

Grado en ingeniería química industrial

# TRABAJO FIN DE GRADO

## Estudio experimental del consumo de ACS en viviendas

**Alumno/Alumna:** Fernández de retana Garmendia Yury

**Director/Directora:** Escudero Revilla Cesar

**Curso:** 2017-2023

**Fecha:** 20/11/2022

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJ y alcance .....	1
3.	Desarrollo .....	1
3.1	Monitorización de viviendas .....	1
3.1.1	Edificación .....	1
3.1.2	Instalaciones .....	2
3.2	Monitorización .....	5
3.3	Puesta en Marcha .....	6
3.4	Tratamiento de datos.....	6
3.4.1	Consumo diario .....	8
3.4.1.1	Consumo de ACS, pérdidas térmicas, temperaturas de impulso y retorno y temperatura del depósito de ACS. ....	8
3.4.1.2	Cálculos y ecuaciones.....	9
3.4.1.3	Consumo de la caldera, consumo de la bomba y perdidas térmicas .....	16
3.4.1.4	Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO <sub>2</sub> y porcentaje de energía .....	17
3.4.2	Consumo semanal .....	20
3.4.2.1	Consumo de la caldera, consumo de la bomba y perdidas térmicas .....	21
3.4.2.2	Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO <sub>2</sub> , eficiencia y porcentaje de energía 23	
3.4.3	Consumo mensual .....	26
3.4.3.1	Consumo de Febrero.....	26
3.4.3.2	Consumo de la caldera, consumo de la bomba y perdidas térmicas .....	27
3.4.3.3	Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO <sub>2</sub> , eficiencia y porcentaje energético 29	
3.4.4	Consumo anual .....	31
3.4.4.1	Consumo de la caldera, consumo de la bomba y pérdidas térmicas .....	33
3.4.4.2	Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO <sub>2</sub> , eficiencia y porcentaje energético 35	
3.5	OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA .....	38
3.6	Optimización mediante bomba de calor .....	38
3.6.1	Consumo de la bomba de calor, emisiones de CO <sub>2</sub> y costes .....	39
3.6.1.1	Consumo de la caldera y consumo de la bomba de calor .....	40
3.6.1.2	Costes de la caldera y de la bomba de calor, emisiones de CO <sub>2</sub> y eficiencia.....	41
3.6.2	Optimización del sistema de ACS mediante cambios depósito .....	42
3.6.3	Optimización mediante cambios horarios de encendido del sistema de ACS .....	50
3.6.4	Optimización mediante bomba de calor y paneles solares fotovoltaicos .....	55
3.6.4.1	Descripción de unidades del TRNSYS .....	56

3.7	CONCLUSIONES .....	65
4.	COSTES TFG .....	67
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	67

I

## INDICE TABLAS

Tabla 1.	Componentes del sistema de distribución de ACS. ....	6
Tabla 2.	Valores de las distintas temperaturas de red y altitudes de Vitoria y Portugalete [13] 13	
Tabla 3.	Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS del 6 de enero.....	19
Tabla 4.	Consumo, energías y pérdidas térmicas del sistema de ACS. ....	20
Tabla 5.	Variación de los costes, rendimiento y emisiones de CO2.....	21
Tabla 6.	Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS del 6 de enero.....	25
Tabla 7.	Consumo energético para la demanda de ACS y pérdidas térmicas de febrero. ....	26
Tabla 8.	Costes de la caldera y de la bomba, emisiones de CO2 y eficiencia del sistema de ACS de febrero.....	27
Tabla 9.	Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS de febrero. ....	30
Tabla 10.	Pérdidas térmicas, consumo de caldera y bomba y ACS de noviembre.....	32
Tabla 11.	Costes de la caldera y de la bomba, emisiones de CO2 y rendimiento del sistema de ACS.....	33
Tabla 12.	Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS de 2021.....	37
Tabla 13.	Consumo, costes y emisiones de CO2 de la caldera y de la bomba de calor. ....	39
Tabla 14.	Elementos del TRNSYS para la simulación de trnsys. ....	43
Tabla 15.	Valores de los distintos parámetros de los elementos del programa de TRNSYS.....	46
Tabla 16.	Consumo de ACS, consumo de bomba, pérdidas de recirculación y pérdidas de depósito.....	49
Tabla 17.	Rendimientos del sistema de ACS y variación de la temperatura del depósito de ACS para distintos volúmenes de acumulación. ....	49
Tabla 18.	Elemento de TRNSYS para el control de encendido de la caldera y de la bomba.....	51
Tabla 19.	Variación de las temperaturas del depósito de recirculación, pérdidas térmicas y consumo sin cambio de señal. ....	53
Tabla 20.	Temperaturas de depósito y retorno, consumos y pérdidas térmicas mediante cambio de señal de 4:00 a 22:00.....	54
Tabla 21.	Elementos del TRNSYS de instalación de paneles solares térmicos. ....	56
Tabla 22.	Variación de la radiación solar, de la potencia y de la energía generada para la red del sistema de paneles fotovoltaicos.....	59
Tabla 23.	Variación del consumo de la bomba de calor, del consumo de la bomba y de las pérdidas térmicas del depósito y del sistema de recirculación. ....	63
Tabla 24.	Variación de los costes de la producción de ACS mediante el empleo de bomba de calor y paneles fotovoltaicos. ....	65
Tabla 25.	Sistema centralizado actual y sistemas de optimización de ACS. ....	66
Tabla 26.	Número de horas y costes del TFG.....	67

## INDICE GRAFICAS

Gráfica 1. Variación de las pérdidas térmicas y de las T de impulso y retorno registradas a lo largo del 10 de febrero.....	8
Gráfica 2. Variación del PVPC del 10 de febrero de 2021 [11].....	12
Gráfica 3. Consumo de la caldera, temperatura de impulso y retorno y pérdidas térmicas.....	16
Gráfica 4. Consumo de la bomba y variación del flujo másico del sistema de recirculación de ACS. .....	17
Gráfica 5. Variación de las emisiones de CO2 y coste de la caldera. ....	18
Gráfica 6. Variación del coste de la bomba y del PVPC.....	18
Gráfica 7. Variación del consumo de la caldera, pérdidas térmicas y temperaturas de impulso y retorno de la 2ª semana de febrero. ....	21
Gráfica 8. Variación del consumo de la bomba, perdidas del depósito y flujo másico de la 2ª semana de febrero. ....	22
Gráfica 9. Variación de los costes de la caldera, de la bomba y del PVPC de la 2ª semana de febrero.....	23
Gráfica 10. Variación de las emisiones de CO2 y de la eficiencia de la 2ª semana de febrero...	24
Gráfica 11. Variación del consumo de la caldera, pérdidas térmicas y temperaturas de impulso y retorno de febrero. ....	27
Gráfica 12. Consumo de la bomba y flujo másico del anillo de distribución de febrero. ....	28
Gráfica 13. Variación de los costes de la caldera, de la bomba y del PVPC de febrero. ....	29
Gráfica 14. Variación de las emisiones de CO2 y de la eficiencia de febrero. ....	30
Gráfica 15. Variación del consumo de la caldera, de las pérdidas térmicas, temperatura de impulso, retorno y de red anuales. ....	34
Gráfica 16. Variación del consumo de la bomba, pérdidas térmicas del depósito, flujo másico y PVPC anuales.....	35
Gráfica 17. Variación de los costes de la caldera, de la bomba y el PVPC en 2021. ....	36
Gráfica 18. Variación de las emisiones de CO2 y la eficiencia del sistema de ACS de 2021. ....	37
Gráfica 19. Variación del consumo de la bomba de calor y de la caldera de condensación del 2021.....	40
Gráfica 20. Variación del coste de la bomba y de la caldera del sistema centralizado del 2021. .....	41
Gráfica 21. Emisiones de CO2 de la caldera y de la bomba de calor. ....	42
Gráfica 22. Variación de las temperaturas del depósito, de retorno y las perdidas térmicas del depósito y de la recirculación del sistema de ACS. ....	47
Gráfica 23. Variación del consumo de la caldera de condensación.....	48
Gráfica 24. Variación de la temperatura del depósito y consumo de la bomba.....	51
Gráfica 25. Variación del consumo de ACS y de la temperatura del depósito. ....	52
Gráfica 26. Variación del rendimiento anual del sistema de ACS. ....	55
Gráfica 27. Variación de la radiación solar y potencia generada por los paneles solares fotovoltaicos.....	58
Gráfica 28. Variación del consumo de caldera, de la temperatura del depósito y de la temperatura del retorno.....	61
Gráfica 29. Variación del consumo de la bomba, de las pérdidas térmicas y de recirculación del sistema de ACS. ....	62
Gráfica 30. Variación del consumo de la bomba y de las emisiones de CO2 con los paneles fotovoltaicos.....	64

## INDICE FIGURAS

Figura 1. Edificio de la vivienda social efectiva de Portugalete [1].	2
Figura 2. Circuito de ACS del edificio de Portugalete.	2
Figura 3. Anillo de distribución de ACS de la vivienda social de Portugalete.	3
Figura 4. Depósito de ACS modelo Lapesa [2].	4
Figura 5. Caldera de condensación BAXI Ecotherm Plus WGB [3].	4
Figura 6. Bomba simple Wilo top Z 30/10 [4].	5
Figura 7. Sonda Rs-Pro Pt 100 [5].	5
Figura 8. Circuito de ACS del edificio de Portugalete.	7
Figura 9. Porcentajes del consumo y pérdidas del sistema de ACS del 6 de febrero.	19
Figura 10. Porcentajes del consumo y pérdidas del sistema de ACS.	25
Figura 11. Porcentajes de pérdidas térmicas, consumo de bomba y energía de ACS.	31
Figura 12. Porcentajes de pérdidas térmicas, consumo de bomba y energía de ACS.	38
Figura 13. Bomba de calor aerotérmicas Ferrolli [21].	39
Figura 14. Esquema de la instalación de ACS.	45
Figura 15. Instalación de paneles solares fotovoltaicos para sistema de ACS.	57
Figura 16. Esquema de la instalación para la producción de ACS con bomba de calor.	60



## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de agua caliente sanitaria hoy en día es una necesidad para diversos grupos y empresas para poder realizar cualquier actividad como lavarse las manos, ducharse, fabricación de medicamentos etc. Su producción se ve comprometida por diversos factores como el aumento del precio del gas a causa de las guerras, pandemias, las nuevas normativas de eficiencia energética reducción de emisiones de CO2 por ello se deben optar por nuevos sistemas para su producción como los paneles solares, bombas de calor, calderas de condensación, etc.

## 2. OBJ Y ALCANCE

Los objetivos del trabajo de final de grado (TFG) están centrados en el estudio del consumo de agua caliente sanitaria (ACS) a lo largo del 2021 de la vivienda social de la zona de Portugalete. Estos objetivos son los siguientes:

- Monitorización de viviendas
- Tratamiento de datos
- Optimización del sistema

El alcance de los objetivos es la optimización de la producción del ACS en función de la demanda de ACS.

## 3. DESARROLLO

### 3.1 Monitorización de viviendas

#### 3.1.1 Edificación

El edificio situado en la calle Juan Carlos de la Costa de la provincia de Vizcaya del barrio de Repelaga (**Figura 1**).



Figura 1. Edificio de la vivienda social efectiva de Portugalete [1].

Consta de las siguientes características:

Está dotada de 32 viviendas de las cuales 16 constan de 2 dormitorios, 14 de 3 dormitorios y 2 están destinadas para personas con discapacidad. Las viviendas son de 60-80 m<sup>2</sup>. Además de estas 32 viviendas el edificio está formado por 32 trasteros, 34 plazas de aparcamiento y 1 local comercial de 149 m<sup>2</sup>. La superficie total del edificio es de 4981 m<sup>2</sup>.

### 3.1.2 Instalaciones

Con respecto a sus instalaciones el edificio está dotado de un sistema de calefacción centralizado ubicado en el sótano, cuenta con un circuito de distribución de ACS (agua caliente sanitaria) (figura 2 y figura 3).

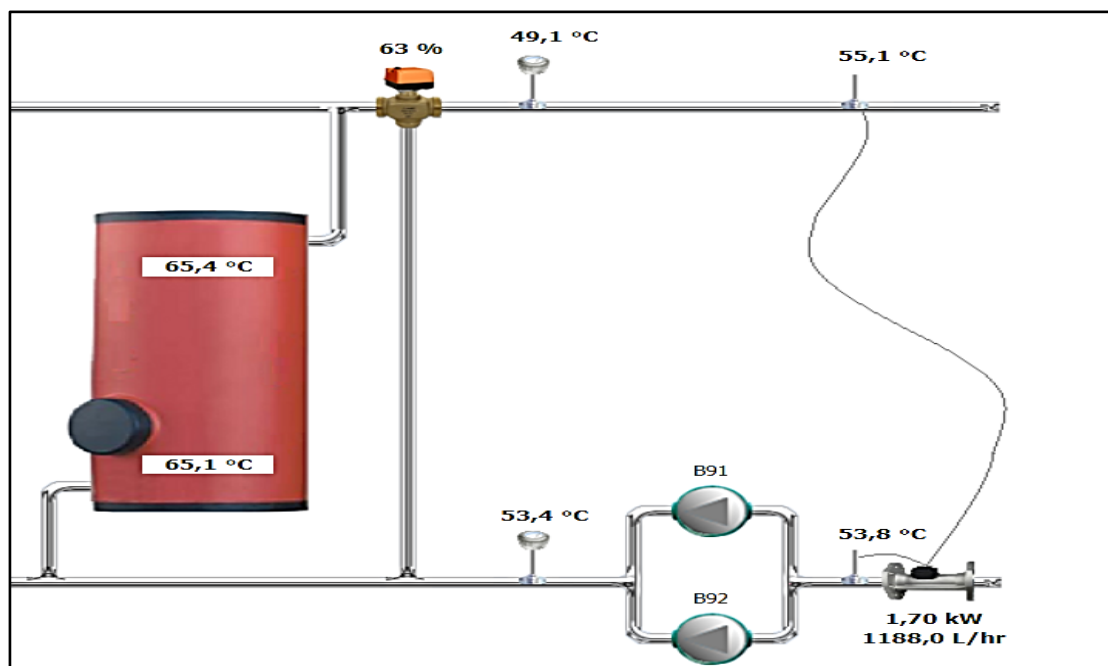
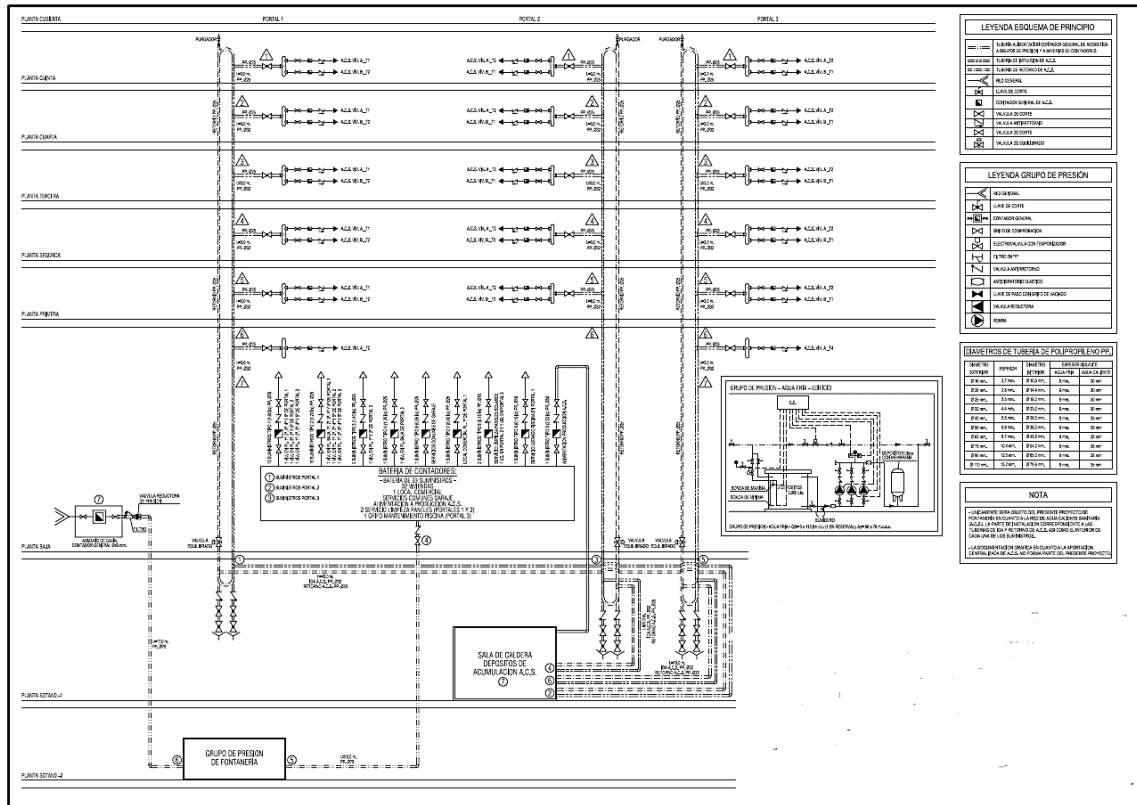


Figura 2. Circuito de ACS del edificio de Portugalete.



El circuito de ACS cuenta con dos bombas de retorno de ACS, un caudalímetro, una electroválvula mezcladora de 3 vías, un depósito de ACS y dos sondas térmicas.



**Figura 3.** Anillo de distribución de ACS de la vivienda social de Portugalete.

Como se observa en la **figura 3** el sistema de distribución de ACS del edificio de Portugalete está dotado por tuberías de impulsión y de retorno, las tuberías de impulsión tienen un diámetro exterior e interior de 32 mm y 23.2 mm respectivamente y las tuberías de retorno del mismo son de diámetros inferiores de 25 mm y 18 mm, ambas tuberías son de polipropileno (PP). Además de existen otros elementos como los contadores generales de ACS para diferentes portales y las válvulas de corte, contadores individuales y válvulas antirretorno de cada vivienda.

El depósito de ACS de la vivienda viene representado en la **figura 4**. Su capacidad es de 1500 L, la presión máxima soportada por el depósito es de 8 bar y la temperatura máxima tolerada es de 90 °C.



**Figura 4.** Depósito de ACS modelo Lapesa [2].

Este depósito como anteriormente se ha mencionado esta alimentado por una caldera de condensación de gas natural con una potencia nominal de 67.9 kW y un rendimiento de 0.993, esta se representa en la **figura 5** siguiente.



**Figura 5.** Caldera de condensación BAXI Ecotherm Plus WGB [3].

La bomba del sistema de recirculación de ACS se representa en la siguiente **figura 6**.



**Figura 6.** Bomba simple Wilo top Z 30/10 [4].

La bomba se caracteriza por su caudal recomendado de 3.50 m<sup>3</sup>/h y de requerir una potencia nominal de 0.26 kW

### 3.2 Monitorización

El circuito de ACS cuenta con sondas térmicas (termorresistencias del tipo Pt100) como se puede ver en la **figura 7**.



**Figura 7.** Sonda Rs-Pro Pt 100 [5].

Estas sondas mencionadas anteriormente se ubican en distintas zonas del circuito del ACS. Uno después de la electroválvula de tres vías y la otra después de las dos bombas de recirculación. La primera está ubicada delante de la electroválvula con la finalidad de

verificar que la temperatura de impulso del agua sea  $\geq 55$  °C y garantizar un agua a una temperatura óptima para el consumo humano, ya que T inferiores puede derivar a problemas con bacteria patógenas como la legionela [6] y la segunda en el circuito de retorno antes de las bombas para comprobar la temperatura de retorno del agua al final del circuito de recirculación no difiere mucho de la temperatura de impulso deseado (pérdidas de calor).

Todos los elementos del sistema de ACS mencionados se resumen en la **tabla 1**.

**Tabla 1.** Componentes del sistema de distribución de ACS.

Componente	Numero	Parámetros característicos
Sonda térmica Pt 100	6	Ubicación: 2 en el depósito de ACS, 2 en tuberías de impulso y 2 en tuberías de retorno
Bomba de recirculación de ACS	1	$\dot{Q} = 0.25$ m <sup>3</sup> /h P= 0.06 kW
Caudalímetro de potencia	1	-
Depósito de ACS	1	V= 1500 L Perdidas térmicas = 0.154 kW
Electroválvula mezcladora	1	-
Caldera de condensación	1	n= 0.993 Alimentación: gas natural/butano

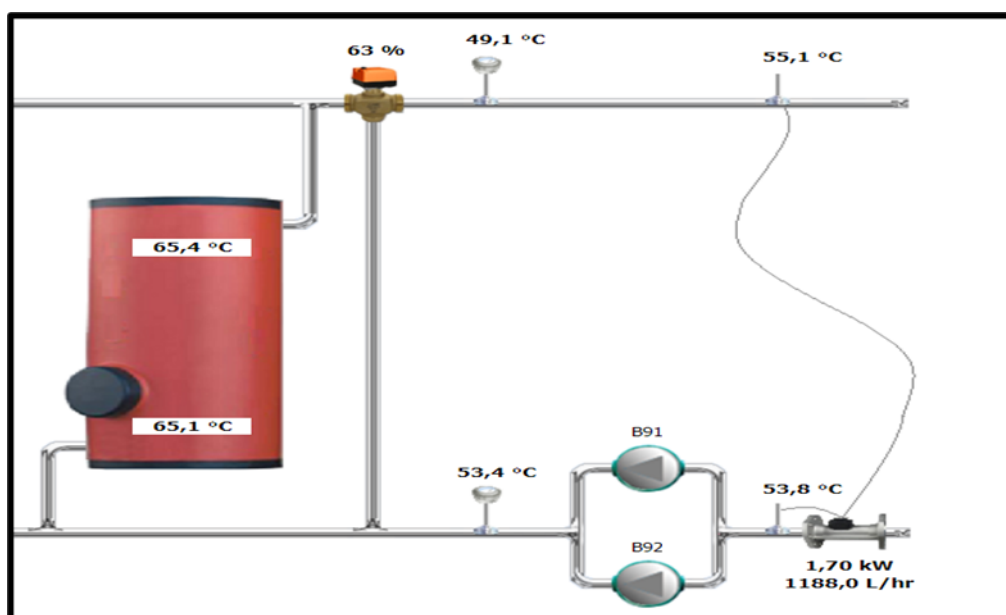
### 3.3 Puesta en Marcha

Una vez posicionadas las dos sondas, se registran las temperaturas de impulso y retorno del sistema de recirculación del ACS a lo largo del año en intervalos de 15 min. Con estas temperaturas registradas se calculan las pérdidas de calor que se dan por el sistema de recirculación y gracias a los datos registrados por los contadores generales del edificio se determinan los valores de consumo del ACS.

### 3.4 Tratamiento de datos

## Análisis de instalación

Una vez definidos los componentes de la instalación, se obtienen los datos experimentales diariamente a lo largo del año 2021. Para ello se analiza el funcionamiento del circuito de ACS que consiste en: el agua del depósito de ACS pasa por la electroválvula mezcladora de 3 vías del circuito de ACS, después pasa al anillo de distribución donde se registra la temperatura de impulso por medio de una sonda térmica, se dirige a cada una de la 32 viviendas dotadas cada una de contadores individuales y retorna, pasa por el caudalímetro donde se registra el caudal, una vez que pasa el caudalímetro pasa por la bomba, a la salida de la bomba se registra la temperatura de retorno por medio de otra sonda térmica y se dirige al depósito de ACS y a la electroválvula de 3 vías como se ve en la **figura 8**.



**Figura 8.** Circuito de ACS del edificio de Portugalete.

Dependiendo de la demanda de ACS la electroválvula modificará su % de apertura para garantizar una temperatura de impulso  $\geq 55$  °C.

Tanto las temperaturas de impulso y retorno como el % de apertura de la válvula mezcladora se registran cada 15 min a lo largo del día. Para el control de consumo se dispone de un contador de energía térmica delante del depósito de ACS con el que

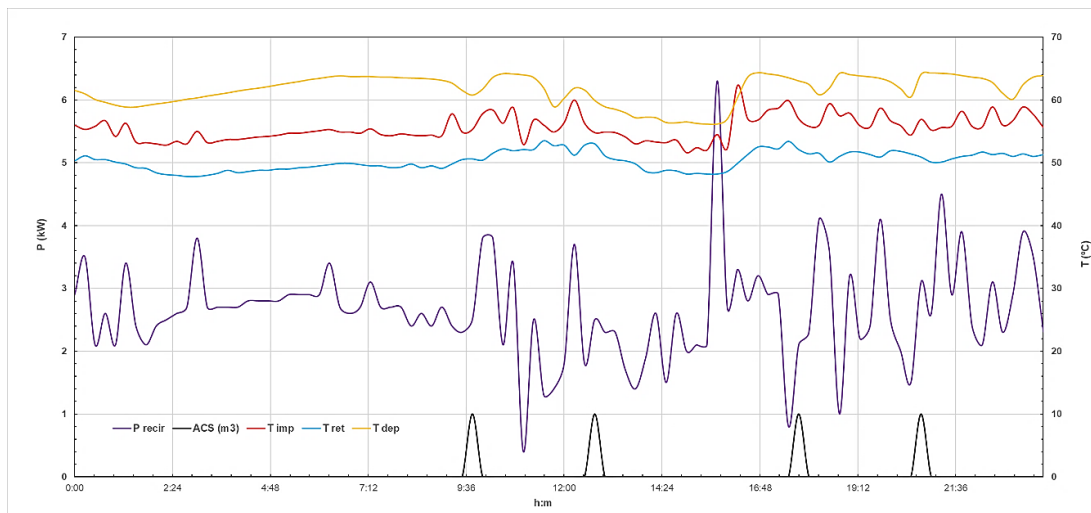
contabiliza el consumo total a lo largo del día, el volumen de agua consumida se registra con un contador volumétrico ubicado en cada piso.

### 3.4.1 Consumo diario

Debido a la variación de la temperatura de impulso, el consumo de ACS y las pérdidas térmicas correspondientes al circuito de ACS a lo largo del 2021 se han escogido como datos más representativos el 10 de febrero.

#### 3.4.1.1 Consumo de ACS, pérdidas térmicas, temperaturas de impulso y retorno y temperatura del depósito de ACS.

Tanto las pérdidas térmicas que se dan en anillo de distribución de ACS registradas, como las distintas temperaturas de impulso y de retorno y la temperatura promedio del depósito registrados en intervalos de 15 min a lo largo del día se representan en la siguiente **gráfica 1**.



**Gráfica 1.** Variación de las pérdidas térmicas y de las T de impulso y retorno registradas a lo largo del 10 de febrero.

En la **gráfica 1** se puede apreciar que las pérdidas térmicas presentan un valor oscilatorio a lo largo del día, estas varían en valores de 0.4-6.3 kW, a primeras horas de la mañana cuando no hay demanda de ACS a las 12:15, 1:15 y 3:00 se ven varios incrementos de las pérdidas térmicas del valor de 3.4-3.8 kW a las, esto se debe al aumento de la

diferencia entre la temperatura de impulso y de retorno y al aumento del flujo másico, más notorio por el aumento del flujo másico (**gráfica 4**). Con respecto a las temperaturas, las de impulso se mantienen en valores promedio de 55.48 °C, las de retorno en 50.28 y las del depósito 61.60 °C. A causa de este sistema de distribución de ACS y sus correspondientes pérdidas las temperaturas del depósito y las temperaturas de impulso presentan una diferencia de 5 °C. Por último, cuando se produce la demanda de ACS de 1 m<sup>3</sup> las pérdidas presentan más oscilaciones de amplitudes mayores como es el caso que se da a partir de las 9:30, donde se alcanzan perdidas que van de 2.3 a 3.8, y las siguientes horas desciende a valores de 0.4 kW.

### 3.4.1.2 Cálculos y ecuaciones

#### Pérdidas térmicas de recirculación

Como anteriormente se ha mencionado las pérdidas térmicas están relacionadas tanto con las temperaturas de impulso y retorno como con el flujo másico. Esto se refleja en la siguiente **ecuación 1** [7].

$$P_{rec} = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (\text{E1})$$

Donde:

Prec: es la potencia recirculada en kW

$\dot{m}$ : es el flujo másico en kg/s

Cp: es el calor específico en kJ/kg k

$\Delta T$ : es la variación de T (diferencia de T impulso y T de retorno) en k

El flujo másico se define por la ecuación 2.

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} \quad (\text{E2})$$

Donde:

P: es la densidad en kg/m<sup>3</sup>

m: es el flujo másico

$\dot{V}$ : es el flujo volumétrico en m<sup>3</sup>/s

Las pérdidas térmicas en kWh del sistema de recirculación de ACS se calculan por medio de los datos registrados en intervalos de 15 min de la siguiente manera:

$$PT = 255 \text{ kW} (15 \text{ min} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min}) = 74.9 \text{ kWh}$$

Nota: el valor de 255 kW resulta de la suma de todos los datos registrados en los intervalos de 15 min durante el 10 de febrero (96 datos).

### Pérdidas del deposito

El depósito tiene 154 W de pérdidas estáticas según la normativa EN12897. Según esta normativa las temperaturas de ensayo para el cálculo de estas pérdidas son dos, una a 65°C y otra a 20°C y el periodo de ensayo para obtener estas pérdidas es de 24 h [8].

Con estos datos y con la T promedio de la Portugaleta [9] se calculan las pérdidas del depósito con las siguientes **ecuaciones 4 y 5**.

$$C = \frac{T_{\max} - T_p}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (\text{E4})$$

Donde:

C: coeficiente a aplicar para calcular las pérdidas

Tmax: temperatura máxima de ensayo

Tmin: temperatura mínima de ensayo

Tp: temperatura promedio de la localidad

$$P_{\text{dep}} = Q \times C \times 24 \text{ h} \quad (\text{E5})$$

Donde.

Pdep: es la energía perdida por el depósito en kWh

Q: El calor perdido en el ensayo kW

Con las ecuaciones anteriores las pérdidas del depósito para el 10 de febrero se calculan de la siguiente manera:

$$C = (65 - 6.90)^\circ\text{C} / (65 - 20)^\circ\text{C} = 1.18$$

$$P_{\text{dep}} = 0.154 \text{ kW} \times 1.18 \times 24 \text{ h} = 4.36 \text{ kWh}$$



## Consumo y coste de la bomba de recirculación

Para hallar el consumo de la bomba se emplea la siguiente ecuación 3 [10].

$$C_B = \dot{m} * \frac{P_n}{Q_n * \rho * \eta} \quad (\text{E3})$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo másico de ACS por el sistema de circulación en kg/s

$P_n$ : potencia nominal en kW

$Q_n$ : caudal nominal en m<sup>3</sup>/s

$\rho$ : densidad

$\eta$ : es el rendimiento

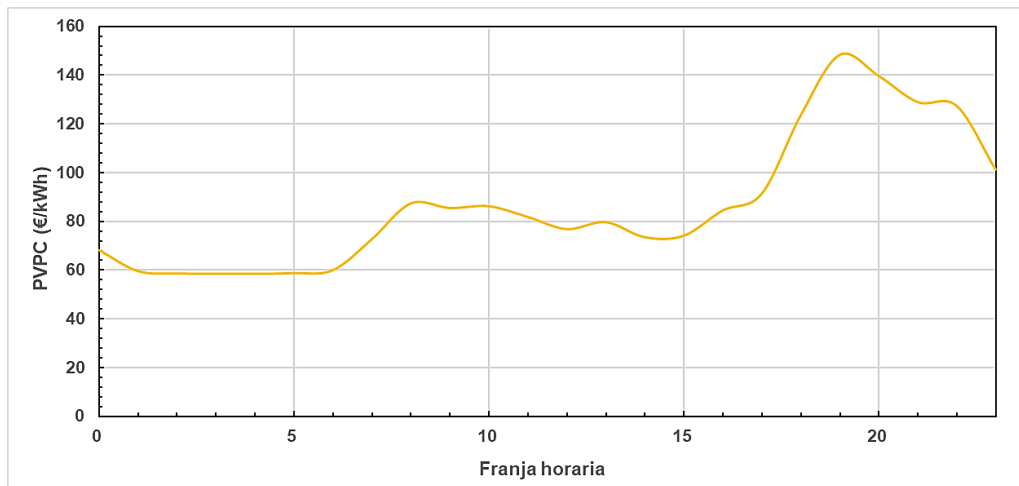
La potencia para la primera franja horaria a las 00:00 se calcula de la siguiente manera:

$$P = 0.12 \text{ kg/s} * 0.06 \text{ kW} / (0.25 \text{ m}^3/\text{h} * 985.65 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ h}/3600 \text{ s}) = 0.11 \text{ kW}$$

Se realiza este proceso para el resto de valores de las distintas franjas horarias, se suman, se divide el resultado total por el rendimiento de la bomba y como los datos se han registrado en intervalos de 15 min se obtiene la energía suministrada a la bomba en kWh a lo largo del día.

$$E_B = 10.63 \text{ kW} * (15 \text{ min} * 1\text{h} / 60 \text{ min}) / 0.75 = 3.98 \text{ kWh}$$

Una vez calculada la energía consumida se calculan los costes para ello se emplean los datos suministrados por la red eléctrica española, el PVPC (precio de venta para el consumidor) [11]. (**gráfica 2**).



**Gráfica 2.** Variación del PVPC del 10 de febrero de 2021 [11].

En la **gráfica 2** se observa que el consumo valle se da a la mañana desde las 00:00 hasta las 05:00 y el consumo punta se da a las 17:00, pero los valores del €/MWh apenas son muy variables ya que varía entre 60-140 €/MWh.

Se calculan los costes para cada franja horaria y se suman. El consumo total de la bomba el 10 de febrero es de **0.34 €** esto se debe a una baja demanda de ACS y al bajo precio de la electricidad durante este mes.

### Energía necesaria

Para el cálculo de la energía necesaria en función de la demanda se emplean la siguiente **ecuación 6**.

$$E_n = C_{ACS} \times C_p \times \rho \times (T_{imp} - T_{red}) \times t \quad (\text{E6})$$

Donde:

En: energía necesaria en función de la demanda de ACS en kWh

CACS: consumo de agua caliente sanitaria en m<sup>3</sup>

T<sub>imp</sub>: temperatura media diario de impulso del ACS

T<sub>red</sub>: temperatura media diario del agua fría de red para ACS

ρ: densidad

t: tiempo (1h/3600s)

Cp: calor específico en kJ/kg k

Para el cálculo de la energía del 10 de febrero se emplean las **ecuaciones 6 y 7** respectivamente y se calculan de la siguiente manera.

$$En = 4 \text{ m}^3 * 4.183 \text{ kJ/kgK} * 985.65 \text{ kg /m}^3 (55.48 - 3.82) \text{ K} * 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} = 236.64 \text{ kWh}$$

Temperaturas de red de suministro

Para el cálculo de las T de red de la localidad se recurre a la normativa DBH4 y se emplea la siguiente **ecuación 7** [12].

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B * A_z \quad \text{(E7)}$$

Donde:

TAFCP: temperatura media mensual de la capital del anejo G de la normativa

B: coeficiente de valor 0.0066 para octubre hasta marzo y 0.003 para abril hasta septiembre.

Az: diferencia entre la altitud de la localidad correspondiente a la TAFCP y la altitud de la localidad seleccionada.

Los cálculos obtenidos se reflejan en la siguiente **tabla 2**.

Tabla 2. Valores de las distintas temperaturas de red y altitudes de Vitoria y Portugalete [13]

	Vitoria	Portugalete
Altitud (m)	540	58
Mes	Tred (°C)	Tred (°C)
Enero	7	3.82
Febrero	7	3.82
Marzo	8	4.82
Abril	10	8.41
Mayo	12	10.41
Junio	14	12.41

Julio	16	14.41
Agosto	16	14.41
Septiembre	14	12.41
Octubre	12	8.82
Noviembre	8	4.82
Diciembre	7	3.82

Consumo de la caldera, costes y emisiones de CO<sub>2</sub>

Para el cálculo la potencia real consumida por la caldera en función de los kWh generados por la combustión del gas natural se emplea la siguiente **ecuación 8** [15 y 16].

$$n = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{F \cdot PCS} \quad (\text{E8})$$

Donde:

n: rendimiento de la caldera

C<sub>p</sub>: calor específico del fluido

ΔT: variación de T

F: consumo de combustible

PCS: poder calorífico superior del combustible

Particularizando la ecuación 8 a nuestro caso se puede definir de la siguiente manera (**ecuación 9**)

$$n = \frac{E_n}{E_d} \quad (\text{E9})$$

Donde:

E<sub>n</sub>: energía aportada al fluido en kWh

E<sub>d</sub>: energía desprendida por la combustión del gas en kWh

De manera que energía desprendida por la combustión del gas natural en función del rendimiento se calcula de la siguiente manera:

$$E_d = 236.64 \text{ kWh} / 0.993 = 238.31 \text{ kWh}$$

Para el cálculo de los costes de las calderas se aplican los precios promedios suministrados por el mercado libre, en específico por Energy y Repsol [17 y 18].

El coste de la caldera es:

$$CCal = 238.31 \text{ kWh} * 0.18 \text{ €/kWh} = 42.89 \text{ €}$$

Por la combustión del gas natural de las calderas se emiten gases chimeneas como el N<sub>2</sub>, el NO<sub>x</sub>, el SO<sub>2</sub>, los H<sub>2</sub>S y el CO<sub>2</sub>. Dentro de estos gases anteriormente mencionados uno de los más destacados es el CO<sub>2</sub>. Este se caracteriza por ser un gas incoloro e inodoro. Destaca por su contribución al efecto invernadero debido a su capacidad de filtración de la radiación solar [19].

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> se recurre a los factores de conversión proporcionados por la normativa IDAE [20]. El cálculo es el siguiente:

$$Em = 238.31 \text{ kWh} * 0.252 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 60.05 \text{ kgCO}_2$$

Eficiencia

El valor de la eficiencia del sistema de ACS del edificio se calcula mediante el empleo de la **ecuación 10**.

$$n_{ACS} = \frac{E_n}{E_n + P_d + C_B + P_{rec}} \quad \text{(E10)}$$

Donde:

En: energía necesaria para el consumo de ACS en kWh

Pd: pérdidas del depósito en kWh

CB: consumo de la bomba en kWh

Prec: pérdidas térmicas debidas al sistema de recirculación en kWh

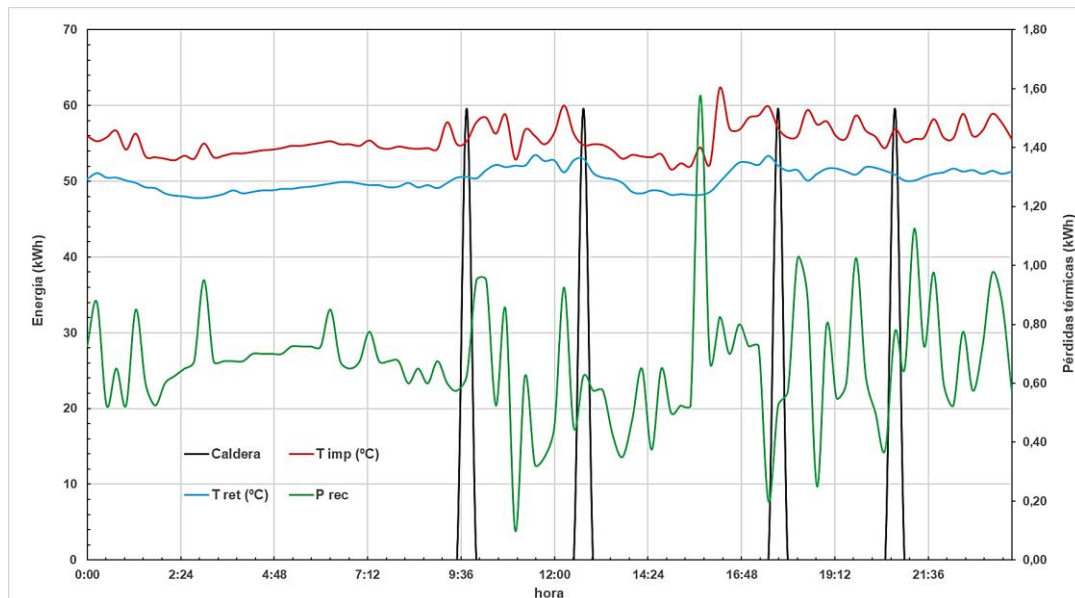
El valor calculado se realiza de la siguiente manera:

$$n_{acs} = 236.64 \text{ kWh} / (236.64 + 3.76 + 3.55 + 63.75) \text{ kWh} = 0.77$$

Este valor de eficiencia es bastante bueno, aunque las pérdidas tienen un valor bastante significativo en comparación con las pérdidas del depósito y el consumo de la bomba que tienen valores muy bajos para la satisfacción de la demanda energética de ACS.

### 3.4.1.3 Consumo de la caldera, consumo de la bomba y pérdidas térmicas

Los valores del consumo de la caldera y las pérdidas térmicas del sistema de distribución de ACS se reflejan en la siguiente **gráfica 3**.

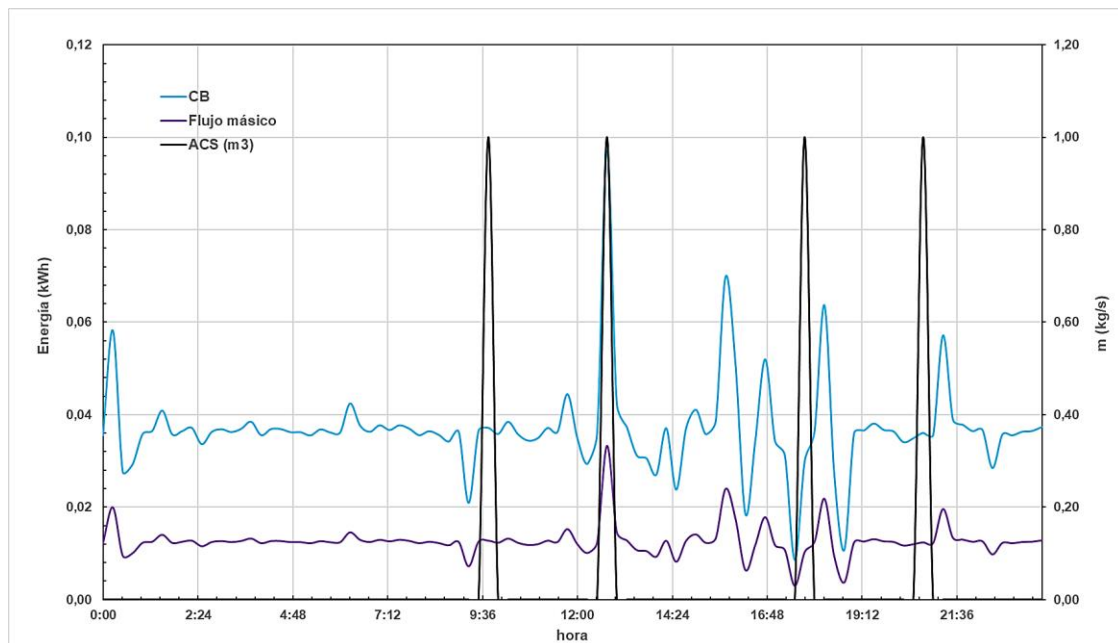


**Gráfica 3.** Consumo de la caldera, temperatura de impulso y retorno y pérdidas térmicas.

En la gráfica anterior se observa que las pérdidas térmicas presentan un carácter oscilatorio entre valores que van de 0,5-0,9 kWh a principios de la mañana desde las 00:00 hasta las 9:36, más tarde estas oscilaciones presentan amplitudes mayores del valor de 1,6, 1,00 y 1,1 kWh. Esto se debe como anteriormente se ha mencionado tanto al aumento del flujo másico del sistema de recirculación (gráfica 4) como el aumento de la diferencia entre la T imp y la T ret, el consumo de ACS también influye en la intensificación de este comportamiento oscilatorio debido al balance de materia. Con respecto al consumo de caldera se observan los mismos picos de 60 kWh ya que el

consumo de ACS en esas distintas franjas horarias es el mismo de 1 m<sup>3</sup> para una temperatura de red de febrero de 3.82 °C.

El consumo de la caldera y el flujo másico del sistema de distribución del ACS se representan en la **gráfica 4** siguiente.

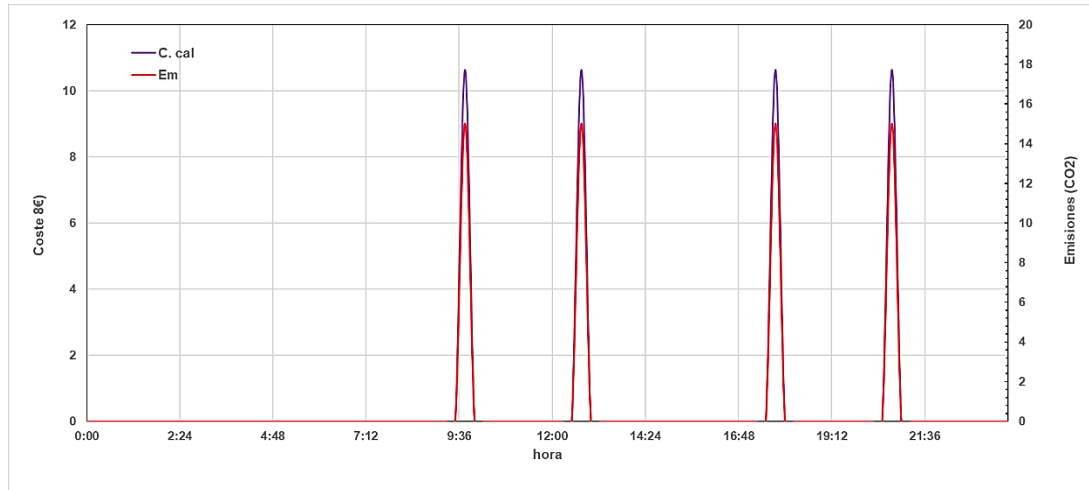


**Gráfica 4.** Consumo de la bomba y variación del flujo másico del sistema de recirculación de ACS.

En la **gráfica 4** se observa que el consumo de la bomba es directamente proporcional al flujo másico, a principios de la mañana apenas presenta variaciones y se mantiene en valores de 0.04 kWh, esto mismo ocurre con el flujo másico que presenta valores de 0.12 kg/s. Luego a partir de las 12:45 se observa un consumo de ACS de 1 m<sup>3</sup> después del primer consumo lo que implica un incremento del flujo másico a 0.29 kg/s, esto supone un aumento del consumo de la bomba a valores de 0.10 kWh, además de esto al darse otros consumos casi seguidos se observa un aumento de la inestabilidad tanto del flujo másico como del consumo de la bomba con picos del flujo másico en valores alrededor de 0.20 kg/s y picos de bomba de 0.06 kWh.

#### 3.4.1.4 Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO<sub>2</sub> y porcentaje de energía

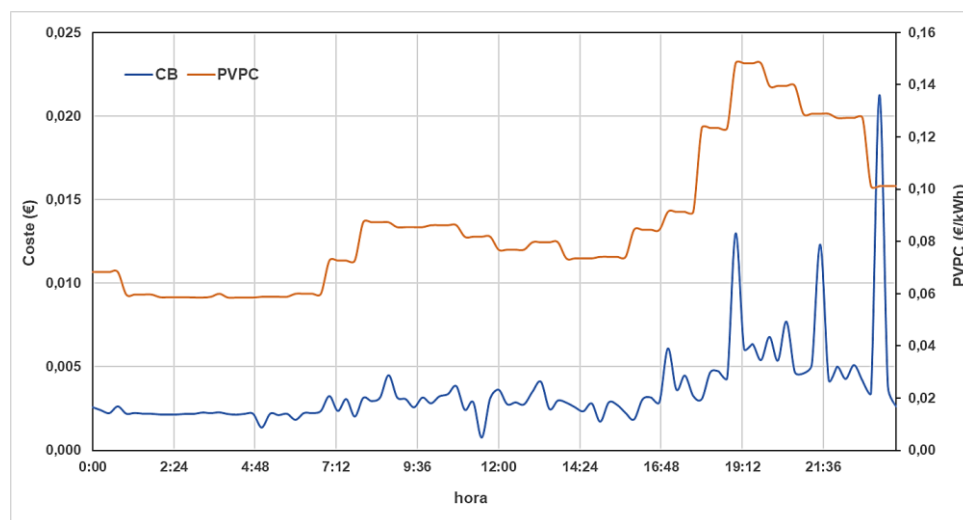
Los costes de la caldera y las emisiones de CO<sub>2</sub> suponen un total de 42.51 € y 60.05 kg CO<sub>2</sub>. Las emisiones para una vivienda tipo de 80 m<sup>2</sup> supone una emisión de 0.023 kg CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>, lo que implica para el edificio una emisión total de 0.75 kg CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>. Ambos valores se reflejan en la gráfica siguiente.



**Gráfica 5.** Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y coste de la caldera.

En la **gráfica 5** se observa que para los 4 consumos de 1 m<sup>3</sup> que se dan a las distintas franjas horarias el coste se mantiene en 11 € con una emisión de 15 kg de CO<sub>2</sub>.

Los costes de la bomba y la variación del PVPC se reflejan en la **gráfica 6**.



**Gráfica 6.** Variación del coste de la bomba y del PVPC.

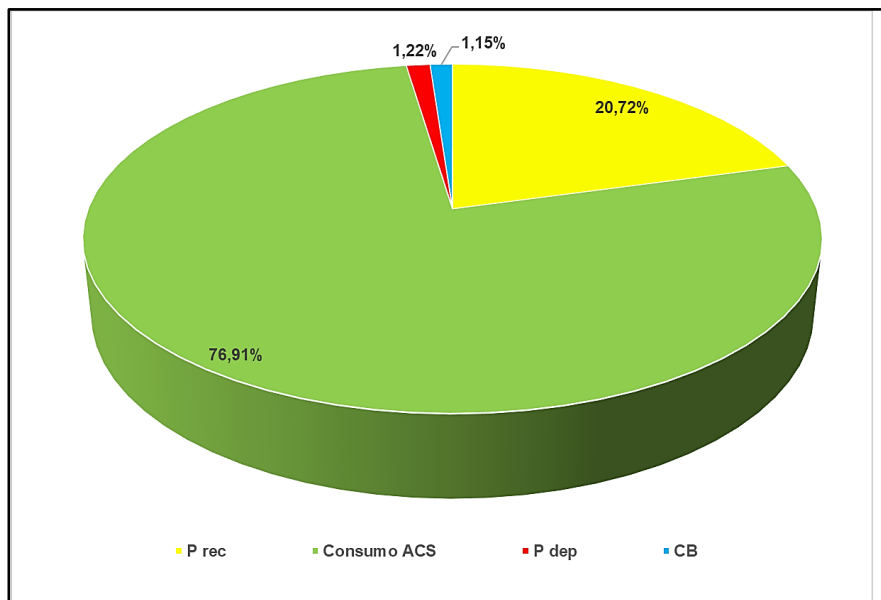


En la gráfica anterior se observa que el coste del PVPC presenta valores muy pequeños a principios de la mañana, estos valores son de 0.06 €/kWh, lo que implica unos costes de bomba muy bajos de 0.003 €, a partir de 7:12 se observa un incremento del PVPC a valores de 0.07 €/kWh lo que implica un aumento del coste de la bomba a valores de 0.003, este incremento es más notorio a finales del día sobre las 19;12 donde el PVPC aumenta a valores de 0.10-0.14 €/kWh lo que implica un coste de bomba con picos de 0.012-0.021 €.

Los valores de las pérdidas térmicas, las pérdidas en depósito, el consumo de la bomba y el consumo de ACS y sus respectivos porcentajes energéticos se reflejan en la **tabla 3** y en la **figura 9**.

**Tabla 3.** Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS del 6 de enero.

Pérdidas (kWh)	Consumo ACS (kWh)	Pérdidas depósito ACS (kWh)	Bomba (kwh)	Total (kWh)
63.75	236.64	3.76	3.55	307.69
20.72%	76.91%	1.22%	1.15%	-



**Figura 9.** Porcentajes del consumo y pérdidas del sistema de ACS del 6 de febrero.

En la **figura 9** se puede apreciar que el porcentaje mayor de energía se corresponde al valor del consumo de ACS con un valor del 76.91 %, mientras que las pérdidas del depósito y el consumo del depósito suponen un 1.22 % y 1.15 % del gasto energético, por el contrario las pérdidas térmicas debidas por el sistema de circulación son

significativas con un valor del 20.72 % del gasto energético, esto es un claro indicativo de necesidad de mejora en este aspecto para una aumento de la eficiencia del sistema de ACS aunque en este día tipo este en valores 0.77.

### 3.4.2 Consumo semanal

El consumo semanal analizado se corresponde a la semana 2 del mes de febrero. Se determinan las pérdidas térmicas del sistema de recirculación del ACS, las pérdidas del depósito, el consumo de la bomba y el consumo de la caldera y sus correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la eficiencia, costes y porcentaje de cada uno de los meses. Estos valores se reflejan en la **tabla 4 y 5**.

**Tabla 4.** Consumo, energías y pérdidas térmicas del sistema de ACS.

Fecha	Consumo ACS (m <sup>3</sup> )	Energía necesaria (kWh)	Pérdidas depósito (kWh)	Consumo de bomba (kWh)	Pérdidas térmicas (kWh)	Consumo caldera (kWh)
08/02/21	2	115.59	4.04	3.48	62.98	116.40
09/02/21	5	293.30	3.82	3.80	65.40	295.37
10/02/21	4	236.64	3.76	3.55	63.75	238.31
11/02/21	1	58.59	3.93	3.54	60.45	59.00
12/02/21	2	115.56	3.88	3.54	57.63	116.38
13/02/21	0	0.00	3.73	3.72	59.30	0.00
14/02/21	4	228.60	3.83	3.51	56.68	230.21
Total	18.00	1048.28	26.98	25.14	426.18	1055.67
1 vivienda	0.56	32.76	-	-	-	32.99

En la **tabla 4** se observa que el consumo total de la semana 2 del mes de febrero el consumo total de ACS es de 18 m<sup>3</sup>, no se observa ningún consumo homogéneo ninguno de los días de la semana ya que este varia bastante. Este consumo total supone unas necesidades energéticas de 1048.28 kWh, lo que supone un consumo total por parte de la caldera de 1055.67 kWh. Las perdidas térmicas del sistema de ACS alcanzan valores de 426.18 kWh, casi la mitad de las necesidades energéticas, un valor muy superior al consumo de la bomba y a las pérdidas del depósito de 25.14 kWh y 26.98 kWh respectivamente.

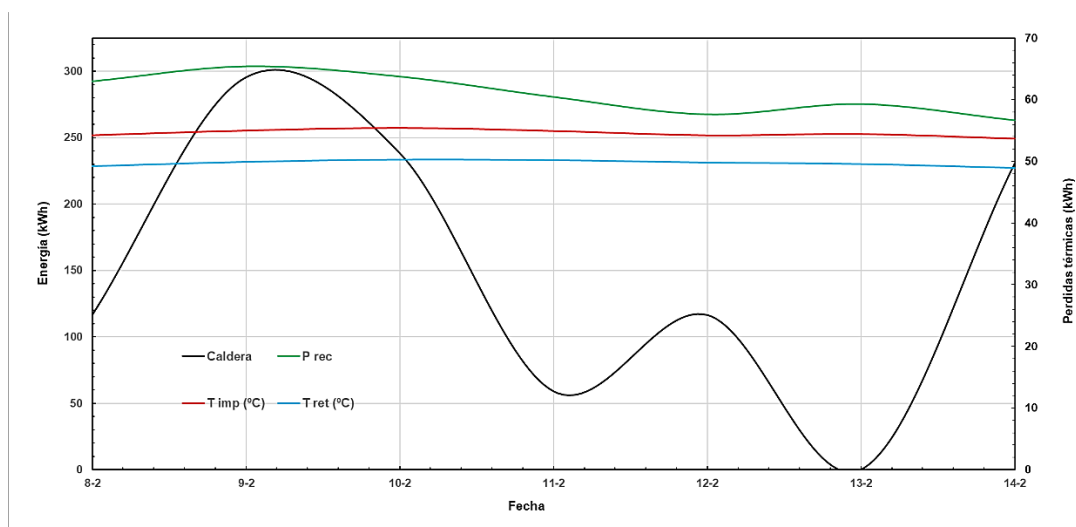
**Tabla 5.** Variación de los costes, rendimiento y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Fecha	Coste caldera (€)	Coste de bomba (€)	Rendimiento	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)
08/02/21	20.77	0.23	0.62	29.33
09/02/21	52.69	0.24	0.80	74.43
10/02/21	42.51	0.34	0.77	60.05
11/02/21	10.53	0.39	0.46	14.87
12/02/21	20.76	0.35	0.64	29.33
13/02/21	0.00	0.38	0.00	0.00
14/02/21	41.07	0.31	0.78	58.01
Total	188.33	2.25	0.69	266.03
1 vivienda	5.89	0.07	-	8.31

En la **tabla 5** se observa que los costes totales son de 188.33 € lo que supone un coste por vivienda de 5.89 € para un consumo de ACS de 0.54 m<sup>3</sup>/ vivienda. Las bombas alcanzan valores muy bajos con respecto a los costes de la caldera, estos son 2.25 €. El rendimiento del sistema de ACS es de 0.69, un valor bajo debido al bajo consumo de ACS. Por último, las emisiones de CO<sub>2</sub> son de 266.03 kg, esto supone una emisión por vivienda de 8.31 kg CO<sub>2</sub>.

### 3.4.2.1 Consumo de la caldera, consumo de la bomba y pérdidas térmicas

Los consumos de la caldera y las pérdidas térmicas que se dan a lo largo de la semana 2 de febrero se reflejan en la gráfica 7.

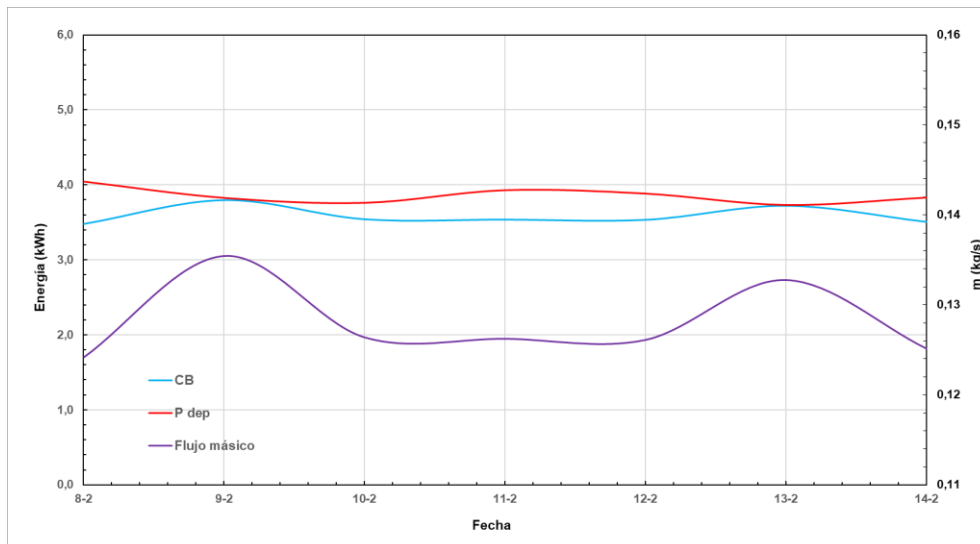


**Gráfica 7.** Variación del consumo de la caldera, pérdidas térmicas y temperaturas de impulso y retorno de la 2ª semana de febrero.

En la gráfica anterior se observa que las pérdidas térmicas a lo largo de la semana apenas varían y se mantienen en valores cercanos a 60 kWh con una desviación de  $\pm 5$  °C, esto se debe a la poca variación que existe entre la T de impulso y la T de retorno, la temperatura de impulso se mantiene en 55 °C y la temperatura de retorno en 50 °C, con respecto al flujo másico este casi permanece constante en valores cercanos a 0.13 kg/s (gráfica 8). Con respecto a el consumo de la caldera a principios de la semana (el día 9) se observa un alto consumo de 295 kWh esto se debe a una demanda de 5 m<sup>3</sup> de ACS. Este consumo de caldera no se mantiene constante ya que la demanda de ACS va decayendo a valores de 1 m<sup>3</sup> como es el caso del día 1, esto supone un consumo de caldera de 59 kWh y luego aumenta a 2 m<sup>3</sup>, se hace nulo y vuelve a demandarse 4 m<sup>3</sup>.

### Consumo de la bomba y pérdidas del depósito

El consumo de la bomba, el flujo másico y las pérdidas del depósito se reflejan en la **gráfica 8**.



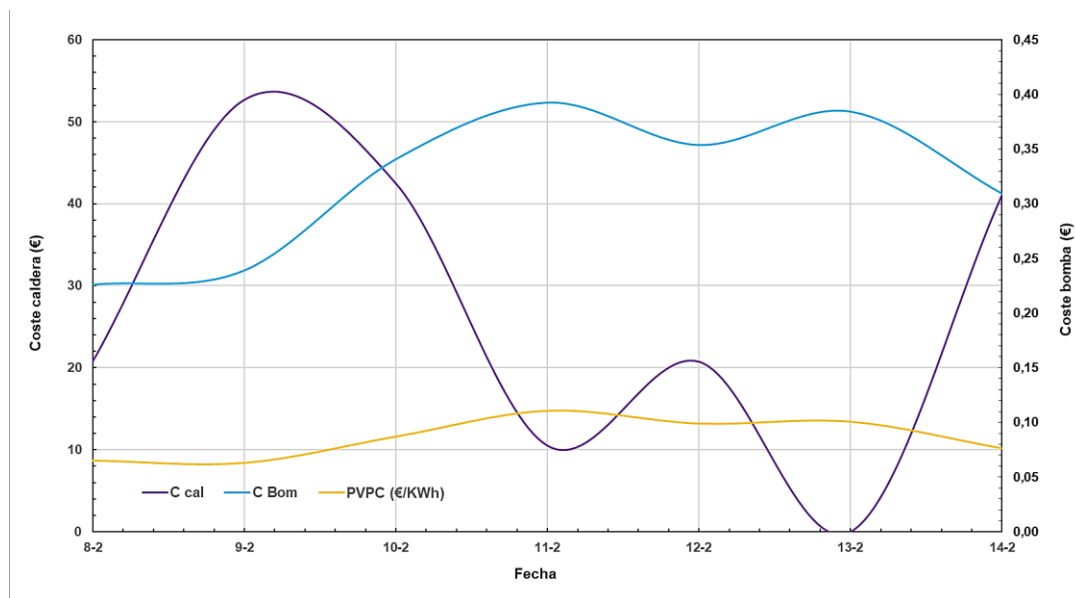
**Gráfica 8.** Variación del consumo de la bomba, pérdidas del depósito y flujo másico de la 2ª semana de febrero.

En la gráfica anterior se observa que el consumo de la bomba a lo largo de la semana permanece casi lineal con valores de 3.5 kWh, este mismo comportamiento se observa con las pérdidas del depósito que está en valores de 3.9 kWh. Con respecto al flujo

másico apenas se observan variaciones y sus valores varían de 0.12-0.14 kg/s, estos picos que se observan en el flujo másico se deben a la demanda de ACS, cuanto mayor es esta demanda como es el caso del día 9 el valor del flujo masico presenta un pico de 0.14 kg/s.

### 3.4.2.2 Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO<sub>2</sub>, eficiencia y porcentaje de energía

Los costes de la caldera y de la bomba se reflejan en la siguiente **gráfica 9**.

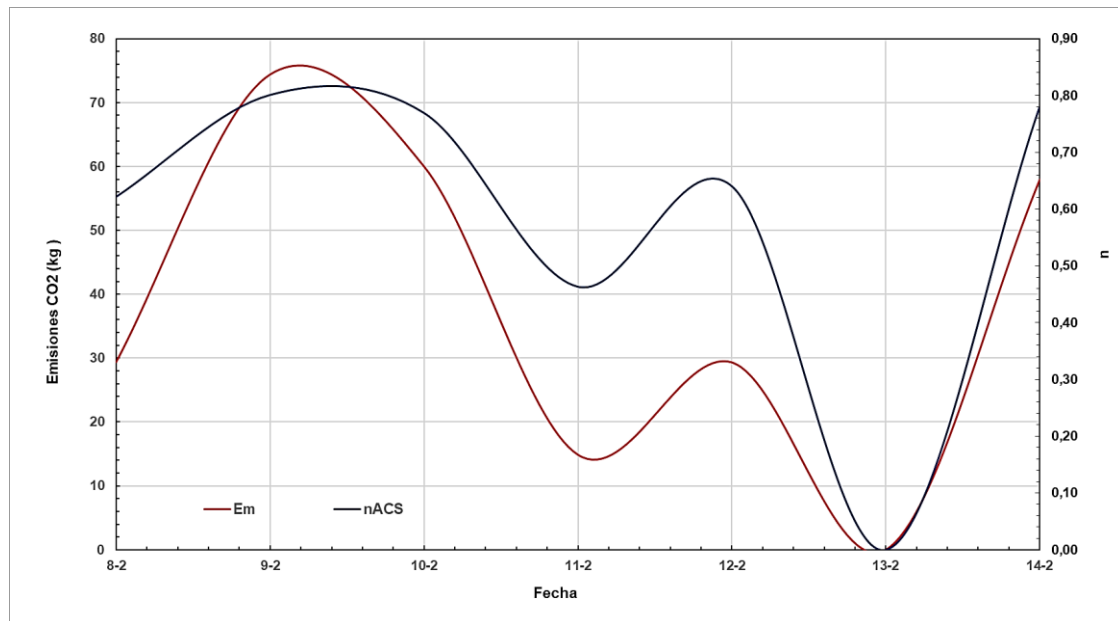


**Gráfica 9.** Variación de los costes de la caldera, de la bomba y del PVPC de la 2ª semana de febrero.

En la gráfica anterior se observa que los costes de la bomba a lo largo de las semana incrementan de 0.23 € a valores de 0.32-0.38 €, esto se debe al aumento del PVPC que varía de 0.07 €/kWh a 0.10 €/kWh y al incremento del flujo masico de 0.12 kg/s a 0.13 kg/s, aun así este consumo es poco significativo en comparación a los de la caldera, estos último al inicio de la semana presentan valores altos de 295 € y como el consumo de ACS va disminuyendo alcanza valores de 116-230 € a finales de la semana.

### Emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia

Tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen por el consumo de la caldera como la eficiencia del sistema de ACS se representan en la **gráfica 10**.



**Gráfica 10.** Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la eficiencia de la 2ª semana de febrero.

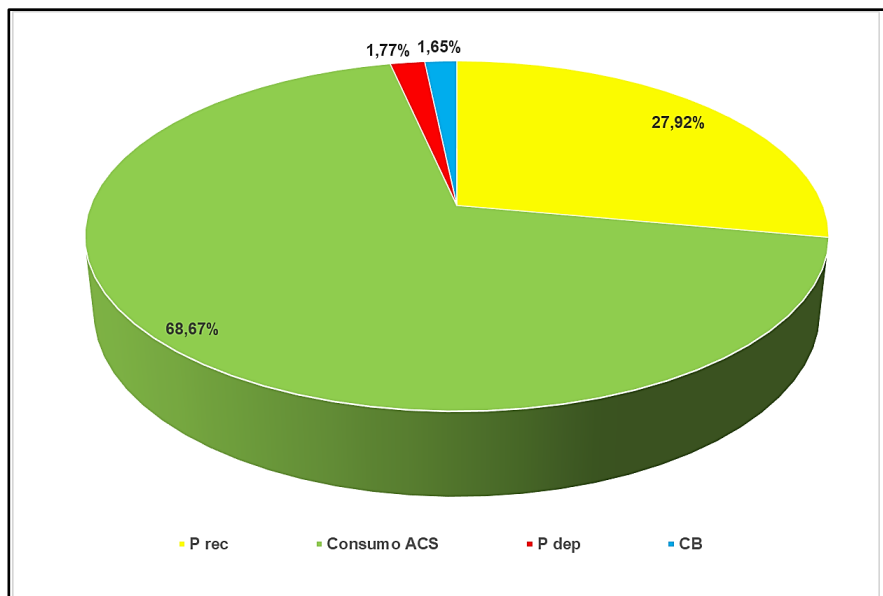
En la gráfica anterior se observa unas emisiones de CO<sub>2</sub> iniciales de 29 kg, estas el día 9 alcanzan un máximo de 74 kg, debido al consumo de caldera condicionada por la demanda de ACS. Estas emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen hasta valores de 15 kg para una demanda de 1 m<sup>3</sup> de ACS y luego alcanzan otro máximo de 29 kg para una demanda de 2 m<sup>3</sup> ACS. Al final de la semana las emisiones alcanzan el valor de 58 kg para una demanda de 4 m<sup>3</sup>. Con respecto a la eficiencia tampoco presenta un valor constante ya que su valor depende del consumo de ACS, para una demanda de ACS nula tal como el día 13 la eficiencia es nula. El resto de días para consumos altos de ACS de 5 m<sup>3</sup> como el día 9 la eficiencia alcanza valores de 0,8, pero para valores pequeños de ACS de 1 m<sup>3</sup> como el día 11 la eficiencia es de 0,46, un valor muy bajo donde las pérdidas térmicas y el consumo de la bomba se vuelven más significativas con respecto a la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS. A partir de consumos  $\geq 3$  m<sup>3</sup> le eficiencia presenta valores buenos de 0,78.

### Porcentaie energético

Los valores de las pérdidas térmicas, las pérdidas en depósito, el consumo de la bomba y el consumo de ACS y sus respectivos porcentajes energéticos se reflejan en la **tabla 6** y en la **figura 10**.

**Tabla 6.** Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS del 6 de enero.

Pérdidas recirculación (kWh)	Energía ACS (kWh)	Pérdidas depósito ACS (kWh)	Consumo bomba (kwh)	Total (kWh)
426.18	1048.28	26.98	25.14	1526.58
27.92%	68.67%	1.77%	1.65%	-



**Figura 10.** Porcentajes del consumo y pérdidas del sistema de ACS.

En la **tabla 6** se observa que el consumo mayor se debe al consumo de ACS, este supone un 68.67 % del valor total de energía de ACS de 1526.58 kWh, las pérdidas térmicas del depósito de ACS y el consumo de la bomba apenas son significativos su porcentaje es de 1.77 y 1.65 respectivamente, unos valores muy pequeños en comparación a las pérdidas térmicas del sistema de recirculación de ACS y la energía necesaria para la demanda de ACS. Las pérdidas térmicas del sistema de recirculación suponen un 27.92 % de la energía total necesaria para satisfacer la demanda de ACS, estas pérdidas son muy significativas ya que influyen tanto en eficiencia del sistema de ACS disminuyéndola como en la disminución de las temperaturas del depósito, las de impulsión y las de retorno, es decir se suministra ACS con una temperatura de salida promedio del

depósito de 61.00 °C y se logra una temperatura de impulso promedio de 54.61 °C y se obtiene un temperatura de retorno de 50 °C.

### 3.4.3 Consumo mensual

Con respecto al consumo mensual se analizan el mes de febrero y se determinan tanto las pérdidas térmicas debidas al sistema de recirculación de ACS, las pérdidas del depósito, el consumo de la bomba y el consumo de la caldera y sus correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la eficiencia, costes y porcentaje de cada uno de los meses.

#### 3.4.3.1 Consumo de Febrero

Los valores de consumos de febrero, costes, emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia se recogen en la **tabla 7** y **8** siguiente.

**Tabla 7.** Consumo energético para la demanda de ACS y pérdidas térmicas de febrero.

	Consumo ACS (m3)	Pérdidas térmicas recirculación (kWh)	Energía necesaria (kWh)	Pérdidas térmicas del depósito de ACS (kWh)	Consumo de la bomba (kWh)	Consumo caldera (kWh)
Total	89.00	1665.43	5179.59	108.86	103.71	5216.10
Total x vivienda	2.78	-	161.86	-	-	163.00
Promedio	3.18	59.48	184.99	3.89	3.70	186.29

En la **tabla 7** se observa que una demanda de 89 m<sup>3</sup> supone un consumo de caldera de 5216.10 kWh con unas pérdidas térmicas de recirculación de 1665.43, un tercio del consumo de la caldera. Esto implica un descenso de las temperaturas de impulso aproximado de 5 °C. Con respecto a las pérdidas térmicas del depósito y del consumo de la bomba sus valores son de 108.86 kWh y 103.71 kWh respectivamente, unos valores muy inferiores a los anteriormente mencionados.



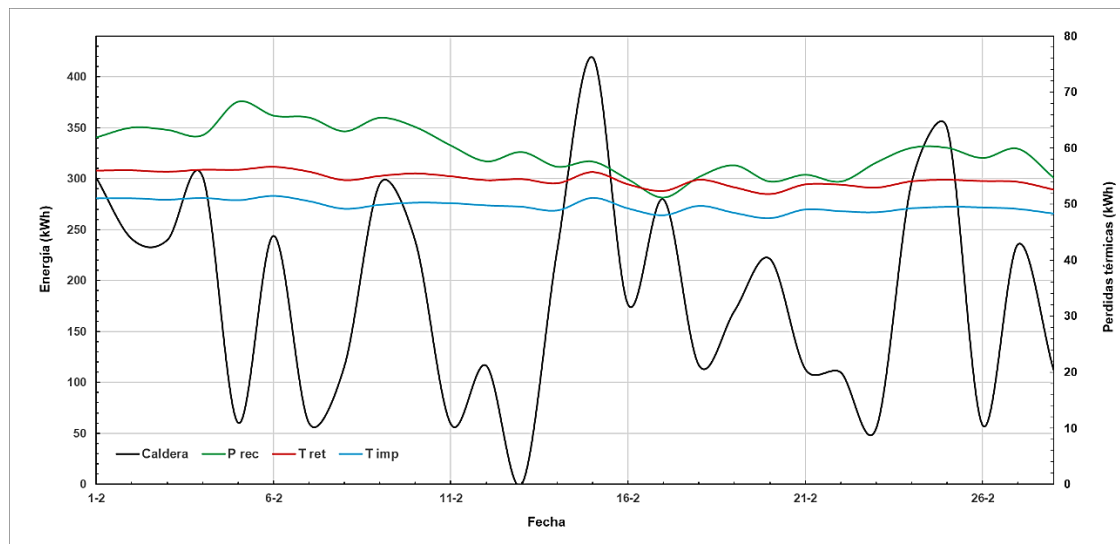
**Tabla 8.** Costes de la caldera y de la bomba, emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia del sistema de ACS de febrero.

	Consumo ACS (m <sup>3</sup> )	Coste caldera (€)	Coste bomba (€)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)	Eficiencia
Total	89.00	930.60	9.45	1314.5	0.73
Total x vivienda	2.78	29.08	-	41.08	-
Promedio	3.18	33.23	-	46.94	-

En la **tabla 8** se observa que los costes totales son de 930.60 € para una demanda de 89 m<sup>3</sup> de ACS, los costes de la bomba son de 9.45 € un valor muy inferior a los costes anteriores. Las emisiones totales de CO<sub>2</sub> son de 1314.5 kg, estas emisiones para una vivienda de 80 m<sup>2</sup> con un consumo de 2.78 m<sup>3</sup> supone una emisión de 0.51 kg CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>. La eficiencia es 0.73 un valor bastante bueno a pesar de las pérdidas térmicas del sistema de ACS muy próximo al estipulado por el IDAE de 0.75.

### 3.4.3.2 Consumo de la caldera, consumo de la bomba y pérdidas térmicas

Los valores del consumo de caldera, las pérdidas térmicas del anillo de distribución y las temperaturas de impulso y de retorno para satisfacer la demanda de ACS del febrero se recogen en la **gráfica 11**.



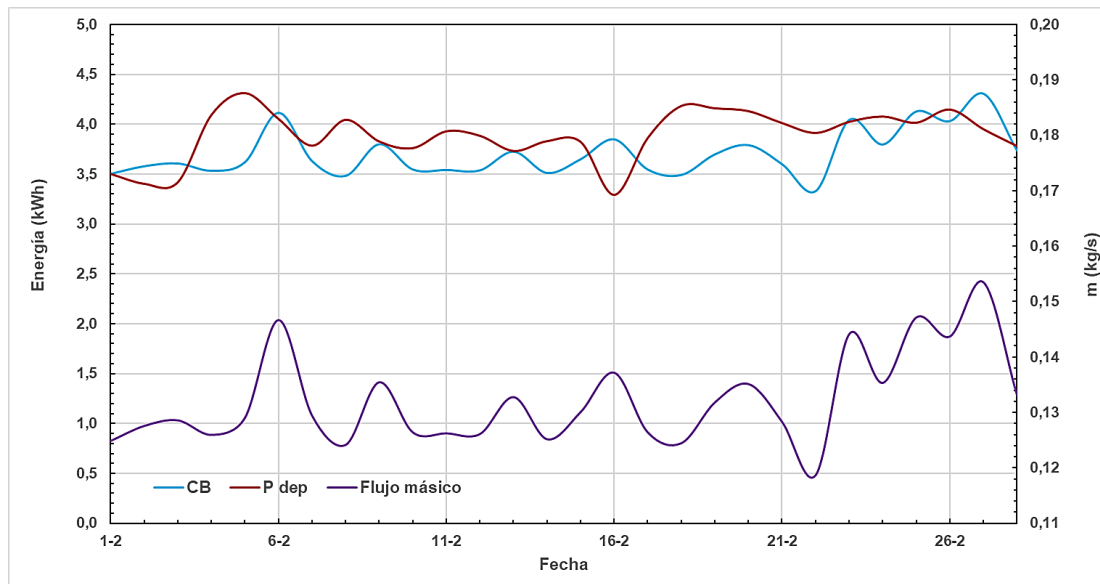
**Gráfica 11.** Variación del consumo de la caldera, pérdidas térmicas y temperaturas de impulso y retorno de febrero.

En la gráfica anterior se observa que la demanda de ACS presenta varios máximos de 7 m<sup>3</sup> y 6 m<sup>3</sup> esto conlleva un mayor consumo de la caldera del orden de 419 kWh y 350 kWh respectivamente, estas demandas de ACS se dan el 15 y el 22 de febrero, el resto de días el consumo oscila de 1 m<sup>3</sup> a 5 m<sup>3</sup>, es decir de 15 kWh a 76 kWh, salvo el 13

donde el consumo es nulo. Con respecto a las pérdidas térmicas el día 5 alcanza valores de 68 kWh, el resto de días del mes las pérdidas se estabilizan a valores de 60 kWh salvo el día 17 donde se produce un descenso notable a 51 kWh, esto se debe al alto consumo de ACS. Con respecto a la temperatura de impulso existen variaciones de 3 °C, a principios de mes las temperaturas son de 56 °C y a finales de mes sus valores son de 53 °C, en el caso de las temperaturas de retorno estas se mantienen más lineales que las temperaturas de impulso con valores cercanos a 50 °C.

### Consumo de la bomba y pérdidas del depósito

Tanto el consumo de la bomba como las pérdidas del depósito se representan en la **gráfica 12**.



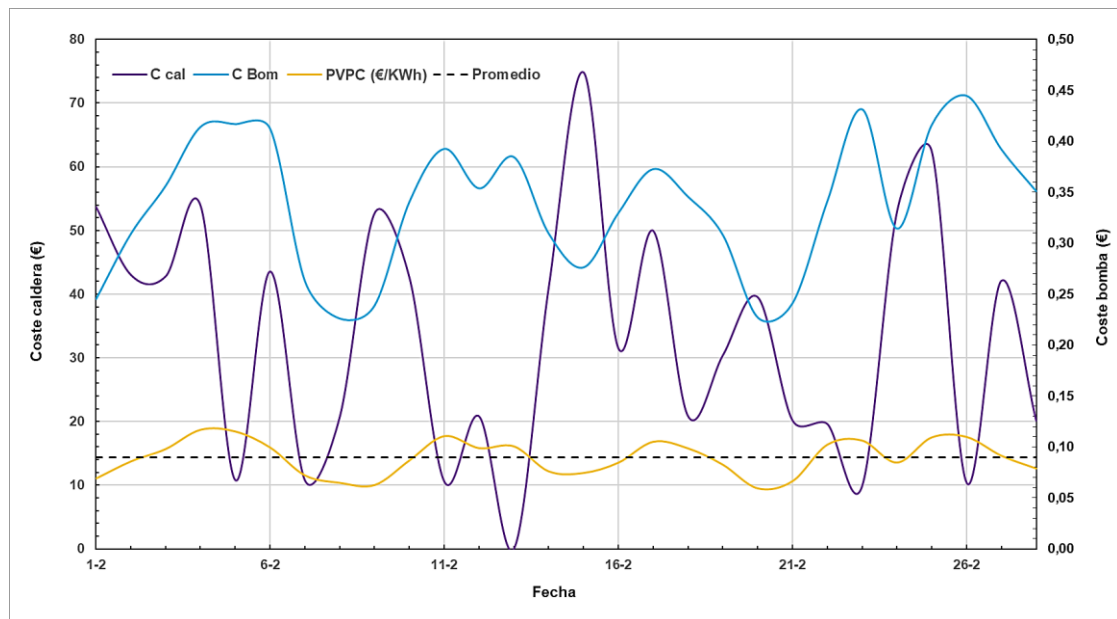
**Gráfica 12.** Consumo de la bomba y flujo másico del anillo de distribución de febrero.

En la **gráfica 12** se observa que el consumo de la bomba es directamente proporcional al flujo másico que circula por el anillo de distribución, cuanto mayor es el flujo másico mayor consumo supone por parte de la bomba. Ambos valores presentan un carácter oscilatorio, con respecto al consumo de la bomba sus valores alcanzan dos valores punta de 4.11 y 4.31 kWh, el 6 y 27 de febrero respectivamente, en estas fechas el flujo másico alcanza valores máximos de 0.15 kg/s. Con respecto a los valores promedios en el caso del consumo de la bomba el promedio es 3.70 kWh y el del flujo másico es de 0.13 kg/s, también se observa varios mínimos como es el caso del día 22 donde el consumo de bomba es de 3.30 kWh para un flujo másico de 0.12 kg/s. Las pérdidas térmicas del depósito también presentan este carácter oscilatorio y se mantienen en valores de 3.5-4.1 kWh, a principios de mes estos valores son bajos en torno a 3.5 kW y aumenta a 4.1 kWh el día 4, a pesar de estas variaciones estos valores son muy bajos en comparación

a las pérdidas del sistema de recirculación, esto se debe al buen aislamiento del depósito de ACS (PU).

### 3.4.3.3 Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO<sub>2</sub>, eficiencia y porcentaje energético

Los costes de la caldera y de la bomba se representa en la **gráfica 13**.

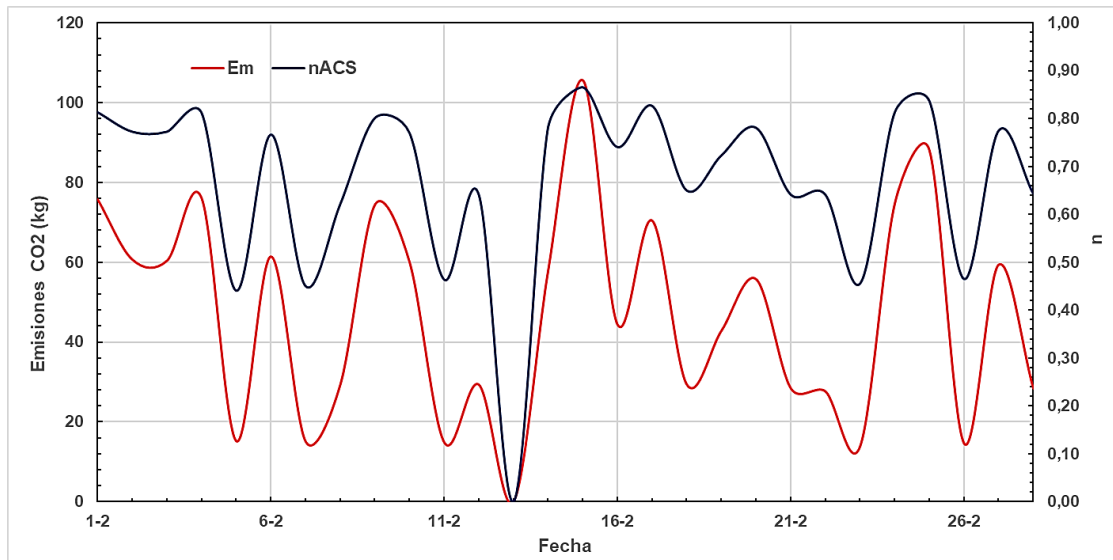


**Gráfica 13.** Variación de los costes de la caldera, de la bomba y del PVPC de febrero.

En la gráfica anterior se observa que los costes de caldera presentan valores oscilatorios en función de la demanda, para una demanda alta de ACS como el día 15 de 7 m<sup>3</sup> el coste de la caldera alcanza un máximo de 75 € un valor muy superior al del resto de días donde el consumo de ACS varía de 1-5 m<sup>3</sup>, lo que supone unos costos de 11-54 € respectivamente, es decir casi 11 € por cada m<sup>3</sup> de ACS consumido. Con respecto a el coste de la bomba presenta valores muy pequeños de 0.23-0.44 € esto se debe al bajo valor del PVPC que oscila alrededor de 0.09 €/kWh.

### Emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia

Las emisiones de CO<sub>2</sub> y la eficiencia se representan en la **gráfica 14** siguiente.



**Gráfica 14.** Variación de las emisiones de CO2 y de la eficiencia de febrero.

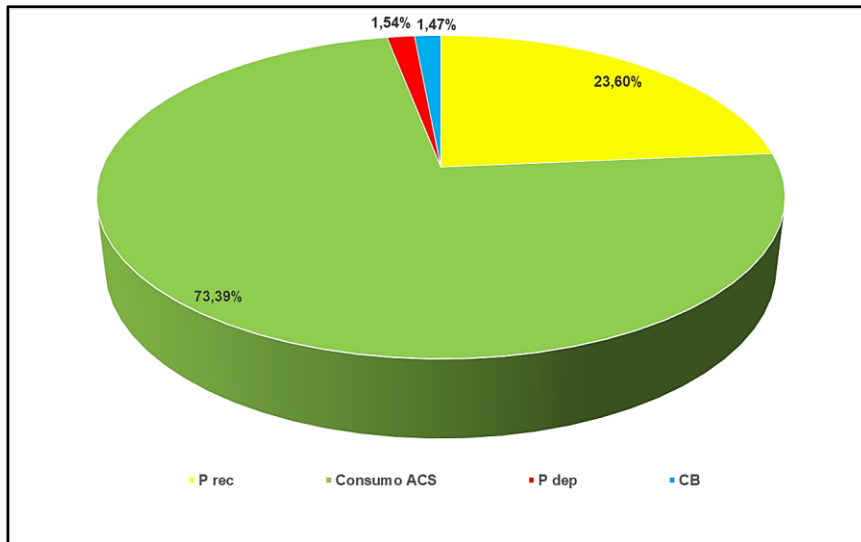
En la gráfica anterior se observa que tanto las emisiones como la eficiencia del sistema de ACS están directamente relacionados a la demanda de ACS, cuanto mayor son estas mayores son las emisiones y las eficiencias. En el caso de las emisiones de ACS para una demanda de 1 m3 se emiten 15 kg de CO2, como es el caso del día 5, las mayores emisiones de CO2 se dan el día 7 de 106 kg para un consumo de ACS de 7 m3. El resto de días estas emisiones de CO2 varían de 15-75 kg para una demanda de ACS de 1-5 m3. Con respecto a la eficiencia sus valores son muy bajos de 0.44 para una demanda de 1 m3 de ACS, este valor se incrementa significativamente a 0.72 para valores  $\geq 3$  m3 de ACS, con un alto consumo como el del día 7 se obtienen eficiencias de 0.86.

### Porcentaje energético

La energía necesaria para la demanda de ACS, las pérdidas térmicas y el consumo de la bomba del anillo de distribución de ACS y sus respectivos porcentajes energéticos se reflejan en la **tabla 9** y **figura 11**.

**Tabla 9.** Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS de febrero.

Pérdidas recirculación (kWh)	Energía ACS (kWh)	Pérdidas depósito ACS (kWh)	Consumo bomba (kWh)	Total (kWh)
1665.43	5179.59	108.86	103.71	1665.43
23.60%	73.39%	1.54%	1.47%	-



**Figura 11.** Porcentajes de pérdidas térmicas, consumo de bomba y energía de ACS.

En la **figura 11** se observa el mayor porcentaje energético se corresponde a la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS, las pérdidas térmicas del anillo de distribución suponen un 24 % de valor energético total, un valor muy superior al del consumo de la bomba y a las pérdidas térmicas del depósito de ACS cuyos valores son de 1.47 % y 1.54 % respectivamente. Esto último indica el buen aislamiento del depósito de ACS y el poco consumo que supone una bomba de recirculación, pero también indica una necesidad de mejora del sistema de distribución de ACS por medio del aumento del espesor de aislamiento.

### 3.4.4 Consumo anual

Los consumos de ACS, las energías térmicas necesarias, el consumo de la bomba, el consumo de la caldera y las pérdidas térmicas tanto del depósito de ACS como las del anillo de distribución de todos los meses se reflejan en la **tabla 10**.

**Tabla 10.** Pérdidas térmicas, consumo de caldera y bomba y ACS de noviembre.

Mes	Consumo ACS (m3)	Pérdidas térmicas del anillo de distribución (kWh)	Energía necesaria (kWh)	Pérdidas térmicas del depósito de ACS (kWh)	Consumo de la bomba (kWh)	Consumo caldera (kWh)
Enero	89.00	2176.68	5431.46	126.24	115.69	5469.75
Febrero	89.00	1665.43	5179.59	108.86	103.71	5216.11
Marzo	90.00	1398.38	4591.94	124.26	116.88	4624.31
Abril	82.00	1074.30	3594.07	109.24	118.35	3619.41
Mayo	90.00	1039.88	3768.36	106.63	115.16	3794.92
Junio	82.00	934.93	3220.69	102.65	128.39	3243.39
Julio	66.00	970.28	2431.00	99.83	188.30	2448.14
Agosto	54.00	990.23	2013.86	96.35	174.87	2028.06
Septiembre	63.00	1041.75	2581.89	97.57	172.22	2600.09
Octubre	66.00	1556.73	3430.03	114.05	163.66	3454.21
Noviembre	73.00	1689.35	4101.77	112.18	176.40	4130.69
Diciembre	98.00	1868.35	5681.96	126.40	195.13	5722.02
Total	942.00	16406.25	46026.64	1324.26	1768.74	46351.10
Total x vivienda	29.44	-	1438.33	-	-	1448.47
Promedio	78.50	1367.19	3835.55	110.36	147.40	3862.59

El consumo total a lo largo del año es de 942 m3 de ACS, esto supone unas demandas energéticas de 46026.64 kWh que suponen un consumo de caldera de 46351.10 kWh un valor casi similar debido al alto rendimiento de la caldera de 0.993, para una vivienda tipo esto supone un consumo anual de 1448.47 kWh para un consumo de 29.44 m3. Las pérdidas térmicas del anillo de distribución son de 16406.25 kWh casi un tercio de las energías demandadas un valor bastante alto que implica una disminución de las temperaturas de impulso inferiores por lo general a las de consigna de 50-55°C establecidas por reglamento de la IDEA para la prevención de la legionelosis. Las pérdidas del depósito alcanzan valores muy bajos de 1324.26 kWh muy similares a las del consumo de la bomba del orden de 1768.74 kWh, estos dos valores anteriormente mencionados apenas suponen nada en comparación a las pérdidas térmicas del anillo de distribución y la energía térmica consumida por parte de la caldera.

Los costes, las emisiones del CO2 y la eficiencia del sistema de ACS a lo largo del año se recogen en la **tabla 11**.

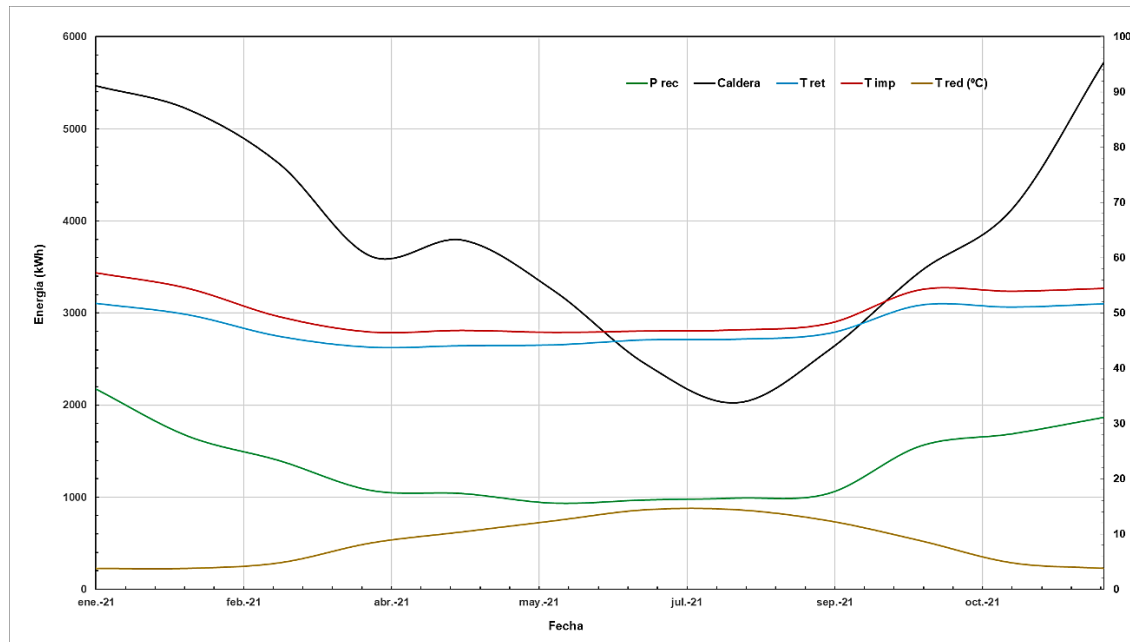
**Tabla 11.** Costes de la caldera y de la bomba, emisiones de CO<sub>2</sub> y rendimiento del sistema de ACS.

Mes	Consumo ACS (m3)	Coste caldera (€)	Coste de la bomba (€)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)	Eficiencia
Enero	89.00	975.80	14.38	1378.38	0.69
Febrero	89.00	930.55	9.45	1314.46	0.73
Marzo	90.00	824.98	12.88	1165.33	0.74
Abril	82.00	645.70	16.54	912.09	0.73
Mayo	90.00	677.01	15.66	956.32	0.75
Junio	82.00	578.62	19.56	817.33	0.73
Julio	66.00	436.75	29.95	616.93	0.66
Agosto	54.00	361.81	30.82	511.07	0.61
Septiembre	63.00	463.86	37.63	655.22	0.66
Octubre	66.00	616.23	29.60	870.46	0.65
Noviembre	73.00	736.91	44.90	1040.93	0.67
Diciembre	98.00	1020.81	60.92	1441.95	0.72
Total	942.00	8269.04	322.28	11680.48	0.70
Total por vivienda	29.44	258.41	10.07	365.01	-
Promedio	78.50	689.09	26.86	973.37	-

El consumo de 942 m<sup>3</sup> de ACS supone un coste de caldera total anual para todo el edificio de 8269.04€, este coste total para cada una de las 32 viviendas supone un coste de 258.41 € para una demanda homogénea de 29.44 m<sup>3</sup>. Los costes totales de la bomba son 322.28 €, un valor muy bajo en comparación al coste de la caldera para la producción de ACS, este apenas supone un coste alto para una vivienda ya que su valor es de 10.07 €. Con respecto al rendimiento del sistema de ACS se obtiene un rendimiento bueno de 0.7 pero que se puede optimizar disminuyendo las pérdidas térmicas. Las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzan el valor total de 111680.48 kg, para una vivienda tipo de 80 m<sup>2</sup> estas emisiones suponen un 4.56 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> para una demanda de 29.44 m<sup>3</sup> de ACS.

#### 3.4.4.1 Consumo de la caldera, consumo de la bomba y pérdidas térmicas

Los valores del consumo de caldera, las pérdidas térmicas del sistema de recirculación y las temperaturas de impulso, de retorno y de red para satisfacer la demanda de ACS de anual se recogen en la **gráfica 15**.



**Gráfica 15.** Variación del consumo de la caldera, de las pérdidas térmicas, temperatura de impulso, retorno y de red anuales.

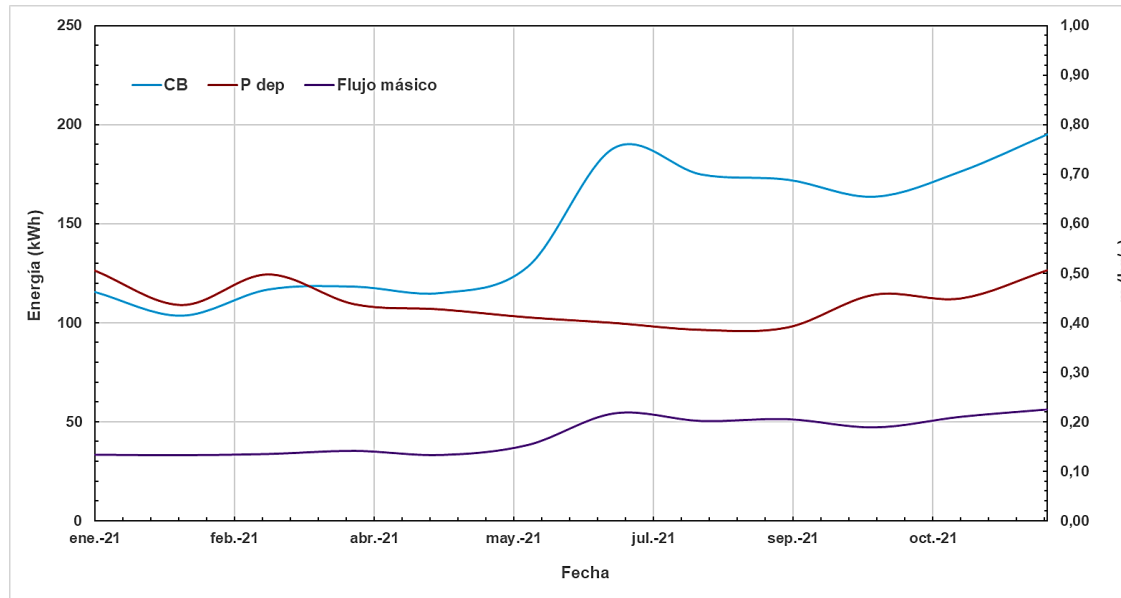
En la gráfica anterior se observa que los consumos de la caldera varía bastante y no presentan ningún comportamiento uniforme, a principios de año en los meses de enero, febrero y marzo a pesar de un consumo similar de ACS de 89 m<sup>3</sup> el consumo de la caldera desciende de 5470 kWh a 4624 kWh, esto se debe al aumento de las temperaturas de red de 3.82 °C a 4.82 °C y a la disminución de las temperaturas de impulso 57°C a 49 °C. En abril el consumo de ACS desciende a 82 m<sup>3</sup> lo que supone un consumo de caldera menor de 3619 kWh para una temperatura de red y de impulso de 8.41 °C y 47.00°C, el mes siguiente a pesar de tener un consumo mayor de ACS de 90 m<sup>3</sup> al incrementarse la temperatura de red a 10.41 °C el consumo de caldera es casi similar de 3795 kWh, esto mismo comportamiento se repite en los meses siguientes hasta finales de año, en diciembre donde el consumo de la caldera se incrementa a 5722 kWh para una demanda de ACS de 98 m<sup>3</sup>. El mes de menor demanda de ACS es agosto de 54 m<sup>3</sup>, esto supone un consumo de caldera de 2600 kWh para una temperatura de impulso y de red de 47.00 °C y 14.44 °C respectivamente.

Las pérdidas térmicas de la recirculación de ACS en enero presentan valores de 2177 kWh, estas descienden en los meses posteriores hasta junio donde alcanza valores de 935 kWh, esto se debe a la disminución de la diferencia entre las temperaturas de impulso y retorno , de 5.53 °C a 2.23 °C y a otros factores como el incremento de las temperaturas ambientales, la demanda de ACS, etc, luego se observa un comportamiento lineal con pérdidas térmicas en valores cercanos a 1000 kWh hasta septiembre donde comienzan a incrementarse las pérdidas hasta alcanzar valores de 1868 kWh a finales de año para unas temperaturas de impulso y de retorno de 54 °C y 52 °C.



## Consumo de la bomba y pérdidas del depósito

El consumo de la bomba, las pérdidas térmicas del depósito de ACS, el flujo másico y el PVPC se representan en la **gráfica 16**.

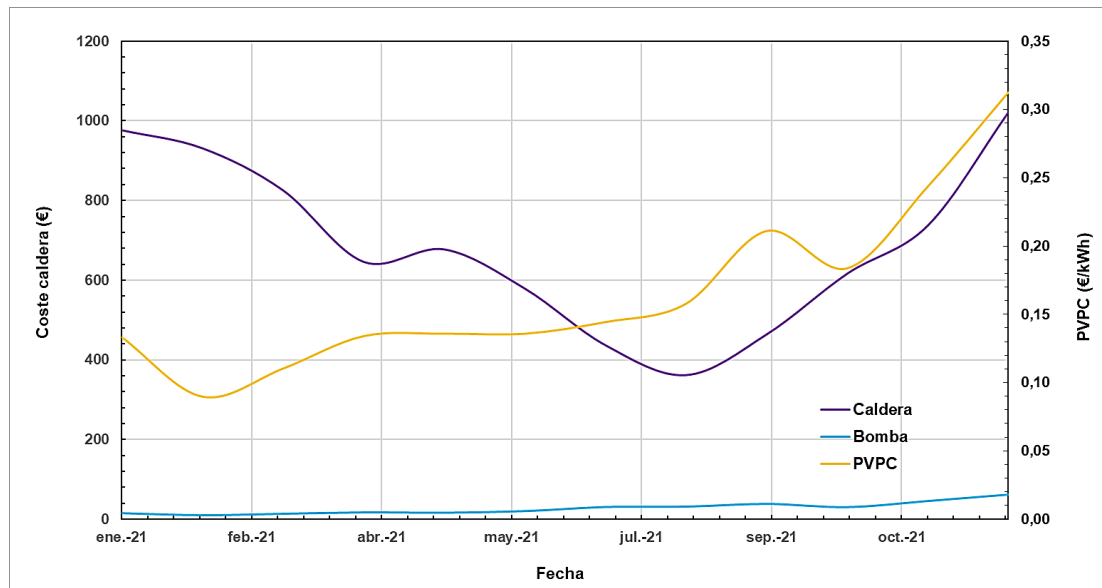


**Gráfica 16.** Variación del consumo de la bomba, pérdidas térmicas del depósito, flujo másico y PVPC anuales.

En la **gráfica 16** a lo largo del año las pérdidas del depósito apenas varían, sus valores varían de 98-126 kWh, en los meses más fríos como enero estas pérdidas son ligeramente superiores a meses más cálidos como agosto debido a las temperaturas externas que son ligeramente superiores. Con respecto al consumo de la bomba se observa un consumo bajo a principios de año de enero a mayo de valores de alrededor de 115 kWh, este consumo es inferior debido al flujo másico del anillo de recirculación del ACS de estos meses de 0.13 kg/s. El consumo de la bomba a partir de junio se incrementa a 128 kWh por el aumento del flujo másico a 0.22 kg/s. Ambos valores son muy poco significativos en comparación a las pérdidas térmicas y consumo de caldera analizados anteriormente.

### **3.4.4.2 Costes de la caldera y bomba, emisiones de CO<sub>2</sub>, eficiencia y porcentaje energético**

Los costes de la caldera, de la bomba y PVPC se reflejan en la **gráfica 17**.

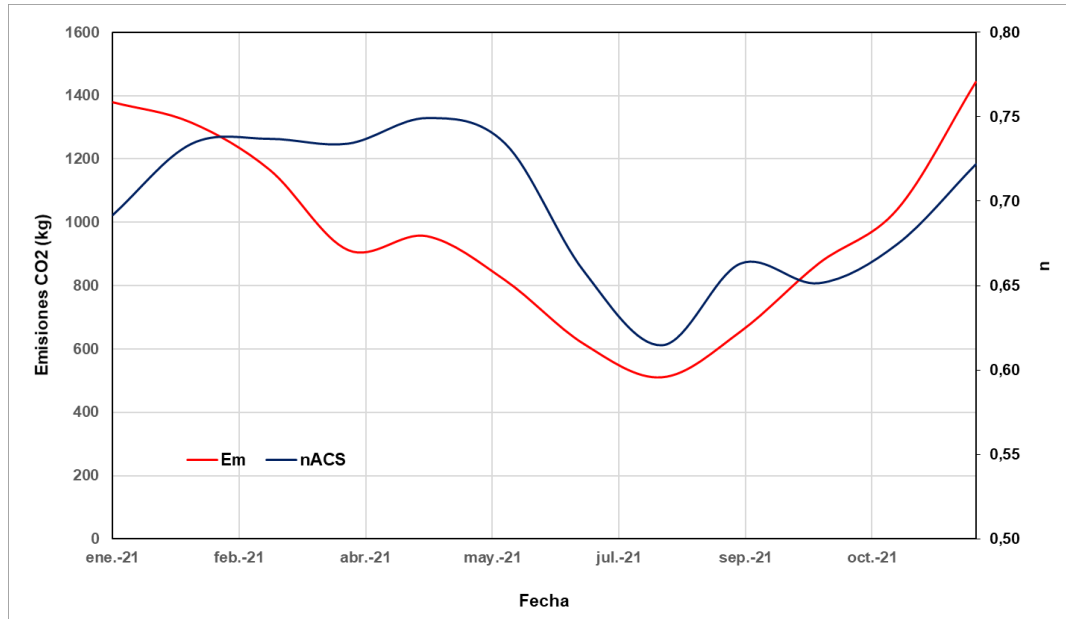


**Gráfica 17.** Variación de los costes de la caldera, de la bomba y el PVPC en 2021.

En la gráfica anterior se observa que los costes de la caldera en el mes de enero son de 976 €, esto descienden hasta valores de 362 € en agosto a causa de una baja demanda de ACS, luego se incrementan a valores de 1021 € a finales de año. Este comportamiento de los costes se deben a la variación de la demanda de ACS y al coste fijo de los suministradores de gas (promedio Energy y Repsol) de 0.18 €/kWh gas natural. Los costes la bomba alcanzan valores muy bajos de 14-31 € de enero a agosto, en los meses posteriores se incrementan hasta alcanzar valores de 61 € debido al incremento del PVPC, muy superior a finales de año de 0.33 €/kWh en comparación principios de año donde su valor es 0.13 €/kWh. Este incremento del PVPC se debe a factores externos como la guerra de Ucrania, la pandemia del COVID, etc.

### Emisiones de CO2 y eficiencia

Las emisiones de CO2 y la eficiencia del sistema de ACS se representan en la **gráfica 18**.



**Gráfica 18.** Variación de las emisiones de CO2 y la eficiencia del sistema de ACS de 2021.

En la **gráfica 18** se observa que las emisiones de CO2 varían en función del consumo de ACS, cuanto mayor es esta demanda como el caso de diciembre de 98 m<sup>3</sup> mayor es la energía suministrada por la caldera lo que conlleva unas mayores emisiones de 1442 kg CO2. En los meses donde el consumo de ACS es bajo como agosto de 54 m<sup>3</sup> las emisiones son 511 kg Co2.

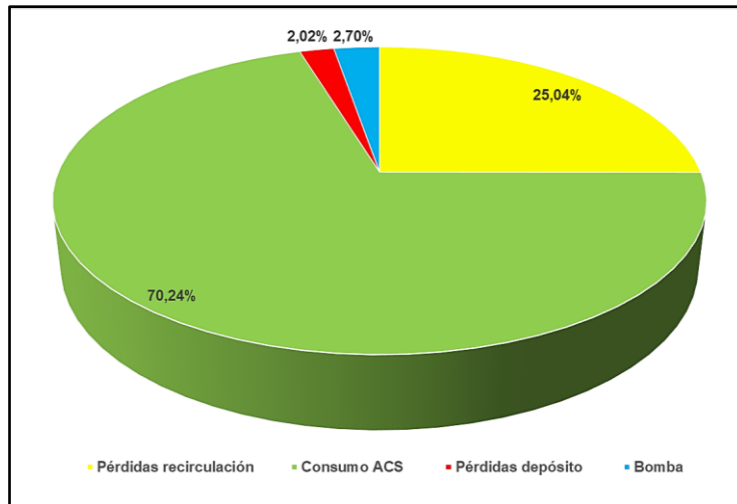
Con respecto a la eficiencia los valores más normales son de 0,7 salvo los meses como agosto donde la eficiencia es de 0,61, un valor muy bajo debido al poco ACS demandado, ya que esta demanda implica un aumento significativo de las pérdidas térmicas y de la bomba con respecto a la energía térmica que se debe aportar para cubrir esta demanda.

### Porcentaje energético

La energía necesaria para la demanda de ACS, las pérdidas térmicas y el consumo de la bomba del anillo de distribución de ACS y sus respectivos porcentajes energéticos se reflejan en la **tabla 12** y **figura 12**.

**Tabla 12.** Porcentaje de los consumos y pérdidas del sistema de ACS de 2021.

Pérdidas recirculación (kWh)	Energía ACS (kWh)	Pérdidas depósito ACS (kWh)	Consumo bomba (kwh)	Total (kWh)
16406.25	46026.64	1324.26	1768.74	65525.89
25.04%	70.24%	2.02%	2.70%	-



**Figura 12.** Porcentajes de pérdidas térmicas, consumo de bomba y energía de ACS.

En la **figura 12** se observa el mayor porcentaje energético se corresponde a la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS, esta es 70.18 % para un consumo de 942 m<sup>3</sup>, este valor es alto a causa de las altas diferencias de las temperaturas de la red de ACS que está en valores de 3.82-12.41°C y las temperaturas de ACS marcadas por el IDAE  $\geq 50$  °C. Las pérdidas de la recirculación suponen un 25.04 % de la energía total para la demanda de ACS, es un valor significativo que se debe disminuir para conseguir temperaturas  $\geq 50$ °C y evitar posibles problemas futuros de legionelosis por medio del aumento del aislamiento de las tuberías de recirculación, cambio de diámetros y materiales (PE, PPR, PVC, etc). Y por último tanto las pérdidas del depósito como el consumo de la bomba apenas suponen un gasto energético significativo, sus porcentajes son 2.02 % para las pérdidas del depósito y 2.70 % para el consumo de la bomba.

### 3.5 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

#### 3.6 Optimización mediante bomba de calor

El sistema de ACS anteriormente analizado supone un consumo alto de caldera, unos 46351.10 kWh para una demanda anual de 942 m<sup>3</sup> de ACS con sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo que una alternativa para reducir el consumo, los costes y las emisiones de CO<sub>2</sub> es el empleo de una bomba de calor (**figura 13**)



**Figura 13.** Bomba de calor aerotérmicas Ferrolli [21].

### 3.6.1 Consumo de la bomba de calor, emisiones de CO2 y costes

Los valores del consumo, costes y emisiones de CO2 a lo largo del año se recogen en la **tabla 13**.

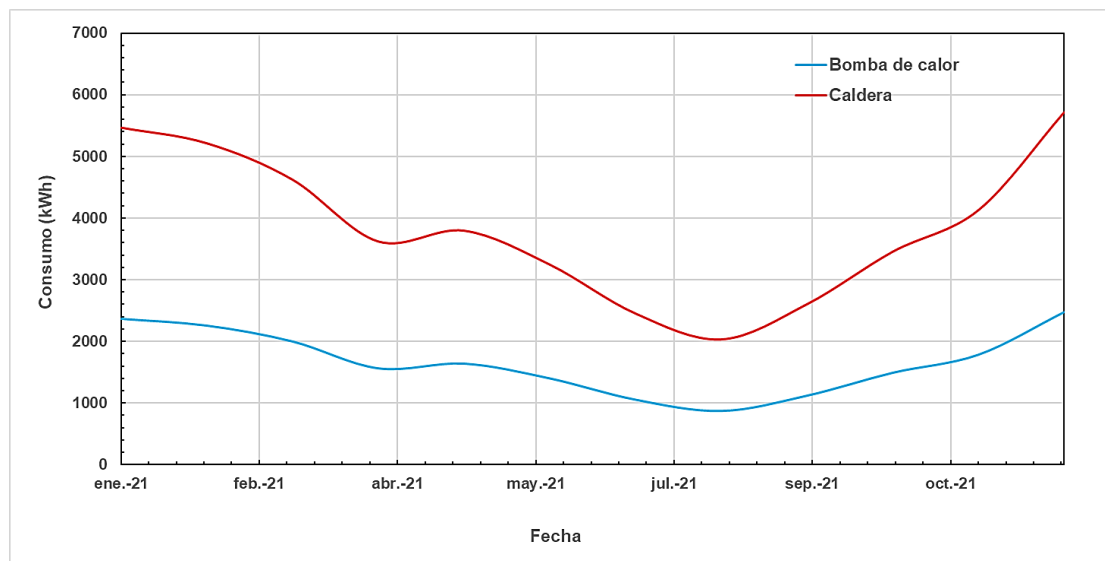
**Tabla 13.** Consumo, costes y emisiones de CO2 de la caldera y de la bomba de calor.

Mes	Consumo ACS (m3)	Consumo de la bomba calor (kWh)	Consumo caldera (kWh)	Coste caldera (€)	Coste de la bomba de calor (€)	Emisiones de CO2 caldera (kg)	Emisiones de CO2 Bomba (kg)
Enero	89.00	2361.51	5469.75	975.80	314.45	1378.38	781.66
Febrero	89.00	2252.00	5216.11	930.55	202.12	1314.46	745.41
Marzo	90.00	1996.50	4624.31	824.98	220.20	1165.33	660.84
Abril	82.00	1562.64	3619.41	645.70	209.45	912.09	517.23
Mayo	90.00	1638.42	3794.92	677.01	222.48	956.32	542.32
Junio	82.00	1400.30	3243.39	578.62	202.06	817.33	463.50
Julio	66.00	1056.96	2448.14	436.75	152.51	616.93	349.85
Agosto	54.00	875.59	2028.06	361.81	138.12	511.07	289.82
Septiembre	63.00	1122.56	2600.09	463.86	236.72	655.22	371.57
Octubre	66.00	1491.32	3454.21	616.23	273.84	870.46	493.63
Noviembre	73.00	1783.38	4130.69	736.91	434.24	1040.93	590.30
Diciembre	98.00	2470.42	5722.02	1020.81	771.49	1441.95	817.71
Total	942.00	20011.58	46351.10	8269.04	3377.69	11680.48	6623.83
Total x vivienda	29.44	625.36	1448.47	258.41	105.55	365.01	206.99
Promedio	78.50	1667.63	3862.59	689.09	281.47	973.37	551.99

En la tabla anterior se observa que el consumo por la caldera para una demanda de 942 m<sup>3</sup> anual supone 46351.10 kWh, pero en el caso del empleo de una bomba de calor este valor se reduce significativamente a 20011.58 kWh, esto se debe al coeficiente de operación (COP) de la bomba de calor de 2.3, un valor muy superior al rendimiento de la caldera que es de 0.993. Esta reducción del consumo energético supone una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 11680.48 kg a 6623.83 kg y unos menores costes del valor de 3377.69 €. Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> para una vivienda de 80 m<sup>2</sup> las emisiones se reducen de 4.56 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> a 2.59 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Con respecto a los costes por vivienda mediante el empleo de la bomba de calor el coste supone 105.55 €, un valor muy inferior al del coste de la caldera que supone 258.41 €.

### 3.6.1.1 Consumo de la caldera y consumo de la bomba de calor

El consumo de la bomba de calor anual se representa en la siguiente **gráfica 19**.



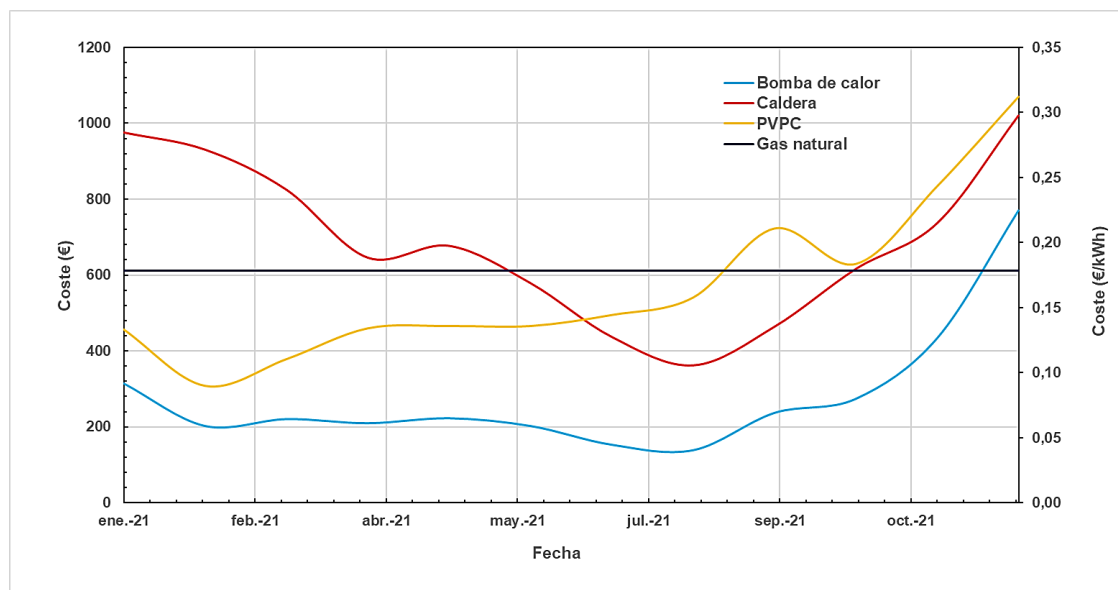
**Gráfica 19.** Variación del consumo de la bomba de calor y de la caldera de condensación del 2021.

En la gráfica anterior se observa que el consumo de la bomba de calor a lo largo del año presenta valores muy inferiores a los del consumo de la caldera este se debe como anteriormente se ha mencionado al valor de su COP muy superior al n de la caldera. En los primeros meses de enero a febrero para un consumo de 89 m<sup>3</sup> la caldera consume en torno a valores de 4500-5500 kWh, pero este mismo consumo para la bomba de calor está en torno a valores de 2000-2300 kWh. Los siguientes meses de abril a agosto el consumo de la bomba de calor es variado de 1600-879 kWh debido a una demanda de

90-54 m<sup>3</sup>, a finales de año se incrementa la demanda de ACS hasta 98 m<sup>3</sup> lo que supone un consumo de 2470 kWh en diciembre.

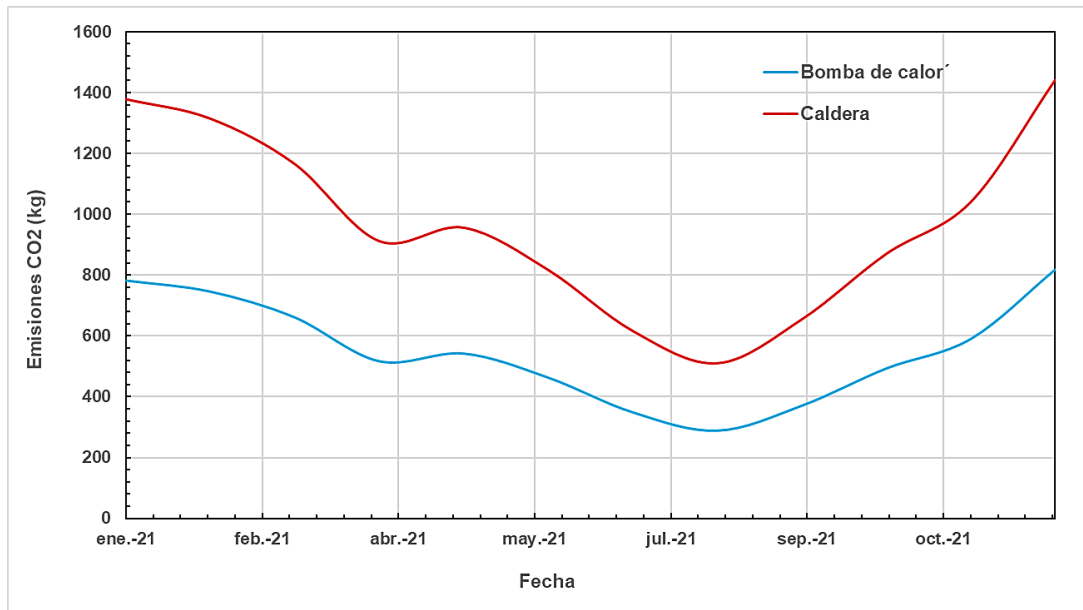
### 3.6.1.2 Costes de la caldera y de la bomba de calor, emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia

Los costes anuales de la bomba y las emisiones de CO<sub>2</sub> se representan en las siguientes gráficas **20** y **21**.



**Gráfica 20.** Variación del coste de la bomba y de la caldera del sistema centralizado del 2021.

En la **gráfica 20** se observa que la bomba de calor debido a un menor consumo en kWh que la caldera y al bajo precio del PVPC de 0.13 €/kWh a principios y mediados de año y 0.31 €/kWh a finales de año se observa que sus costes son muy bajos en comparación con los de caldera para un precio de gas de 0.18 €/kWh gas. Los costes de la bomba de enero a marzo apenas varían y se mantienen en valores de 314-202 €, sin embargo, este comportamiento en el caso de los costes de la caldera no se observa, estos descienden en estos meses de 976 € a 825 € y luego a finales de año se incrementan debido al aumento de la demanda de ACS hasta valores 1020 €.



**Gráfica 21.** Emisiones de CO2 de la caldera y de la bomba de calor.





En la **gráfica 21** se observa que las emisiones de la bomba de calor son bastante inferiores en comparación a los de la caldera a pesar de tener dos factores de emisión distintos de 0.331 kg CO<sub>2</sub>/kWh y 0.252 kgCO<sub>2</sub>/kWh respectivamente. Esto se debe principalmente al bajo consumo que supone la bomba de calor con respecto a la caldera. El comportamiento de ambas emisiones es el mismo, en los meses de enero a abril se observan unas emisiones por parte de la bomba de calor que descienden de 781.66 kg de CO<sub>2</sub> a 517.23 kg de CO<sub>2</sub>, en el caso de la caldera los valores descienden de 1378.38 kg de CO<sub>2</sub> a 912.09 kg de CO<sub>2</sub>. Mas tarde en mayo se observa un pequeño incremento de ambas emisiones debido a un aumento de la demanda de ACS, de 956.32 kg de CO<sub>2</sub> y 542.32 kg de CO<sub>2</sub> para la bomba de calor y la caldera. Luego el resto de meses las emisiones de la bomba de calor varían en valores de 289.82 a 463.50 kg de CO<sub>2</sub> y las emisiones de la caldera de 817.33 a 511.07 kg de CO<sub>2</sub>. Por último, a principios de octubre se observa un incremento hasta alcanzar valores de 817.71 kg de CO<sub>2</sub> para la bomba de calor y 1441.95 kg de CO<sub>2</sub> para la caldera.








### 3.6.2 Optimización del sistema de ACS mediante cambios depósito



Para esta optimización se ha realizado el siguiente circuito mediante el programa de trnsys 16.1. Las distintas herramientas que se emplean en el trnsys se describen en la siguiente **tabla 14**.

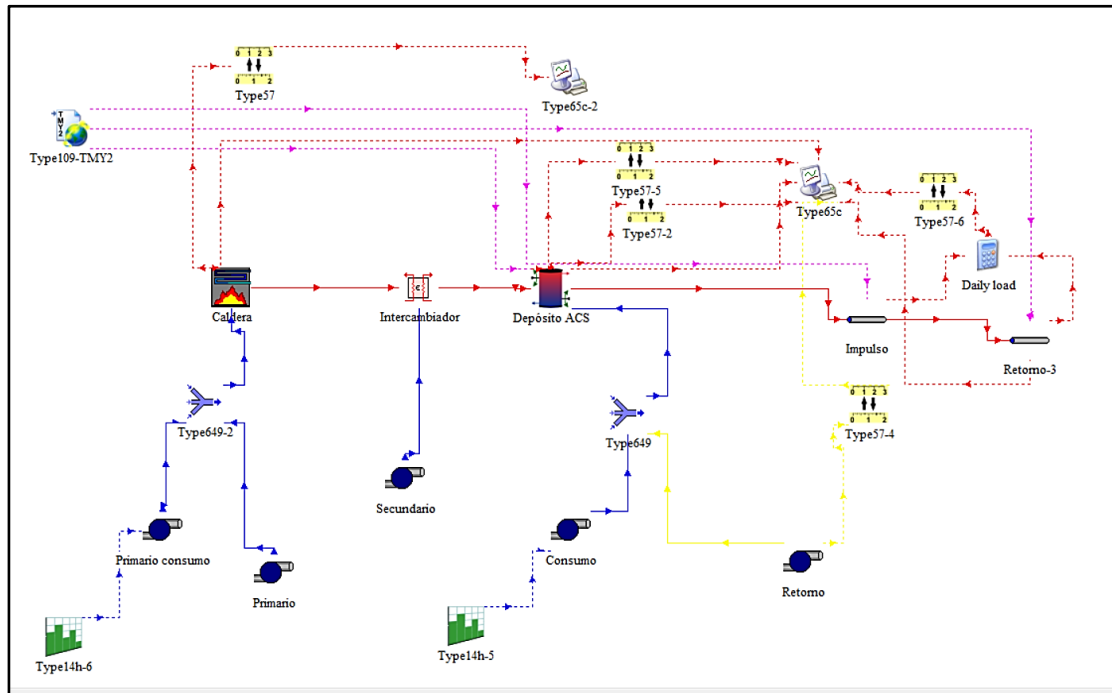
**Tabla 14.** Elementos del TRNSYS para la simulación de trnsys.

Type	Descripción	Parámetros y entradas	Parámetros de salida
 Type109-TMY2	Este fichero es un procesador que proporciona dato de entrada la radiación solar, la humedad relativa y la temperatura ambiente.	-	-
 Type700	Este fichero representa una caldera	Temperatura del fluido Flujo Temperatura ambiente Temperatura set point Potencia Señal de control Calor específico	Temperatura del fluido Flujo Energía del fluido
 Type654-4	Este fichero representa una bomba simple de potencia y caudal constante	Flujo Temperatura del fluido Señal de control Calor específico Potencia Eficiencia de la bomba	Flujo Temperatura del fluido Potencia consumida
 Type4c	Este fichero representa un depósito estratificado de ACS con pérdidas térmicas uniformes	Temperatura del flujo caliente Flujo caliente Temperatura del flujo frío Flujo frío Volumen del tanque Densidad del fluido Calor específico Coeficiente de pérdidas del tanque Altura del nodo Potencia del calentador auxiliar	Temperatura a demanda Flujo a demanda Pérdidas térmicas

		Temperatura ambiente Temperatura inicial del nodo	
 Type709	Este fichero representa una tubería	Diámetro interior Diámetro exterior Largo de la tubería Densidad del fluido Calor específico Espesor del aislamiento	Temperatura del flujo Flujo Pérdidas al medio ambiente
 Type91	Este fichero representa un intercambiador de calor de eficacia constante	Eficacia del intercambiador de calor Calor específico Temperatura del flujo caliente Flujo caliente Temperatura del flujo frío Flujo frío	Temperatura del flujo caliente Flujo frío
 Type649	Este fichero representa una válvula mezcladora	Temperatura del flujo Flujo Número de entradas	Temperatura del flujo Flujo
 Type14h	Este fichero representa una función de forzado de señal de control	Hora Valor de señal de control	Señal de control
 Type57-3	Este fichero representa un cambiador de unidades	Parámetro de entrada Numero de la tabla Numero identificador de la entrada Número identificador de cambio la unidad de salida	Parámetro de salida a la unidad deseada
 Daily load	Este fichero representa una calculadora	Variables de entrada para calculo	Variable a calcular
 Type65c-2	Este fichero representa un graficador	Variables eje izquierdo Variables eje derecho Intervalo de tiempo: 15 min	Variables eje izquierdo Variables eje derecho

### Esquema de la instalación

El esquema de la instalación se representa en la siguiente **figura 14**.















**Figura 14.** Esquema de la instalación de ACS.

En la figura anterior las líneas continuas azules se corresponden a los flujos de agua fría del sistema de producción de ACS, las líneas continuas rojas el flujo de agua caliente y las líneas continuas amarillas el flujo de agua retornada. En discontinuo se han establecido las distintas variables a graficar y las líneas de temperatura ambiente del tiempo de Bilbao. Para el caso de la caldera se han graficado la temperatura de la caldera, la energía térmica aportada para calentar al agua. Para las tuberías las pérdidas térmicas ambientales y para el depósito de ACS las pérdidas térmicas y la temperatura de demanda

En la simulación se ha tenido en cuenta el consumo de la caldera para satisfacer la demanda de ACS para 1 m<sup>3</sup> del 10 de febrero y poner el depósito a temperaturas cercanas a 65 °C, se han establecido caudales de la bomba para este consumo de 1 m<sup>3</sup> en 15 min y se ha variado el volumen del depósito para el cálculo de las pérdidas del depósito. Los valores del resto de variables de las distintas constantes de la simulación se recogen en **tabla 15**.

**Tabla 15.** Valores de los distintos parámetros de los elementos del programa de TRNSYS.

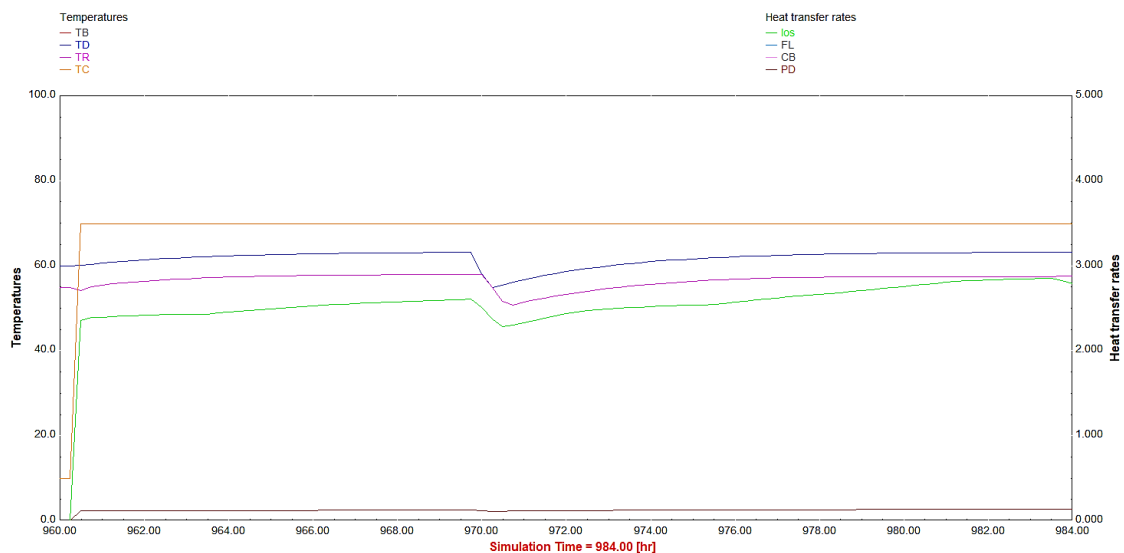
Type	Parámetros y entradas
 Type700	Set point 70 °c Señal de control 1 Calor específico 4.18 kg/kg k
 Primario consumo	Flujo 0.95 kg/s Temperatura del fluido la temperatura de red Potencia 0.4 kW Eficiencia de la bomba 0.75
 Primario	Flujo 0.24 kg/s Temperatura del fluido 55 °C Potencia 0.4 kW Eficiencia de la bomba 0.75
 Secundario	Flujo 0.1 kg/s Temperatura del fluido 55 °C Potencia 0.4 kW Eficiencia de la bomba 0.75
 Consumo	Flujo 1.09 kg/s Temperatura del fluido 45 °C Potencia 0.06 kW Eficiencia de la bomba 0.75
 Retorno	Flujo 0.12 kg/s Temperatura del fluido 50 °C Potencia 0.06 kW Eficiencia de la bomba 0.75
 Type4c	Volumen del tanque 1.5 m3 Densidad del fluido 985.65 kg/m3 Calor específico 4.18 KJ/kg K Coeficiente de pérdidas del tanque 0.32 W/ m2 K Altura del nodo 1.1 m Potencia del calentador auxiliar 0 kW Temperatura inicial del nodo 60°C
 Retorno-3	Diámetro interior 0.025 m Diámetro exterior 0.018 m Largo de la tubería 184 m Espesor del aislamiento 0.3 m

 Impulso	Diámetro interior 0.032 m Diámetro exterior 0.0232 m Largo de la tubería 184 m Espesor del aislamiento 0.3 m
 Type91	Eficacia del intercambiador de calor 0.6
 Type649	Número de entradas 2
 Type14h	Señal 1 Hora 9.75 (9:45)

Nota: La simulación se ha realizado para un día y se ha extrapolado al año variando las temperaturas de red y el volumen del depósito de 1500 L a 500 L

## Resultados

Los resultados de la simulación para el 10 de marzo se representan en la gráfica siguiente

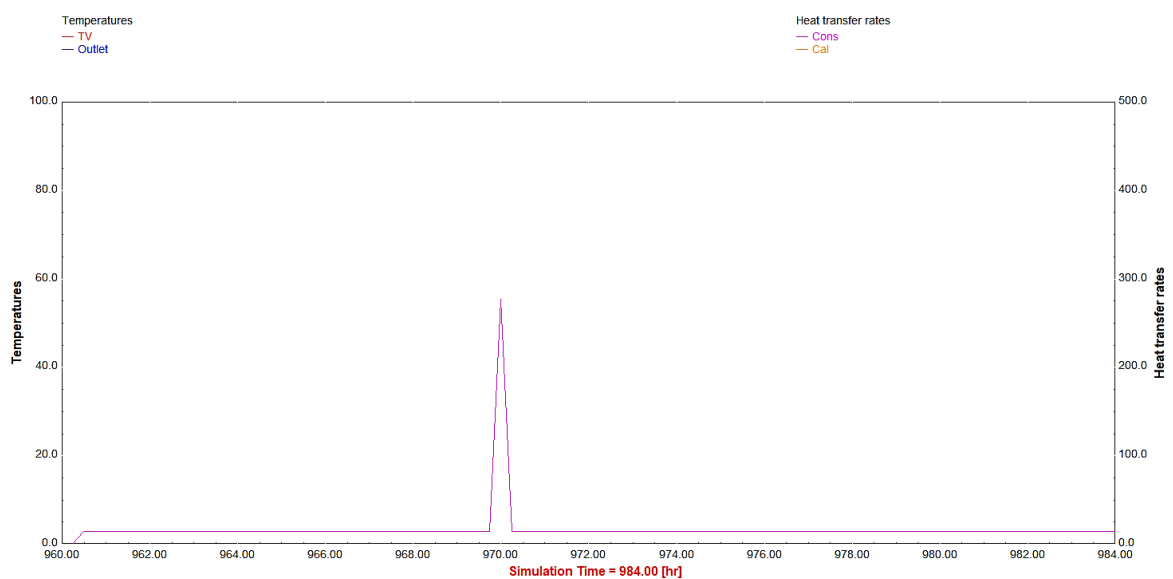


**Gráfica 22.** Variación de las temperaturas del depósito, de retorno y las pérdidas térmicas del depósito y de la recirculación del sistema de ACS.

En la gráfica siguiente se observan las distintas temperaturas del depósito (línea azul), la temperatura de recirculación (línea rosa), la temperatura de la caldera (línea amarilla),

las pérdidas del depósito (línea marrón) y las pérdidas de recirculación línea verde. En ella se observa cuando se da el consumo de 1 m<sup>3</sup> a las 9:45 se observa un descenso de las temperaturas del depósito, de recirculación y de las pérdidas de recirculación, las pérdidas del depósito permanecen casi constantes en valores cercanos a 0.13 kW y las pérdidas de recirculación en 2.5 kW. Con respecto a la temperatura del depósito esta permanece en valores próximos a 62.9 °C y la temperatura de recirculación en 57.90 °C.

Con respecto al consumo de la caldera sus valores se representan en la **gráfica 23**.



**Gráfica 23.** Variación del consumo de la caldera de condensación.

En la gráfica anterior se observa que el consumo de la caldera se mantiene en valores de 15.03 kW casi todo el día tanto para las pérdidas del depósito como las de recirculación y en el momento que se da el consumo de ACS de 1 m<sup>3</sup> el consumo de la caldera supone 273.1 kW.

### Resultados anuales

Los distintos parámetros anuales y los rendimientos se reflejan en la **tabla 16** y **tabla 17**.

**Tabla 16.** Consumo de ACS, consumo de bomba, pérdidas de recirculación y pérdidas de depósito.

Mes	Consumo ACS (kWh)	P. recirculación (kWh)	C. bomba (kWh)	P. dep vol. 1500 L (kWh)	P. dep vol. 1000 L (kWh)	P. dep. vol. 500 L (kWh)
Enero	5813.92	1998.52	89.31	116.51	90.00	58.99
Febrero	5813.92	1762.12	80.64	100.49	77.66	50.92
Marzo	5789.90	1671.85	80.67	100.69	77.86	51.09
Abril	4982.99	1555.24	80.67	84.08	65.06	42.76
Mayo	5290.44	1473.85	80.67	77.31	59.87	39.39
Junio	4657.37	1408.37	80.67	66.21	51.32	33.82
Julio	3617.57	1372.78	80.67	63.77	49.45	32.61
Agosto	2959.83	1413.05	80.67	67.48	52.30	34.47
Septiembre	3578.22	1466.57	80.67	72.71	56.31	37.07
Octubre	3983.84	1526.93	80.67	83.77	64.83	42.62
Noviembre	4696.25	1666.69	80.67	95.20	73.61	48.32
Diciembre	6401.84	1766.86	80.67	109.66	84.75	55.58
Anual	57586.11	19082.84	976.65	1037.87	803.02	527.63

En la **tabla 16** se observa que las pérdidas del depósito para volúmenes de 1500 L son superiores al resto de depósitos, es decir cuanto mayor es el depósito mayor son las pérdidas térmicas del depósito, por lo que si se disminuye el tamaño del depósito se aumenta el rendimiento del sistema de ACS como se refleja en la **tabla 17**.

**Tabla 17.** Rendimientos del sistema de ACS y variación de la temperatura del depósito de ACS para distintos volúmenes de acumulación.

Mes	n (1500 L)	n (1000 L)	n (500 L)	T dep (1500 L)	T dep (1000 L)	T dep (500 L)
Enero	72.51%	72.75%	73.03%	62.19	62.37	62.74
Febrero	74.95%	75.17%	75.43%	62.21	62.38	62.75
Marzo	73.91%	74.13%	74.38%	62.22	62.39	62.75
Abril	73.01%	73.21%	73.45%	62.24	62.41	62.77

Mayo	74.55%	74.73%	74.95%	62.26	62.43	62.78
Junio	73.72%	73.89%	74.10%	62.28	62.44	62.79
Julio	68.43%	68.62%	68.84%	62.29	62.45	62.79
Agosto	63.43%	63.63%	63.88%	62.29	62.45	62.79
Septiembre	67.45%	67.66%	67.91%	62.27	62.43	62.78
Octubre	68.03%	68.25%	68.51%	62.25	62.42	62.77
Noviembre	70.61%	70.84%	71.11%	62.22	62.40	62.76
Diciembre	74.99%	75.21%	75.47%	62.21	62.38	62.75
Anual	71.85%	72.06%	72.31%	62.24	62.41	62.77


En la tabla anterior se observa que al emplear un depósito de 1500 L los rendimientos mensuales van de 63 % a 74 %, siendo muy superiores el mes de diciembre donde alcanza valores de 74.99 % debido a la alta demanda de ACS (90 m<sup>3</sup>), si el volumen se disminuye del depósito se disminuye se obtiene mensualmente un incremento del rendimiento del 0.22 % y si este se disminuye a 500 L el rendimiento se incrementa un 0.50 %. Anualmente este rendimiento para depósitos de 1500 L se incrementa de 73.25 % a 73.70 % al emplear depósitos de 500 L. Con respecto a las temperaturas apenas se observa ningún cambio de las temperaturas del depósito y esta se mantiene en torno a valores de 62.20 °C con un depósito de 1500 L y se incrementa 0.05 °C con un depósito de 500 L.

### 3.6.3 Optimización mediante cambios horarios de encendido del sistema de ACS

Los parámetros y el esquema de la instalación de esta optimización son similares a los de la **tabla 14** y **figura 14**, salvo el elemento que se representa en la tabla siguiente.



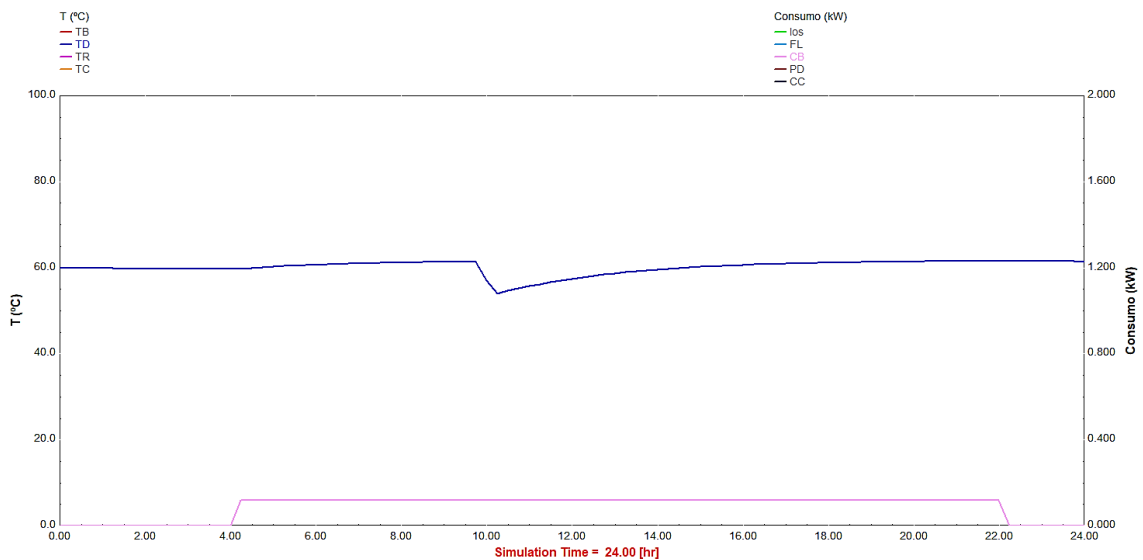
**Tabla 18.** Elemento de TRNSYS para el control de encendido de la caldera y de la bomba.

Type	Descripción	Parámetros y entradas	Parámetro modificado	Parámetro de salida
 Type14h-2	Este fichero es un control de señal que nos permite controlar la señal de encendido a distintas franjas horarias	Hora Valor de señal de control	Hora 4 a 22 Señal de control 1	Valor de señal instantáneo

El elemento de la tabla anterior se empleado para controlar el encendido de la caldera y de la bomba de recirculación.

## Resultados

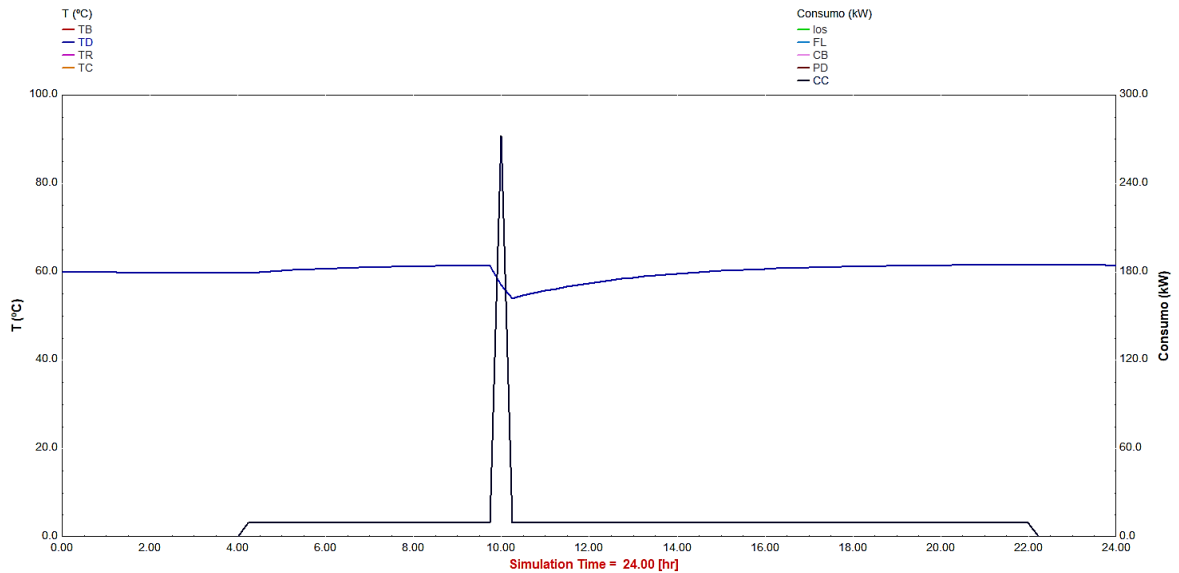
Los resultados del 10 de febrero se reflejan en la gráfica siguiente



**Gráfica 24.** Variación de la temperatura del depósito y consumo de la bomba.

En la **gráfica 24** se observa que la temperatura del depósito a apenas varía y se mantiene en valores de 60 °C salvo a la hora de consumo de 1 m<sup>3</sup> (9:45). El consumo

de la bomba debido a la señal de control de 4:00 a 22:00 se mantiene en 0.12 kW. El consumo de caldera se refleja en la **gráfica 25**.



**Gráfica 25.** Variación del consumo de ACS y de la temperatura del depósito.

En la gráfica anterior se observa que el consumo de caldera cuando esta encendida se mantiene 10.01 kW salvo en el momento de consumo de ACS donde asciende a 272.80 kW. Con respecto a la temperatura del depósito se observa que esta va descendiendo de 60 °C a 58 °C y se vuelve a incrementar a 61.50 °C en el momento que se enciende la caldera. Esta simulación se ha realizado para los distintos meses a las distintas temperaturas de red correspondientes.

### Resultados anuales

Los distintos parámetros que se obtienen en la simulación de TRNSYS se reflejan en la **tabla 19** y **tabla 20**.

**Tabla 19.** Variación de las temperaturas del depósito de recirculación, pérdidas térmicas y consumo sin cambio de señal.

Mes	T depósito (°C)	T retorno (°C)	Consumo ACS (kWh)	Consumo Bomba (kWh)	P. recirculación (kWh)	P. depósito (kWh)
Enero	62.19	56.85	5813.92	89.28	2308.86	117.75
Febrero	62.21	57.00	5813.92	80.64	1996.41	101.65
Marzo	62.22	57.26	5789.90	89.28	2010.88	101.97
Abril	62.24	57.62	4982.99	86.40	1693.26	85.31
Mayo	62.26	57.87	5290.44	89.28	1568.52	78.59
Junio	62.28	58.11	4657.37	86.40	1355.25	67.45
Julio	62.29	58.23	3617.57	89.28	1312.81	65.05
Agosto	62.29	58.14	2959.83	89.28	1382.48	68.76
Septiembre	62.27	57.93	3578.22	86.40	1478.33	73.95
Octubre	62.25	57.70	3983.84	89.28	1690.63	85.04
Noviembre	62.22	57.32	4696.25	86.40	1903.49	96.43
Diciembre	62.20	57.03	6401.84	89.28	2180.52	110.94
Anual	<b>62.24</b>	<b>57.59</b>	<b>57586.11</b>	<b>1051.20</b>	<b>20881.45</b>	<b>1052.89</b>

En la **tabla 19** se observa que tanto las temperaturas del depósito como las de retorno apenas varían y se mantienen en torno a 62 °C y 57.6 °C, con respecto al consumo de la bomba mensualmente se mantiene en valores de 86-89 kWh, las pérdidas del depósito en los meses como enero y diciembre alcanzan valores altos de 117.75 kWh y 110.94 kWh, el resto de meses varia de 65-101 kWh, las pérdidas de recirculación se mantienen en valores de 1312-2308kWh, siendo su valor superior en enero de 2308.86 kWh debido a una bajas temperatura de ambiente y las pérdidas del depósito varian de 65.05-117.75 kWh. De forma anual se obtienen 1052.89 kWh de pérdidas térmicas de depósito y un alto valor de pérdidas térmicas de recirculación de 20881.45 kWh, un bajo consumo de bomba de 1051.20 kWh y unas bajas pérdidas de depósito de 1052.89 kWh.

**Tabla 20.** Temperaturas de depósito y retorno, consumos y pérdidas térmicas mediante cambio de señal de 4:00 a 22:00.

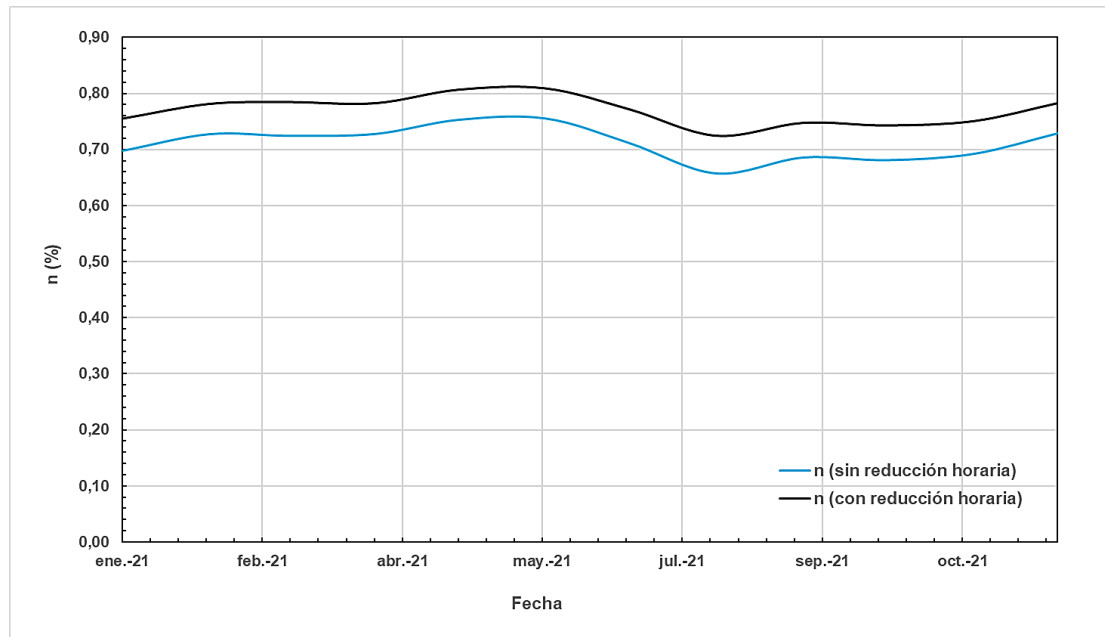
Mes	T depósito (°C)	T retorno (°C)	Consumo ACS (kWh)	Consumo Bomba (kWh)	P. recirculación (kWh)	P. depósito (kWh)
Enero	62.04	45.46	5813.92	66.96	1699.62	117.75
Febrero	62.08	46.04	5813.92	60.48	1466.74	101.65
Marzo	62.11	47.41	5789.90	66.96	1422.35	101.97
Abril	62.15	49.23	4982.99	64.80	1236.91	85.31
Mayo	62.17	50.36	5290.44	66.96	1125.56	78.59
Junio	62.20	51.61	4657.37	64.80	970.73	67.45
Julio	62.21	52.28	3617.57	66.96	939.41	65.05
Agosto	62.20	51.71	2959.83	66.96	987.80	68.76
Septiembre	62.18	50.81	3578.22	64.80	1069.08	73.95
Octubre	62.15	49.60	3983.84	66.96	1225.96	85.04
Noviembre	62.11	47.86	4696.25	64.80	1398.54	96.43
Diciembre	62.08	46.26	6401.84	66.96	1601.78	110.94
Anual	<b>62.04</b>	<b>45.46</b>	<b>57586.11</b>	<b>788.40</b>	<b>15144.49</b>	<b>1052.89</b>

En la tabla anterior se observa que las temperaturas del depósito mensualmente a apenas varían y se mantiene en valores de 62 °C, esto mismo ocurre con las temperaturas de retorno que se mantiene en valores cercanos a 57 °C en los meses más fríos como enero y diciembre y llega a 59 °C en los meses como junio y julio. Con respecto al consumo de la bomba este apenas varía y se mantiene en valores 86-89 kWh, las pérdidas de recirculación varían de 939kWh a 1601 kWh, siendo sus valores inferiores en los meses de junio, julio y agosto en torno a 980 kWh. Con respecto a las pérdidas del depósito las pérdidas mayores se dan en enero y en diciembre con unos valores de 117.75 kWh y 110.94 kWh respectivamente, el resto de meses se mantiene en torno a 65.05-96.43 kWh.

Todos estos parámetros anteriormente mencionados suponen un total de consumo total de ACS de 57586.11 kWh, un consumo de bomba total de 788.40 kWh inferior al caso anterior (**tabla 19**) donde se mantenía la bomba encendida todo el día, unas pérdidas térmicas de recirculación de 15144.49 kWh inferiores a los del caso anterior

(**tabla 19**) debido al primer principio de termodinámica y unas pérdidas térmicas del depósito iguales a las del caso anterior de 1052.89 kWh.

Todo esto anteriormente mencionado influye en el rendimiento del sistema de ACS y se refleja en la gráfica siguiente.



**Gráfica 26.** Variación del rendimiento anual del sistema de ACS.

En la **gráfica 26** se observa que el rendimiento anual al no aplicarle la franja horaria de encendido tanto de la caldera como de la bomba de 4:00 a 22:00, mantiene unos rendimientos de 0.68 y 0.72, siendo el peor rendimiento en agosto de 0.68 y el mayor rendimiento en junio de 0.76. Con la aplicación del encendido tanto de la bomba y de la caldera a la franja horaria anteriormente mencionada se obtienen unos rendimientos superiores, incrementando el rendimiento unos 0.05-0.06 cada mes al reducir el consumo de la bomba y las pérdidas térmicas de recirculación. Anualmente se pasa de un rendimiento de 0.71 a 0.77.




### 3.6.4 Optimización mediante bomba de calor y paneles solares fotovoltaicos

Para la optimización del sistema de ACS mediante paneles solares térmicos se ha simulado el sistema mediante el programa TRNSYS 16.1.

### 3.6.4.1 Descripción de unidades del TRNSYS

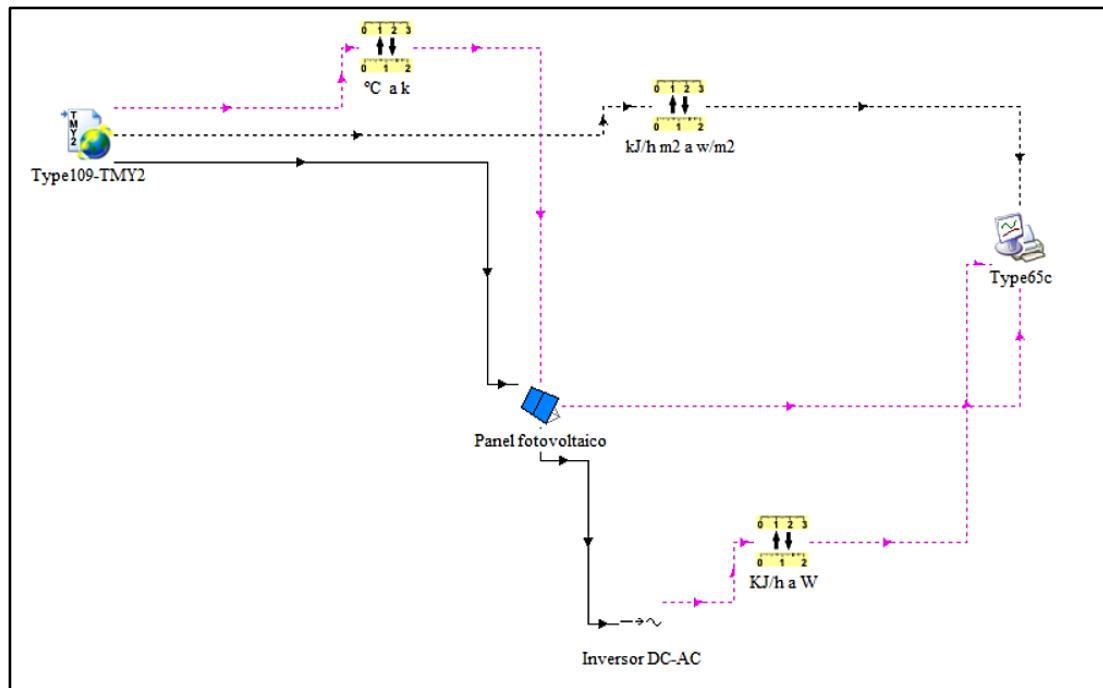
Los elementos para la simulación del sistema fotovoltaico empleados la obtención de energía para la bomba de calor se representa en la siguiente **tabla 21**.

**Tabla 21.** Elementos del TRNSYS de instalación de paneles solares térmicos.

Type	Descripción	Parámetros entrada y modificados	Parámetros salida
 Type109-TMY2	Este fichero es un procesador que proporciona dato de entrada la radiación solar. y la temperatura ambiente.	Pendiente de superficie: 43 ° Archivo de clima: Bilbao	Haz de radiación Radiación difusa Radiación total en superficie inclinada Temperatura ambiente
 Type94a	Este fichero representa un panel solar fotovoltaico	Radiación difusa Haz de radiación Radiación total Temperatura ambiente Corriente de cortocircuito: 11.86 A Voltaje de circuito abierto: 22.7 V Voltaje máximo a potencia referencia: 18.2 V Corriente máxima a potencia de referencia: 11 A Nº células: 72 Nº de módulos en serie :16 Área del módulo: 1.32 m2 [22]	Potencia máxima de salida
 Type48a	Este fichero representa inversor de corriente de DC-AC	Potencia máxima de salida	Potencia para red o uso

## Esquema de la instalación

El esquema de la instalación del sistema fotovoltaico se representa en la siguiente **figura 21**.

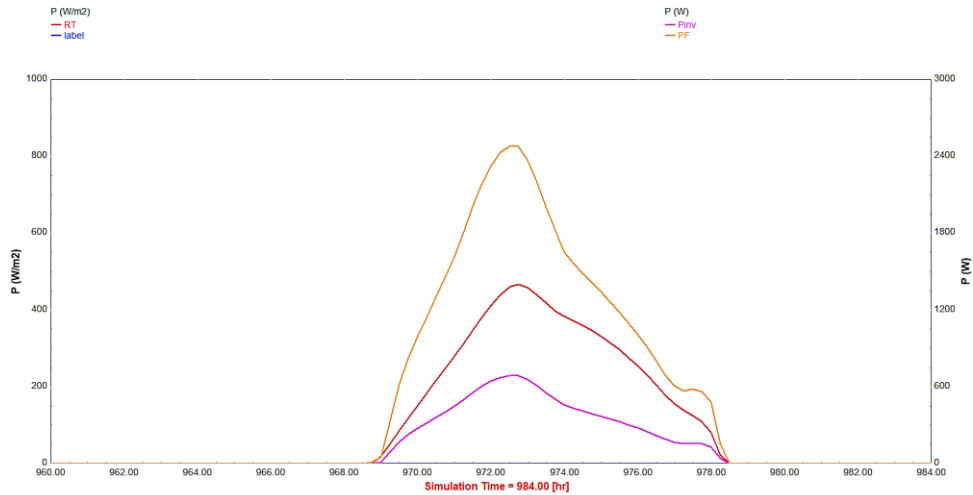


**Figura 15.** Instalación de paneles solares fotovoltaicos para sistema de ACS.

En la anterior figura se observan las distintas conexiones desde el elemento que nos proporciona la radiación de Portugalete (Bilbao) a los paneles solares fotovoltaicos y al inversor de corriente de continua a alterna. Y los elementos de conversión de unidades y graficador.

## Resultados

Los resultados de la radiación solar de Portugalete el 10 de febrero y la potencia obtenida se reflejan en la **gráfica 27**.



**Gráfica 27.** Variación de la radiación solar y potencia generada por los paneles solares fotovoltaicos.

En la gráfica anterior se observa que la radiación solar se da desde las 8:00 hasta las 18:00, esta radiación en esta franja horaria se va incrementando hasta alcanzar un máximo de 465.3  $\text{W/m}^2$ , con lo que se consigue una potencia en los paneles fotovoltaicos de 2482  $\text{W}$  y una potencia de red útil (inversor) de 689.1  $\text{W}$ . Esto se extrapola de forma anual y la cantidad de energía que se obtiene se recoge en la tabla siguiente.



**Tabla 22.** Variación de la radiación solar, de la potencia y de la energía generada para la red del sistema de paneles fotovoltaicos.

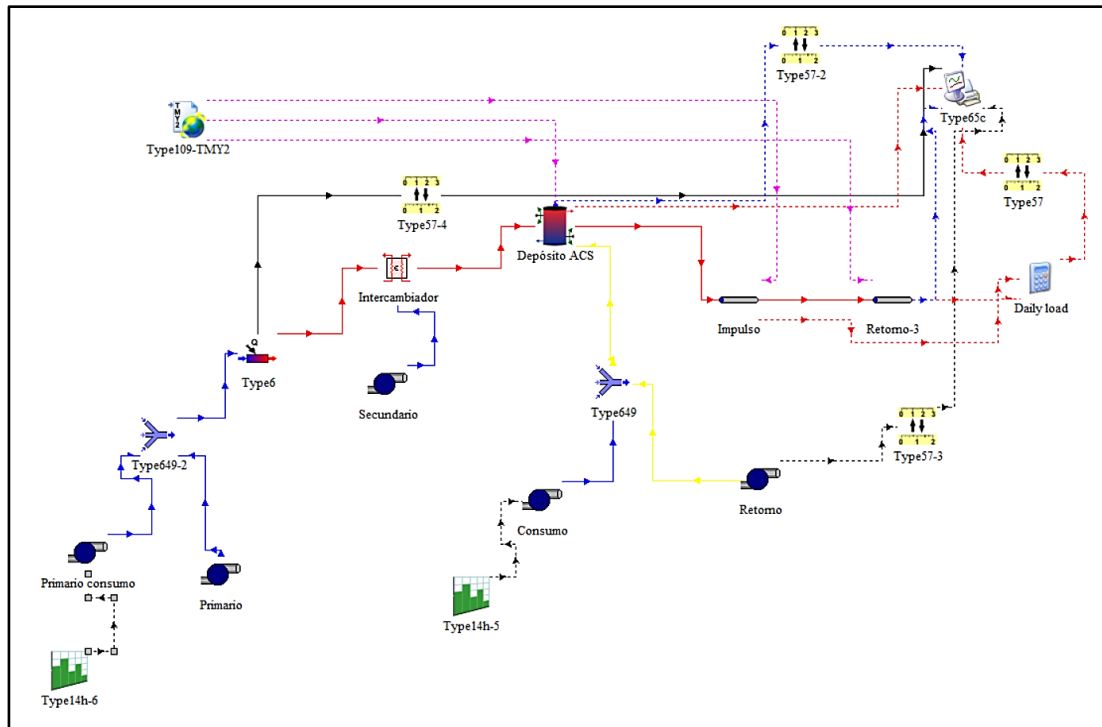
Mes	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Potencia generada (W)	Potencia para red (W)	Energía de radiación (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía generada (kWh)	Energía para red (kWh)
Enero	179164.14	877401.80	243722.92	44.79	219.35	60.93
Febrero	235324.18	1032099.98	286694.67	58.83	258.02	71.67
Marzo	416552.32	1543271.78	428686.95	104.14	385.82	107.17
Abril	503132.38	1558548.30	432930.43	125.78	389.64	108.23
Mayo	647456.49	1758564.19	488490.44	161.86	439.64	122.12
Junio	676900.52	1703747.56	473263.59	169.23	425.94	118.32
Julio	688342.06	1755377.47	487605.24	172.09	438.84	121.90
Agosto	598178.83	1670041.52	463900.79	149.54	417.51	115.98
Septiembre	483056.35	1598600.06	444055.93	120.76	399.65	111.01
Octubre	327166.65	1292372.53	358992.66	81.79	323.09	89.75
Noviembre	200211.63	949292.40	263692.55	50.05	237.32	65.92
Diciembre	152492.11	779570.84	216547.63	38.12	194.89	54.14
Anual	<b>5107977.67</b>	<b>16518888.44</b>	<b>4588583.79</b>	<b>1276.99</b>	<b>4129.72</b>	<b>1147.15</b>

En la tabla anterior se observa que los meses de mayor radiación son mayo, junio y julio donde la radiación total es de 647456.49 W/m<sup>2</sup>, 676900.52 W/m<sup>2</sup> y 688342.06 W/m<sup>2</sup> esto conlleva una producción de energía para la red de 122.12 kWh, 118.32 kWh y 121.90. el resto de meses la radiación es inferior y se produce una energía que varía de 54.14-115.98 kWh.

Anualmente con radiación total de 5107977.67 W/m<sup>2</sup> se genera una cantidad total de energía para red o uso doméstico de 1147.15 kWh. Esto nos permite un ahorro de energía eléctrica y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### Sistema de bomba de calor

El esquema de la bomba de calor es similar al sistema de ACS, este se representa en la siguiente **figura 16**.

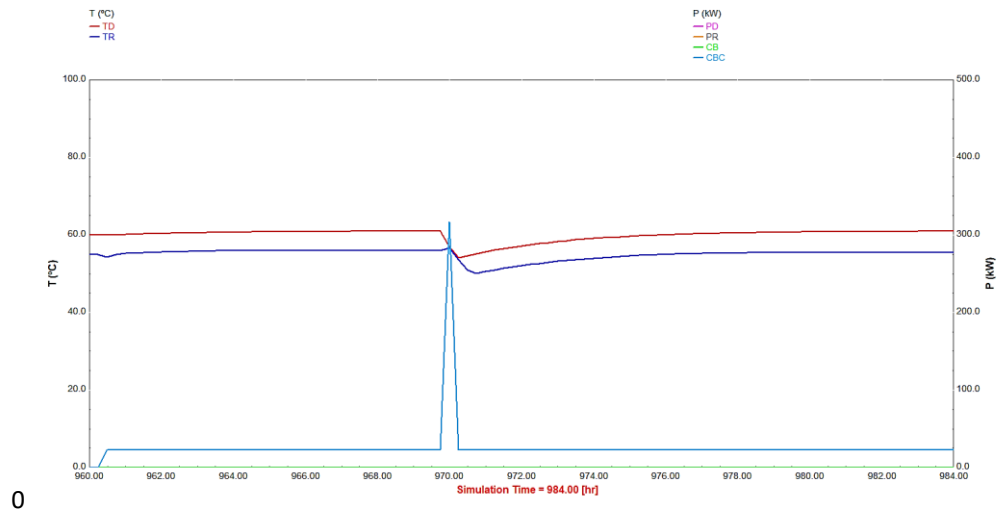


**Figura 16.** Esquema de la instalación para la producción de ACS con bomba de calor.

En la figura anterior se observa que el esquema y las conexiones son similares al esquema de la caldera de condensación (**figura 14**), solo que en este caso se emplea el type 6 como elemento representativo de la bomba de calor con una temperatura de consigna de 78 °C.

### Resultados

Los resultados de la simulación se representan en la siguiente **gráfica 28**.

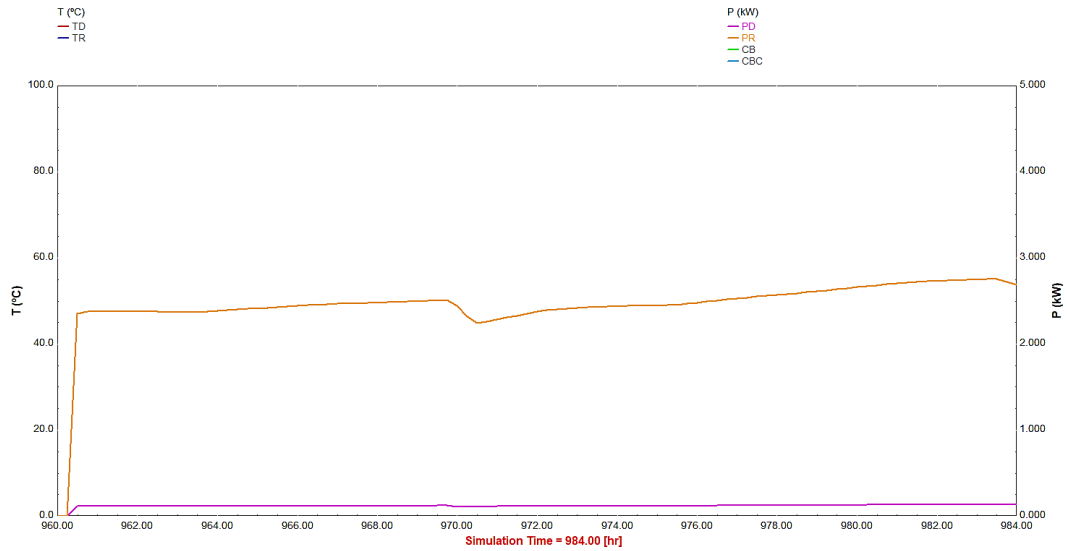


**Gráfica 28.** Variación del consumo de caldera, de la temperatura del depósito y de la temperatura del retorno.

En la gráfica anterior se observa que la temperatura del depósito a lo largo del día se mantiene en valores de 61-62 °C salvo el momento del consumo a las 9:45 (1 m<sup>3</sup> de ACS) donde se reduce a 57 °C, esto mismo ocurra con la temperatura de recirculación que se mantiene en 56-57 °C y se reduce a 53 °C el momento de consumo de ACS. Con respecto al consumo de la bomba de calor para la demanda de ACS se consume 317.5 kW y para el resto del día para hacer frente a las pérdidas del sistema se mantiene en valores de 23 kW. Esto al tratarse una bomba de calor y tener un coeficiente superior a la unidad (2.3 COP) supone un consumo de 138.04 kW para la demanda de ACS y 10 kW para las pérdidas térmicas.

Nota: En el programa de trnsys el type 6 no permite una eficiencia superior a la unidad por eso se divide la potencia suministrada por el COP.

Las pérdidas térmicas tanto de la recirculación como las del depósito y el consumo de la bomba se representan en la **gráfica 29**.



**Gráfica 29.** Variación del consumo de la bomba, de las pérdidas térmicas y de recirculación del sistema de ACS.

En la **gráfica 29** el consumo de la bomba se mantiene constante en torno a 0.12 kW, las pérdidas del depósito apenas varían y oscilan en valores de 0.12-0.13 kW y las pérdidas de recirculación son bastante altas comparadas a los valores anteriores de 2.44 kW.

### Resultados anuales

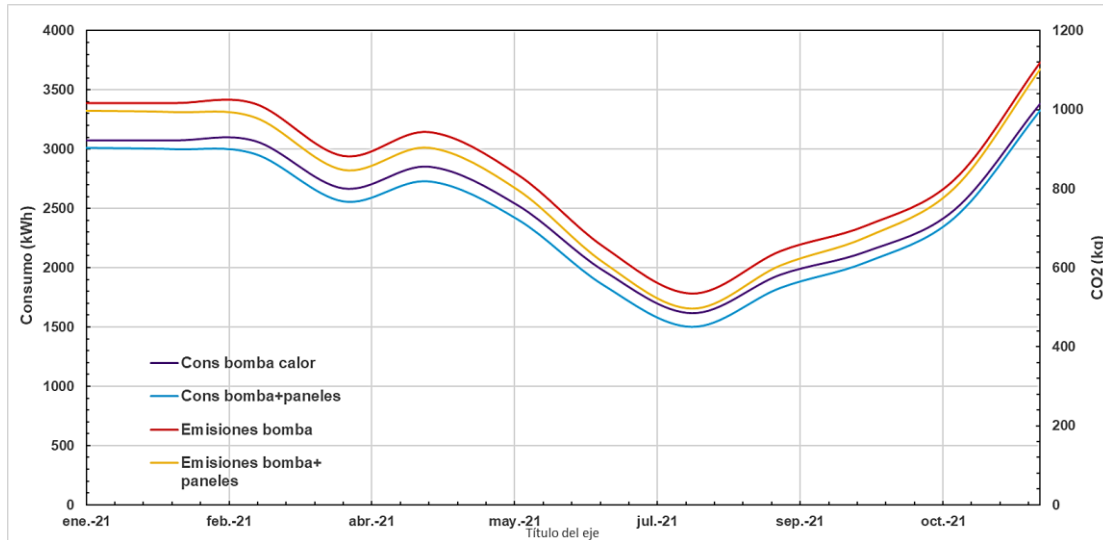
Los resultados anteriores simulados para el 10 de febrero se extrapolan anualmente y se recogen en la **tabla 23**.

**Tabla 23.** Variación del consumo de la bomba de calor, del consumo de la bomba y de las pérdidas térmicas del depósito y del sistema de recirculación.

Mes	T depósito (°C)	T retorno (°C)	Consumo ACS (kWh)	Consumo Bomba (kWh)	P. recirculación (kWh)	P. depósito (kWh)
Enero	60.14	54.17	3072.07	89.28	2242.38	113.88
Febrero	60.16	54.45	3072.07	80.64	1936.02	98.13
Marzo	60.17	54.99	3067.74	89.28	1943.96	98.10
Abril	60.20	55.71	2667.99	86.40	1628.52	81.56
Mayo	60.22	56.20	2850.59	89.28	1501.85	74.71
Junio	60.24	56.67	2526.42	86.40	1290.77	63.70
Julio	60.25	56.91	1976.48	89.28	1245.82	61.17
Agosto	60.24	56.72	1617.12	89.28	1315.86	64.87
Septiembre	60.22	56.32	1941.03	86.40	1413.56	70.20
Octubre	60.21	55.87	2135.73	89.28	1623.89	81.17
Noviembre	60.18	55.11	2488.28	86.40	1838.74	92.68
Diciembre	60.16	54.53	3382.73	89.28	2113.47	107.06
Anual	60.20	55.64	30798.27	1051.20	20094.83	1007.24

En la tabla anterior se observa que tanto la temperatura del depósito como la de recirculación mensualmente apenas varían y se mantienen en valores cercanos de 60.24 °C y 55.72 °C respectivamente. El consumo de la bomba se mantiene en valores de 89 kWh, las pérdidas térmicas depósito de ACS varían de 64.87-113.88 kWh, el mes de mayores pérdidas se corresponde al mes de enero de 113.88 kWh. Las pérdidas térmicas de recirculación se mantienen en valores de 1245.82-1413.56 kWh los meses más calurosos, en julio y septiembre, el mes de mayores pérdidas de recirculación es enero donde esta alcanzan valores de 2242.38 kWh. Anualmente el consumo de la bomba supone un total de 1051.20 kWh (en este consumo se asumen tanto las pérdidas térmicas como el consumo de ACS), las pérdidas del depósito 1007.24 kWh, las pérdidas de recirculación 20094.83 kWh y la energía de la bomba de calor para satisfacer la demanda de ACS supone un total de 30798.27 kWh.

Con los valores obtenidos de la energía de los paneles solares y la bomba de calor se obtiene la siguiente **gráfica 30**.



**Gráfica 30.** Variación del consumo de la bomba y de las emisiones de CO2 con los paneles fotovoltaicos.

En la gráfica anterior se observa que el consumo de la bomba con los 16 paneles fotovoltaicos se reduce mensualmente unos 60-110 kWh pasando en los días de mayor consumo como enero (89 m3 ACS) de 3072 kWh a 3011 kWh, este efecto también se refleja en las emisiones de CO2 que se reducen alrededor de 32 kg mensualmente, esto anualmente implica una reducción de 10194.23 kg de CO2 a 9814.52 kg de CO2 unos **379.71 kg**. Esta reducción de energía supone unos menores costes anuales tal como y se refleja en la tabla siguiente

**Tabla 24.** Variación de los costes de la producción de ACS mediante el empleo de bomba de calor y paneles fotovoltaicos.

Mes	€ bomba	€ bomba y paneles
Enero	409.07	400.96
Febrero	275.73	269.30
Marzo	338.36	326.53
Abril	357.60	343.10
Mayo	387.08	370.49
Junio	343.06	326.99
Julio	285.20	267.61
Agosto	255.10	236.80
Septiembre	409.32	385.91
Octubre	392.16	375.68
Noviembre	605.88	589.82
Diciembre	1056.40	1039.49
Anual	<b>5114.95</b>	<b>4932.70</b>

En la tabla anterior se observa que el coste menor se da en agosto de 255.10 € debido a una baja demanda de ACS, en esta fecha con los paneles fotovoltaicos el coste se reduce a 236.80 €. El coste mayor se da en diciembre de 1056.40 €, este se reduce a 1039.49 € con los paneles fotovoltaicos. El resto de meses los costes solo con la bomba de calor varían de 285.20-605.88 € pero con la energía producida por los paneles fotovoltaicos este coste se reduce en valores de 267.61-589.82, unos 8-23€ de ahorro mensual. Anualmente el coste pasa de 5114.95 € a 4932.70 € con los paneles fotovoltaicos, esto supone un ahorro anual de 182.26 €.

### 3.7 CONCLUSIONES

Para un consumo anual de 942 m<sup>3</sup> de ACS para los diferentes sistemas de optimización como del sistema actual de producción de ACS los resultados anuales tantos de las

pérdidas térmicas como de las energías térmicas de los distintos elementos del sistema de ACS se recogen en la **tabla 25**.

**Tabla 25.** Sistema centralizado actual y sistemas de optimización de ACS.

	Energía ACS (kWh)	Pérdidas recirculación (kWh)	Pérdidas depósito ACS (kWh)	Consumo bomba (kwh)	Consumo caldera (kWh)	Consumo bomba de calor (kWh)
Sistema centralizado actual	46026.64	16406.25	1324.26	1768.74	46351.1	-
Sistema actual trnsys	57586.11	19082.84	1037.87	1051.20	57992.05	-
Sistema dep. ACS 1000 L	57586.11	19082.84	803.02	1051.20	57992.05	-
Sistema dep ACS 500 L	57586.11	19082.84	527.63	1051.20	57992.05	-
Sistema cambio horario	57586.11	15144.49	1037.87	788.40	57992.05	-
Sistema bomba de calor trnsys	57586.11	20094.83	1007.24	1051.20	-	30798.27
Sistema bomba de calor + paneles	<b>57586.11</b>	<b>20094.83</b>	<b>1007.24</b>	<b>1051.20</b>	-	<b>29651.12</b>

En la tabla anterior se observa que los valores de los distintos parámetros obtenidos experimentalmente son casi similares a los simulados por el programa de trnsys.

- Por medio de la reducción del volumen del depósito se consigue minimizar las pérdidas del depósito con lo que se consigue unas temperaturas de depósito más estables con menos variaciones del valor de 62 °C, estas reducciones de las pérdidas de recirculación son del orden **234.85 kWh** para un depósito de 1000 L



y de **510.24 kWh** lo que implica un aumento del rendimiento general del sistema de ACS de un **0.2 %** y 0.5 % respectivamente.

- Por medio del cambio horario de 4 a 22 h de encendido tanto de la caldera como de la bomba de recirculación se consiguen reducir las pérdidas de recirculación y el consumo de la bomba y sus costes. Las pérdidas de recirculación se reducen unos **5736.96 kWh** y el consumo de la bomba de la bomba se reduce **262.80 kWh**, esto implica un incremento del rendimiento del sistema actual de **5.75 %**.
- Por medio de la bomba de calor se consigue reducir la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS debido al COP de la bomba de calor de 2.3, esta energía se reduce unos **26339.52 kWh** lo que implica reducción de los costes de **4891.35 €** y una reducción del CO<sub>2</sub> de **5056.65 kg**. Por medio del empleo de paneles fotovoltaicos esta energía se reduce a un más unos **27487.02 kWh** y las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen unos **5436.36 kg**, el único inconveniente es la necesidad de una revisión periódica anual de mantenimiento de dichos paneles del valor de unos 100 € para 16 paneles fotovoltaicos [23].

#### 4. COSTES TFG

Los costes y el número de horas para la realización del trabajo del final de grado (TFG) se resumen en la **tabla 26** siguiente.

**Tabla 26.** Número de horas y costes del TFG.

	<b>Nº horas</b>	<b>€ material</b>
	250	149 € office
	100	2530 € trnsys
	-	574 € material (ordenador)
<b>Total</b>	<b>350</b>	<b>3253 €</b>

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vivienda social efectiva de Portugalete. Visitado el día 19/10/2021. URL: [https://www.eldiario.es/euskadi/euskadi/vivienda-construccion-energeticamente-eficientes-portugalete\\_1\\_3629891.html](https://www.eldiario.es/euskadi/euskadi/vivienda-construccion-energeticamente-eficientes-portugalete_1_3629891.html)

- [2] Depósito de ACS Lapesa. Visitado el día 21/10/2021. URL:  
[https://www.lapesa.com/sites/default/files/ARCHIVOS\\_PRODUCTO/pdf/MASTER%20INOX%20MXV-RB%20-%20MXV%201500%20RB.pdf](https://www.lapesa.com/sites/default/files/ARCHIVOS_PRODUCTO/pdf/MASTER%20INOX%20MXV-RB%20-%20MXV%201500%20RB.pdf)
- [3] Caldera de condensación BAXI Ecotherm Plus WGB 70. Visitado el 19/10/2021. URL:  
<https://www.baxi.es/-/media/inriver/21890-3597.pdf>
- [4] Bomba de recirculación de ACS Wilo top z30 10. Visitado el 20/11/2021 URL:  
<https://wilo.com/ar/es/Productos-y-aplicaciones/es/productos-y-experiencia/wilo-top-z/top-z-30-10-1-230-v-pn-10-rg>
- [5] Sensores de temperatura-resistencia. Visitado el día 18/10/2021. Url:  
<https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-temperatura-resistencia-80543.html>
- [6] Epidemiología de la legionelosis. J. V. Rafart y X. M. Gómez (2002). Pág. 274-275.
- [7] Transferencia de calor y masa. Y. A. Cengel y A. J. Ghajar (2011). Ed Mcgrawhill. Pág. 11-13.
- [8] Water supply. specification for indirectly heated unvented (closed) storage Water. BS EN 12897 (2016). Pag. 24-25.
- [9] Clima promedio en Portugalete durante el 2020. Visitado el 21/10/2021. URL:  
<https://es.weatherspark.com/y/37507/Clima-promedio-en-Portugalete-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [10] Mecánica de fluidos. R. L. Mott (2006). Ed. Pearson. Pág. 105-111.
- [11] Curva del PVPC. Visitado el 23/07/2022. URL:  
<https://www.esios.ree.es/es/pvpc?date=12-09-2022>
- [12] Documento básico HE ahorro de energía. Ministerio de transportes. movilidad y agenda urbana (2022). Pág. 54-55.
- [13] Altitud de Portugalete Pp 14-15. Visitado el 30/07/2022 URL:  
<https://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuario99/99territ.pdf>
- [14] Guía técnica agua caliente sanitaria central. Ministerio de industria turismo y comercio (2010). Pág. 47-48.
- [15] Rendimiento energético de una caldera. Visitado el 31/06/2022. URL:  
[http://www.scalofrios.es/eficiencia/EE\\_calor/EEI%20Tema%203.%20Rendimiento%20de%20una%20caldera.pdf](http://www.scalofrios.es/eficiencia/EE_calor/EEI%20Tema%203.%20Rendimiento%20de%20una%20caldera.pdf)
- [16] Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para caldera. Ministerio de industria, turismo y comercio (2007). Pág. 21-22.

- [17] Precio del gas natural Repsol. Visitado el 10/09/2022. URL:  
<https://preciogas.com/companias/repsol/tarifas-gas>
- [18] Precio del gas natural Energy. Visitado el 10/09/2022. URL:  
<https://preciogas.com/companias/naturgy/tarifas-gas>
- [19] Análisis comparativo de gases de combustión de caldera bagaceras. M. M. Solares (2012). Pág. 1-2.
- [20] Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. Ministerio de industria, energía y turismo (2016). Pág. 16-17.
- [21] Bomba de calor aerotérmicas. Visitado el 20/10/2022. URL:  
<https://www.ferroli.com/es/products/aeroterminia-alta-potencia/enfriadora-y-bomba-de-calor-aerotermica-rco-rno-45-175>
- [22] Ficha técnica de panel solar fotovoltaico de 200W y 72 células policristalinas. Visitado el 23/03/2021. URL:  
<https://autosolar.es/pdf/ficha-tecnica-panel-200-bauer.pdf>
- [23] Precio del mantenimiento de paneles fotovoltaicos. Visitado el 24/10/2022. URL:  
<https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares>