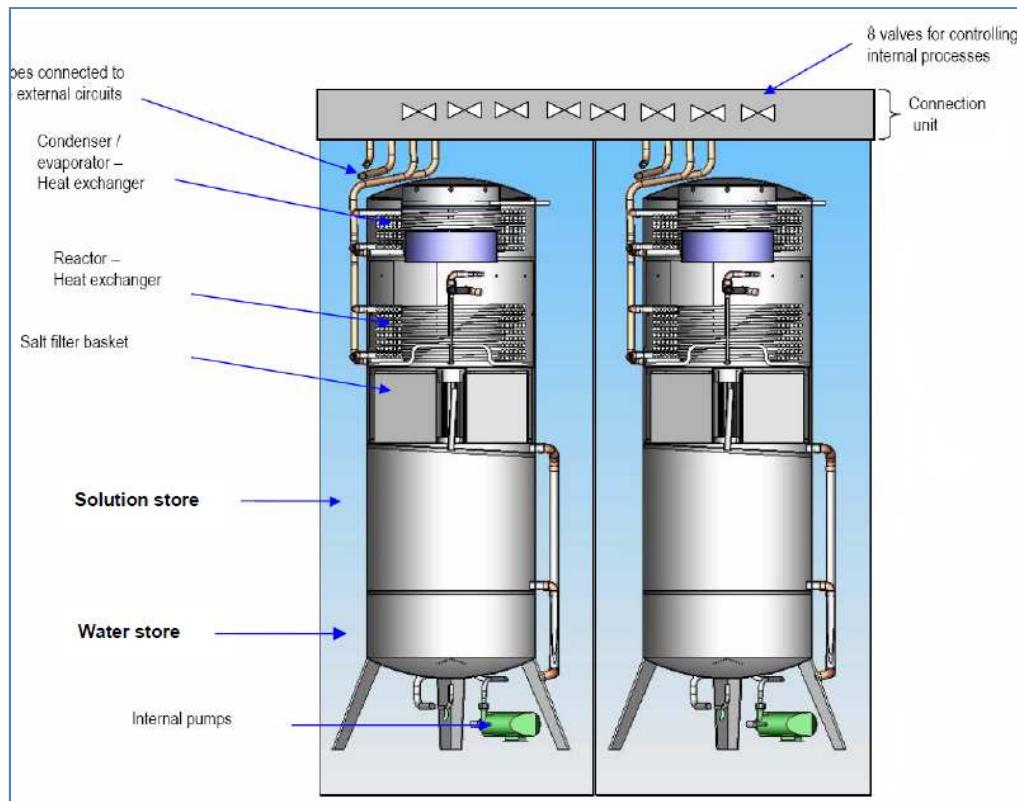
Es importante resaltar que la máquina posee dos tanques similares, haciendo que pueda cargar y descargar simultáneamente. Esto quiere decir que siempre puede recibir energía térmica y al mismo tiempo suministrar calor o frío (calefacción y refrigeración). El sistema también puede calentar simultáneamente agua caliente sanitaria (ACS) o una piscina.

La tabla 5 muestra las características más importantes de la máquina de absorción. Se observa que el COP térmico es muy estable tanto para la producción de refrigeración como de calefacción; y finalmente, se puede ver como la potencia de frío máxima puede ser doblada si se conectan los dos tanques en paralelo, en modo de carga (modo doble).

**Tabla 5: Datos técnicos de CW\_10. (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)**

Modo	Capacidad de almacenamiento (con 2 barriles)	Potencia máxima	COP térmico
<b>Frío</b>	60 kWh	10/20 kW	0,68
<b>Calor</b>	76 kWh	25 kW	0,85

Como se puede observar en la figura 4, la máquina de absorción está formada por tres partes: dos barriles idénticos, cada uno con un reactor y condensador/evaporador, haciendo que puedan trabajar de forma independiente.



**Figura 4: ClimateWell\_10.** Compuesta por dos barriles idénticos. (*Thermo Chemical accumulator.pdf*)

En la tabla 6 se pueden observar las propiedades eléctricas de CW\_10.

**Tabla 6: Propiedades eléctricas de CW\_10.** (*Thermo Chemical accumulator.pdf*)

Componentes internos de ClimateWell_10	Potencia individual [W]	Porcentaje de horas de operación	Consumo medio de energía [kWh/año]
Bombas internas de agua	80	20%	140
Bombas internas de LiCl	80	100%	701
Sistema de control interno	10	100%	88
<b>Total</b>	170 W		931 kWh/año

#### 4.1. Funcionamiento y características

Como se ha comentado con anterioridad, CW\_10 lleva conectados tres circuitos externos:

- Fuente térmica de calor (colectores solares).
- Sistema de distribución para la refrigeración y calefacción (por ej. suelo radiante, fan coils...).
- Disipador de calor para carga y descarga (piscina).

Las características más importantes de CW\_10 son:

- Cada acumulador posee un depósito de almacenamiento interno, haciendo que la máquina pueda almacenar energía química con una gran densidad. Esta energía puede ser utilizada por consiguiente, tanto para refrigerar como para calentar.
- Funciona de manera intermitente con dos acumuladores en paralelo (Barril A y Barril B).
- Ha sido diseñado para emplear unas temperaturas relativamente bajas, con lo que su empleo está optimizado para el uso de colectores solares térmicos. También funciona con una temperatura estable en el interior de los acumuladores, lo cual permite un uso eficaz de los colectores solares térmicos.
- Cada barril está compuesto por dos tanques. Un tanque, reactor, el cual contiene cloruro de litio, y otro tanque, evaporador/condensador, el cual contiene agua.
- Para facilitar el proceso de condensación y evaporación, ambos tanques se encuentran en vacío.
- Es importante enfatizar, que como se puede observar en la figura 5, la principal diferencia entre el uso de LiCl y no el uso de BrLi como absorbédo, es que la presión de vapor en LiCl es mayor, haciendo que la temperatura a vencer sea menor.

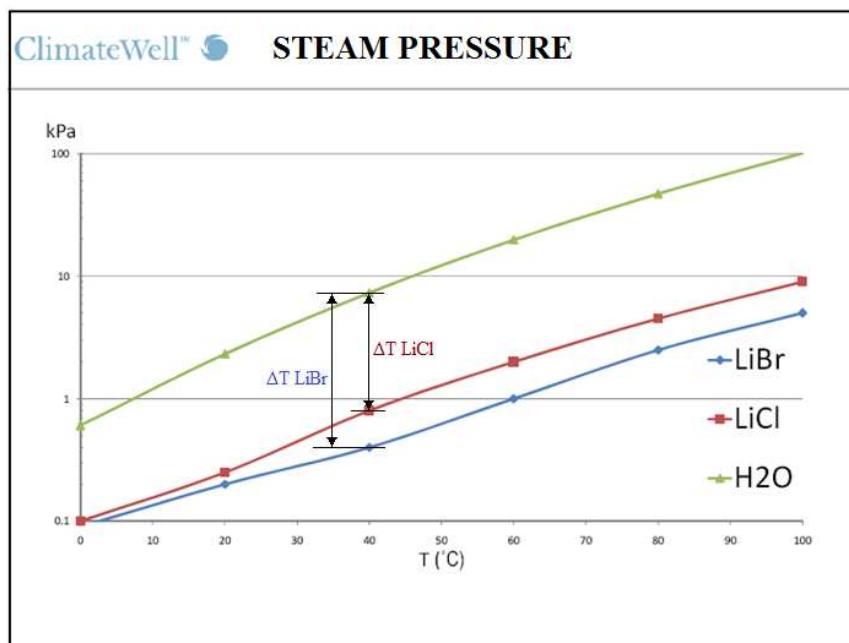


Figura 5: Presión de vapor de LiBr, LiCl y H<sub>2</sub>O dependiendo de la temperatura.

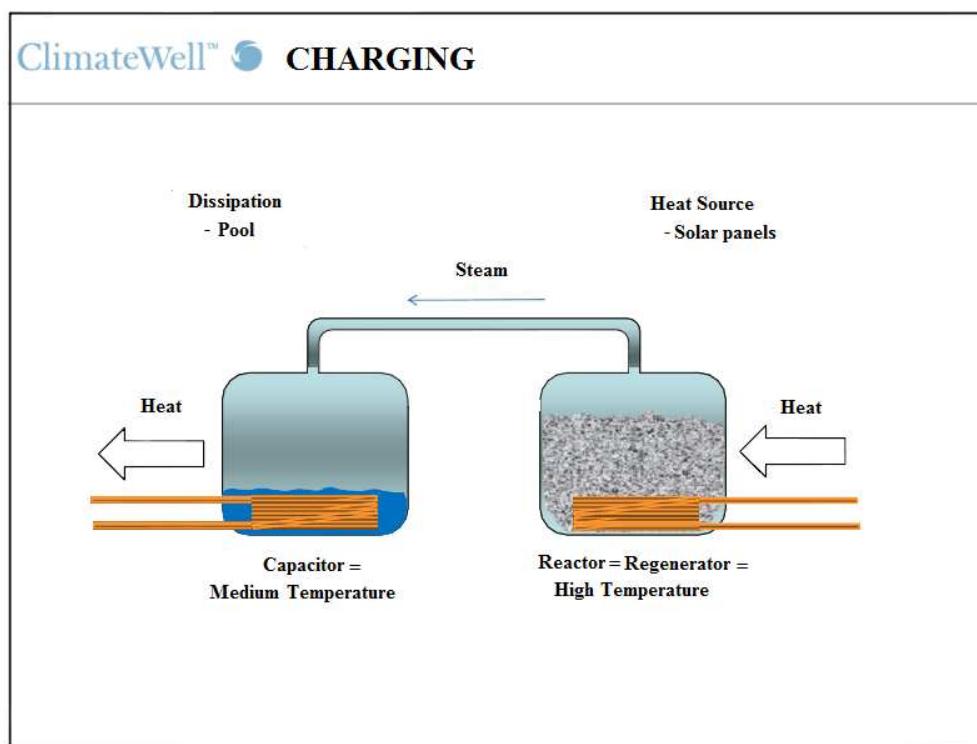
Los dos barriles pueden trabajar de dos maneras diferentes, carga y descarga. Cuando un barril está cargando, éste está conectado a la fuente de calor y al sistema de distribución, mientras que si se está descargando, éste se conecta al sistema de distribución y al sistema de disipación. En modo de operación normal, significa que

cuando el barril está descargando, el otro barril está cargando, y viceversa. Como resultado, la máquina puede siempre recibir calor, y al mismo tiempo, proporcionar calor o frío al sistema de distribución.

### 4.1.1. Carga

El agua caliente procedente del circuito secundario de captación solar entra en el intercambiador de calor (reactor). Éste agua, necesita estar por lo menos a 50°C por encima de la temperatura del disipador de calor para su carga. Ya que la fuente térmica son colectores solares, entonces esta temperatura dependerá de la potencia suministrada por los mismos, la cual, por su parte, depende de la radiación solar, del caudal y del tamaño y eficiencia de los colectores.

La figura 6 muestra que cuando el calor entrante alcance el intercambiador de calor del reactor, la solución LiCl del reactor entrará en ebullición, haciendo que el LiCl vuelva a su forma cristalina. Al mismo tiempo, se evapora el agua y se libera vapor al condensador/evaporador, donde se condensa en el intercambiador de calor debido a que éste, posee una la temperatura relativamente inferior.



**Figura 6: Proceso de carga de la máquina de absorción. (*Tecnología absorción ClimateWell.pdf*)**

La figura 7 muestra el equilibrio energético durante la carga. Como se puede observar, se requiere en torno a 44 kWh para cargar uno de los dos barriles, haciendo que la energía proporcionada al disipador de calor sea de unos 33 kWh. Dependiendo de cómo se establezcan las conexiones hidráulicas a la salida de la máquina, en invierno, esta energía puede ser enviada directamente al sistema de distribución del edificio.



**Figura 7:** Proceso de carga. (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)

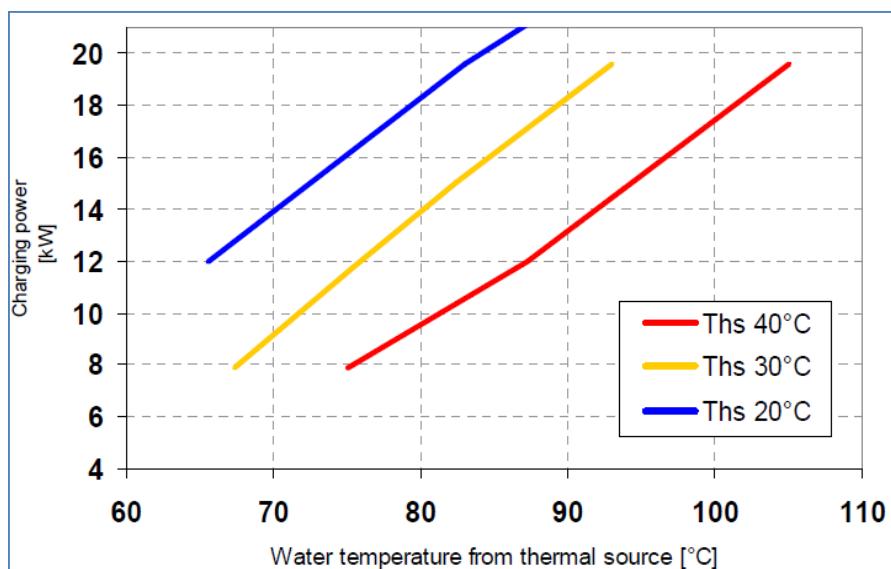
#### Datos dimensionales

La temperatura máxima de carga continua es de 95°C, pero son posibles períodos más cortos (minutos) de temperaturas superiores de hasta 120°C, por lo que es importante haber dimensionado de forma correcta los paneles solares térmicos. Si la potencia de carga es superior a la potencia máxima recomendada, la temperatura de retorno a los paneles aumentará, y por consiguiente, la temperatura de carga. Los dos barriles pueden ser cargados en paralelo, doblando de esta manera la potencia de carga (modo doble).

El caudal típico del circuito de captación solar está entre 15 y 20 l/min (17,5 l/min en nuestro caso).

La figura 8 muestra la potencia de carga de un barril a 15 l/min, a un nivel de carga del 30% (el 100% significará plena carga) dependiendo de:

- La temperatura del agua caliente de la fuente térmica
- La temperatura del agua del disipador de calor (Ths)



**Figura 8:** Rendimiento de carga de ClimateWell\_10. (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)

La potencia máxima por barril es de 26 kW, por lo que si se cargan los dos barriles a la vez sería de 52 kW en total.

Por ejemplo, si tenemos una temperatura de 80°C en la fuente térmica y 30°C en el disipador de calor, entonces la capacidad de carga será de 14 kW por barril. En términos energéticos, son necesarios 88 kWh para cargar plenamente los dos barriles, con lo que el tiempo de carga del barril completamente vacío sería de  $44 / 14 = 3$  horas y 9 min.

#### **4.1.2. Descarga**

El proceso de descarga puede ser de dos tipos: refrigeración o calefacción del suelo. En la figura 9 se puede ver el proceso de descarga, el cual será explicado a continuación, dependiendo si el proceso de descarga es de calefacción o de refrigeración.

El calor del agua procedente del sistema de distribución, hace que el agua del evaporador entre en ebullición (debido a la baja temperatura que hay en el mismo), haciendo que el vapor pase al reactor, donde se condensa, ya que el reactor está más frío en relación. El vapor que se condensa en agua en el reactor, diluirá la solución LiCl. La disolución de LiCl es bombeada a través de la bolsa filtrante donde se mezcla con la sal, regresando a su saturación. La saturación continua es necesaria para proporcionar una diferencia de temperatura entre el condensador/evaporador y el reactor.

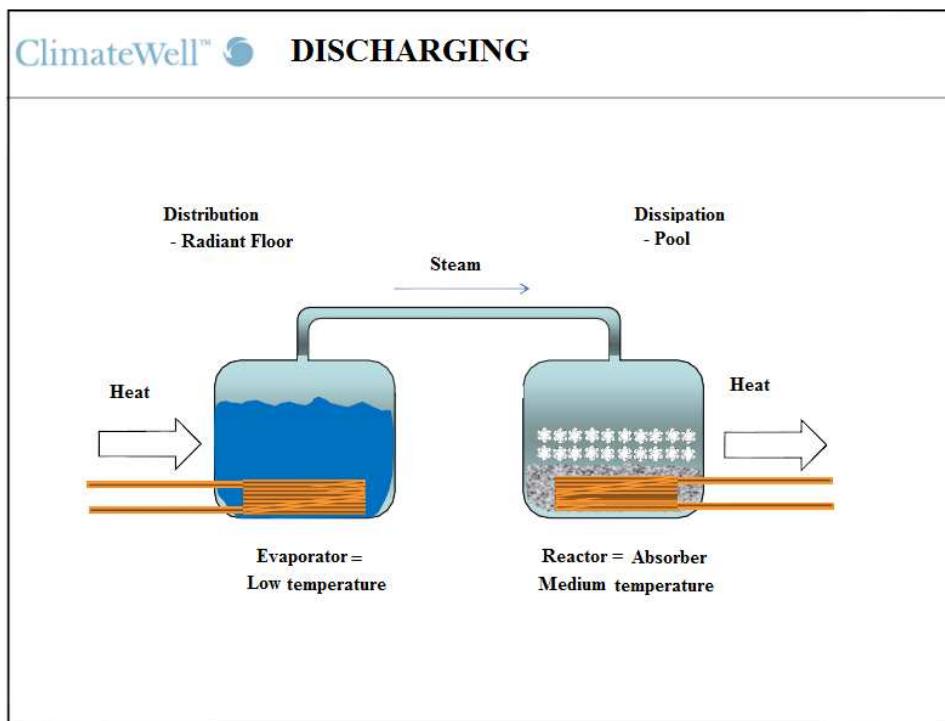


Figura 9: Proceso de descarga de la máquina de absorción. (*Tecnología absorción ClimateWell.pdf*)

##### **4.1.2.1. REFRIGERACIÓN**

El agua retorna del sistema de distribución a una temperatura superior a la que deja el condensador/evaporador (se ha refrigerado la casa).

La figura 10 expresa uno de los dos barriles descargando durante la refrigeración.



**Figura 10: Balance energético durante la refrigeración. (ClimateWell\_10 producto.pdf)**

#### Datos dimensionales (Enfriamiento)

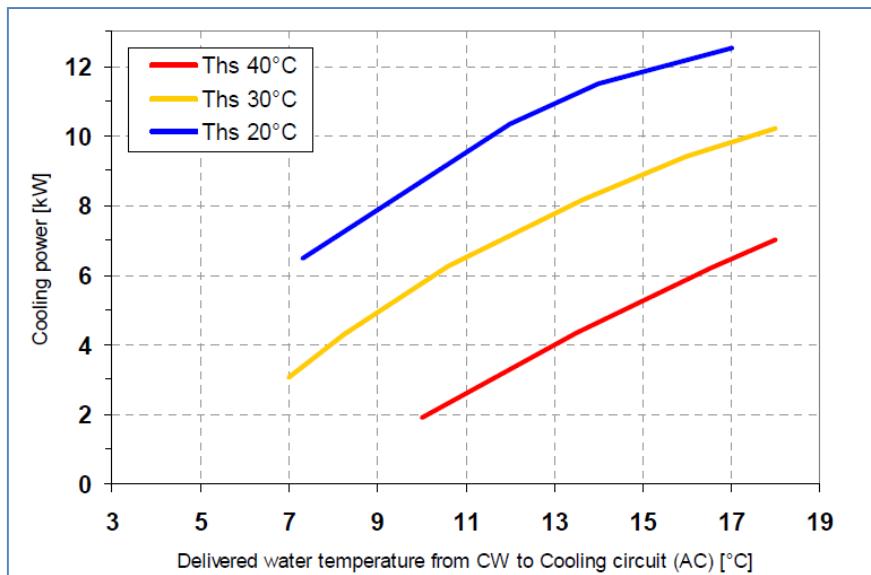
Es importante señalar que las bajas temperaturas del disipador de calor mejoran la capacidad de refrigeración de la máquina, con lo que es importante garantizar el buen dimensionamiento del mismo para optimizar el rendimiento y minimizar costes. La temperatura del disipador de calor dependerá de las condiciones ambientales y de su eficiencia.

Si aumenta la carga de refrigeración en la casa hasta el punto de alcanzar la potencia máxima de la máquina, la temperatura del circuito de distribución comenzará a aumentar lentamente, pero seguirá refrigerando el edificio. La temperatura interior aumentará, pero seguirá siendo inferior a la exterior.

El caudal típico del circuito de distribución de la casa está entre 15 y 20 l/min (17,5 l/min en nuestro caso).

La figura 11 muestra una potencia de refrigeración (15 l/min) por barril a plena carga en función de:

- La temperatura del agua fría de la máquina
- La temperatura del agua del disipador de calor (Ths)



**Figura 11: Rendimiento de enfriamiento.** (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)

Como se puede ver, cuanto mayor sea la temperatura del sistema de distribución, mayor eficacia de funcionamiento tendrá la máquina en el modo de refrigeración. Así pues, resulta ideal para aplicaciones de suelo/murales/techos radiantes en las que se utilicen temperaturas de caudal de hasta 17°C.

Por ejemplo, si tenemos 30°C en el disipador de calor y suministramos 15°C al circuito de refrigeración (suelo radiante), entonces la potencia de refrigeración por barril sería de 9 kW. Descargando ambos barriles al mismo tiempo, la potencia de refrigeración sería de 18 kW.

#### 4.1.2.2. CALEFACCIÓN

La calefacción es el proceso inverso a la refrigeración, lo que significa que la energía cargada se extrae en forma de calor mediante la conexión del condensador/evaporador al disipador de calor, y del reactor al sistema de distribución.

El agua retorna del sistema de distribución a una temperatura inferior a la que deja el reactor (hemos calentado la casa).

Durante la descarga, para la calefacción, la energía térmica es extraída mediante la conexión del evaporador al disipador térmico, y del reactor al sistema de distribución. En modo de carga, también puede extraerse calor mediante la conexión del condensador al sistema de distribución en modo de carga.

La figura 12 ilustra uno de los dos barriles descargando calor.



Figura 12: Balance de energía durante el calentamiento. (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)

#### Datos dimensionales (Calentamiento)

Cabe destacar que para utilizar CW\_10 como bomba de calor en invierno, es necesario disponer de una fuente para poder extraer energía durante la descarga, como es una piscina. La temperatura del disipador de calor nunca deberá descender por debajo de 0°C ya que, de lo contrario, podría congelarse el agua del evaporador. El dimensionamiento del disipador de calor es primordial, ya que es posible incrementar la eficiencia de una caldera hasta un 160% durante el invierno y seguir utilizando los colectores solares para la producción de agua caliente doméstica.

El caudal típico del circuito de distribución de la casa está entre 15 y 20 l/min (17,5 l/min en nuestro caso).

La figura 13 muestra una potencia de calefacción (15 l/min) en los dos barriles a plena carga en función de:

- La temperatura del agua caliente de la máquina
- La temperatura del agua del disipador de calor (Ths)

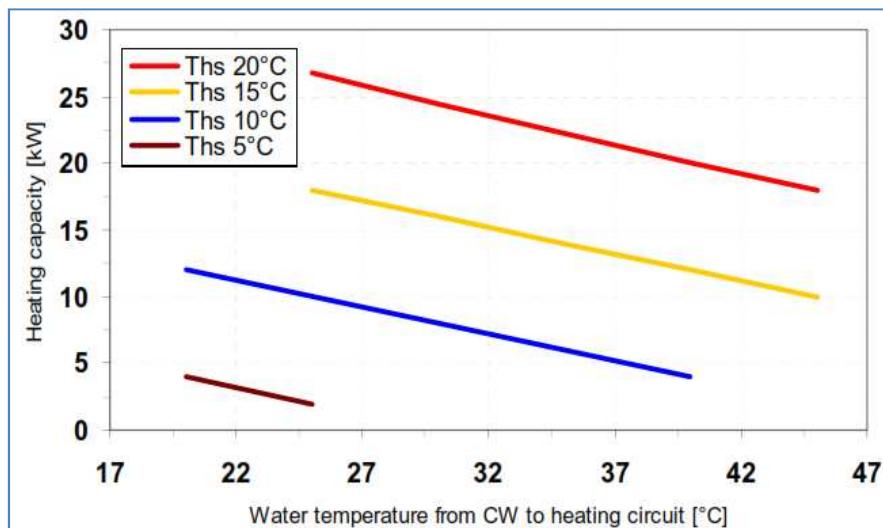


Figura 13: Rendimiento de calefacción de CW\_10. (*ClimateWell\_10 producto.pdf*)

Como se puede ver, cuanto menor es la temperatura del fluido que va hacia el sistema de distribución, más eficaz es la máquina en el modo de calefacción. Así pues, resulta ideal para aplicaciones de suelo/murales/techo radiantes en las que se utilicen temperaturas bajas de caudal de hasta 27°C.

La fuente de calor térmica de soporte (caldera) será utilizada para incrementar la capacidad de calefacción en días muy fríos, si no es suficiente la energía generada por el colector solar.

Por ejemplo, si tenemos 15°C en el disipador de calor y suministramos 32°C al circuito de calefacción (suelo radiante), entonces la potencia de calefacción sería de 15 kW.

A modo de **resumen** de lo explicado en todo éste apartado 4 sobre el funcionamiento de la carga y la descarga de CW\_10, la figura 14 ilustra uno de los dos tanques con los que cuenta la máquina de absorción, donde se observa claramente las dos partes del mismo (reactor y condensador/evaporador) y las entradas y salidas a la máquina, dependiendo si el proceso es de carga/descarga o del modo de funcionamiento (modo simple o doble).

Cuando un barril se ha cargado hasta que ya no puede consumir más energía o si el otro barril ya no puede aportar más frío por falta de carga, la máquina automáticamente cambia su estado. El barril cargado empieza a descargar y el “vacío” empieza a cargar, este cambio se denomina “swap”.

La máquina tiene su propio sistema de control que hace todos los “swaps”, es decir, cambiar de cargar a descargar y viceversa. El sistema de control también envía señales a la unidad de fontanería para controlar las válvulas y mandar los flujos necesarios a la parte de la máquina adecuada. El sistema de control de la máquina que se comentará en otro apartado más adelante en el proyecto, hace que la máquina funcione automática y autónomamente.

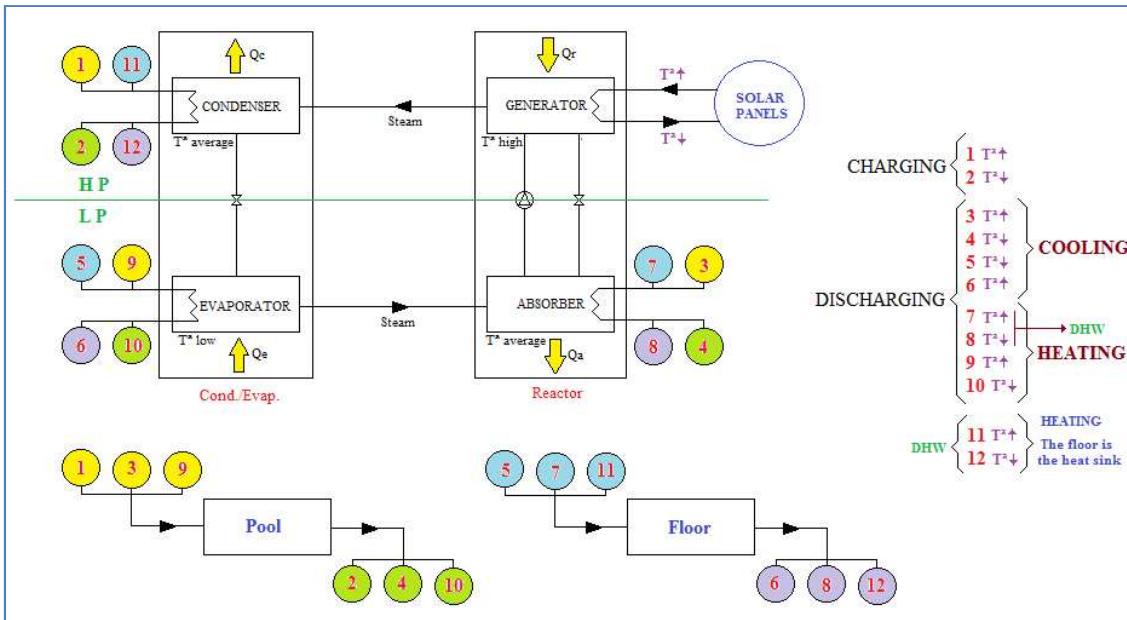


Figura 14: Uno de los dos tanques que componen CW\_10. Conexiones internas dependiendo de si la máquina trabaja en carga/descarga o refrigeración/calefacción, controladas internamente dependiendo el modo de funcionamiento.

## 5. Circuito de disipación de calor

El circuito de disipación que se ha elegido es una piscina, ya que suponemos que la casa unifamiliar, cuenta con ella. De ésta manera, además de proporciona una manera de disipación a bajo coste, se alargan los periodos de baño especialmente durante primavera y otoño. El área de superficie mínima necesaria de la piscina recomendado por el fabricante es de  $30 \text{ m}^2$ , por lo que supondremos que nuestra piscina posee **40 m<sup>2</sup>**.

De la misma forma que se ha descrito en el circuito primario, el agua de disipación procedente de la máquina de absorción ha de separarse físicamente del agua que la piscina, por lo que es necesaria la instalación de un intercambiador de calor.

En la siguiente tabla, tabla 7, ofrecida por el fabricante, se puede observar la potencia típica del disipador necesario, a un caudal típico de 30 l/min. Si baja de los 30 litros/minuto, el caudal turbulento se convierte en caudal laminar y por lo tanto la potencia de la máquina, baja considerablemente. El caudal recomendado es de 30 litros/minuto.

Tabla 7: Datos para el cálculo de los parámetros del sumidero. (*Design Guidelines ClimateWell\_10*)

Nº. CW_10	Caudal [litros/minuto]	Pérdida de presión sobre CW_10 [kPa]	Valor UA del intercambiador [W/K]	Potencia del disipador [kW]
1	30	50	~8.000	30
2	60	50	~14.000	60
10	300	50	~60.000	300

Hay que tener en cuenta, que la potencia especificada del disipador en la tabla anterior, es la suma de la potencia de carga según el campo solar ( $\approx 20$  kW) y la potencia de descarga (demanda de frío  $\approx 10$  kW).

Tras mirar diferentes catálogos de CW\_10 para diferentes modelos, y como se puede observar en la tabla anterior, se ha llegado a la conclusión, que el caudal de disipación suele ser el doble que el de carga. Ya que en el circuito primario, el caudal es de 17,5 l/min, se dimensionará la instalación del circuito de disipación para que circule por éste **35 l/min**.

## 5.1. Intercambiador de calor del circuito de disipación

El intercambiador de calor elegido deberá soportar la corrosión debido a los aditivos presentes utilizados en el mantenimiento de la piscina, por lo que el intercambiador de calor se elegirá en función de los productos químicos que utilice el agua de la piscina y de la potencia necesaria para el buen intercambio de calor.

Como se ha comentado en el cálculo del intercambiador de calor en el circuito de captación solar, la potencia intercambiada en el circuito de disipación, en condiciones ideales (ausencia de pérdidas), para el cálculo del intercambiador es:

$$P_{int} = \dot{m}_1 * C_{p1} * (T_{e1} - T_{s1}) = \dot{m}_2 * C_{p2} * (T_{e2} - T_{s2})$$

El fabricante de ClimateWell recomienda que la  $T^a$  de salida de la máquina de absorción esté entre 30 y 45°C, mientras que la entrada a la misma, sea menor de 30°C.

Para aplicar la ecuación, es necesario conocer los datos específicos del fluido (agua) que circula en el circuito secundario. La tabla 8 muestra las propiedades termofísicas del agua a la temperatura de trabajo, en el circuito secundario del intercambiador.

**Tabla 8: Propiedades termofísicas del agua a 40°C. (METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995))**

Temperatura de trabajo (°C)	40
Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	973
Calor específico $C_p$ (kJ/Kg·°C)	4,205

$$P_{int} = 35 \text{ [l/min]} * 1/60 \text{ [min/s]} * 973 \text{ [kg/m}^3\text{]} * 1/1000 \text{ [m}^3/\text{l]} * 4,205 \text{ [kJ/Kg°C]} * (15°C) = \mathbf{35,8 \text{ kW}}$$

Conocida la potencia aproximada que se necesita para el intercambiador, se ha elegido el modelo **S1-12TLA** de la empresa Pilan. Como se puede ver en el **ANEXO 5**, puede operar con una potencia de hasta 40,47 kW y con un caudal máximo de trabajo de 39,7 l/min, el cual es acorde con las necesidades de diseño (35 l/min).

Según lo especificado por el fabricante de ClimateWell, el intercambiador seleccionado debe estar alrededor de 30 kW a 30 l/min, por lo que se concluye diciendo que el dimensionamiento ha sido correcto.

## **6. Circuito de distribución**

Los sistemas de distribución de la casa pueden ser: suelo radiante, fan coils, sistema de refrigeración de techos, o calefacción/refrigeración de conducción central.

Hay que tener en cuenta, que para el funcionamiento de CW\_10 en el modo de refrigeración, cuanta más alta sea la temperatura del fluido que va al sistema de distribución, mayor eficacia tendrá el mismo. Así pues, resulta ideal para aplicaciones de suelo/techo radiantes en las que se utilicen temperaturas de hasta 17-18°C. A su vez, en modo de calefacción, cuando más baja sea la temperatura que va al sistema de distribución, más eficaz será. Así pues, resulta ideal para aplicaciones de suelo/techos radiantes en las que se utilicen temperaturas que desciendan hasta los 27°C. En cambio, si utilizáramos radiadores, será necesario que el agua esté aproximadamente a 70°C, y si la climatización la hicieramos con fan-coils necesitaríamos que el agua para la refrigeración se encuentre a 7°C.

Después de haber decidido que el sistema a utilizar, será mediante suelo o techo radiante. La tabla siguiente, tabla 9, muestra las ventajas e inconvenientes de la utilización de cada uno de los dos sistemas.

**Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de la utilización de techo/suelo radiante.**

SISTEMA	Ventajas	Inconvenientes
<b>Suelo radiante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Excelente distribución de temperaturas en el espacio ocupado.</li> <li>* Bajo coste de operación y mantenimiento.</li> <li>* No provoca movimiento de aire.</li> <li>* No ocupa espacio en la zona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La ventilación debe aportarse separadamente.</li> <li>* Sistemas dependientes de la temperatura de agua.</li> <li>* Difícil de implementar una vez construido el edificio.</li> <li>* Requiere aislamiento inferior del suelo.</li> </ul>
<b>Techo radiante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La temperatura de agua requerida permite mejor rendimiento de la instalación.</li> <li>* No ocupa espacio en planta.</li> <li>* Bajo mantenimiento.</li> <li>* El efecto de refrigeración de la radiación permite mayores temperaturas del local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El aire primario debe suministrarse separadamente.</li> <li>* Riesgo de condensación en el techo.</li> <li>* Requiere aislamiento en la parte superior del techo.</li> <li>* <u>Debe preverse un sistema alternativo de calefacción.</u></li> </ul>

Después de analizar el perfil óptimo de temperaturas del cuerpo humano, el sistema de suelo radiante es el que mejor se ajusta al mismo. Éste perfil, es aquel según el cual, la temperatura del aire, a la altura de los pies, es ligeramente superior a la temperatura del aire a la altura de la cabeza.

Debido a lo comentado en el párrafo anterior, y mirando la tabla 9, en la cual el principal inconveniente de la utilización de techo radiante es la falta de calefacción, o

calefacción la cual no proporciona confort, sino dolor de cabeza a los ocupantes de la vivienda, se concluye diciendo que el sistema a elegir será el de **suelo radiante**.

El sistema de distribución elegido se llama **ClimaDeck**. Éste, es explicado con más detalle en el **ANEXO 6**, donde se puede observar las ventajas del mismo y las formas y restricciones para su instalación.

## **7. Otros elementos**

### **7.1. Sistema de acumulación**

El sistema de acumulación o depósito de acumulación, es el encargado de almacenar el agua caliente sanitaria (ACS).

Básicamente, existen dos métodos distintos para la preparación de agua caliente sanitaria. Uno es preparar y almacenar esta agua para el consumo en tanques de ACS antes de su uso, y otro es calentar al instante esta agua cuando se necesite. La primera solución tiene como principal ventaja que las demandas de pico se pueden cubrir con una capacidad pequeña en los intercambiadores de calor; pero tiene como inconveniente los problemas higiénicos derivados del almacenamiento de agua caliente. La segunda solución, proporciona altas condiciones higiénicas, ya que el agua fría se calienta al instante, pero requiere que los intercambiadores de calor estén adaptados a las demandas de pico de energía.

Debido a lo comentado en el párrafo anterior, si el diseño del sistema no dependiera en parte de calentamiento mediante placas solares, el calentamiento sería directo, pero para no desaprovechar el agua caliente proveniente del tanque, el sistema de acumulación se diseñará para coger el agua caliente directamente del tanque cuando ésta se necesite para el consumo. Para evitar que aumente mucho la temperatura interior del tanque y se produzca el problema comentado anteriormente de las condiciones higiénicas, el tanque contará con un sensor de temperatura para que ésta no supere los 60-70°C.

Para este tipo de instalaciones, el Pliego de Condiciones Técnicas de 2008 (PCT) del Código Técnico de la Edificación (CTE) obliga a que para el cálculo del volumen del acumulador en aplicaciones de ACS se cumpla la siguiente fórmula:

$$25 \leq \frac{V \text{ acumulación (litros)}}{S \text{ captación (m}^2\text{)}} \leq 50$$

Ya que el sistema ha sido diseñado con un área total de captadores de 33,34 m<sup>2</sup>, y siguiendo la fórmula anterior, el volumen de acumulación, deberá estar entre 833,5 litros y 1667 litros. Debido a que el uso del acumulador es para una vivienda unifamiliar de sólo 6 ocupantes, bastara con dimensionar un acumulador de 1250 litros.

Se utilizará un depósito o acumulador que consigue generar agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción en un mismo depósito, ahorrando mucho dinero, al no ser necesaria la instalación de dos depósitos independientes, uno para la producción del agua caliente sanitaria (ACS) y otro para calefacción.

En lo que respecta al uso en invierno, dado que la demanda de frío coincide con la disponibilidad de agua caliente, el calor obtenido se consume de manera prácticamente instantánea.

El acumulador de calor elegido es de la marca **HyGenio de GASOKOL** (Tank in Tank) de 1.250 litros de un fabricante de Zaragoza, cuyas hojas de características se adjuntan en el **ANEXO 7**.

## **7.2. Sistema de energía auxiliar**

Como se ha explicado con anterioridad, la instalación tiene que contar con un sistema de energía auxiliar de apoyo, en paralelo con la máquina de absorción, para abastecer por sí sola la demanda energética que se necesita en la vivienda, en caso de días prolongados lluviosos, sin excesiva luz o muy fríos.

El sistema elegido, es una caldera de condensación mediante gas natural. Para el cálculo de la caldera, se ha considerado la hipótesis de que todo el calor necesario para calentar el suelo pueda ser proporcionado únicamente mediante la caldera auxiliar. Ya que la potencia máxima de calefacción de la máquina de absorción es de 25 kW, la caldera de condensación elegida es **ISOFAST 21 CONDENS F30** de la marca Sauner Dual como se puede ver en el **ANEXO 8**. Ésta caldera mixta, proporcionará 25,7 kW de calefacción y 30,6 kW de ACS si es necesario.

## **7.3. Tuberías**

El diámetro de las tuberías se determinará en función del caudal requerido en cada tramo del circuito. Debido a que el sistema cuenta con tres circuitos diferentes, habría que calcular tres valores de diámetros de tuberías, pero como circula el mismo caudal en el circuito de captación solar que por el de distribución, solo será necesario el cálculo para dos diámetros diferentes.

Para dimensionar las tuberías, se debe calcular una velocidad de flujo que estará entre 0,5-1,5 m/s; ya que si es superior a 1,5 m/s provocará una caída de presión alta en el circuito solar, y si la velocidad es inferior a 0,5 m/s impedirá que las burbujas de aire alcancen la unidad de purgado provocando un aumento de pérdidas térmicas. Debido a esto, se dimensionarán ambos diámetros de las tuberías para una velocidad de 1 m/s.

Para un diámetro de tubería (m) y un caudal (m<sup>3</sup>/s), la velocidad del fluido (m/s) viene dada por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{Q}{4 \pi V}}$$

**D** (circuito de captación solar y de distribución) (17,5 l/min) = 4,82 mm ≈ **5 mm**

**D** (circuito de disipación por suelo radiante) (35 l/min) = 6,81 mm ≈ **7 mm**

El material de las tuberías utilizado será de **acero inoxidable** ya que ofrece un rendimiento eficiente y fiable, sobre todo en circuitos a alta temperatura, como en el caso del circuito de capación solar.

El grosor del **aislamiento** de las tuberías dependerá de si son tuberías de exterior o de interior (de la vivienda) y además de la temperatura del fluido que circula por las mismas.

## **7.4. Bombas de circulación**

Las bombas serán las encargadas de la impulsión del fluido dentro de las tuberías. En el circuito se instalarán 5 bombas en el:

- Circuito de captación solar (primario = lado de los captadores).
- Circuito de captación solar (secundario = lado de la máquina CW\_10).
- Circuito de disipación de calor (en el lado de la piscina).
- Circuito de disipación de calor (en el lado de la máquina CW\_10).
- Circuito de distribución.

Las bombas de circulación se instalarán en las zonas más frías del circuito, entre dos válvulas de corte, y con espacio suficiente para permitir su eventual sustitución o reparación con facilidad, sin necesidad de vaciar el circuito.

El funcionamiento de una bomba de circulación viene determinado por su curva característica, que representa la relación entre la altura manométrica (H) que proporciona la bomba y el caudal de circulación (Q) de la misma.

Debido al diseño del circuito, para que las bombas posean una alta eficiencia, es importante tener una buena eficiencia a carga parcial. Debido a esto, todas las bombas instaladas serán de velocidad variable.

Para el diseño de cada bomba, se tendrá en cuenta las pérdidas producidas en el circuito, las cuales dependerán del mismo, y del caudal cuadráticamente.

El cálculo de todas las bombas se hace de la misma manera, sólo que cambian las pérdidas dependiendo del circuito donde se coloquen, y del caudal que circule por las mismas. Ya que el proyecto no refleja la distribución de las tuberías, no se puede calcular las pérdidas, aunque a continuación, y a modo de explicación, se indicarán las diferentes pérdidas de cada circuito para así elegir la bomba más adecuada.

Tras hacer el equilibrio en metros de columna de agua (m.c.a.), y conocer los valores de Q y H, se elegirá una bomba, cuya curva característica se seleccionará dependiendo del punto de funcionamiento donde queremos que trabaje el circuito.

Bomba del circuito de captación solar (primario = lado de los captadores)

$$H_1 = Hdc \text{ tuberías} + Hdc \text{ intercambiador}_1 + Hdc \text{ captadores}$$

Bomba del circuito de captación solar (secundario = lado de la máquina CW\_10)

$$H_2 = Hdc \text{ tuberías} + Hdc \text{ intercambiador}_1 + Hdc \text{ ClimateWell}_10$$

Bomba del circuito de disipación de calor (en el lado de la piscina)

$$H_3 = Hdc \text{ tuberías} + Hdc \text{ intercambiador}_2 + Hdc \text{ (intercambiador} = \text{piscina})$$

Bomba del circuito de disipación de calor (en el lado de la máquina CW\_10)

$$H_4 = Hdc \text{ tuberías} + Hdc \text{ intercambiador}_2 + Hdc \text{ ClimateWell\_10}$$

Bomba del circuito de distribución

$$H_5 = Hdc \text{ tuberías} + Hdc \text{ ClimateWell\_10}$$

- **$H_{1,2,3,4,5}$ :** Altura manométrica de las bombas, en metros de columna de agua (m.c.a.).
- **Hdc tuberías:** Altura de pérdidas de carga de las tuberías (éstas, pueden ser lineales o singulares. Las primeras, se producen en los tramos rectos de las tuberías, mientras que las segundas en los cambios de sentido de las mismas) (m.c.a.).
- **Hdc intercambiador<sub>1,2</sub>:** Altura de pérdidas de carga producida por el intercambiador de calor. (Proporcionadas por el fabricante) (m.c.a.).
- **Hdc captadores:** Altura de pérdidas de carga de los captadores solares (Proporcionadas por el fabricante) (m.c.a.).
- **Hdc (intercambiador = piscina):** Altura de pérdidas de carga en la piscina (hace de intercambiador) (m.c.a.).
- **Hdc ClimateWell\_10:** Altura de pérdidas de carga producida por la máquina ClimateWell\_10 (m.c.a.).

## 7.5. Elementos “pequeños”

### 7.5.1. Purgadores automáticos de aire

Para que la circulación del fluido no se vea interrumpida por la formación de bolsas de aire en la instalación que impidan la correcta circulación del fluido provocando corrosiones y puntos de elevada temperatura, se instalarán purgadores de aire automáticos en los puntos más elevados del circuito, uno en cada circuito existentes.

### 7.5.2. Válvulas de llenado automático

Cuando el circuito se descarga debido a evaporizaciones no deseadas, estos elementos ingresarán automáticamente el agua fría necesaria para compensar la presión de funcionamiento del circuito donde se coloquen.

### 7.5.3. Válvulas de alivio

Debido a causas accidentales, para evitar un aumento violento de la presión de agua dentro del tanque de ACS, se instalará esta válvula que actúa cuando la presión en el interior del acumulador supera los 6 bar, previniendo deterioros en el equipo, aumentando su vida útil y evitando la posibilidad de accidentes.

#### **7.5.4. Válvula reductora de presión**

En la entrada de agua fría al estanque acumulador, se instalará ésta válvula que permite al sistema trabajar con una presión de agua estable, la cual es necesaria para distribuir el caudal y la presión suficiente a cada punto de consumo. De ésta manera se evitarán las fluctuaciones violentas que puedan causar daños en los componentes de los equipos de forma reiterativa y aleatoria.

#### **7.5.5. Vaso de expansión anti-golpe de ariete**

Este estanque es vital, y se instala en el ingreso de agua fría al acumulador, su función principal es absorber el golpe de ariete provocado por las diferencias de densidad entre el agua caliente acumulada y el agua fría que ingresa. Con su instalación, se evitarán los ruidos molestos en las cañerías, las vibraciones y los deterioros que éstas puedan ocasionar.

#### **7.5.6. Válvulas anti-retorno**

Impedirán que el flujo de agua circule hacia lugares no deseados. Se instalarán después de la bomba del circuito caloportador, para que durante el estancamiento, el vapor no llegue a la bomba y la estropee.

#### **7.5.7. Válvulas de corte rápido**

Estas válvulas, normalmente de tipo bola, se conectarán a todos los equipos principales de la instalación, para así, proceder a reparaciones o acciones de mantenimiento sin necesidad de vaciar el resto del circuito.

#### **7.5.8. Vasos de expansión**

Debido a los cambios de temperatura en el fluido de trabajo, se instalará un vaso de expansión que absorba las dilataciones del mismo en todos los circuitos que circule agua a alta temperatura. Para protegerlo, deberá instalarse en el punto más frío de cada circuito.

#### **7.5.9. Válvulas de vaciado**

Las válvulas de vaciado permitirán eliminar el agua de la instalación para facilitar los trabajos de reparación o sustitución, y se colocarán en puntos bajos de la instalación; al igual que en la parte inferior de los depósitos de acumulación y del circuito de captación.

#### **7.5.10. Válvulas de seguridad**

Las válvulas de seguridad tienen por objetivo evitar que en los circuitos se puedan producir sobrepresiones excesivas, las cuales puedan perjudicar a los elementos de la instalación y a las personas que lo manipulan o utilizan.

Se instalará una válvula de seguridad en el circuito primario, en el acumulador y delante del vaso de expansión para operaciones de mantenimiento del mismo.

### **7.5.11. Filtros**

Se colocarán filtros en las válvulas automáticas y a las entradas de las bombas para retener las impurezas que puedan existir en el interior de las conducciones de la instalación. Para más seguridad, se colocará otro filtro en la entrada principal de la red proveniente de la acometida general de distribución.

### **7.5.12. Compensadores de dilatación**

Éste componente evita las deformaciones en la tubería debido a las diferencias dimensionales en los tubos u otros elementos por causas térmicas.

### **7.5.13. Medición y seguimiento**

En la instalación solar se incluyen una serie de elementos de medida que, si bien no tienen incidencia sobre el comportamiento de la instalación, son de gran utilidad para evaluar, controlar su funcionamiento y cuantificar sus prestaciones reales.

- Manómetros: Medirán la presión de cada circuito, y se colocarán en las 5 bombas del mismo.
- Sensores de temperatura: Se colocarán a la salida y a la entrada de los captadores solares (para ver el salto térmico), a la salida del acumulador solar (2), y una sonda de temperatura en la tubería de retorno del circuito de distribución para la ayuda del control del sistema.

## **8. Control y funcionamiento**

### **8.1. Sistema de monitorización y control interno**

El sistema de control de CW\_10 está totalmente integrado en un display LCD conectado a tres microcontroladores de 8 bits, situado en la parte frontal de la misma.

El sistema mide las temperaturas de entrada y salida de los 4 intercambiadores de calor, las 7 temperaturas internas y la temperatura del circuito de carga, siendo un total de 16 temperaturas.

Hay un interruptor en la parte frontal del armario de mando para alternar entre calefacción y refrigeración, el cual es modificado por el propio usuario.

Ya que CW\_10 no controla las unidades auxiliares como paneles solares, calentadores de agua o suelo radiante, habrá que controlarlas de otra manera, como se explicará más adelante.

Si se proporciona energía a un barril completo, ésta es recibida, procesada internamente en el barril completo y liberada a través del disipador de calor. Esta energía no se utiliza, pero sí es recibida, evitando de esta forma problemas con el exceso de energía térmica en los colectores solares térmicos.

Dependiendo de la estrategia de control, nuestra máquina de absorción puede ser ajustada de diferentes formas dependiendo de los requisitos específicos de instalación. El fabricante recomienda que se establezca la estrategia operativa durante el dimensionado y planificación de la instalación. Además, éste nos dice que dependiendo de la zona de España donde se implante el proyecto, se siga una estrategia de control u otra. Por ejemplo en el sur de España donde la demanda de refrigeración es mayor, recomienda que la estrategia de control a seguir sea que la máquina funcione en modo doble, sin embargo, en el centro y norte de la península, recomienda que se elija la estrategia de modo simple. Debido a esto, y que la ubicación del proyecto es en el centro de España, haremos que nuestra máquina trabaje en **modo simple (sencillo)**.

A modo de explicación resumida, a continuación se explicarán los dos modos de funcionamiento que se han comentado anteriormente.

### **8.1.1. Modo sencillo**

En funcionamiento normal, se cargará un barril y se descargará el otro al mismo tiempo. De esta forma, podemos proporcionar y cargar energía, de forma continua. En cuanto un barril esté totalmente cargado, el sistema de control conmuta, haciendo que el segundo barril comience a cargarse.

Para evitar que la conmutación de los barriles sea demasiado frecuente, como por ejemplo, cuando los dos barriles estén llenos, o bien haya una demanda de refrigeración demasiado alta, se programará para cargar siempre cada barril durante un período mínimo de 1 hora.

### **8.1.2. Modo doble**

Existen ocasiones, que la estrategia de modo simple no es la más óptima. Si se hace funcionar los barriles en modo doble, éstos serán cargados a la vez y descargados posteriormente de la misma manera. Esta estrategia resulta interesante cuando se utiliza un sistema de suelo radiante con una gran demanda de refrigeración y con una gran inercia en la ubicación.

## **8.2. Sistema de monitorización y control externo**

Los sensores de temperaturas y válvulas motorizadas del sistema auxiliar, las temperaturas de los captadores solares y del tanque de ACS, irán cableadas a un sistema de regulación, control y monitorización; el cual recogerá la información para gestionar los equipos y para tomar los datos significativos de funcionamiento y rendimiento energético.

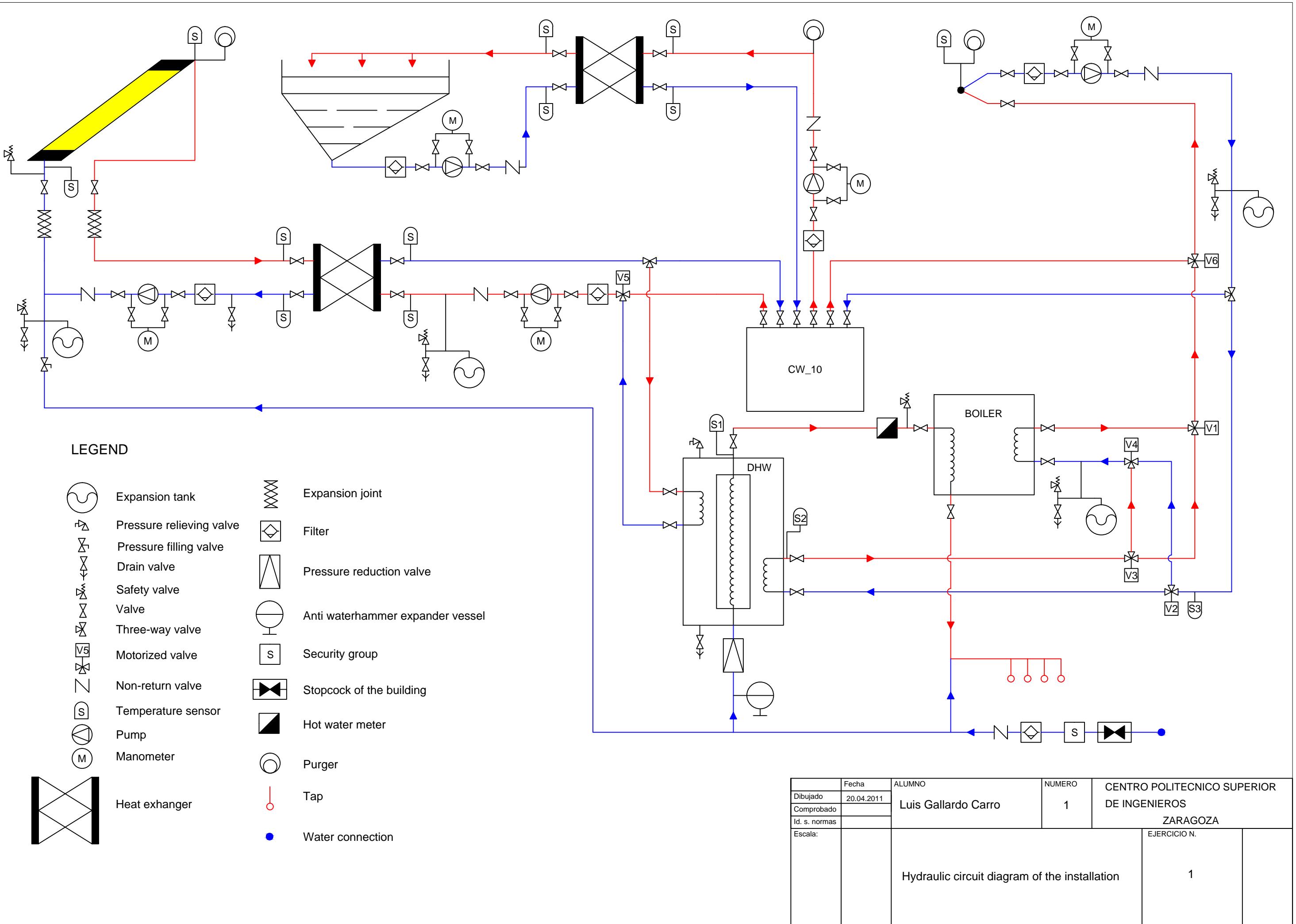
Todas estas señales van cableadas a un **PLC** (controlador lógico programable) donde, después de su programación, se realizarán las labores de adquisición y control del sistema, decidiendo la apertura de las válvulas y funcionamiento o no del resto de componentes, como en el caso de las bombas.

### **8.3. Funcionamiento del sistema completo**

El sistema, como se ha comentado, está diseñado teniendo en cuenta las siguientes prioridades:

- Durante el invierno:
  - 1º ACS
  - 2º CW\_10 (Calefacción)
- Durante el verano:
  - 1º ACS
  - 2º CW\_10 (Refrigeración)
  - 3º Piscina

Para su mejor explicación, la siguiente figura, figura15 muestra un esquema del circuito hidráulico de toda la instalación completa realizado con AutoCad.



A continuación, y siguiendo el posicionamiento de las válvulas de la figura anterior, se explicará el funcionamiento del sistema, dependiendo de las necesidades del consumidor (necesidad de ACS o no) y del sistema (calefacción o refrigeración). Para la explicación del mismo, se tendrá en cuenta la circulación del flujo por las diferentes válvulas, y para ello, se seguirá el esquema de la tabla 10.

**Tabla 10: Posicionamiento de las válvulas motorizadas.**

	V1	V2	V3	V4	V5	V6
<b>ON</b>						
<b>OFF</b>						

X: Es indiferente el estado de la válvula.

#### **SIN NECESIDAD DE ACS ( $T_1 \geq 60^\circ\text{C}$ )**

##### ❖ INVIERNO

- Calefacción (Suministrada por CW\_10).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	X	ON	X	ON	OFF

- Calefacción (Suministrada por el tanque y/o la caldera).
  - ◆  $T_2 > 45^\circ\text{C}$  (El agua proporcionada por el tanque, no entra en la caldera para calentar el suelo).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
ON	ON	ON	X	ON	ON

- ◆  $T_2 < 45^\circ\text{C}$  (El agua proveniente del tanque entra en la caldera para aumentar su temperatura y así poder calentar el suelo). Dependiendo si el retorno del agua después de calentar el suelo, es mayor que el agua de la salida del tanque, el sistema es el siguiente:
  - $T_3 < T_2$  (Está más caliente el agua del tanque, que el agua de retorno del suelo).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON

- T3 > T2 (Está más caliente el agua de retorno del suelo que el agua del tanque).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	OFF	X	ON	ON	ON

❖ VERANO

- Refrigeración.

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	X	ON	X	ON	OFF

**CON NECESIDAD DE ACS (T1 < 60°C)** En éste punto, dependerá si uno de los dos tanques está cargado o no, es decir si CW\_10 puede proporcionar la demanda requerida o no, ya que la prioridad es siempre la del suministro de calor para ACS.

❖ INVIERNO

- Calefacción.
  - Barril cargado (Suministrada por CW\_10).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF

- Barril descargado (El agua caliente es suministrada por la el tanque y/o la caldera).
  - ◆ T2 > 45°C (El agua proporciona por el tanque no entra en la caldera para calentar el suelo).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
ON	ON	ON	X	OFF	ON

- ◆ T2 < 45°C (El agua proveniente del tanque entra en la caldera para aumentar su temperatura y así poder calentar el suelo). Dependiendo si el retorno del agua después de calentar el suelo, es mayor que el agua de la salida del tanque, el sistema es el siguiente:

- T3 < T2 (Está más caliente el agua proveniente del tanque, que el agua de retorno del suelo).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON

- T3 > T2 (Está más caliente el agua procedente del suelo que el agua del tanque).

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	OFF	X	ON	OFF	ON

❖ VERANO

- Refrigeración (dependerá si el barril se encuentra cargado o descargado). En éste caso, es independiente si nos encontramos en verano o en invierno, ya que la caldera, solo suministra calor, y no frío.

V1	V2	V3	V4	V5	V6
OFF	X	ON	X	OFF	OFF

## 9. Simulación del sistema

Para llevar a cabo la simulación del sistema, se ha elegido el programa TRNSYS. Éste es una herramienta de cálculo dinámico utilizada en todo el mundo para el cálculo de sistemas solares, sistemas de ahorro energético en edificios, sistemas de acondicionamiento de aire con características avanzadas, sistemas de energías renovables, cogeneración... en conclusión, sistemas que requieran una simulación dinámica.

A través de la interface TRNSED (software de simulación para ACS, mediante energía solar) para TRNSYS, se introducirán los parámetros de cálculo del sistema, para así obtener una serie de los resultados económicos como medioambientales.

Hay que tener en cuenta, que TRNSED cuenta con una base de datos proveniente de Meteonormo, en la que posee todos los datos relacionados con las temperaturas y los diferentes climas, dependiendo del lugar donde se instale el proyecto, para así, poder determinar la energía necesaria a utilizar en el sistema.

Introduciendo todos los valores necesarios que requiere el programa de simulación, se obtiene un informe, el cual se puede observar en el **ANEXO 9**.

En él, se puede ver que la mayoría de los parámetros introducidos en el programa para la simulación del mismo, forman parte del mismo informe. En el proyecto, no se ha colocado un equipo de refrigeración auxiliar, pero el programa, necesita saber un valor del COP del mismo para así, poder hacer el análisis económico y la correspondiente comparativa del gasto de combustible. Tras comprobar con el programa de simulación, que la variación de éste valor tenía una gran repercusión en la variación del ahorro económico anual, se ha buscado información sobre diferentes proveedores de éstos equipos, y el COP escogido ha sido 2; ya que se ha elegido un valor medio en comparación con los equipos de refrigeración que hay actualmente en el mercado.

Como el programa no tenía la opción de escoger el captador solar que se ha elegido en el proyecto, se ha cogido uno de la misma marca pero de tamaño de superficie de captación menor, haciendo que el resultado final varíe un poco. Ya que el captador elegido en el proyecto es mayor, más rendimiento ofrecerá el mismo, por lo que si después de calcular la rentabilidad del proyecto, obtenemos que ésta es rentable, todavía lo sería un poco más.

En el informe, se puede observar, en la gráfica proporcionada por el mismo, las diferentes temperaturas de los colectores solares, la temperatura del interior y del exterior de la casa, y la temperatura de disipación de la piscina.

La temperatura de la piscina se mantiene a un valor prácticamente constante, alrededor de 23°C, por lo que al no superar los 30°C en ningún momento, se puede concluir, que el dimensionamiento de la misma ha sido correcta, ya que éste factor es muy importante para que la máquina funcione en sus condiciones óptimas de diseño, sobre todo para la refrigeración. Con respecto a la temperatura de los paneles solares, en ningún momento la temperatura supera los 90°C, por lo que su dimensionamiento también ha sido adecuado, haciendo que junto con el disipador, sean los dos parámetros de control más importantes del sistema.

La temperatura de la casa fijada por el sistema se asemeja bastante a la ofrecida por el informe, y además, éste nos ofrece las diferentes coberturas tanto de ACS, como de calefacción, como de refrigeración, todas ellas, proporcionadas por el uso de captadores solares y por la máquina de absorción. La cobertura de calefacción es solo de 8,1%, ya que como se ha comentado con anterioridad en el proyecto, la prioridad es la de ACS, y ésta, se ve reflejada con una cobertura de la misma de 85,4%. La cobertura de refrigeración es de 41,6%, haciendo que ésta pueda ser incrementada si cambiáramos los captadores solares y colocáramos captadores de tubo de vacío, ya que éstos poseen unos rendimientos mayores. También habría que tener en cuenta que el precio de estos captadores es mucho mayor, por lo que habría que volver a calcular la rentabilidad económica del proyecto.

El informe nos proporciona el ahorro anual derivado de la utilización del sistema utilizado, el cual nos servirá a continuación para calcular la rentabilidad económica del proyecto. Además, nos ofrece una serie de datos medioambientales, los cuales se comentarán en el siguiente apartado.

## **10. Análisis medioambiental**

El informe nos proporciona una serie de datos medioambientales como pueden ser las 4,5 toneladas de CO<sub>2</sub> de emisiones evitadas debido al uso del sistema utilizado, lo que equivale a un área de 0,5 hectáreas de bosque y a la producción de la emisión de CO<sub>2</sub> cuando se recorren alrededor de 30.000 Km en coche.

Para comparar diferentes edificaciones, se ha de mirar la certificación energética de las mismas, es decir, la calificación energética del edificio, en el que se refleja la autonomía energética teniendo en cuenta el ahorro de energía del mismo, en comparación con los sistemas convencionales.

Para poder hacer ésta comparativa, el mismo informe nos hace una comparación entre la certificación energética derivada del sistema utilizado en el proyecto y un sistema convencional. En él, se puede comprobar, que la certificación energética con CW\_10 se ha mejorado considerablemente, sobre todo en la parte referente a ACS, ya que como se ha comentado con anterioridad, la alta cobertura de la misma, hace que esto sea posible.

## 11. Análisis económico

Para realizar el análisis económico de la instalación, y compararla con una instalación convencional, se ha tenido en cuenta que no todos los elementos comentados con anterioridad se diferenciarán de una instalación convencional. Debido a esto, se tendrá en consideración los que se añaden al instalar el sistema solar con CW\_10, y para ello, en la tabla 11 se reflejan los elementos “extras” con respecto a una instalación convencional. Por ejemplo, la caldera, el suelo radiante, diferentes elementos de la instalación... serían necesarios para ambos sistemas.

Tabla 11: Coste de la instalación.

ELEMENTOS	PRECIO (€)
Captadores solares	$14 \text{ cap.} \cdot 304 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \text{s.util}} \cdot 2,39 \frac{\text{m}^2 \text{s.util}}{\text{cap.}} = \mathbf{10.171,84}$
Maquina CW_10	<b>15.000</b>
Tanque de ACS	<b>780</b>
Intercambiador de calor de 25kW	<b>376</b>
Intercambiador de calor de 35kW	<b>428</b>
Elementos “pequeños”	<b>3.992</b>
Montaje	+ 15%
<b>TOTAL</b>	<b>35.360,016 €</b>

Para conocer los precios de la tabla anterior, se ha buscado en internet los precios de venta para los diferentes elementos elegidos. Tras buscar numerosa información sobre el coste de los elementos “pequeños” (válvulas, sensores...) y comparar con otras instalaciones instaladas actualmente, las cuales utilizan la misma máquina de absorción, se ha llegado a la conclusión que el precio medio es el que refleja en la tabla. También, se ha considerado que el precio del montaje de la misma, será el 15% de todos los elementos.

Mirando precios en internet, sobre el precio de instalaciones como la expuesta en el presente proyecto, todos hablan de que el coste de la misma se estima alrededor de 30.000 €, por lo que se asemeja bastante al precio del proyecto realizado.

Se tendrá en cuenta que no se va a pedir ningún préstamo, y lo relacionado con el mantenimiento, no se tendrá en consideración, ya que para cualquier instalación también se precisa de mantenimiento, y además, CW\_10, como se ha comentado con anterioridad, no necesita durante toda su vida útil.

Las subvenciones para este tipo de instalaciones dependen de cada Comunidad Autónoma, del Estado y sobre todo del tipo de edificación donde se instale el sistema. Las subvenciones no son acumulativas, y para ello se debe de pedir a la propia Comunidad, subvención para cada instalación determinada. La subvención que proporciona el Estado depende de los metros cuadrados de placas solares instaladas, y la subvención que éste ofrece es de 375 € por cada metro cuadrado de superficie útil instalada. Debido a esto, ya que nosotros hemos instalado 33,46 m<sup>2</sup>, la subvención a recibir sería de 12.547,5 €. La subvención que proporciona la Comunidad de Madrid, para casas unifamiliares (particulares) va desde el 30% al 70% del coste de la instalación, y para ello hay que mandar el proyecto a la misma Comunidad, y ésta, tras la valoración del mismo, determinará la subvención a otorgar.

Para determinar la rentabilidad del proyecto se realizará mediante el VAN (Valor Actual Neto), y para ello, se tendrá en cuenta que la vida útil de CW\_10, es de 15 años (dato proporcionado por el fabricante), y que para el resto de elementos, su vida útil es mayor.

Para calcular el VAN, como se puede observar en el **ANEXO 10**, se ha tenido en consideración el ahorro anual proporcionado por el programa de simulación, al igual, que la subida de precio anual tanto del gas como de la electricidad. Tras hacer una media para así poder estimar el incremento en los próximos años, se ha tenido en cuenta el incremento de coste tanto de electricidad como de gas natural, en los últimos cuatro años. Tras el cálculo del aumento medio del precio, éste se estima, que será de aproximadamente el 10,75% con respecto al año anterior.

A continuación, se muestra la figura 16, en la cual se observa como el VAN varía considerablemente dependiendo de la existencia o no de subvenciones, tanto de la Comunidad de Madrid, como del Estado y además, se ha tenido en cuenta que el ahorro anual proporcionado por el programa de simulación es de **781,3 €/año**.

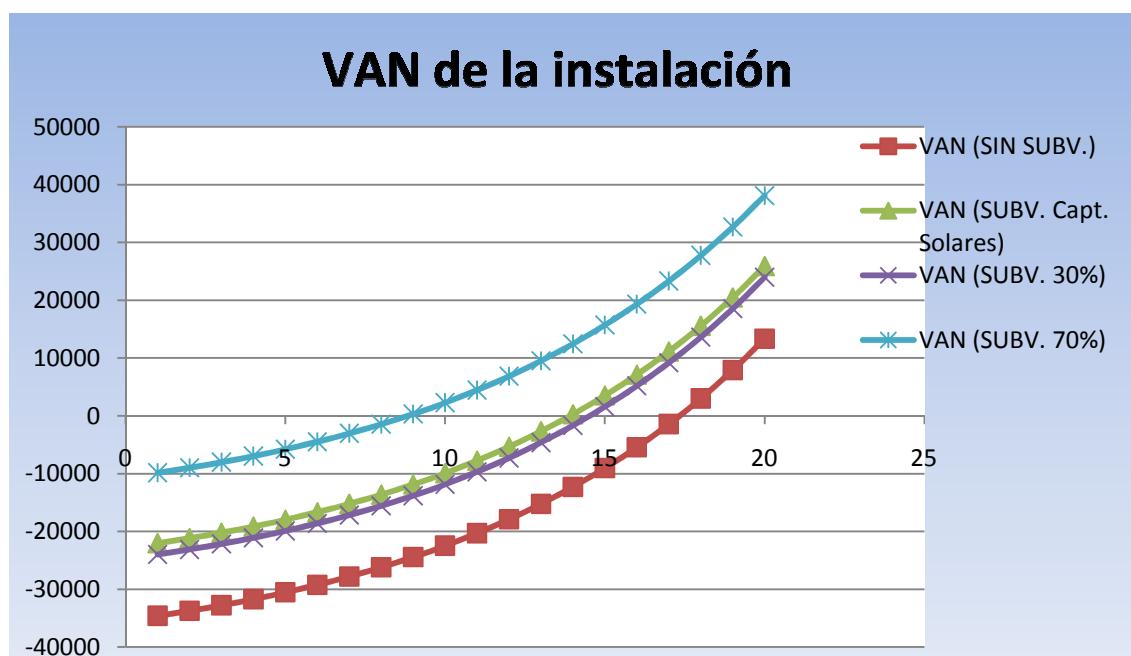


Figura 16: VAN de la instalación dependiendo de las subvenciones proporcionadas.

Como se puede observar, sin subvención, el VAN, solo coge valores positivos transcurridos 17 años desde la instalación del proyecto, por lo que se deduce, que no sale rentable económicamente la instalación del sistema.

El VAN, con subvención del Estado para los captadores solares, es aproximadamente el mismo que el VAN calculado con un 30% de subvención proporcionada por la Comunidad de Madrid. Éste, coge un valor positivo pasados alrededor de 13-14 años, por lo que económicamente saldría rentable la instalación.

Con una subvención del 70% de la instalación, el VAN, coge un valor positivo transcurridos solo 9 años, por lo que la rentabilidad económica del proyecto quedaría más que demostrada.

Ya que como se ha comentado, las subvenciones variarán entre un 30% y un 70%, independientemente que si la subvención es proporcionada por la Comunidad Autónoma de Madrid o por el Estado, la rentabilidad del proyecto es más que evidente.

## **12. Conclusiones**

Como se ha puesto de manifiesto en la memoria expuesta con anterioridad, existen una alta cantidad de ventajas debidas al hecho de la implementación de éste sistema de climatización en la casa unifamiliar.

La primera ventaja que me gustaría recalcar, es que el sistema es muy respetuoso con el medio ambiente, ya que la reducción de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es muy considerable. Además, la utilización de placas solares para la generación de energía, energía limpia, hace que las necesidades de energía tanto de agua, como de calor, como de refrigeración, no dependan en gran medida ni del precio del combustible utilizado, ni del suministro del mismo; produciendo en cierta medida, la sostenibilidad del edificio.

Los picos de energía de consumo en invierno, y sobre todo en verano, los cuales producen sobrecargas en las redes y subestaciones eléctricas generales de alimentación, se eliminarían si todo el mundo implantase este sistema en sus casas y edificios donde trabajan, o donde viven.

Además de la comodidad del sistema, de la falta de ruido del mismo, y de su rentabilidad económica, se ha de tener en cuenta que se contribuye en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER).

Tras volver a analizar el proyecto, y más en detalle la memoria, he comprobado que en el plano hidráulico de la instalación, se podría implantar una posible mejora, es decir, colocar un by pass en el circuito de distribución, que haga que la caldera consuma menos energía. Cuando la caldera entra en funcionamiento para calentar el agua que alimenta al suelo radiante, las tuberías desde la caldera hasta el suelo están frías, por lo que la caldera ha de proporcionar no solo la energía para calentar el suelo, sino también para calentar las tuberías hasta el suelo.

Si colocamos un by pass en la entrada/salida del suelo, con una válvula que controle el caudal y la temperatura del agua que circula por el mismo, podremos hacer que cuando la caldera empiece a trabajar, cierto caudal proveniente del calentamiento

del suelo entre de nuevo al inicio del mismo, y otra parte de caudal, que valla hacia la caldera para calentar las tuberías frías. A medida que las tuberías se vallan calentando, la recirculación de agua será menor, hasta un punto que será cero, haciendo que la caldera consuma menos gas natural al inicio de su funcionamiento.

Esto hará que se necesite la colocación de un caudalímetro adicional, y un sensor de temperatura que controle la temperatura de la tubería de retorno, haciendo que el funcionamiento del sistema cambie, en relación a lo explicado en la parte de control y funcionamiento.

Otra mejora para el proyecto que se podría hacer, sería la programación de todas las válvulas, sensores, bombas... en una PLC teniendo en cuenta lo comentado en la parte de control y funcionamiento del sistema, para así de ésta manera, completar íntegramente el sistema de control del circuito.

Aun teniendo en cuenta las horas empleadas en la elaboración del proyecto, en mi opinión, la realización del mismo aquí en Finlandia, me ha ayudado, sobre todo a realizarme como persona, ya que antes de venir al extranjero, cuando tenía algún problema o duda era fácil encontrar a alguien que me echara una mano; pero aquí la filosofía de estudio y de trabajo es totalmente diferente. Aquí, eres tú mismo el que te has de buscar la vida y solucionar tus propios problemas; y eso unido a mis pocos conocimientos que tenía del idioma cuando salí de España, ha hecho que al principio me costara mucho no solo el hablar con mi director del proyecto, sino simplemente el hecho de buscar información en la biblioteca. Debido a esto, me he vuelto más independiente, y siendo justo, creo que era necesario antes de buscar un trabajo, el hecho de poder confiar más en mí mismo.

## **13. Bibliografía**

*Product Description ClimateWell™10.* Instrumentvägen 20 – 126 53 Hägersten – Stockholm.

*TCA Evaluation, Lab Measurements, Modeling and System Simulations.* Crís Bales and Svante Nordander (IISN December 2005). ClimateWell.

*Solar Powered Air Conditioning.* Group CEO. Per Olofsson. August 2008. ClimateWell.

*Potencial de la Climatización.* ClimateWell.

*Shaping the Future of Air Conditioning.* General presentation. Group CEO. Per Olofsson. March 2007. ClimateWell.

*Presentation HFT Stuttgart.* Group CEO. Per Olofsson. April 2008. ClimateWell.

*Frio Solar.* ClimateWell. Mayo 2010.

*Besel – Micro-trigeneración (Estado del arte, sistemas tipo y componentes).* David Arzoz del Val. Bilbao, 12 de junio de 2007.

*Modelling of Commercial Absorption Heat Pump with Integral Storage.* Politecnico di Milano Energy Departement, 20156, Milan, Italy.

*Solarcombi+.* Olof Hallstrom, version 3.0. Enero, 21, 2010.

*Energy Efficiency and Renewable Energy.* Department of Energy – United's States of America (DOE) – FS 112 March 1996

*Innovating Today's Solar Technology for the Future of Tomorrow.* SunMaxx Solar Hot Water - Silicon Solar Inc. [www.siliconsolar.com](http://www.siliconsolar.com) – [www.sunmaxxsolar.com](http://www.sunmaxxsolar.com)

*Medium Temperature Collectors.* IEA (International Energy Agency) <http://www.iea-shc.org/>

*Data ship, Absorption Cooling.* CIBSE, CHP.

Tesis doctoral: *Prototipo de máquina frigorífica de absorción de LiBr/H<sub>2</sub>O de doble efecto condensada por aire,* José Daniel Marcos del Cano, Madrid, 2008.

*Concentrating Solar Power, Global Outlook – Why Renewable Energy is Hot.* ESTELA, GREENPEACE, SOLARPACERB.

*European Research on Concentrative Solar Thermal Energy.* European Commission [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo_en.html)

*Solar Thermal Markets in Europe Trends and Market Statistics 2009,* June 2010. European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) - [www.estif.org](http://www.estif.org)

*Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2008.*

Solar Heating and Cooling Programme (SHC) <http://www.iea-shc.org/>

*Energía Solar Térmica: Situación actual y perspectivas (17 marzo 2010).* Pascual Polo ASIT

*Energía Solar Térmica, Guía del Usuario,* Junta de Castilla y León. LE-868-2007.

*Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (PET-REV- enero 2009).* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [www.idae.es](http://www.idae.es)

*Manual de Energías Renovables, Energía Solar Térmica.* José Manuel López Cozar, Octubre 2006, IDAE. [www.idae.es](http://www.idae.es)

*Ordenanza Solar Térmica de Madrid.* IDEA. [www.idae.es](http://www.idae.es)

*Energía Solar Térmica. Manual Técnico.* 2<sup>a</sup> edición, Marzo 2005, Salvador Escoda S.A. Barcelona.

*Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificaciones de viviendas mediante energía solar y apoyo individual a gas natural.* Grupo Gas Natural 2004. Dirección de Tecnología y Medio Ambiente.

REE. (2009). *Red Eléctrica de España.* <http://www.ree.es>

*AbsChillers. Absorption Chillers.* (2009). <http://www.absorptionchillers.com/>

*Reglamento de instalaciones Térmicas en los Edificios. (RITE)* (2007).

*Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011 – 2020.* IDEA. [www.idae.es](http://www.idae.es)

*SET FOR 2020. Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 20202.* European Photovoltaic Industry Association. EPIA

Proyecto final de carrera: *Estudio comparativo entre una instalación de refrigeración por compresión y una instalación de refrigeración solar para la climatización en verano de una vivienda unifamiliar situada en Cunit (Tarragona).* Jaime Bellés Castaño. Universidad politécnica de Cataluña.

Proyecto final de carrera: *Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de viviendas en granada.* Ana Criado González. Universidad Carlos III de Madrid.

Proyecto final de carrera: *Diseño de una instalación de calefacción por suelo radiante y una instalación solar térmica de apoyo a ACS y calefacción en un edificio de viviendas.* Xavier Úbedo Cano. Universidad politécnica de Cataluña.

Proyecto final de carrera: *Integración de una instalación solar térmica con un sistema de calefacción existente.* Natalia Moreno Bruned. Centro Politécnico superior de Zaragoza.

*Stand - Alone PV-Wind-Hydrogen Power System. Getting started with the TRNSED Demo.* <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>

*Eficiencia y ecoeficiencia en edificación: la envolvente térmica.* Sergio Díaz de Garayo. Jueves, 27 enero 2011.

*Código Técnico de la Edificación.* CTE. (2006).

NBT-CT-79. Anexo 2. Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos.

*Lapesa.* (2009). Obtenido de <http://www.lapesa.es/>

PRECIO CLIMATEWELL\_10:

<http://www.heraldodesoria.es/index.php/mod.noticias/mem.detalle/idnoticia.31743>

[http://www.cincodias.com/articulo/empresas/Calefaccion-frio-solar-todo-ano-nieve-diluvio/20080131cdscdiemp\\_39/](http://www.cincodias.com/articulo/empresas/Calefaccion-frio-solar-todo-ano-nieve-diluvio/20080131cdscdiemp_39/)

[http://www.cuestiona.com/energia/calefaccion/noticias/llega\\_la\\_calefaccion\\_y\\_el\\_frio\\_solar\\_a\\_espana\\_suecia\\_e\\_italia](http://www.cuestiona.com/energia/calefaccion/noticias/llega_la_calefaccion_y_el_frio_solar_a_espana_suecia_e_italia)

SUBVENCIONES:

<http://www.soliclima.com/pt/subvencoes.html>

IBERDROLA:

[http://www.energiaysociedad.es/pdf/Tarifas\\_T1\\_2011\\_Triptico.pdf](http://www.energiaysociedad.es/pdf/Tarifas_T1_2011_Triptico.pdf)

[http://www.energiaysociedad.es/pdf/tarifas\\_t1\\_2010\\_triptico\\_r1.pdf](http://www.energiaysociedad.es/pdf/tarifas_t1_2010_triptico_r1.pdf)

[http://www.energiaysociedad.es/pdf/triptico\\_tarifas\\_y\\_unidades\\_gas\\_2009\\_4t.pdf](http://www.energiaysociedad.es/pdf/triptico_tarifas_y_unidades_gas_2009_4t.pdf)

<http://pagina.jccm.es/consumo/Tarifas.pdf>

<http://www.foro-industrial.com/2008/01/precio-gas-natural-para-industria-2008-tarifas-grupo-3/>

<https://www.facua.org/es/noticia.php?Id=3735>