

# TRABAJO FIN DE GRADO



Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior.

## Calefacción mediante bomba de calor aire-aire frente a caldera de gas con emisores térmicos.

*Autor: Samuel Blanco Bejarano.*

*Tutor: Amancio Moreno Rodríguez.*

Grado en Ingeniería Mecánica. Departamento de  
ingeniería térmica y de fluidos.

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este trabajo no habría sido posible sin la ayuda, los conocimientos y la experiencia de mi profesor y tutor D. Amancio Moreno Rodríguez, a quien agradezco sus correcciones y consejos para hacer todo lo mejor posible.

También quiero agradecer a mi familia y amigos su apoyo incondicional desde el inicio de mis estudios universitarios. Con especial mención a Gema Salvador, por hacer que crea en mí mismo y motivarme, día a día, para que siempre quiera dar lo mejor de mí en cada cosa que hago.

En último lugar me gustaría agradecer a todos los profesores de la Universidad Carlos III de Madrid, que durante mi estancia en la misma me ayudaron en algún momento a conseguir mis objetivos.

## ÍNDICE

<b><u>0. OBJETIVO</u></b> .....	9
<b><u>1. INTRODUCCIÓN</u></b> .....	10
<b><u>2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO</u></b> .....	11
<b><u>3. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS</u></b> .....	12
<b>3.1. Carga térmica de transmisión</b> .....	12
<b>3.2. Carga térmica de renovación</b> .....	17
<b>3.3. Carga térmica de infiltración</b> .....	19
<b>3.4. Carga térmica global y coeficiente de transmisión de calor global de la vivienda</b> .....	20
3.4.1. CARGA TÉRMICA TOTAL.....	20
3.4.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LA VIVIENDA.....	20
<b><u>4. CALEFACCIÓN MEDIANTE CALDERA DE GAS CON EMISORES TÉRMICOS</u></b> .....	21
<b>4.1. Características generales y descripción de la instalación</b> .....	22
<b>4.2. Coste económico producido por la utilización de la caldera</b> .....	24
4.2.1. CÁLCULO DE COSTES VARIABLES: CONSUMO DE GAS NATURAL.....	25
4.2.2. CÁLCULO DE COSTES FIJOS.....	34
4.2.3. COSTE ECONÓMICO, RESULTADOS.....	36
<b>4.3. Impacto ambiental</b> .....	37
4.3.1. CÁLCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	38
4.3.2. IMPACTO AMBIENTAL, RESULTADOS.....	45
<b><u>5. CALEFACCIÓN MEDIANTE BOMBA DE CALOR AIRE-AIRE</u></b> .....	46
<b>5.1. Características generales y descripción del sistema</b> .....	47
<b>5.2. Diseño del ciclo</b> .....	48
<b>5.3. Coste económico de la utilización de la bomba de calor</b> .....	55
5.3.1. POTENCIA ELÉCTRICA REQUERIDA POR LA BOMBA DE CALOR.....	56

5.3.2. CÁLCULO DE COSTES.....	69
5.3.3. COSTE ECONÓMICO DE UTILIZACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR, RESULTADOS.....	72
<b>5.4. Impacto ambiental.....</b>	<b>73</b>
5.4.1. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII).....	74
5.4.2. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID).....	75
5.4.3. POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC).....	78
<b><u>6. SIMULACIÓN NUMÉRICA.....</u></b>	<b>79</b>
<b>6.1. Evolución de la carga térmica en 1 día.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2. Evolución de la temperatura en 1 día.....</b>	<b>80</b>
<b>6.3. Parámetros característicos de la bomba de calor.....</b>	<b>81</b>
6.3.1. TRABAJO DEL COMPRESOR.....	81
6.3.2. POTENCIA TÉRMICA DEL CONDENSADOR.....	81
6.3.3. EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE OPERACIÓN (COP).....	82
<b>6.4. Parámetros característicos de la caldera.....</b>	<b>84</b>
<b>6.5. Demanda energética.....</b>	<b>85</b>
6.5.1. DEMANDA TÉRMICA.....	85
6.5.2. DEMANDA DE GAS.....	86
6.5.3. DEMANDA ELÉCTRICA.....	87
<b><u>7. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS.....</u></b>	<b>88</b>
<b>7.1 Costes variables.....</b>	<b>88</b>
<b>7.2 Costes fijos.....</b>	<b>96</b>
<b><u>8. CONCLUSIÓN.....</u></b>	<b>98</b>
<b><u>9. NOMENCLATURA.....</u></b>	<b>100</b>
<b><u>10. ANEXOS.....</u></b>	<b>104</b>
<b>Anexo I. Cálculo de coeficientes globales de transmisión de calor.....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo II. Vivienda.....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo III. Presupuestos y facturas.....</b>	<b>127</b>
<b><u>11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</u></b>	<b>133</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

- Figura 4.1** Caldera de gas MANAUT ECO 24E.
- Figura 4.2.** Esquema de la instalación.
- Figura 4.3.** Carga térmica en función del tiempo. 1/11/2010.
- Figura 4.4.** Consumo de gas natural en función de la carga térmica.
- Figura 4.5.** Consumo de gas natural en función del tiempo. 1/11/2010.
- Figura 4.6.** Rendimiento de la caldera en función de la carga térmica.
- Figura 4.7.** Parámetros característicos de la caldera.
- Figura 5.1.** Esquema de funcionamiento termodinámico de la instalación.
- Figura 5.2.** Esquema de la instalación, bomba de calor.
- Figura 5.3.** Diagrama presión-entalpía del R-410A y ciclo.
- Figura 5.4.** Rendimiento isoentrópico R-410A en función de la relación de compresión.
- Figura 5.5.** Gasto másico de refrigerante en función del tiempo. 1/12/2010.
- Figura 5.6.** Potencia ideal del compresor en función del tiempo. 1/12/2010.
- Figura 5.7.** Potencia ideal y real del compresor en función del tiempo. 1/12/2010.
- Figura 5.8.** Potencia térmica de evaporador y condensador en función del tiempo. 1/12/2010.
- Figura 5.9.** Potencia eléctrica de los ventiladores en función del tiempo. 1/12/2010.
- Figura 6.1.** Evolución de la carga térmica en función de la hora del día.
- Figura 6.2.** Evolución de la temperatura exterior en función de la hora del día.
- Figura 6.3.** Evolución del trabajo del compresor en función de la hora del día.
- Figura 6.4.** COP en función de la carga térmica.
- Figura 6.5.** Evolución anual del COP.
- Figura 6.6.** Consumo de gas natural en función de la hora del día.
- Figura 6.7.** Demanda térmica de calefacción en función del día del año.
- Figura 6.8.** Demanda anual de gas natural.
- Figura 6.9.** Demanda eléctrica en función del día del año.

**Figura 7.1.** Coste económico anual. Bomba de calor frente a caldera de gas.

**Figura 7.2.** Impacto ambiental anual. Bomba de calor frente a caldera de gas.

**Figura 7.3.** Ventajas de la climatización por aire.

**Figura 7.4.** Volumen de gas ideal en función de la carga térmica.

**Figura 7.5.** Trabajo del compresor en función de la carga térmica.

**Figura 7.6.** Porcentaje de ahorro bomba de calor en función de la carga térmica.

**Figura I.I.** Perfil muro de fachada.

**Figura I.II.** Circuito térmico equivalente del muro de fachada.

**Figura I.III.** Perfil muro en contacto con vivienda adyacente.

**Figura I.IV.** Circuito térmico equivalente muro en contacto con vivienda adyacente.

**Figura I.V.** Perfil del suelo.

**Figura I.VI.** Circuito térmico equivalente del suelo.

**Figura I.VII.** Circuito térmico equivalente suelo de baldosa.

**Figura I.VIII.** Perfil ventana de acristalamiento doble.

**Figura I.IX.** Circuito térmico equivalente ventana de doble acristalamiento.

**Figura I.X.** Perfil ventana de acristalamiento simple.

**Figura I.XI.** Circuito térmico equivalente ventana acristalamiento simple.

**Figura III.I.** Planta y orientación de la vivienda.

**Figura III.II.** Imagen de la vivienda en 3 dimensiones.

**Figura III.III.** Salón comedor.

**Figura III.IV.** Habitación individual.

**Figura III.V.** Habitación principal (de matrimonio).

**Figura III.VI.** Cocina.

**Figura III.VII.** Cuarto de baño.

**Figura III.VIII.** Pasillo.

**Figura III.IX.** Hall Recibidor.

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 3.1.** Coeficientes globales de transmisión de calor.
- Tabla 3.2.** Coeficientes de mayoración para muros de fachada.
- Tabla 3.3.** Coeficientes de mayoración para ventanas.
- Tabla 3.4.** Cargas térmicas: Salón comedor.
- Tabla 3.5.** Cargas térmicas: Habitaciones individuales.
- Tabla 3.6.** Cargas térmicas: Habitación de matrimonio.
- Tabla 3.7.** Cargas térmicas: Cocina y Chiscón.
- Tabla 3.8.** Cargas térmicas: Hall-Recibidor.
- Tabla 3.9.** Cargas térmicas: Pasillo.
- Tabla 3.10.** Cargas térmicas: Baño.
- Tabla 3.11.** Caudal de ventilación mínimo exigido (CTE/09).
- Tabla 3.12.** Carga térmica de renovación.
- Tabla 4.1.** Carga térmica de la vivienda en función de la temperatura exterior.
- Tabla 4.2.** Caudal de gas natural en función de la carga térmica.
- Tabla 4.3.** Caudal de gas natural instantáneo en función de la carga térmica.
- Tabla 4.4.** Rendimiento de la caldera en función de la carga térmica.
- Tabla 4.5.** Volumen de gas natural instantáneo.
- Tabla 4.6.** Coste mensual de utilización de la caldera.
- Tabla 4.7.** Masas molares de los elementos.
- Tabla 4.8.** Impacto ambiental mensual de la caldera de gas.
- Tabla 5.1.** Puntos característicos del ciclo.
- Tabla 5.2.** Caudal de refrigerante instantáneo en función de la carga térmica.
- Tabla 5.3.** Potencia instantánea del compresor ideal.
- Tabla 5.4.** Potencia instantánea del compresor real.
- Tabla 5.5.** Potencia térmica instantánea: Evaporador y Condensador.

**Tabla 5.6.** Potencia eléctrica instantánea de los ventiladores.

**Tabla 5.7.** Coste mensual de utilización de la bomba de calor.

**Tabla 5.8.** Potencial de efecto invernadero indirecto mensual.

**Tabla 5.9.** Potencial de efecto invernadero directo mensual.

**Tabla 5.10.** Potencial total de calentamiento mensual.

**Tabla 7.1.** Coste e impacto ambiental mensual para la caldera de gas.

**Tabla 7.2.** Coste e impacto ambiental mensual para la bomba de calor.

**Tabla 7.3.** Costes bomba de calor: Equipos y mano de obra.

**Tabla 7.4.** Costes caldera de gas: Materiales, instalación y mano de obra.

**Tabla 7.5.** Lista de materiales necesarios para realizar la instalación.



## **0. OBJETIVO.**

En este documento se presenta un estudio comparativo entre dos sistemas de calefacción para una vivienda situada en la C/Huerta de Villaverde, número 11, Planta Baja, distrito de Villaverde, Madrid.

El principal objetivo es evaluar el coste económico de la utilización de ambos sistemas por separado, así como el impacto ambiental generado como consecuencia de su utilización.

Para ello, se ha procedido en primer lugar a calcular la carga térmica instantánea de la vivienda, que vendrá dada en función de la temperatura del ambiente exterior. Esta temperatura es un dato, que proviene de una serie de medidas tomadas por una estación meteorológica ubicada en Madrid, durante los meses de invierno en el año 2010 y con un intervalo de tiempo entre medidas de 10 minutos.

Una vez obtenida la carga térmica, o máxima pérdida de calor instantánea de la vivienda, se evaluará el consumo necesario de cada una de las instalaciones por separado para lograr proporcionar la misma carga térmica. En este caso, como ganancia de calor, para mantener la vivienda climatizada a la temperatura deseada (temperatura de diseño).

Cabe destacar que el objeto del presente proyecto es la comparación de dos sistemas ya existentes, con aparatos comerciales, por lo que no se prestará atención al diseño y optimización de dichos sistemas.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El sector residencial en España, se ha convertido en uno de los principales objetos de estudio, en cuanto a eficiencia energética se refiere. Esto se debe a que está empezando a ser un sector muy representativo en este país, por la gran demanda de energía que requiere con respecto a otros sectores en el ámbito nacional.

Este aumento de la demanda ha sido provocado por diversos factores ocurrentes en años anteriores, tales como: el incremento del número de hogares, mayor poder adquisitivo, y la mejora también del equipamiento con sistemas de climatización, para aumentar el nivel de confort.

Diferentes estudios hacen prever que la demanda en el sector residencial irá en aumento, por esto es necesario una buena planificación energética, para poder satisfacer la futura demanda. Esta planificación únicamente se puede hacer dando una mayor importancia a las estrategias y políticas energéticas.

Es necesario tener en cuenta, también, el impacto ambiental provocado por la futura demanda de este sector. Por lo tanto, es necesario un mayor conocimiento energético del mismo. Es importante, entonces, la realización de estadísticas de consumo energético, así como evaluaciones de distintos sistemas para mejorar la eficiencia en los edificios.

Todo lo relatado es objeto de interés, y una de las razones que motiva la realización de este documento. Se quiere entonces elaborar un estudio comparativo con el fin de llegar a determinar qué sistema de los que se presentan es más eficiente, y por lo tanto, cual supone un menor impacto ambiental y menor coste económico para el usuario.

## **2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO.**

En primer lugar, es necesario poder calcular la carga térmica instantánea de la vivienda, en función de la temperatura exterior cambiante de manera sencilla. Para ello se procederá a determinar un coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda.

Una vez obtenido éste parámetro, lo único que será necesario conocer para calcular la carga térmica instantánea, será la temperatura de diseño y la temperatura exterior instantánea. Ambas temperaturas son datos.

Así pues, para la obtención del coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda, se calculará previamente la carga térmica de toda la casa, imponiendo esta vez la temperatura exterior, que será una temperatura de referencia, temperatura mínima que se puede tener en la Comunidad de Madrid según la Norma UNE-100001.

Datos:

- Temperatura exterior: -3,7 °C
- Temperatura de diseño: 21 °C

La temperatura de diseño elegida es de 21 °C, por estar en el rango de temperaturas de confort para invierno que establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, cuando la humedad relativa del aire no supera el 50%.

En el cálculo previo de cargas térmicas, sólo se tendrá en cuenta la carga térmica por transmisión a través de los muros de la vivienda, la carga térmica de renovación y de infiltración de aire exterior.

Por lo tanto, se despreciará el efecto del calor sensible y latente producido por personas y equipos auxiliares propios de una vivienda, como por ejemplo, el calor generado por el alumbrado de la vivienda.

Estas hipótesis que suponen nulos calores generados, al tratarse de un cálculo de calefacción, permitirán que los resultados obtenidos sean más conservadores.

### **3. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DE LA VIVIENDA.**

#### **3.1. Carga térmica de transmisión.**

En este apartado se procede a calcular la carga térmica, o pérdida de calor, producida por transmisión entre muros, suelo, techo y ventanas de la vivienda.

Los coeficientes globales de transmisión de calor de cada uno de los cerramientos se muestran en la **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.1.** Coeficientes globales de transmisión de calor.

<b>Cerramiento</b>	<b>Coefficiente de transmisión de calor</b> [ W/m <sup>2</sup> · °C]
Muro en contacto con el exterior	1,14
Muro en contacto con otra vivienda	1,94
Suelo de parquet	0,62
Techo	0,68
Suelo de baldosa	0,64
Ventana acristalamiento doble	2,2
Ventana acristalamiento simple	2,8

En el **Anexo I** (Pág. 105) se presenta de manera detallada, el desarrollo y las consideraciones tomadas para el cálculo de cada uno de los coeficientes globales de transmisión de calor. Empezando por el circuito térmico equivalente de resistencias y, obteniendo posteriormente el coeficiente global de transmisión de calor a partir de la resistencia térmica total.

En la **Tabla 3.2** se muestran los coeficientes de mayoración del muro en contacto con el exterior (muro de fachada), en función de la orientación que éste posee.

**Tabla 3.2.** Coeficientes de mayoración para muros de fachada.

<b>Orientación</b>	<b>Factor de seguridad</b>
NE	1,2
SO	1,05
SE	1,1
NO	1,15

De manera análoga se muestra, en la **Tabla 3.3**, los coeficientes de mayoración para las ventanas en función de la orientación que éstas poseen.

**Tabla 3.3.** Coeficientes de mayoración para ventanas.

Orientación	Factor de seguridad
NE	1,35
SO	1,1
SE	1,15
NO	1,2

Los coeficientes de mayoración se introducen como un coeficiente de seguridad a la hora de obtener la carga térmica en muros y ventanas.

Este coeficiente de seguridad viene dado para compensar los errores cometidos en los cálculos, ya que no se están teniendo en cuenta diversos factores como la orientación del muro, que afecta de manera significativa debido a la radiación solar y exposición al viento. También la intermitencia en el uso del sistema de climatización.

A continuación se presenta el cálculo de la carga térmica de transmisión en cada uno de los cerramientos de la vivienda, pero antes de realizar dichos cálculos es necesario imponer una serie de condiciones, en este caso, diferencias de temperatura.

Especificaciones necesarias para el cálculo de la carga térmica en la vivienda:

- Datos:
  - Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la vivienda.

$$\Delta T_{ext} = 24,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Diferencia de temperaturas entre el interior de la vivienda climatizada y cualquier espacio que se pueda suponer no climatizado, tal como viviendas adyacentes, terrazas, o garajes destinados al estacionamiento de vehículos.

$$\Delta T_{ady} = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Área de transmisión:

El cálculo del área de transmisión de cada uno de los cerramientos se desarrolla en detalle en el **Anexo II** (Pág. 119), dicho anexo contiene toda la información relativa a la vivienda.

Mediante la utilización de la **Expresión 3.1** se procederá a realizar el cálculo de cada una de las cargas térmicas de transmisión.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

**Expresión 3.1**

Donde:

- "U" es el coeficiente global de transmisión de calor del cerramiento.
- "A" es el área de transmisión de calor.
- " $\Delta T$ " es la diferencia de temperaturas existente.

A continuación se muestra el cálculo de la carga térmica de transmisión para cada uno de los espacios habitables de la vivienda.

**1) Salón comedor.**

**Tabla 3.4.** Cargas térmicas: Salón comedor.

SALÓN	A [m <sup>2</sup> ]	U [ W/m <sup>2</sup> · °C]	$\Delta T$ [°C]	Q [W]
Muro exterior	7,36	1,14	24,4	214,96
Muro adyacente	9,35	1,94	9	163,25
Ventana doble	1,99	2,2	24,4	117,51
Suelo	17,86	0,62	9	99,66
Techo	17,86	0,68	9	109,30
<b>TOTAL</b>	<b>∑</b>	<b>∑</b>	<b>∑</b>	<b>704,68</b>

**2) Habitaciones individuales.**

El cálculo de la carga térmica en las 2 habitaciones individuales se puede simplificar realizando el cálculo de una y multiplicando el resultado por 2. Esto es posible ya que, las dos habitaciones presentan las mismas condiciones de medidas, geometría y disposición de materiales.

**Tabla 3.5.** Cargas térmicas: Habitaciones individuales.

HABITACIONES	A [m <sup>2</sup> ]	U [ W/m <sup>2</sup> · °C]	$\Delta T$ [°C]	Q [W]
Muro exterior	3,87	1,46	24,4	113,03
Ventana doble	1,44	2,2	24,4	85,03
Suelo	6,22	0,62	9	34,71
Techo	6,22	0,68	9	38,07
1 HABITACIÓN	-	-	-	270,84
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>541,68</b>

**3) Habitación de matrimonio.**

**Tabla 3.6.** Cargas térmicas: Habitación de matrimonio.

<b>HABITACIÓN MATRIMONIO</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [ W/m<sup>2</sup> · °C]</b>	<b>ΔT [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Muro exterior	7,36	1,14	24,4	437,23
Muro adyacente	6,4	1,94	9	111,74
Ventana simple	1,55	2,8	9	87,98
Ventana doble	1,49	2,2	24,4	46,87
Suelo	12,27	0,62	9	68,47
Techo	12,27	0,68	9	75,09
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>827,38</b>

**4) Cocina y chiscón.**

**Tabla 3.7.** Cargas térmicas: Cocina y Chiscón.

<b>COCINA Y CHISCÓN</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [ W/m<sup>2</sup> · °C]</b>	<b>ΔT [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Muro exterior	6,03	1,14	24,4	167,73
Muro adyacente	8,5	1,94	9	148,41
Ventana simple	1,36	2,8	9	102,21
Ventana doble	0,85	2,2	24,4	50,19
Suelo	9,87	0,62	9	56,85
Techo	9,87	0,68	9	60,40
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>585,79</b>

**5) Recibidor.**

**Tabla 3.8.** Cargas térmicas: Hall-Recibidor.

<b>RECIBIDOR</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [ W/m<sup>2</sup> · °C]</b>	<b>ΔT [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Puerta	1,7	2	9	30,60
Muro adyacente	5,36	1,94	9	93,59
Suelo	2,57	0,62	9	14,34
Techo	2,57	0,68	9	15,73
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>154,26</b>

**6) Pasillo.****Tabla 3.9.** Cargas térmicas: Pasillo.

<b>PASILLO</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [ W/m<sup>2</sup> · °C]</b>	<b>ΔT [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Muro adyacente	10,95	1,94	9	191,19
Suelo	4	0,62	9	22,32
Techo	4	0,68	9	24,48
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>237,99</b>

**7) Baño.****Tabla 3.10.** Cargas térmicas: Baño.

<b>BAÑO</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [ W/m<sup>2</sup> · °C]</b>	<b>ΔT [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Muro adyacente	12,87	1,94	9	224,71
Suelo	3,22	0,64	9	18,55
Techo	3,22	0,68	9	19,71
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>262,97</b>

Una vez obtenida la carga térmica en cada uno de los espacios habitables de la vivienda se puede calcular la carga térmica total de transmisión, como suma de cada una de las cargas térmicas individuales calculadas anteriormente.

Por lo tanto, la carga térmica de transmisión en la vivienda será:

$$Q_{transmisión} = 3314,7 \text{ W}$$

Cabe destacar, que en los cálculos de la carga térmica de transmisión, ya se han tenido en cuenta todos los coeficientes de mayoración aplicables a muros y ventanas.



### 3.2. Carga térmica de renovación.

La carga térmica de renovación se puede definir como, la pérdida de calor producida por la necesidad de introducir aire que proviene del exterior de la vivienda hacia el interior de la misma, para mantener las condiciones y exigencias de salubridad establecidas.

La metodología a seguir para calcular esta carga térmica es sencilla, y se especifica en el CTE-DB-HS3. Tal y como se muestra a continuación.

En la **Expresión 3.2** se muestra como obtener la carga térmica de renovación en función del caudal de aire.

$$Q_{renov} = q_v \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot \Delta T_{ext}$$

#### Expresión 3.2

Siendo:

- " $q_v$ " el caudal de aire, medido en [ $m^3/s$ ], que es necesario introducir en el local para mantener las condiciones de salubridad. Este caudal viene dado por la **Tabla 3.11**.

**Tabla 3.11.** Caudal de ventilación mínimo exigido (CTE/09).

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por $m^2$ útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local <sup>(1)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

<sup>(1)</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

- " $\rho_{aire}$ " es la densidad del aire, en condiciones normales, a  $-3,7$  °C.

$$\rho_{aire} = 1.27 \text{ kg/m}^3$$

- " $C_p$ " es el calor específico del aire, en condiciones normales, a  $-3,7$  °C.

$$C_p = 1.0065 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

- " $\Delta T_{ext}$ " es la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la vivienda. En este caso, se impondrá la temperatura exterior, para que los cálculos sean más conservadores y por simplicidad. La diferencia de temperaturas será entonces constante.

$$\Delta T_{ext} = 24,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nótese que la densidad y el calor específico del aire son propiedades que dependen de la temperatura a la que éste se encuentre, pudiendo haber diferencias notables a distintas temperaturas.

No obstante, se considerará la renovación de aire a una temperatura constante, de manera que sólo se tendrá un valor de calor específico y densidad del aire.

Esto introduce un error en los cálculos, pero debido a que lo que se pretende hacer es una comparación, esto no afectará a la toma de conclusiones, puesto que el error cometido será el mismo en ambos casos.

De manera que, mediante la utilización de la **Tabla 3.11** y la **Expresión 3.2**, se puede obtener la carga térmica de renovación en la vivienda, tal y como se presenta en la **Tabla 3.12**.

**Tabla 3.12.** Carga térmica de renovación.

Local	$q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{renov}$ [W]
Baño	0,015	467,8
Salón comedor	0,012	353,6
Dormitorios	0,02	623,8
Cocina	0,0197	614,4
<b>Total</b>	<b>0,0667</b>	<b>2059,6</b>

Cabe destacar que, para la obtención de la **Tabla 3.12**, es necesario tener en cuenta el número de ocupantes de la vivienda, en este caso cuatro, así como los metros cuadrados de suelo de cocina, baño etc. Estos datos se pueden obtener del **Anexo II** (Pág. 119).

Por lo tanto, la carga térmica de renovación en la vivienda será:

$$Q_{renov} = 2059,6 \text{ W}$$

### 3.3. Carga térmica de infiltración.

En este apartado se procede a calcular la carga térmica, o pérdida de calor, provocada por la infiltración de aire a través de los huecos de ventilación y espacios entre puertas y ventanas que, como es lógico, no son perfectamente estancas.

La carga térmica de infiltración puede llegar a ser muy complicada de obtener debido a que variará considerablemente dependiendo de la vivienda, puesto que los huecos existentes en puertas y ventanas dependen de muchos factores, tales como la construcción de la puerta, el posterior montaje etc.

Con lo cual, para ofrecer una idea aproximada y coherente, se procederá tal y como se muestra a continuación.

Se supondrá la carga térmica provocada por la infiltración de aire como un 30% de la carga térmica total de renovación.

De manera que:

$$Q_{inf} = 0,3 \cdot Q_{renov}$$

$$Q_{inf} = 0,3 \cdot 2059,6$$

Por lo tanto, la carga térmica de infiltración en la vivienda será:

$$Q_{inf} = 617,9 \text{ W}$$

### 3.4. Carga térmica total y coeficiente global de transmisión de calor.

#### 3.4.1. CARGA TÉRMICA TOTAL.

La carga térmica total, o pérdida de calor total de la vivienda se puede obtener como la suma de la carga térmica de transmisión, la carga térmica de renovación y la carga térmica provocada por la infiltración de aire exterior.

$$Q_{total} = Q_{renov} + Q_{trans} + Q_{inf}$$

$$Q_{total} = 617,9 + 3314,7 + 2059,6$$

$$Q_{total} = 5992,2 \text{ W} \approx 5992 \text{ W}$$

#### 3.4.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LA VIVIENDA.

El cálculo del coeficiente global de transmisión de calor, válido para toda la casa, se puede realizar a través de la **Expresión 3.3**.

$$Q_{total} = UA_{global} \cdot \Delta T_{ext}$$

#### Expresión 3.3

Siendo:

$$\Delta T_{ext} = T_{int} - T_{ext}$$

La diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior de la vivienda, sabiendo que el flujo de calor consiste en pérdida desde el interior de la vivienda hacia el exterior. En este caso la diferencia de temperaturas se calcula imponiendo la temperatura exterior.

De manera que:

$$5992 = UA_{global} \cdot (21 - (-3,7))$$

$$UA_{global} = \frac{5992}{24,7}$$

$$UA_{global} = 242,6 \text{ W/K}$$

Éste parámetro se utilizará para calcular la carga térmica instantánea de la vivienda, que es función de la temperatura ambiente, la cual es variable en el tiempo.

#### **4. CALEFACCIÓN MEDIANTE CALDERA DE GAS CON EMISORES TÉRMICOS.**

En este apartado se procede a evaluar el uso de una caldera de gas con emisores térmicos como sistema de calefacción de la vivienda. Para ello se realizará el estudio desde el punto de vista económico, así como desde el punto de vista de funcionamiento.

En primer lugar será necesario, para realizar los cálculos, determinar el consumo de gas natural en función de la carga térmica instantánea de la vivienda, tal y como se muestra más adelante.

Una vez calculado el consumo de gas natural, se procederá entonces a obtener el coste económico derivado del uso de dicho gas, así como el impacto ambiental, que se produce por la emisión de los gases producto de la combustión a la atmósfera.

También será necesario tener en cuenta un coste adicional, que es el coste por el consumo de electricidad de la bomba que posee la caldera, esta bomba permite mover el agua por el circuito de calefacción hacia los emisores térmicos.

Por último, cabe destacar que únicamente se evaluará el coste por el uso de la caldera como sistema de calefacción, y no como sistema para producir también agua caliente sanitaria, a pesar de que la caldera utilizada posea además esta función.

#### 4.1. Características generales y descripción de la instalación.

El sistema de climatización por emisores térmicos consta de una caldera de gas natural que, calentando agua, alimenta al circuito de calefacción de los radiadores (emisores térmicos), y proporciona agua caliente a los sanitarios de la vivienda.

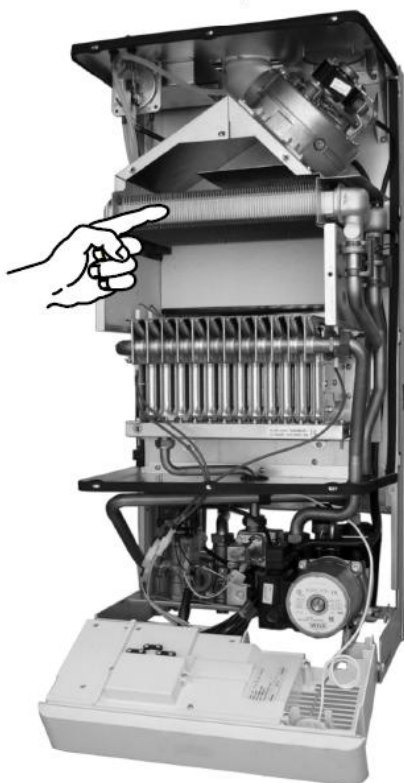
Características de la caldera:

- Marca: MANAUT
- Modelo: MINOX ECO 24 E
- Características: Se trata de una caldera estanca con bajas emisiones de NO<sub>x</sub> y 24 kW de máxima potencia térmica.

Mecanismo de funcionamiento:

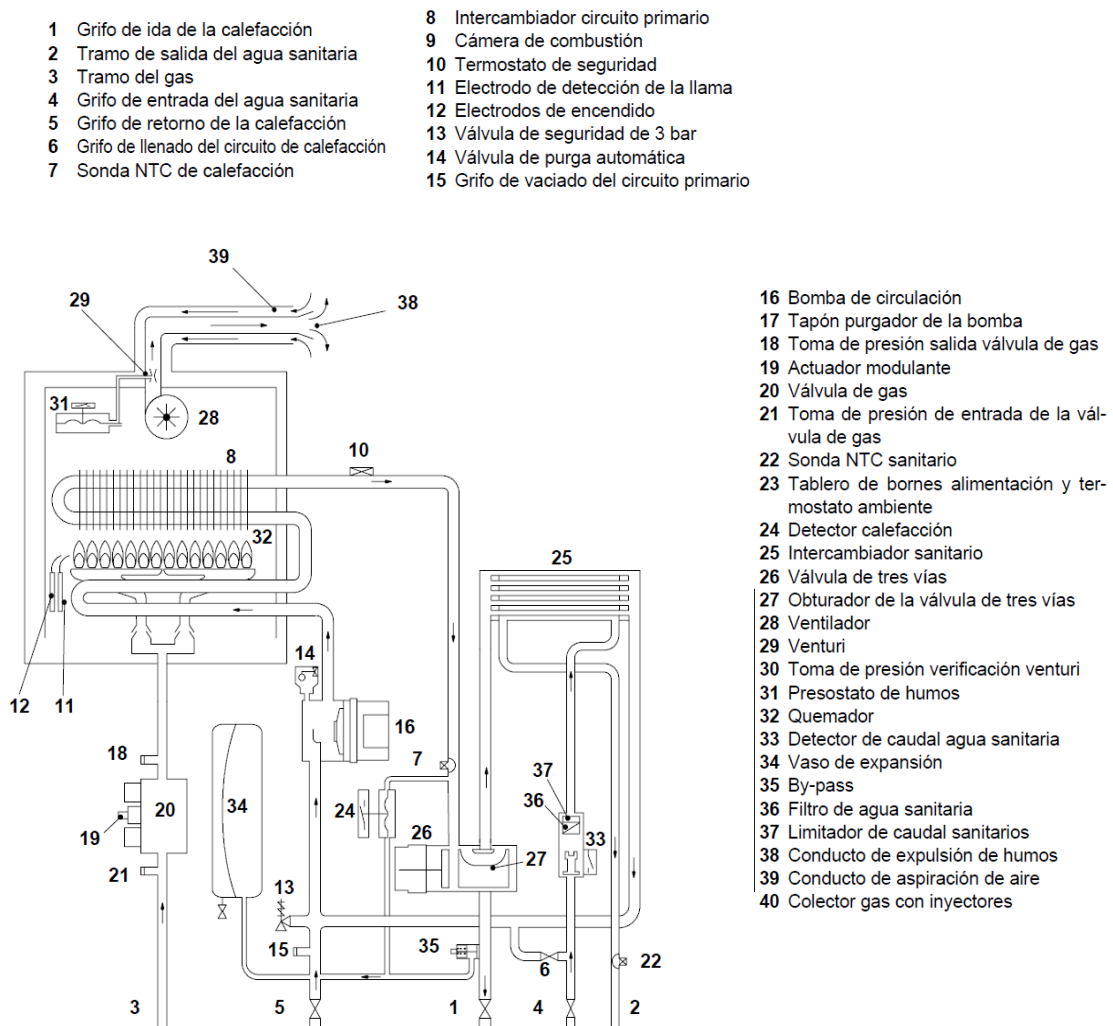
La caldera absorbe aire del exterior, utilizándolo para producir la combustión del gas natural. Esta combustión calienta un intercambiador de placas por el que se hace pasar un haz de tubos, por los que circula el agua que alimenta a los emisores térmicos y sanitarios de la vivienda.

En la **Figura 4.1** se muestra una imagen de la caldera en cuestión.



**Figura 4.1** Caldera de gas MANAUT ECO 24E.

En la **Figura 4.2** se muestra el esquema de la caldera con todos los componentes, así como el sentido de circulación del flujo de aire y de agua.



**Figura 4.2.** Esquema de la instalación.

Nótese que la caldera posee un sistema de recirculación de agua a través del intercambiador de los sanitarios (25) y hasta el grifo de retorno de la calefacción (5). Con lo cual la caldera sólo debe calentar agua de 60 a 80 °C. Lo que permite la regulación de la potencia, e implica que la temperatura de la llama pueda ser menor, y en consecuencia que las emisiones de NO<sub>x</sub> provocadas por la combustión también sean menores.

## 4.2. Coste económico de utilización de la caldera.

El cálculo del coste económico se realizará para los meses en los que se considera que es necesario tener el sistema de calefacción funcionando en la vivienda, estos meses son: Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

El cálculo de la carga térmica instantánea y, por lo tanto, del consumo de gas natural instantáneo se realizará para cada uno de los meses por separado. Para ello se dispone de una serie de tablas de temperaturas del ambiente exterior tomadas en estos meses, en la Comunidad de Madrid, cada 10 minutos en el año 2010.

Estas temperaturas no serán iguales para todos los años, ya que dependen de diferentes factores climáticos, tales como la presencia de nubes, o si dicho día se produce algún fenómeno meteorológico, nieve o lluvia, que cambian la humedad del aire y en consecuencia la temperatura del mismo.

No obstante, estas temperaturas ofrecen una idea muy representativa de la demanda energética que requerirá un sistema de calefacción de una vivienda situada en la Comunidad de Madrid.

Cabe destacar que, el cálculo de la carga térmica instantánea en función de la temperatura exterior, se realizará con el concepto de coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda.

Esta vez, se introduce en la **Expresión 3.3**, como datos el coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda y la temperatura exterior variable, obteniendo como resultado el valor de la carga térmica.

Una vez calculada la carga térmica instantánea de la vivienda se puede estimar el consumo de gas natural instantáneo necesario para satisfacer dicha carga térmica, tal y como se mostrará más adelante.

Con el consumo de gas se puede calcular el coste económico derivado de la utilización de dicho gas y, por lo tanto, el coste económico de la generación de calor.

Para la realización de todos los cálculos necesarios se ha utilizado un software de cálculo (Excel), ya que permite trabajar con tablas que contienen un gran número de datos.

En los siguientes apartados se muestran los pasos a seguir para calcular, de manera sencilla y mediante la utilización de dicho software, el coste económico total debido a la utilización de la caldera de gas, en función de la carga térmica instantánea de la vivienda y para los meses considerados.



#### 4.2.1. CÁLCULO DE COSTES VARIABLES: CONSUMO DE GAS NATURAL.

En este apartado se procede a calcular el consumo de gas natural de la caldera en función de la temperatura ambiente exterior. Conociendo el consumo de gas natural se puede obtener el coste económico debido a la utilización de dicho gas. No obstante, a continuación se muestran los pasos a seguir, ya que es necesario realizar previamente una serie de cálculos.

##### 1) Cálculo de la carga térmica.

Este primer paso consiste en el cálculo de la carga térmica instantánea de la vivienda, esto es, la obtención de la carga térmica de la vivienda cada 10 minutos durante los meses de invierno.

En la **Tabla 4.1** se muestra, de manera representativa, el cálculo realizado mediante el software Excel para los primeros minutos del mes de Noviembre.

**Tabla 4.1.** Carga térmica de la vivienda en función de la temperatura exterior.

$UA_{global}$	$T_{aire,ext}$ [°C]	$T_{c,ext}$ [°C]	$T_{dis}$ [°C]	$Q_{total}$ [W]	Fecha
242,6	10,948	10,948	21	2438,6	1/11/2010 00:00
242,6	11,121	11,121	21	2396,6	1/11/2010 00:10
242,6	11,391	11,391	21	2331,1	1/11/2010 00:20

Donde:

- " $T_{aire,ext}$ " es la temperatura ambiente exterior, medida cada 10 minutos en el año 2010.
- " $Q_{total}$ " es la carga térmica de la vivienda, obtenida según la **Expresión 3.3**.
- " $T_{c,ext}$ " es la temperatura de condición exterior, que se utiliza para calcular la carga térmica. Es el requisito que se impone a la hora de calcular la carga térmica de la vivienda y que se describe a continuación:

Consiste en que si la temperatura exterior del aire supera los 18 grados Celsius no es necesario utilizar el sistema de calefacción, con lo cual " $T_c$ " es igual a la temperatura de diseño (21 °C) y, por lo tanto, la carga térmica es nula.

- " $T_{dis}$ " es la temperatura de diseño, temperatura a la cual se pretende mantener el interior de la vivienda.

Es necesario, a la hora de realizar la climatización de una vivienda, tener en cuenta que no es imprescindible que el sistema de climatización este funcionando de manera continua para todas las horas del día.

En éste caso, puede ocurrir que aunque la temperatura exterior del aire sea inferior a la temperatura de diseño y, por lo tanto, teóricamente exista transferencia de calor del interior de la vivienda hacia el exterior, no se produzca dicha transferencia.

Esto es debido a que no se están teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la transferencia de calor, tales como la inercia térmica del edificio, y el efecto de la radiación procedente de los rayos del sol.

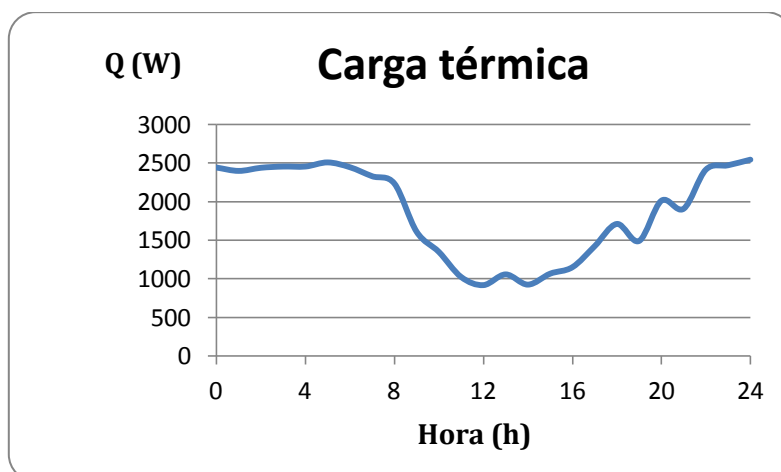
La inercia térmica influye considerablemente, ya que es una propiedad que poseen todos los materiales, que es la de conservación del calor, pues cualquier material necesita cierto tiempo para enfriarse.

En cuanto al efecto de la radiación solar, influye también de manera muy significativa ya que, puede llegar, dependiendo del día y la hora, a calentar la vivienda a pesar de que la temperatura del aire exterior sea inferior a la de diseño.

De manera que, para tener en cuenta estas consideraciones, se ha impuesto que el sistema de calefacción no actúe cuando, mediante una resistencia NTC, se detecte que la temperatura exterior es mayor o igual a 18 grados centígrados.

Se supone entonces que, para temperaturas superiores, el clima no es muy severo y los días suelen ser soleados, por lo tanto, se tendrá un alto porcentaje de radiación solar incidente en la vivienda.

En la **Figura 4.3**, se muestra la evolución de la carga térmica durante todo el primer día del mes de Noviembre.



**Figura 4.3.** Carga térmica en función del tiempo. 1/11/2010.

Tal y como se puede observar en la **Figura 4.3**, el máximo valor de carga térmica se da desde las 12 de la noche hasta las 8 de la mañana, tiempo durante el cual no incide, de manera directa, la radiación solar sobre la vivienda.

Sin embargo, cuando amanece, se produce un descenso significativo de la carga térmica debido a un aumento de la temperatura, provocado por la radiación procedente del sol. Este descenso alcanza su máximo al medio día, coincidiendo con el cenit solar.

## 2) Cálculo del consumo de caudal de gas instantáneo.

El cálculo del gas natural que emplea la caldera puede obtenerse a través de la **Tabla 4.2**, tal y como se muestra a continuación.

**Tabla 4.2.** Caudal de gas natural en función de la carga térmica.

Potencia útil (kW)	13	14,5	16	17,5	19	20,5	22	23,5
Caudal Gas Natural (m <sup>3</sup> /h)	1,52	1,69	1,85	2,01	2,18	2,35	2,5	2,67

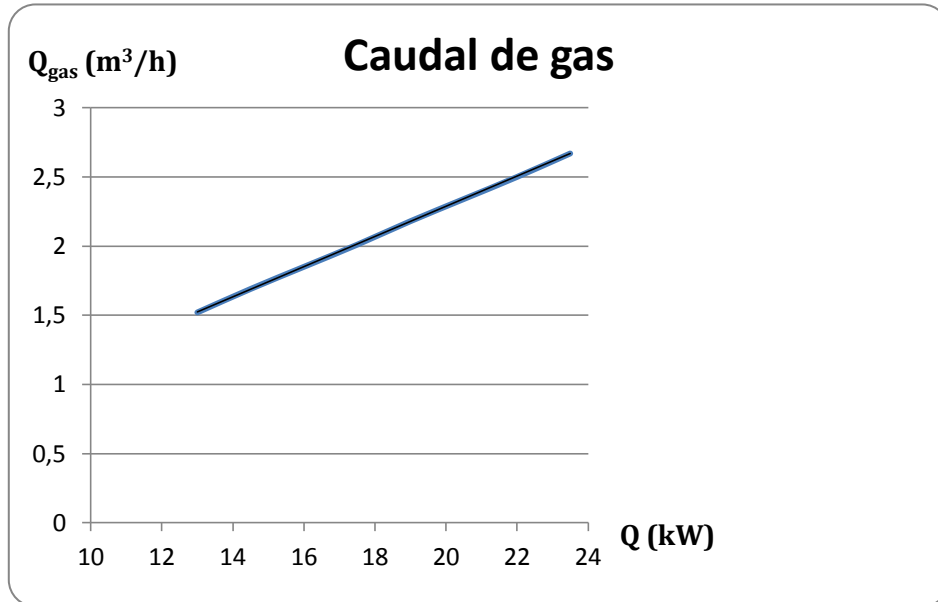
La **Tabla 4.2** es un dato del manual que acompaña a la caldera, representa el consumo de gas natural de la caldera evaluado en [m<sup>3</sup>/h] para poder producir una determinada cantidad de calor.

Mediante la representación de estos valores en una gráfica, y realizando un posterior ajuste de dicha gráfica a una función, se puede obtener el consumo de gas natural de la caldera en función de la carga térmica instantánea de la vivienda.

En la **Figura 4.4** se muestran los valores representados y ajustados a una función.

Donde:

- El Eje horizontal representa el valor de la carga térmica medida en kilovatios.
- El Eje vertical representa el consumo, en caudal, de gas natural necesario para satisfacer dicha carga térmica.



**Figura 4.4.** Consumo de gas natural en función de la carga térmica.

Tal y como se puede observar en la **Figura 4.4** el caudal de gas natural en función de la carga térmica se ajusta de manera muy precisa a una función de proporcionalidad directa, esto es, que cuanto más carga térmica debe otorgar la caldera, mayor será el consumo de gas necesario.

Función consumo de gas de la caldera:

$$y = 0,109 \cdot x + 0,1049$$

#### Expresión 4.1

Donde:

- "y" es el consumo de gas de la caldera en  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ .
- "x" es la carga térmica que produce el consumo de gas en [kW].

De manera que, conociendo el valor de la carga térmica instantánea, se puede obtener el caudal de gas natural instantáneo requerido por la instalación para satisfacer dicha carga térmica.

A continuación se muestra, de manera representativa, el cálculo del consumo de caudal de gas natural de la caldera en función de la carga térmica instantánea de la vivienda. Este cálculo ha sido realizado con el software Excel, utilizando la **Expresión 4.1**.

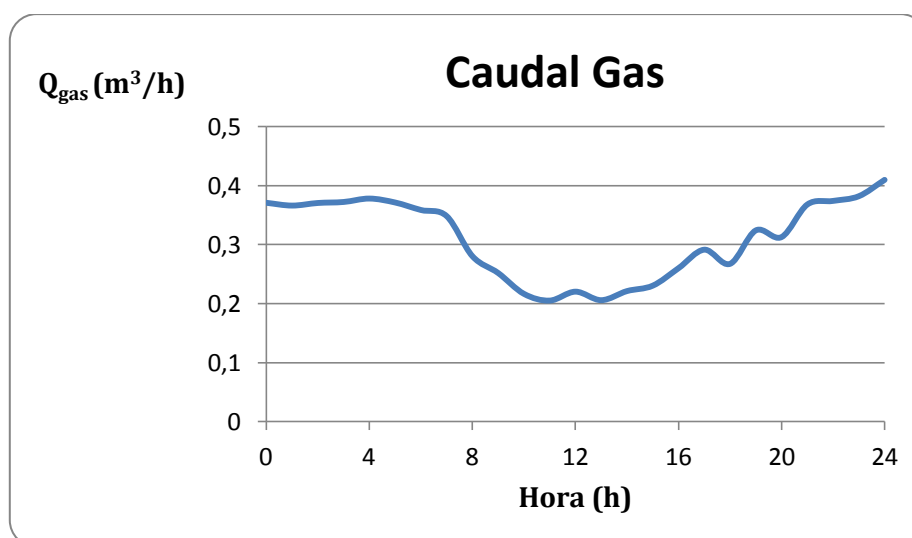
En la **Tabla 4.3** se presenta el consumo de gas natural instantáneo en función de la carga térmica instantánea, para los primeros minutos del mes de Noviembre.

**Tabla 4.3.** Caudal de gas natural instantáneo en función de la carga térmica.

$Q_{total}$ [W]	$Q_{gas}$ [ $m^3/h$ ]	Fecha
2438,6	0,371	1/11/2010 00:00
2396,6	0,366	1/11/2010 00:10
2331,1	0,359	1/11/2010 00:20

En la **Figura 4.5**, se muestra el consumo de gas natural para el primer día del mes de Noviembre, la curva resultante tiene la misma forma que la de la carga térmica (ver **Figura 4.3**).

Esto se encuentra dentro de lo que cabe esperar, puesto que el consumo de gas y la carga térmica siguen una relación de proporcionalidad directa, esto es, a mayor carga térmica mayor será el consumo de gas necesario para satisfacer dicha carga térmica, y viceversa.



**Figura 4.5.** Consumo de gas natural en función del tiempo. 1/11/2010.

### 3) Cálculo del volumen de gas real instantáneo.

En este paso se procede a obtener el consumo de volumen real instantáneo de gas natural, este volumen se puede calcular de manera sencilla utilizando la **Expresión 4.2**.

$$V_{gas} = \frac{Q_{gas} \cdot t}{\eta_{caldera}}$$

#### **Expresión 4.2**

Donde:

- " $V_{gas}$ " es el volumen de gas natural consumido en [ $m^3$ ] para poder satisfacer la carga térmica de la vivienda.
- " $Q_{gas}$ " es el caudal de gas natural instantáneo [ $m^3/h$ ] necesario para producir la combustión en la caldera.
- " $t$ " es el tiempo en [h] durante el cual el caudal de gas está circulando por la caldera.
- " $\eta_{caldera}$ " es el rendimiento de la caldera, el cual viene dado en función de la carga térmica instantánea de la vivienda.

Debido a que los datos de temperatura del ambiente exterior fueron tomados cada 10 minutos durante el año 2010, el caudal que se denomina anteriormente instantáneo, no es instantáneo propiamente dicho, ya que siempre es constante durante 10 minutos.

No obstante, se puede suponer prácticamente instantáneo en comparación con todo el mes, ya que 10 minutos en comparación con 30 días es un periodo de tiempo muy breve.

Es por eso entonces que, para obtener el volumen de gas, es necesario multiplicar el caudal de gas por el tiempo durante el cual la caldera está proporcionando este caudal, de manera que el tiempo " $t$ " será siempre constante e igual a 10 minutos.

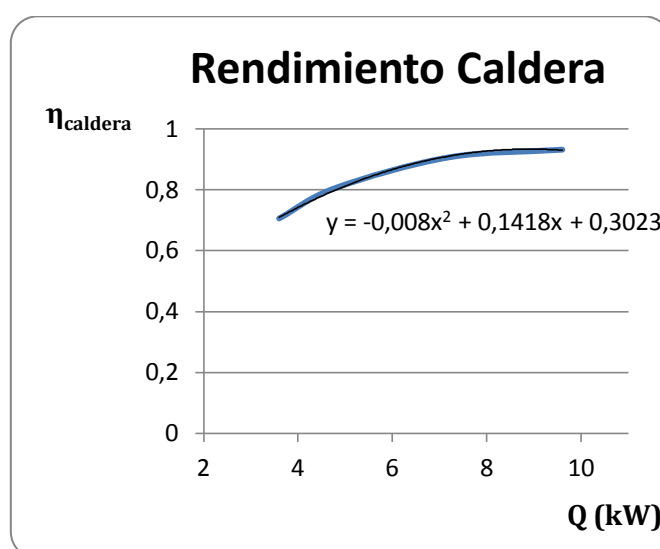
Por último, hay que expresar el tiempo en horas, para que las unidades en la **Expresión 4.2** sean coherentes.

$$t = 10 \text{ min} = \frac{1}{6} \text{ h}$$

Cabe destacar que es necesario, a la hora de poder establecer el coste económico por el uso del gas, obtener el volumen de dicho gas que ha sido utilizado para satisfacer la carga térmica.

Esto es porque, la factura del gas se cobra por volumen de gas utilizado, y no por caudal. Ya que, por el conducto por el que circula el gas natural se coloca un contador, este contador es el que mide el volumen de gas utilizado, y sobre éste volumen se calcula el coste económico.

Por último, en la **Figura 4.6** se muestra como varía el rendimiento de la caldera en función de la carga térmica.



**Figura 4.6.** Rendimiento de la caldera en función de la carga térmica.

La gráfica de la **Figura 4.6** se ha representado mediante una serie de puntos obtenidos de la **Tabla 4.4**.

**Tabla 4.4.** Rendimiento de la caldera en función de la carga térmica.

$\eta_{caldera}$	$Q$ [kW]
0,706	3,6
0,806	4,8
0,906	7,2
0,931	9,6

La **Tabla 4.4** es un dato del manual de la caldera, ofrece distintos valores de rendimiento en función del índice de carga de la misma.

De manera que, utilizando el software de cálculo (Excel), se representan los valores dados en la **Tabla 4.4** en una gráfica (ver **Figura 4.6**). A continuación se ajusta la gráfica resultante a una función y se obtiene la **Expresión 4.3**.

$$y = -0,008 \cdot x^2 + 0,1418 \cdot x + 0,3023$$

### Expresión 4.3

Donde:

- " y " es el rendimiento de la caldera.
- " x " es la carga térmica instantánea de la vivienda medida en [kW].

Cabe destacar que, tal y como se ha comentado anteriormente, el rendimiento de la caldera variará instantáneamente con la carga térmica de la vivienda.

En la **Tabla 4.5** se muestra de manera representativa el cálculo del volumen de gas natural instantáneo, esto es, cada 10 minutos, empleado para satisfacer la carga térmica de la vivienda durante los primeros minutos del mes de Noviembre.

El cálculo puede realizarse con la **Expresión 4.2** y mediante la utilización del software Excel.

**Tabla 4.5.** Volumen de gas natural instantáneo.

$Q_{gas}$ [m <sup>3</sup> /h]	$V_{gas}$ [m <sup>3</sup> ]	Fecha
0,371	0,103	1/11/2010 00:00
0,366	0,102	1/11/2010 00:10
0,359	0,101	1/11/2010 00:20



4) Volumen y coste económico de gas total.

En este punto se procede a obtener el volumen total de gas natural consumido por la caldera durante un mes. De manera que hay que sumar cada uno de los volúmenes instantáneos calculados. La suma se puede realizar de manera sencilla utilizando el software de cálculo (Excel).

Así pues, con el consumo de volumen de gas total en un mes, se puede obtener fácilmente el coste económico de la utilización de dicho gas. No obstante, hay que realizar primero una conversión, que se especifica en la factura de la compañía, tal y como se muestra a continuación.

$$1 \text{ m}^3 \text{ de Gas Natural} = 10,75 \text{ kWh}$$

Como se tiene el volumen total de gas natural, se realiza la conversión multiplicando este volumen por el factor de conversión, para pasarlo a unidades de kWh.

$$W_{total,gas} = kWh \text{ Gas} = V_{total,gas} \cdot 10,75$$

Una vez calculado el volumen de gas total en unidades de kWh, se puede obtener el coste económico de utilización del gas, sabiendo que:

$$C_{total,gas} = W_{total,gas} \cdot P_{kWhgas} + W_{gas,1 \text{ mes}} \cdot P_{hidrocarburos}$$

**Expresión 4.4**

Siendo:

- Coste económico en [€] de gas natural en 1 mes:

$$C_{gas,total}$$

- Precio del kWh de Gas Natural:

$$P_{kWhgas} = 0,05078971 \text{ €/kWhgas}$$

- Impuesto especial sobre hidrocarburos:

$$P_{hidrocarburos} = 0,00234 \text{ €/kWhgas}$$

La **Expresión 4.4** representa el coste económico por el uso del gas natural, este coste es variable, ya que depende del índice de funcionamiento de la caldera, que depende a su vez de la temperatura exterior del aire. No obstante, existen otros costes por el hecho de utilizar la caldera, estos costes son fijos, y se procede a calcularlos en el siguiente apartado.

#### 4.2.2. CÁLCULO DE COSTES FIJOS.

En este apartado se procede a calcular los costes fijos debidos a la utilización de la caldera de gas como sistema de calefacción.

##### 1) Coste de alquiler del contador.

El primer coste a tener en cuenta es de alquiler del contador, es un coste necesario, ya que el contador permite medir el volumen de gas natural utilizando.

$$C_{alquiler,contador} = 2,51\text{€}$$

##### 2) Coste de mantenimiento de la línea.

El coste de mantenimiento de la línea se abona por día de permanencia con la compañía de gas.

$$C_{mant,línea} = 0,282082 \text{ €/día}$$

En el periodo de 1 mes este coste será:

$$C_{mant,línea 1 mes} = 0,282082 \cdot 30$$

$$C_{mant,línea 1 mes} = 8,46 \text{ €}$$

##### 3) Coste debido al consumo eléctrico de la bomba.

Este es un coste indirecto debido al uso de la caldera, ya que para poder llevar el fluido, en este caso agua, a los emisores térmicos y retornarlo al intercambiador de la caldera se necesita una bomba.

La bomba es accionada por un motor eléctrico, por lo tanto, el coste debido al uso de la bomba será el coste de la electricidad necesaria para alimentar dicho motor.

Según el manual de la caldera, la potencia eléctrica que consume la bomba es:

$$W_{bomba} = 150 \text{ W}$$

No obstante, para obtener un valor más próximo a la realidad, se introducirá un coeficiente de intermitencia, que evalúe más fiablemente el tiempo real durante el cual la bomba sí está funcionando, de manera que:

$$W_{bomba,real} = C_{int} \cdot 150$$

Se elegirá para la bomba un coeficiente de intermitencia del 80%, esto quiere decir, que a lo largo del día la bomba sólo funciona el 80% del tiempo.

Por lo tanto el coste económico será:

$$C_{bomba} = E_{consumida} \cdot P_{electricidad} + P_{alquiler, equipos} + P_{impuestos}$$

#### Expresión 4.5

Donde:

- Energía consumida por la bomba en [kWh].

$$E_{consumida} = 0,150 \cdot 0,8 \cdot 24 \cdot 30$$

$$E_{consumida} = 86,4 \text{ kWh}$$

- Precio de la electricidad en [€/kWh].

$$P_{electricidad} = 0,150938 \text{ €/kWh}$$

- Precio del alquiler de los equipos de medida en [€].

$$P_{alquiler, equipos} = 30 \cdot 0,01874$$

$$P_{alquiler, equipos} = 0,56 \text{ €}$$

- Impuesto sobre la electricidad en [€].

$$P_{impuestos} = 1,05 \cdot 0,04864 \cdot E_{consumida} \cdot P_{electricidad}$$

$$P_{impuestos} = 1,05 \cdot 0,04864 \cdot 86,4 \cdot 0,150938 \rightarrow P_{impuestos} = 0,67 \text{ €}$$

Utilizando por lo tanto la **Expresión 4.5** se puede calcular el coste económico debido al uso de la bomba de la caldera.

$$C_{bomba} = 86,4 \cdot 0,150938 + 0,56 + 0,67 \rightarrow C_{bomba} = 14,27 \text{ €}$$

Sobre éste coste, es necesario aplicar el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A), aplicable en el territorio español, del 21%. Por lo tanto:

$$C_{bomba, total} = 17,3 \text{ €}$$

El coste de la bomba no es un coste fijo realmente, porque depende del índice de funcionamiento de la caldera, que no serán las 24 horas del día, y puede variar dependiendo del mes. No obstante, con la introducción de un coeficiente de intermitencia, se tiene en cuenta este efecto, de manera que el error cometido en los cálculos es despreciable.

4.2.3. COSTE ECONÓMICO, RESULTADOS.

En la **Tabla 4.6** se muestra el coste total de utilización de la caldera como sistema de calefacción, para los meses considerados de invierno, que son: Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

El cálculo ha sido realizado tal y como se explica en los apartados anteriores, particularizando para cada mes.

**Tabla 4.6** Coste mensual de utilización de la caldera.

<b>Mes</b>	<b>Coste</b>
Noviembre	350,67 €
Diciembre	389,25 €
Enero	394,78 €
Febrero	348,32 €
Marzo	345,68 €

### 4.3. Impacto ambiental.

En este apartado se presenta un estudio del impacto ambiental generado por el uso de la caldera de gas como sistema de calefacción. Este estudio se centrará principalmente en la emisión de gases producto de la combustión del gas natural, que se produce dentro del quemador y el intercambiador de calor de la caldera.

Por lo tanto, el criterio utilizado tendrá en cuenta las emisiones de "NO<sub>x</sub>" y "CO<sub>2</sub>" transmitidas hacia la atmosfera.

También se estudiará el potencial de efecto invernadero indirecto, debido al uso de la electricidad que hace funcionar el motor eléctrico de la bomba del sistema.

Para la obtención de resultados coherentes será necesario seguir una serie de pasos, y realizar una serie de suposiciones, tal y como se muestra a continuación.

En primer lugar hay que escribir y ajustar la reacción química que tiene lugar dentro del quemador de la caldera, para lo cual será necesario hacer una suposición, que consiste en que todo el gas natural está compuesto por gas metano.

Aunque esto no es del todo cierto, ofrece una idea muy aproximada de las emisiones que tienen lugar, ya que el gas natural está compuesto por más de un 80 % de gas metano.

En segundo lugar es necesario realizar el ajuste estequiométrico de la reacción, de acuerdo con los procedimientos que se usan en química inorgánica. Con este ajuste y los datos proporcionados por el manual de la caldera con respecto a la reacción, se puede obtener la cantidad, en masa, de emisiones de los diferentes contaminantes.

En tercer lugar se procederá a obtener el potencial de efecto invernadero indirecto (PEII) producido por el uso de la bomba. Se denomina indirecto ya que, no se contamina de manera directa porque la bomba esté funcionando.

Sin embargo, la generación de electricidad necesaria para alimentar la bomba, que proviene de una central térmica, sí que ha producido emisiones contaminantes al medio ambiente.

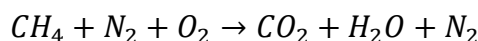
Por último se presentarán todos los valores obtenidos para el uso de la caldera como sistema de calefacción. Valores que serán comparados posteriormente con los obtenidos para el caso de utilizar como sistema la bomba de calor aire-aire.

En las páginas siguientes se muestran cada uno de los pasos aquí explicados y seguidos para la estimación del impacto ambiental. También se presenta el cálculo detallado e hipótesis que será necesario realizar para la obtención de resultados.

#### 4.3.1. CÁLCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL.

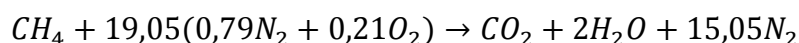
##### 1) Reacción de combustión que tiene lugar en el intercambiador de la caldera.

Esta reacción se puede escribir, de manera genérica, tal y como se muestra en la **Expresión 4.6**, realizando la suposición de que todo el gas natural está compuesto por gas metano.



##### **Expresión 4.6**

En la **Expresión 4.7** se presenta la reacción ajustada estequiométricamente.



##### **Expresión 4.7**

Sabiendo que, la reacción de combustión se produce con el aire existente en la atmósfera, que contiene aproximadamente un 79% de Nitrógeno, un 20% de Oxígeno, y un 1% de otras sustancias que no son relevantes para el cálculo, así como vapor de agua y gases nobles.

##### 2) Obtención de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

Una vez se tiene la reacción ajustada, se quiere saber cuánta cantidad de dióxido de carbono (medida como masa en kilogramos) produce esta reacción. Es por ello que se debe recurrir al manual de la caldera para la obtención de los parámetros característicos (Ver **Figura 4.7**).

<b>Modelo MINOX ECO 24E</b>		
Caudal térmico nominal	kW	26,0
Rendimiento nominal	%	93,1
Rendimiento de combustión	%	94,0
Exceso de aire	n	2,2
Composic. humos CO <sub>2</sub>	%	5,3
Composic. humos O <sub>2</sub>	%	11,5
Temperatura humos	°C	110
<i>Valores correspondientes a pruebas con escape dividido 80 mm de 1+1 m y gas Natural G20 y con temperatura ida / retorno calefacción</i>		

**Figura 4.7.** Parámetros característicos de la caldera.

Por lo tanto, observando la **Figura 4.7**, se obtiene que:

*Exceso de aire:*

$$n = 2,2$$

Este parámetro es un coeficiente que representa la relación entre la cantidad de aire que entra en la caldera y la cantidad de aire estequiométrica que habría que introducir para producir la reacción.

De manera indirecta indica también el valor del dosado relativo, ya que, tal y como se muestra a continuación, se puede relacionar el exceso de aire con el dosado relativo.

$$n = \frac{1}{F_R}$$

Siendo:

- El dosado relativo ( $F_R$ ) la relación entre el dosado real ( $F$ ) y el dosado estequiométrico ( $F_{est}$ ).

$$F_R = \frac{F}{F_{est}}$$

- El dosado estequiométrico es la relación entre la masa de combustible y masa de aire estequiométrica.

$$F_{est} = \frac{m_{comb,est}}{m_{aire,est}}$$

- El dosado real es la relación entre la masa de combustible real y la masa de aire real.

$$F = \frac{m_{comb}}{m_{aire}}$$

El objetivo es obtener la cantidad en masa de los productos de la combustión real, así se puede calcular la masa de "CO<sub>2</sub>" real emitida a la atmosfera. Para ello será necesario tener la masa de combustible real utilizada cada mes, y la masa de aire necesaria para quemar dicho combustible. La masa de productos será, por lo tanto, la suma de ambas.

Cálculo del dosado estequiométrico:

En primer lugar es necesario calcular el valor del dosado estequiométrico, para ello hay que conocer las masas molares de los distintos elementos químicos que intervienen en la reacción.

Las masas molares se muestran en la **Tabla 4.7** y se obtienen de la tabla periódica de elementos.

**Tabla 4.7.** Masas molares de los elementos.

Elemento	Masa molar [g/mol]
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	14
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	16
Carbono (C)	12
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1

Se sabe que el dosado estequiométrico representa, la relación entre la masa de combustible y la masa de aire estequiométricas.

$$F_{est} = \frac{m_{comb,est}}{m_{aire,est}}$$

Donde:

$$m_{comb,est} = PM_{comb} \cdot n_{comb}$$

$$m_{aire,est} = PM_{aire} \cdot n_{aire}$$

Con:

- Peso molecular del combustible y del aire respectivamente " $PM_{comb}$ " y " $PM_{aire}$ "
- Número de moles de combustible y aire respectivamente " $n_{comb}$ " y " $n_{aire}$ "

De manera que, se puede obtener el dosado estequiométrico:

$$F_{est} = \frac{m_{comb,est}}{m_{aire,est}} = \frac{(14 + 4 \cdot 1) \cdot 1}{(0,21 \cdot 16 + 0,79 \cdot 14 \cdot 2) \cdot 25,5} = \frac{16}{485,775}$$

$$F_{est} = 0,033$$



*Cálculo del dosado real:*

Conociendo el dosado estequiométrico, se puede obtener el dosado real, ya que se conoce de manera indirecta el dosado relativo a través del exceso de aire, que es dato del manual de la caldera.

$$F_R = \frac{F}{F_{est}} \rightarrow \frac{1}{2} = \frac{F}{0,033}$$

$$F = \frac{0,033}{2,2}$$

$$F = 0,015$$

El dosado real relaciona la masa de combustible y la masa de aire real necesarios para realizar la combustión, de manera que, permite determinar la cantidad de aire que necesita la caldera para realizar la combustión de cierta cantidad de gas.

El estudio se realizará para un mes, se puede entonces obtener la cantidad de gas natural, en volumen, que ha consumido la caldera para satisfacer la carga térmica en todo el mes, ya que se ha calculado con anterioridad.

En este caso, para mostrar los cálculos, se va a proceder a tomar como referencia el mes de Diciembre. De manera que, el gasto de gas natural para satisfacer la carga térmica de la vivienda durante todo este mes será:

$$V_{gas,diciembre} = 522,89 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen de gas en el mes de Diciembre se puede calcular la masa de gas natural, tal y como se muestra a continuación.

$$m_{gas} = V_{gas} \cdot \rho_{gas}$$

Siendo:

- Densidad del gas natural " $\rho_{gas}$ " aproximadamente igual a la densidad del gas metano " $\rho_{metano}$ ".

$$\rho_{gas} = \rho_{metano} = 0,66 \text{ kg/m}^3$$

Nótese que se ha realizado esta suposición ya que, se sabe que el gas natural es más de un 80% gas metano.

Por lo tanto, la masa de gas natural empleada durante todo el mes de Diciembre será:

$$m_{gas} = 522,89 \cdot 0,66$$

$$m_{gas} = 345,1 \text{ kg}$$

La masa de aire necesaria para quemar toda la masa de gas natural se puede obtener a través del dosado real, tal y como se muestra en la **Expresión 4.8**.

$$F = \frac{345,1}{m_{aire}} = 0,015$$

#### Expresión 4.8

De la **Expresión 4.8** se calcula la masa de aire necesaria para producir la combustión del gas natural durante todo el mes de Diciembre.

$$m_{aire} = \frac{345,1}{0,015} = 23 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$m_{aire} = 23 \text{ Ton}$$

La combustión transforma los reactivos en productos, pero por el principio de la conservación de la masa, la masa de reactivos ha de ser igual a la masa de productos.

$$m_{reactivos} = m_{productos}$$

$$m_{reactivos} = 23 \cdot 10^3 + 345,1 = 23,35 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$m_{productos} = 23,35 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

De la **Figura 4.7** se puede obtener la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmosfera, ya que, establece que el 5,3% de los humos emitidos se componen de este gas de efecto invernadero.

$$m_{CO_2} = 0,053 \cdot m_{productos}$$

$$m_{CO_2} = 0,053 \cdot 23,35 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Emisiones de dióxido de carbono de la caldera debido a la combustión del gas natural durante el mes de Diciembre:

$$m_{CO_2} = 1237,55 \text{ kg}$$

3) Emisiones de NO<sub>x</sub>:

Las emisiones de NO<sub>x</sub> producidas por la combustión se pueden tabular de manera sencilla, para ello es necesario dirigirse al manual de la caldera, que estipula que para la caldera en cuestión (MANAUT MINOX de 24 kilovatios térmicos) las emisiones producidas son:

$$m_{NO_x} = 18 \text{ mg/kWh}$$

Para el mes de diciembre se sabe, ya que se ha obtenido anteriormente, el número de kilovatios hora de gas que han sido necesarios para satisfacer la carga térmica.

$$kWh_{gas,diciembre} = 5621,1 \text{ kWh}$$

De manera que:

$$(m_{NO_x})_{diciembre} = 18 \cdot 5621,1$$

$$(m_{NO_x})_{diciembre} = 101,2 \text{ kg}$$

4) Potencial de efecto invernadero indirecto (PEII):

El potencial de efecto invernadero indirecto puede entenderse como la contaminación producida por un aparato que funciona con energía eléctrica, en términos de emisiones de dióxido de carbono, debidas a la generación de dicha energía.

Esto es, que para producir la electricidad que se consume se ha tenido que contaminar el ambiente, puesto que esta electricidad proviene de una central eléctrica, la cual funciona con combustibles fósiles.

El potencial de efecto invernadero indirecto se puede calcular mediante la **Expresión 4.9**.

$$PEII = peii \cdot W_{electrico} \cdot n \cdot N$$

**Expresión 4.9**

Siendo:

- Potencial de efecto invernadero indirecto (*peii*):

$$peii = 0,411 \text{ kg/kWh}_e$$

Medido como cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmosfera por cada kilovatio hora de electricidad consumido

- Potencia eléctrica consumida ( $W_{\text{eléctrico}}$ ):

$$W_{\text{eléctrico}} = W_{\text{bomba}} = 120 \text{ W}$$

- Número de horas de funcionamiento del motor eléctrico " $n$ "

$$n = 24 \text{ horas}$$

- Número de días de funcionamiento del motor eléctrico " $N$ ".

$$N = 31 \text{ días}$$

Una vez se tienen todos los datos, se puede calcular el potencial de efecto invernadero indirecto (PEII), obtenido como emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera durante el mes de Diciembre.

$$PEII = 0,411 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 31$$

$$PEII = 36,7 \text{ kg de } CO_2$$

Cabe destacar, que el potencial de efecto invernadero indirecto es un parámetro que variará, dependiendo del índice de funcionamiento de la bomba, no obstante, se ha supuesto que será constante cada mes.

Esta suposición no es del todo cierta, sin embargo, el error cometido será prácticamente despreciable y no afectará a los resultados.

##### 5) Impacto ambiental total producido por la utilización de la caldera de gas:

- Emisiones de  $CO_2$ :

$$\text{Emisiones } CO_2 = 1237,55 + 36,7$$

$$\text{Emisiones } CO_2 = 1272,3 \text{ kg/mes}$$

- Emisiones de  $NO_x$ :

$$\text{Emisiones de } NO_x = 101,2 \text{ kg/mes}$$

Las emisiones de dióxido de carbono totales, se obtienen sumando las emisiones producidas directa e indirectamente por el uso de la instalación.

4.3.2. IMPACTO AMBIENTAL, RESULTADOS.

En la **Tabla 4.8** se muestra el impacto ambiental producido por la utilización de la caldera de gas como sistema de calefacción.

Este cálculo viene dado para cada uno de los meses considerados de invierno, y utilizando para cada mes, las hipótesis y procedimiento de cálculo que se ha presentado anteriormente para el mes de Diciembre.

**Tabla 4.8.** Impacto ambiental mensual de la caldera de gas.

Mes	Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg]	Emisiones de NO <sub>x</sub> [kg]
Noviembre	1142,2	90,4
Diciembre	1272,3	101,2
Enero	1293,3	102,7
Febrero	1134,2	89,7
Marzo	1125,1	89,0

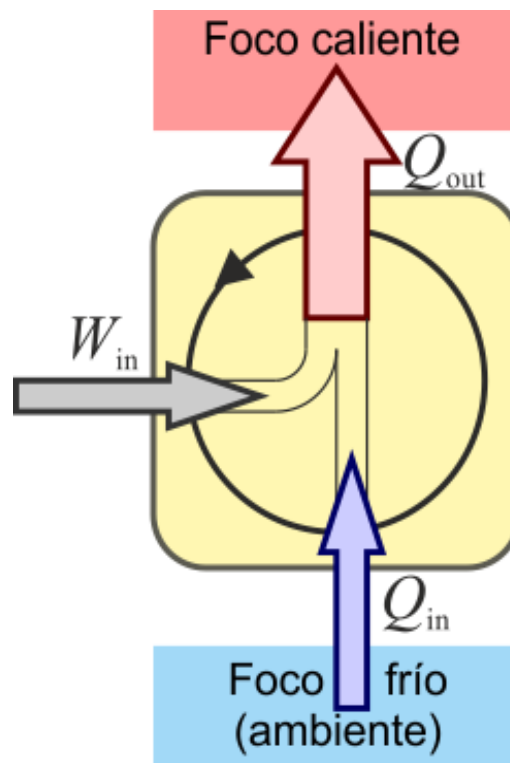
## 5. CALEFACCIÓN MEDIANTE BOMBA DE CALOR AIRE-AIRE.

En este apartado se presenta el estudio de la eficiencia energética, así como el coste económico e impacto ambiental debido a la utilización de un sistema de calefacción con bomba de calor, de compresión mecánica simple, que utilizará aire como fluido para realizar la transmisión de calor.

El principio de funcionamiento de la bomba de calor es sencillo, puesto que consiste en extraer calor de un foco, que llamaremos foco frío, y transmitirlo a otro foco, que será el foco caliente.

Para esta operación será necesario realizar un trabajo sobre el sistema, es decir, consumir una energía según dicta el primer principio de la termodinámica.

En la **Figura 5.1** se muestra esquemáticamente, desde el punto de vista termodinámico, el flujo de calor y trabajo del sistema en cuestión.

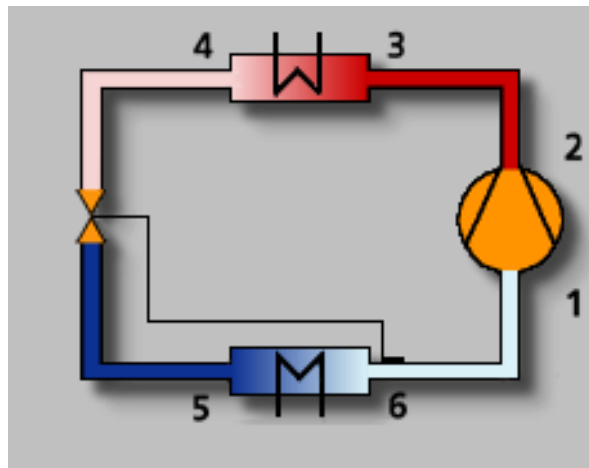


**Figura 5.1.** Esquema de funcionamiento termodinámico de la instalación.

En este caso, el foco frío representa el exterior de la vivienda, de manera que la temperatura del foco frío será la temperatura exterior del aire. El foco caliente será el interior de la vivienda, cuya temperatura es constante e igual a la temperatura de diseño.

## 5.1. Características generales y descripción del sistema.

En este apartado se procede a diseñar el ciclo de bomba de calor desde el punto de vista térmico. En la **Figura 5.2** se muestra, esquemáticamente, el ciclo de bomba de calor con todos los componentes necesarios para su funcionamiento.



**Figura 5.2.** Esquema de la instalación, bomba de calor.

A continuación se procede a definir cada uno de los componentes de la **Figura 5.2**:

- **EVAPORADOR:** En el tramo que une el punto 5 con el punto 6 se encuentra el evaporador. Es un intercambiador de calor que, extrae calor del foco frío mediante la evaporación de fluido refrigerante que circula por el mismo.
- **COMPRESOR:** En el tramo que une los puntos 1 y 2 se encuentra el compresor. El compresor comprime el refrigerante para aumentar su presión, al aumentar su presión también aumenta como consecuencia la temperatura.

Tiene múltiples funciones, es el encargado de hacer circular el refrigerante por todo el circuito y además contribuye a la evaporación del mismo en el evaporador.

- **CONDENSADOR:** En el tramo que une los puntos 3 y 4 se encuentra el condensador. Es un intercambiador de calor que hace que se produzca la condensación del refrigerante. De manera que, al condensar el refrigerante cede calor al foco caliente.
- **VÁLVULA DE EXPANSIÓN:** En el tramo que une los puntos 4 y 5 se encuentra la válvula de expansión, elemento fundamental del ciclo, puesto que produce la expansión del refrigerante. Esto permite que el refrigerante recupere la presión que poseía al entrar en el evaporador.

## 5.2. Diseño del ciclo.

En este apartado se presenta el diseño detallado del ciclo de bomba de calor de compresión mecánica simple aire-aire.

Para realizar el diseño es necesario tener en cuenta que hay que imponer una serie de parámetros, que no son conocidos de manera exacta. No obstante, se utilizarán criterios coherentes para la imposición de dichos parámetros.

### 1) Temperatura del evaporador:

La temperatura del evaporador ha de ser inferior a la temperatura del foco frío, porque, al ser éste intercambiador de calor de área finita, es necesario que exista una diferencia de temperaturas para que se produzca transferencia de calor.

Por conveniencia, para intercambiadores de convección forzada, como es el caso, se suele tomar una temperatura comprendida entre 15 y 20 °C por debajo de la temperatura ambiente (foco frío).

En este caso, la temperatura ambiente también es una incógnita. No obstante, se impondrá como temperatura del foco frío una temperatura de referencia, que será una de las mínimas que se da en la comunidad de Madrid en los meses de invierno. Esta temperatura será de -3,7 °C (según la norma UNE-100001).

Con lo cual:

$$T_{evap} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se puede observar entonces que la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el evaporador es de 16,3 °C.

### 2) Temperatura del condensador:

De manera análoga que para el evaporador, se puede definir la temperatura del condensador como, una temperatura comprendida entre 15 y 20 °C por encima de la temperatura del foco caliente (interior de la vivienda).

De manera que:

$$T_{cond} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de condensación elegida es, por lo tanto, 20°C superior a la temperatura de diseño.



### **3) Temperatura de recalentamiento:**

Teóricamente, la aspiración de fluido refrigerante por parte del compresor (véase punto 1 de la **Figura 5.2**), tendría que ser de vapor saturado, esto significaría que la instalación está funcionando en régimen húmedo.

No obstante, este tipo de funcionamiento puede acarrear una serie de problemas, como el "golpe de líquido". El "golpe de líquido" se produce por la presencia de gotas de refrigerante condensadas al final de la compresión, esto puede provocar la rotura del compresor.

La solución a este problema consiste en realizar un recalentamiento del fluido refrigerante en la entrada del mismo al compresor, de manera que, el compresor trabajará únicamente con vapor, y no con vapor saturado que presenta pequeñas gotas de fase condensada.

Este recalentamiento disminuirá la eficiencia de la instalación, puesto que hará que aumente el trabajo de compresión que es necesario realizar, pero es un factor necesario, puesto que aumentará considerablemente la vida útil de la instalación.

Se sabe que, la temperatura de recalentamiento debe ser lo más cercana a 5 °C, pero siempre por encima.

De manera que:

$$T_{recal} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### **4) Temperatura de subenfriamiento:**

En el condensador es necesario realizar un subenfriamiento del fluido refrigerante. Esto tiene una ventaja, puesto que aumenta el rendimiento frigorífico de la instalación.

Con el subenfriamiento, se está asegurando que a la válvula de expansión no entre el líquido saturado, que podría contener fases de vapor. De manera que se reduce considerablemente el riesgo y problemas que generaría la entrada de vapor a la válvula de expansión.

El subenfriamiento del líquido puede ser próximo a 10°C, de manera que:

$$T_{subenf} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### **5) Pérdidas de carga:**

Es necesario tener en cuenta, a la hora de diseñar un ciclo de refrigeración de compresión mecánica simple, que el movimiento del fluido refrigerante a través de las tuberías del circuito provoca pérdidas de carga, que se traducen en pérdidas de presión del fluido refrigerante.

Esta pérdida de presión se produce principalmente por las fuerzas viscosas, esto es, rozamiento del fluido con las paredes de la tubería. También es necesario tener en cuenta los distintos elementos auxiliares instalados en el circuito, tales como manómetros, separadores de aceite, filtros, secadores de humedad etc.

Por este motivo es necesario tener en cuenta que el compresor tendrá que otorgar presión suficiente al fluido para poder vencer estas pérdidas de carga.

Las pérdidas de carga son muy difíciles de determinar, ya que dependen de la velocidad con la que se mueva el fluido por todo el circuito, así como de las constantes características de pérdida de carga de los distintos elementos.

Por este motivo, y como regla práctica para simplificar de alguna manera los cálculos, se suele imponer que la pérdida de carga en el evaporador supone un 10% de la presión absoluta de trabajo, mientras que, la pérdida de carga en el condensador se puede estimar como un 5% de la presión absoluta de trabajo.

De manera que:

- Pérdida de carga en el evaporador:

$$\Delta P_{evap} = 0,1 \cdot P_{abs} \rightarrow \Delta P_{evap} = 2,48 \text{ bar}$$

- Pérdida de carga en el condensador:

$$\Delta P_{cond} = 0,05 \cdot P_{abs} \rightarrow \Delta P_{cond} = 1,24 \text{ bar}$$

La presión absoluta ha sido obtenida a través del software de diseño de ciclos Solkane, para el cual se ha diseñado principalmente el ciclo sin pérdidas de carga, pero dejando intactos el resto de parámetros.

A partir del ciclo sin pérdidas de carga se ha obtenido la presión absoluta, con esta presión absoluta se ha realizado el cálculo de las pérdidas de carga presentado en este apartado. Posteriormente se ha vuelto a calcular el ciclo, pero introduciendo esta vez las pérdidas de carga aquí obtenidas.

### **6) Refrigerante:**

Es necesario, a la hora de diseñar el ciclo, especificar el refrigerante que se va a utilizar, puesto que, utilizando un refrigerante u otro varía el rango de temperaturas en el que se puede trabajar, así como el efecto contaminante que tiene sobre el medio ambiente.

Para este caso, se utilizará un refrigerante muy usado comercialmente para climatización en los sistemas con bomba de calor de compresión mecánica simple aire-aire.

*Refrigerante → R 410A*

Este refrigerante se caracteriza principalmente porque únicamente contiene flúor, es decir, no contiene cloro, por lo que no tiene efecto destructivo sobre la capa de ozono (ODP). El cloro, al entrar en contacto con el ozono, divide éste en oxígeno y en un ión hipoclorito.

### **7) Rendimiento isoentrópico:**

El rendimiento isoentrópico es un coeficiente que se utiliza para, de una manera más o menos certera, tener en cuenta la irreversibilidad de la compresión. Esto es porque, en la práctica la compresión no ocurre de manera isoentrópica, lo cual implicaría que la compresión sería reversible.

En la realidad la compresión no es reversible, es irreversible, esto es debido a diversas pérdidas de energía provocadas por las pérdidas de carga a la entrada y a la salida del compresor, así como el rozamiento entre las moléculas de refrigerante y el propio rozamiento de los distintos componentes del compresor.

De manera que, en conclusión, el rendimiento isoentrópico depende del tipo de refrigerante así como de la relación de compresión. En este caso para calcular el ciclo se utilizará el software Solkane, dicho software ya tiene en cuenta el tipo de refrigerante y el rendimiento isoentrópico.

Para este caso, ya que se está utilizando como refrigerante el R-410A, el rendimiento isoentrópico será entonces, tal y como se muestra a continuación:

$$\eta_{iso} = 0,754$$

Una vez se conocen todos los parámetros necesarios para el diseño del ciclo se procede al cálculo del mismo. Este cálculo se realizará con el software Solkane, ya que permitirá conocer los valores de entalpía, entropía y volumen específico, de manera exacta, en cada uno de los puntos del ciclo.

Del software se obtienen, por lo tanto, los valores de entalpía específica necesarios para caracterizar el ciclo, en la **Tabla 5.1** se muestran dichos valores.

**Tabla 5.1.** Puntos característicos del ciclo.

Punto	Presión [bar]	Entalpía [kJ/kg]	Entropía [kJ/kg]
1	3,99	420,58	1,8769
2S	24,78	475,02	1,8769
2	24,78	492,61	1,9261
3	3,99	251,37	1,1779
4	3,99	251,37	1,1947

Donde:

○ Punto 1:

Punto de salida del refrigerante del evaporador y entrada al compresor.

○ Punto 2S:

Punto de salida del refrigerante del compresor y entrada al condensador si la compresión ocurriese de manera isoentrópica, esto es, sin variación de entropía, tal como se puede ver en la **Tabla 5.1**.

○ Punto 2:

Punto de salida de refrigerante del compresor y entrada en el condensador teniendo en cuenta el rendimiento isoentrópico, en este caso puede observarse un incremento de la entropía después de la compresión.

○ Punto 3:

Punto de salida del refrigerante del condensador y entrada hacia la válvula de expansión.

○ Punto 4:

Punto de salida de refrigerante de la válvula de expansión, y entrada en el evaporador, de manera que el refrigerante recupera la presión que poseía inicialmente (punto 1).



En la **Figura 5.3** se muestra el diagrama presión en función de la entalpía del ciclo, este diagrama permite obtener gráficamente los datos de presión, entalpía, entropía, temperatura etc.

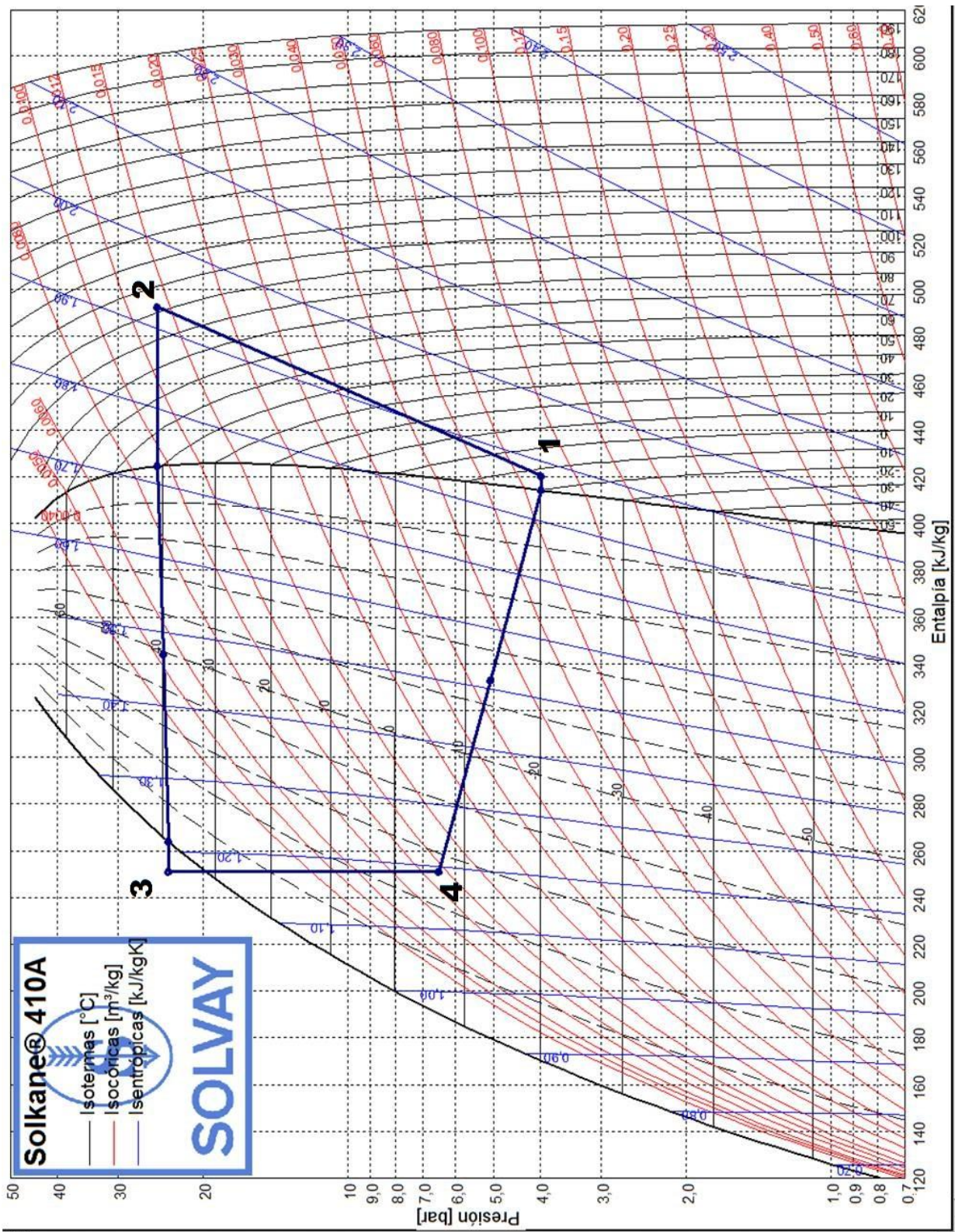


Figura 5.3. Diagrama presión-entalpía del R-410A y ciclo.

Una vez diseñado el ciclo, se puede comprobar de manera sencilla, si las hipótesis realizadas han sido correctas. Para ello en primer lugar se procederá a calcular la relación de compresión.

Relación de compresión:

$$\pi_c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{i}n}} \rightarrow \pi_c = \frac{24,78}{3,99} \rightarrow \pi_c = 6,2 < 10$$

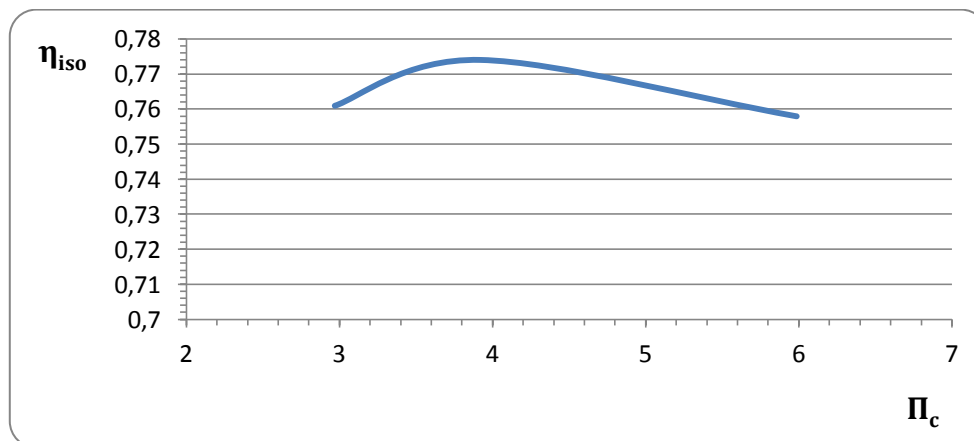
Como se puede observar la relación de compresión es menor que 10, esto implica que no es necesario realizar un ciclo de doble compresión.

Puesto que, cuando la relación de compresión supera el valor de 10, a la salida del compresor la temperatura de descarga puede aumentar hasta valores que pondrían en peligro la estabilidad térmica, tanto del refrigerante como del aceite, lo que provocaría una disminución de la eficiencia del ciclo.

Para resolver este problema se suele recurrir a realizar la compresión en 2 etapas con una refrigeración entre ambas, esto provoca, por lo tanto, que la relación de compresión sea menor en cada compresor.

En este caso, como la relación de compresión es menor que 10 se puede utilizar un ciclo de compresión mecánica simple.

En la **Figura 5.4** se muestra el diagrama de rendimiento isoentrópico para el refrigerante R-410A en función de la relación de compresión. El rendimiento isoentrópico de este refrigerante es muy próximo al 76% para una relación de compresión de 6. Este valor coincide con el dato proporcionado por el software Solkane de rendimiento isoentrópico.



**Figura 5.4.** Rendimiento isoentrópico R-410A en función de la relación de compresión.

### 5.3. Coste económico de la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción.

En este apartado se procede a evaluar el coste económico cuando se utiliza en la vivienda, como sistema de calefacción, una bomba de calor de compresión mecánica simple aire-aire.

El cálculo del coste económico se centrará principalmente en el coste de la energía que será necesario consumir, o suministrar al compresor, para que el ciclo permita mantener las condiciones requeridas en el interior de la vivienda.

No obstante, también se tendrán en cuenta los consumos de alguno de los sistemas auxiliares fundamentales para el funcionamiento de la instalación.

El cálculo de la energía consumida por parte del compresor es una variable que depende del ciclo, de la entalpía empleada en la compresión, tal y como se muestra en la **Tabla 5.1** y, además, de la temperatura exterior del aire.

La carga térmica que es necesaria aportar a la vivienda se obtiene con la diferencia de entalpías entre la entrada y salida del condensador y el consumo de refrigerante. Se conoce la carga térmica instantánea, que será igual a la potencia térmica del condensador.

Con la carga térmica instantánea y la diferencia de entalpías en el condensador, se puede calcular el caudal de refrigerante instantáneo requerido por la instalación. Este caudal de refrigerante instantáneo varía con la carga térmica

Por lo tanto, para cada uno de los distintos caudales de refrigerante, se tiene una potencia que se ha de dar al compresor, con la diferencia de entalpías entre la entrada y salida del mismo.

De esta manera, se obtendrá la suma de cada uno de los distintos valores de potencia que ha sido necesario otorgar al compresor para el funcionamiento del ciclo.

Posteriormente, se procederá a evaluar el gasto económico del uso de la electricidad que ha de darse al motor eléctrico que mueve el compresor, para que éste conceda la potencia requerida.

En último lugar, tal y como se mostrará en los siguientes apartados, se calculará el consumo eléctrico debido al uso de los ventiladores, sendos colocados en el evaporador y el condensador, para realizar una convección forzada de aire.

Esta convección forzada de aire es necesaria, puesto que ayuda de manera significativa a la transmisión de calor, que ha de existir entre los tubos que contienen el fluido refrigerante y el aire que los rodea.

### 5.3.1. POTENCIA ELÉCTRICA REQUERIDA POR LA BOMBA DE CALOR.

En este apartado se muestran los pasos a seguir para, la obtención de la potencia eléctrica requerida por todos los elementos del sistema de bomba de calor. Esta potencia permitirá evaluar posteriormente el coste económico debido a la utilización del sistema.

#### 1) Caudal de refrigerante instantáneo.

En este apartado se procede a calcular el caudal de refrigerante necesario para satisfacer la carga térmica instantánea. Este caudal de refrigerante se obtiene a través de la **Expresión 5.1**, tal y como se muestra a continuación.

$$Q_{total} = m_{ref} \cdot \Delta h_{cond}$$

#### **Expresión 5.1**

Donde:

- " $Q_{total}$ " es la carga térmica instantánea de la vivienda medida en [kW].
- " $m_{ref}$ " es el gasto másico (caudal) de refrigerante instantáneo, medido en [kg/s], y es la incógnita en la expresión.
- " $\Delta h_{cond}$ " es la diferencia de entalpías específicas, medidas en [kJ/kg], entre la entrada y la salida del condensador, en condiciones de proyecto.

$$\Delta h_{cond} = h_3 - h_2 = 241,24 \text{ kJ/kg}$$

Cabe destacar, que es necesario tener en cuenta las unidades en las que se está trabajando, de manera que si se introduce el valor de la carga térmica en vatios, es necesario introducir el valor de entalpía específica en la **Expresión 5.1** en julios dividido por kilogramo.

Despejando, por lo tanto, la incógnita de la **Expresión 5.1**, se puede obtener el caudal de refrigerante necesario para satisfacer la carga térmica de la vivienda.

En la **Expresión 5.2** se muestra la ecuación que es necesario introducir en el software de cálculo (Excel) para poder realizar la simulación del caudal de refrigerante instantáneo.

$$m_{ref} = \frac{Q_{total}}{241,24 \cdot 10^3}$$

#### **Expresión 5.2**

Nótese que la diferencia de entalpías específicas es un dato que es propio del ciclo.



En la **Tabla 5.2** se muestra, de manera representativa, el cálculo del caudal de refrigerante instantáneo en función de la carga térmica, para los primeros minutos del mes de Diciembre, utilizando el software de cálculo Excel.

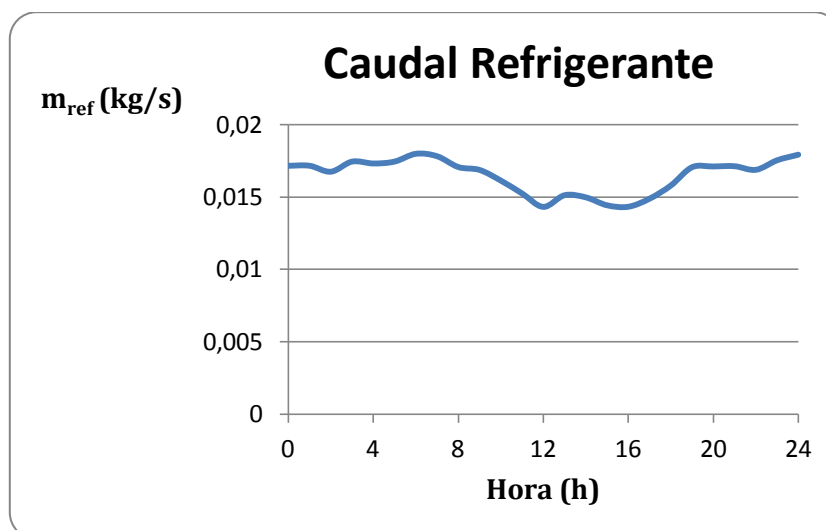
**Tabla 5.2.** Caudal de refrigerante instantáneo en función de la carga térmica.

$Q_{total}$ [W]	$m_{ref}$ [kg/s]	Fecha
4139,7	0,0172	1/12/2010 00:00
4118,9	0,0171	1/12/2010 00:10
4123,5	0,0171	1/12/2010 00:20

Donde:

- " $Q_{total}$ " es la carga térmica instantánea de la vivienda en [W].
- " $m_{ref}$ " es el caudal refrigerante instantáneo en [kg/s].

En la **Figura 5.5**, se presenta la evolución del caudal de refrigerante necesario para satisfacer la carga térmica durante el primer día del mes de Diciembre.



**Figura 5.5.** Gasto másico de refrigerante en función del tiempo. 1/12/2010.

Nótese que, de manera análoga que para el caso de la caldera, la gráfica presentada en la **Figura 5.5**, tiene la misma forma que la de la carga térmica. Esto es coherente, puesto que existe una relación de proporcionalidad directa entre la carga térmica y el caudal de refrigerante, a mayor carga térmica mayor será el caudal de refrigerante necesario para satisfacer la misma.

## 2) Potencia del compresor ideal instantánea.

En este apartado se muestra la obtención de la potencia instantánea ideal del compresor, esta potencia se puede calcular en función del caudal de refrigerante instantáneo, tal y como muestra la **Expresión 5.3**.

$$W_{comp} = m_{ref} \cdot \Delta h_{comp}$$

### **Expresión 5.3**

Donde:

- " $W_{comp}$ " la potencia instantánea ideal que otorga el compresor para el funcionamiento del ciclo y que, permite satisfacer la carga térmica instantánea de la vivienda. Esta potencia viene dada en [kW].
- " $\Delta h_{comp}$ " es la diferencia de entalpías específicas entre la entrada y la salida del compresor, también llamado trabajo específico del compresor, en condiciones de proyecto, y expresado en [kJ/kg].

$$\Delta h_{comp} = h_2 - h_1 = 492,61 - 420,58$$

$$\Delta h_{comp} = 72,03 \text{ kJ/kg}$$

De manera que, sustituyendo el valor de la diferencia de entalpías entre la entrada y la salida del compresor en la **Expresión 5.3**, se obtiene la **Expresión 5.4**. Esta expresión es la que se deberá de introducir en el software de cálculo (Excel) para obtener la potencia instantánea ideal del compresor.

$$W_{comp} = m_{ref} \cdot 72,03$$

### **Expresión 5.4**

Cabe destacar que, en este caso, es necesario introducir la diferencia de entalpías específicas del compresor en kilojulios dividido por kilogramo, puesto que se quiere obtener la potencia instantánea del compresor en kilovatios. Esto facilitará los cálculos que se han de realizar posteriormente.

En la **Tabla 5.3** se muestra, de manera representativa, y para los primeros minutos del mes de Diciembre, el cálculo de la potencia instantánea ideal que es necesario otorgar al compresor para poder satisfacer la carga térmica instantánea de la vivienda.

**Tabla 5.3.** Potencia instantánea del compresor ideal.

$m_{ref}$ [kg/s]	$W_{comp}$ [kW]	Fecha
0,0172	1,236	1/12/2010 00:00
0,0171	1,230	1/12/2010 00:10
0,0171	1,231	1/12/2010 00:20

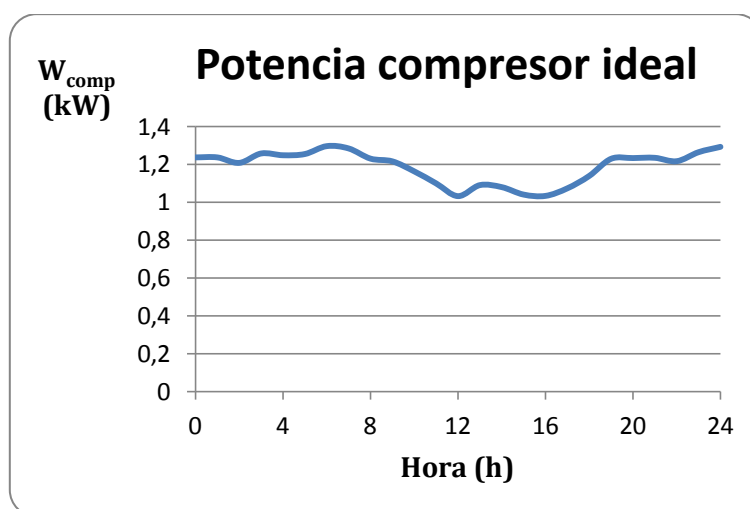
Donde:

- " $W_{comp}$ " es la potencia instantánea del compresor ideal.

Cabe destacar que la potencia ideal del compresor es, la potencia que hay que otorgar al compresor, sin tener en cuenta las pérdidas producidas por las distintas transformaciones de energía.

No obstante, sí que se han tenido en cuenta las irreversibilidades producidas por la compresión, puesto que el software Solkane permite introducir el rendimiento isoentrópico a la hora calcular el ciclo.

En la **Figura 5.6** se muestra la evolución de la potencia, a lo largo del tiempo, que el compresor ha de otorgar para satisfacer la carga térmica de la vivienda. Esta potencia varía entre 1 y 1,3 kilovatios para el primer día del mes de Diciembre.



**Figura 5.6.** Potencia ideal del compresor en función del tiempo. 1/12/2010.

### 3) Potencia real y total del compresor.

Una vez obtenida la potencia instantánea ideal otorgada por el compresor para satisfacer la carga térmica instantánea, se puede obtener la potencia eléctrica real necesaria para alimentar el compresor, expresada en unidades de kWh.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta que la potencia instantánea del compresor no es exactamente instantánea, es la potencia que ha de otorgar el compresor durante diez minutos para satisfacer la carga térmica constante durante este periodo de tiempo.

Por lo tanto:

$$W_{comp,kWh} = W_{comp} \cdot t$$

Siendo:

- " $W_{comp,kWh}$ " la potencia instantánea ideal del compresor, expresado en unidades de [kWh].
- " $t$ " la fracción de tiempo correspondiente, en tanto por uno, a 10 minutos con relación a 1 hora.

$$t = 10 \text{ min} = \frac{10}{60} \text{ h}$$

$$t = \frac{1}{6} \text{ h}$$

Por último, para obtener la potencia real instantánea del compresor es necesario tener en cuenta que, esta potencia va a ser mayor que la ideal, obtenida en el apartado anterior. Puesto que será necesario tener en cuenta una serie de rendimientos, que vienen determinados por las distintas conversiones de energía.

Esto se traducirá, por lo tanto, en que ya no se seguirá cumpliendo el siguiente balance de energía, dado por la **Expresión 5.5**.

$$Q_{evap} + W_{comp} = Q_{cond}$$

#### **Expresión 5.5**

Ya que ahora, debido a las pérdidas, la potencia del compresor será mayor a la ideal, que es la obtenida por el ciclo.

Es necesario tener en cuenta los rendimientos ya que, hay pérdidas por el hecho de convertir la electricidad de la red en energía eléctrica para alimentar el motor que mueve el compresor.

También hay que tener en cuenta la cantidad de energía que aprovecha el compresor para realizar la compresión, puesto que, existen rozamientos entre las distintas piezas que lo componen.

De manera que:

$$W_{comp\ real} = \frac{W_{comp,kWh}}{\eta_{mec} \cdot \eta_{eléc}}$$

### Expresión 5.6

Siendo:

- " $\eta_{mec}$ " el rendimiento mecánico del compresor.

$$\eta_{mec} = 0,85$$

- " $\eta_{eléc}$ " el rendimiento eléctrico del compresor.

$$\eta_{eléc} = 0,95$$

Cabe destacar que conocer el valor exacto de ambos rendimientos, tanto eléctrico como mecánico, es muy difícil, y su estudio más detallado conllevaría mucho tiempo.

Es por esto que se han utilizado valores aproximados ya conocidos, es decir, se ha impuesto el valor de ambos rendimientos. No obstante, se sabe que estos valores se aproximan bastante a la realidad.

Conocidos los valores de rendimiento mecánico, rendimiento eléctrico, y fracción de tiempo, se puede reescribir la **Expresión 5.6** de la siguiente manera.

$$W_{comp\ real} = \frac{W_{comp,kWh}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$W_{comp\ real} = \frac{W_{comp,kWh}}{0,8075}$$

### Expresión 5.7

La **Expresión 5.7** muestra la ecuación que será necesario introducir en el software de cálculo (Excel), para poder obtener el valor de la potencia eléctrica real instantánea del compresor en función de la potencia ideal.

Una vez obtenida la potencia real instantánea otorgada por el compresor para satisfacer la carga térmica de la vivienda, se puede calcular, la potencia eléctrica total que ha sido necesario dar al compresor durante el mes. La potencia eléctrica real total será la suma de todas las potencias instantáneas obtenidas para un mes, mediante la **Expresión 5.7**.

La **Tabla 5.4** muestra, de manera representativa y para los primeros minutos del mes Diciembre, el cálculo realizado mediante el software Excel, de la potencia instantánea del compresor real en función de la ideal.

**Tabla 5.4.** Potencia eléctrica instantánea del compresor real.

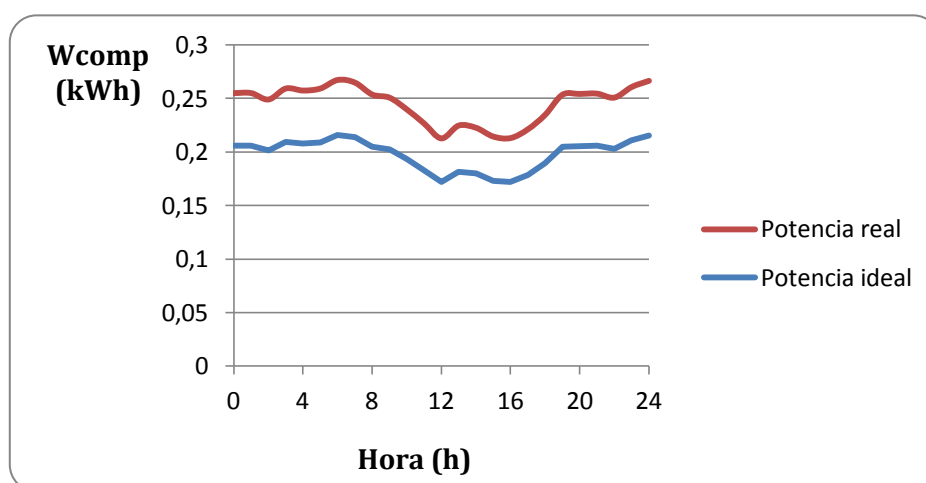
$W_{comp,kWh}$ [kWh]	$W_{comp\ real}$ [kWh]	Fecha
0,206	0,255	1/12/2010 00:00
0,205	0,254	1/12/2010 00:10
0,205	0,254	1/12/2010 00:20

Donde:

- " $W_{comp\ real}$ " es la potencia instantánea otorgada por el compresor.

En la **Figura 5.7** se presenta la evolución de la potencia del compresor, tanto real como ideal, expresada en kWh a lo largo del primer día de Diciembre. La potencia ideal se encuentra en torno a los 0,2 kWh de media, y es menor que la potencia real, que se encuentra ligeramente por debajo de los 0,25 kWh de media.

Ambas curvas poseen exactamente la misma forma. La única diferencia es que se introduce un coeficiente de proporcionalidad (que serán los rendimientos eléctrico y mecánico), para hacer que los valores en el eje vertical sean mayores, en el caso de la potencia instantánea real.



**Figura 5.7.** Potencia ideal y real del compresor en función del tiempo. 1/12/2010.

#### 4) Potencia térmica instantánea del evaporador y condensador.

En este apartado se procede a calcular la potencia térmica instantánea de los intercambiadores que realizan la función de evaporador y condensador del sistema.

La potencia térmica de ambos intercambiadores fluctúa en función de la temperatura exterior, con lo cual, estas potencias serán distintas dependiendo de la carga térmica existente en la vivienda.

Para obtener dichas potencias térmicas hay que recurrir al diseño del ciclo, ya que se calcularán con las entalpías específicas del ciclo, en condiciones de proyecto. Estas entalpías serán las correspondientes a los puntos del ciclo 4 y 1 para el evaporador, y los puntos 2 y 3 para el condensador.

De manera que:

- Potencia térmica del evaporador:

$$Q_{evap} = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{evap} = m_{ref} \cdot (420,58 - 251,37)$$

$$Q_{evap} = 169,21 \cdot m_{ref}$$

#### **Expresión 5.8**

- Potencia térmica del condensador:

$$Q_{cond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{cond} = m_{ref} \cdot (492,61 - 251,37)$$

$$Q_{cond} = 241,24 \cdot m_{ref}$$

#### **Expresión 5.9**

Las **Expresiones 5.8** y **5.9**, son las que se introducirán en el software de cálculo, ya que permiten obtener las potencias térmicas de ambos intercambiadores en [kW]. Siendo " $m_{ref}$ " el caudal de refrigerante instantáneo necesario para satisfacer la carga térmica instantánea de la vivienda, calculado anteriormente.

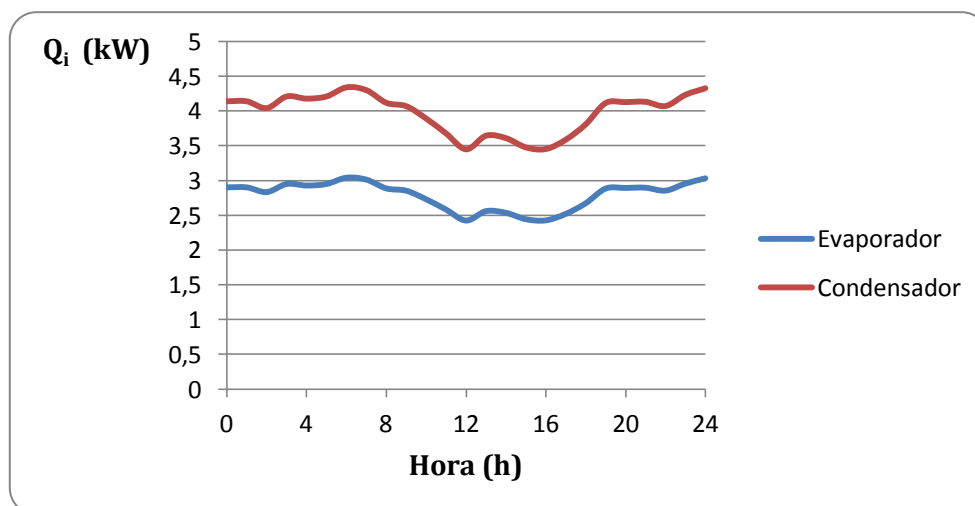
En la **Tabla 5.5** se muestra, de manera representativa y para los primeros minutos del mes de Diciembre, el cálculo de la potencia térmica instantánea del evaporador y el condensador. Ambas calculadas con las **Expresiones 5.8** y **5.9** respectivamente, en función del caudal de refrigerante instantáneo.

**Tabla 5.5.** Potencia térmica instantánea: Evaporador y Condensador.

$m_{ref}$ [kg/s]	$Q_{evap}$ [kW]	$Q_{cond}$ [kW]	Fecha
0,0172	2,90	4,14	1/12/2010 00:00
0,0171	2,89	4,12	1/12/2010 00:10
0,0171	2,89	4,12	1/12/2010 00:20

Nótese que la potencia térmica instantánea del condensador tiene el mismo valor que la carga térmica instantánea de la vivienda, lo cual es lógico, ya que la condición que se impone es que el condensador sea capaz de proporcionar el calor perdido por la vivienda.

En la **Figura 5.8**, se muestra la evolución de la potencia térmica instantánea de evaporador y condensador en función de la hora del día, para el primer día del mes de Diciembre.



**Figura 5.8.** Potencia térmica de evaporador y condensador en función del tiempo. 1/12/2010.

Tal y como se puede observar de la **Figura 5.8**, la potencia térmica del evaporador a lo largo del día considerado se encuentra comprendida entre los 2,5 y 3 kilovatios térmicos, mientras que para el caso del condensador esta potencia es mayor, y varía entre los 3,5 y 4,5 kilovatios.



5) Potencia eléctrica de los ventiladores del evaporador y el condensador.

En este apartado se procede a calcular la potencia eléctrica que será necesaria aportar a los ventiladores, tanto del condensador como del evaporador, para que, haciendo pasar el aire a través de estos, se produzca la transferencia de calor necesaria.

El cálculo de la potencia eléctrica instantánea consumida por los ventiladores se puede deducir, a partir de la **Expresión 5.10**, tal y como se muestra a continuación.

$$W_{vent} = \frac{\dot{m}_{aire} \cdot \Delta P_{inter} \cdot t}{\rho_{aire} \cdot \eta_{inter}}$$

**Expresión 5.10**

Donde:

- " $W_{vent}$ " es la potencia eléctrica instantánea que se necesita suministrar al ventilador del intercambiador correspondiente, medida en [Wh].
- " $\Delta P_{inter}$ " es la pérdida de carga producida por flujo de aire a través del intercambiador, medida en [Pa].
- " $\rho_{aire}$ " es la densidad del aire, medida en unidades del sistema internacional.
- " $\eta_{inter}$ " es un término que expresa el rendimiento del intercambiador, en el cual se tiene en cuenta las pérdidas debidas a las distintas transformaciones de energía, tanto la energía térmica como la eléctrica y mecánica.
- " $\dot{m}_{aire}$ " es el gasto másico de aire, o caudal de aire, medido en [kg/s], que es necesario hacer pasar por el intercambiador para que se produzca la transferencia de calor. En este caso, es una variable que será necesario determinar, para ello se ha de recurrir a la **Expresión 5.11**.

$$Q_{inter} = \dot{m}_{aire} \cdot C_p \cdot \Delta T_{inter}$$

**Expresión 5.11**

Donde:

- " $Q_{inter}$ " es la potencia térmica, medida en unidades del sistema internacional, del intercambiador de calor del que se quiere obtener la potencia del ventilador.
- " $C_p$ " es el calor específico del aire.
- " $\Delta T_{inter}$ " es la diferencia de temperaturas existente entre el intercambiador y el aire del ambiente que lo rodea.

A continuación se muestran las expresiones que será necesario introducir en el software de cálculo (Excel) para, poder obtener el consumo eléctrico de los ventiladores del evaporador y del condensador.

#### EVAPORADOR:

La **Expresión 5.12** caracteriza el consumo eléctrico del ventilador del evaporador en función de la potencia térmica del mismo.

$$W_{vent,evap} = \frac{\dot{m}_{aire,evap} \cdot \Delta P_{evap} \cdot t}{\rho_{aire} \cdot \eta_{evap}}$$

#### **Expresión 5.12**

Donde:

- " $\dot{m}_{aire,evap}$ " es el gasto másico de aire en el evaporador, y que se obtiene de la potencia térmica instantánea del evaporador, particularizando la **Expresión 5.11** para el evaporador.

$$\dot{m}_{aire,evap} = \frac{Q_{evap}}{C_p \cdot \Delta T_{evap}}$$

Siendo:

- " $Q_{evap}$ " la potencia térmica instantánea del evaporador.
- " $\Delta T_{evap}$ " la diferencia de temperaturas existente entre el evaporador y el aire exterior. Esta diferencia de temperaturas es variable a lo largo del tiempo.
- " $C_p$ " el calor específico del aire.

$$C_p = 1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Nótese que el calor específico del aire depende de la temperatura a la que éste se encuentre. No obstante se supondrá constante, ya que la diferencia de temperaturas es relativamente pequeña.

- " $\rho_{aire}$ " es la densidad del aire, esta propiedad depende de manera significativa de la temperatura, no obstante, y por simplicidad en los cálculos se elegirá como densidad del aire un valor constante.

$$\rho_{aire} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

- " $\Delta P_{evap}$ " es la pérdida de carga, producida por el movimiento del aire que mueve el ventilador, así como las pérdidas secundarias provocadas por el paso del aire a través de los distintos elementos del evaporador. El valor exacto podría ser objeto de estudio. Por simplicidad se supondrá dicho valor conocido.

$$\Delta P_{evap} = 75 \text{ Pa}$$

- " $\eta_{evap}$ " es el rendimiento del evaporador, expresado de manera representativa, el coste de la energía eléctrica por las distintas pérdidas existentes en las conversiones, desde energía eléctrica a potencia mecánica.

$$\eta_{evap} = 0,6$$

Por lo tanto, sustituyendo los valores anteriormente obtenidos en la **Expresión 5.12**, se tiene la **Expresión 5.13**, la cuál será necesaria introducir en el software de cálculo (Excel) para obtener la potencia instantánea del ventilador del evaporador.

$$W_{vent,evap} = \frac{\dot{m}_{aire,evap} \cdot 75}{1,22 \cdot 0,6 \cdot 6} \rightarrow W_{vent,evap} = \frac{\dot{m}_{aire,evap} \cdot 75}{4,392}$$

### Expresión 5.13

#### CONDENSADOR:

De manera análoga que para el evaporador, se puede obtener la potencia eléctrica instantánea que será necesario transmitir al ventilador del condensador, tal y como muestra la **Expresión 5.14**.

$$W_{vent,cond} = \frac{\dot{m}_{aire,cond} \cdot \Delta P_{cond} \cdot t}{\rho_{aire} \cdot \eta_{cond}}$$

### Expresión 5.14

Sabiendo que:

$$\dot{m}_{aire,cond} = \frac{Q_{cond}}{C_p \cdot \Delta T_{cond}}$$

Siendo:

- $\Delta T_{cond} = 41 - 21 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta P_{cond} = 150 \text{ Pa}$
- $\eta_{cond} = \eta_{evap} = 0,6$

Por lo tanto, conociendo todos los datos para el condensador, la **Expresión 5.14** se puede reescribir, dando como resultado la **Expresión 5.15**, que es la que habrá que introducir en el programa de cálculo.

$$W_{vent,cond} = \frac{\dot{m}_{aire,cond} \cdot 150}{1,22 \cdot 0,6 \cdot 6} \rightarrow W_{vent,cond} = \frac{\dot{m}_{aire,cond} \cdot 150}{4,392}$$

**Expresión 5.15**

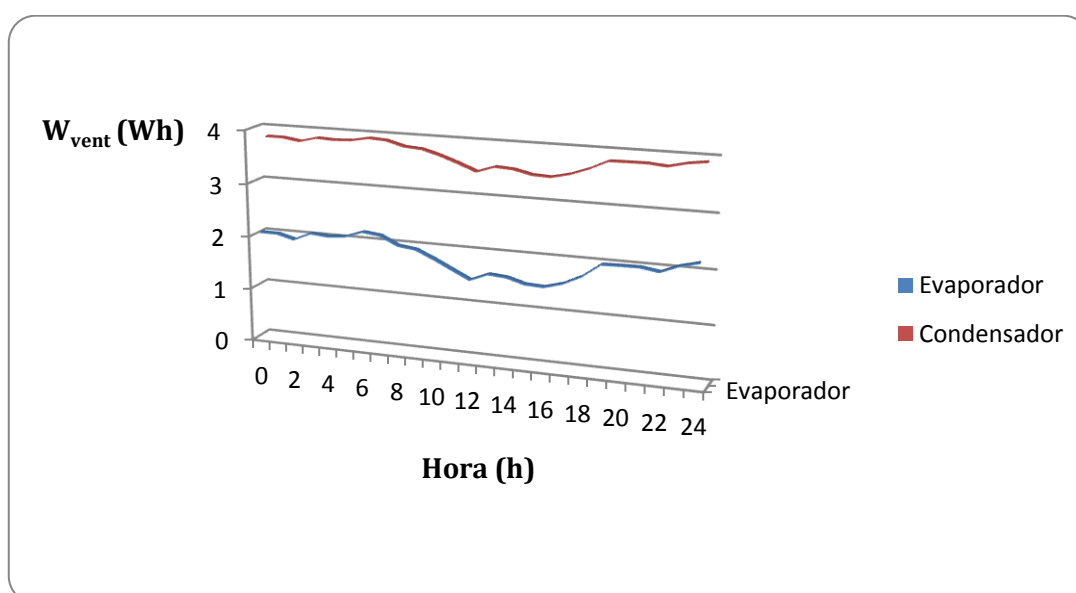
En la **Tabla 5.6**, se muestra de manera representativa y para los primeros minutos del mes de Diciembre, el consumo instantáneo de electricidad de los ventiladores del evaporador y el condensador en [Wh].

Este consumo viene dado en función de la potencia térmica de ambos intercambiadores.

**Tabla 5.6.** Potencia eléctrica instantánea de los ventiladores.

$Q_{evap}$ [kW]	$W_{vent,evap}$ [Wh]	$Q_{cond}$ [kW]	$W_{vent,cond}$ [Wh]	Fecha
2,90	2,07	4,14	3,82	1/12/2010 00:00
2,89	2,05	4,12	3,80	1/12/2010 00:10
2,89	2,06	4,12	3,81	1/12/2010 00:20

En la **Figura 5.9** se muestra la evolución de la potencia eléctrica requerida por los ventiladores de los intercambiadores evaporador y condensador, para el primer día del mes de Diciembre.



**Figura 5.9.** Potencia eléctrica de los ventiladores en función del tiempo. 1/12/2010.

### 5.3.2. CÁLCULO DE COSTES.

En este apartado, se procederá a calcular el coste económico debido a la utilización de bomba de calor como sistema de climatización.

En primer lugar, es necesario saber que todo el coste económico, va a venir dado por el consumo de energía eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

Entonces, el coste económico de la bomba de calor estará caracterizado por la **Expresión 5.16**.

$$C_{bomba,calor} = C_{compresor} + C_{vent,evap} + C_{vent,cond} + C_{impuesto,eléc} + C_{alq,equip}$$

#### **Expresión 5.16**

A continuación se muestra el cálculo detallado de cada uno de los costes que aparecen en la **Expresión 5.16**, válidos durante el transcurso de 1 mes.

#### 1) Coste económico del compresor:

La **Expresión 5.17** muestra cómo se obtiene el coste económico del compresor. Este coste se calcula en función la potencia eléctrica real total del compresor (ver **Tabla 5.4**).

$$C_{compresor} = W_{comp,real} \cdot P_{eléc} + P_{mant,línea}$$

#### **Expresión 5.17**

Siendo:

- " $W_{comp,real}$ " la potencia real eléctrica en kWh, que será necesario suministrar al compresor para el correcto funcionamiento del ciclo. Esta potencia se calcula como la suma de todas las potencias reales instantáneas (cada 10 min) a lo largo de un mes.

$$W_{comp,real} = \sum_{i=1}^n W_{comp,real_i}$$

- " $P_{eléc}$ " el precio de la electricidad, dado en euros por kilovatio hora consumido.

$$P_{eléc} = 0,150938 \text{ €/kWh}$$

Nótese que éste precio varía según el mes y el año considerado, este valor en concreto se ha obtenido de una factura de electricidad de la empresa IBERDROLA, correspondiente al mes de Febrero del año 2013.

- " $P_{mant, línea}$ " es el coste de mantenimiento de la línea durante 1 mes, este coste es un coste fijo, que viene en función de la potencia eléctrica contratada en la vivienda, en este caso, la potencia contratada es de 4,4 kW.

$$P_{mant, línea} = 4,4 \text{ kW} \cdot 30 \text{ día} \cdot 0,059981 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}}$$

$$P_{mant, línea} = 7,92 \text{ €}$$

## 2) Coste económico del ventilador del evaporador y del condensador:

El coste económico del ventilador del evaporador y del condensador es un coste variable. Se puede obtener de manera sencilla e igual para ambos casos, en función de la potencia total consumida por dichos ventiladores a lo largo del mes, calculada en Wh (Ver **Tabla 5.6**).

Una vez que se tiene la potencia total, se pasa a unidades de kWh y se multiplica por el precio de la electricidad.

- Potencia eléctrica consumida por el ventilador del evaporador:

$$C_{vent, evap} = \frac{W_{vent, evap}}{1000} \cdot P_{eléc}$$

- Potencia eléctrica consumida por el ventilador del condensador:

$$C_{vent, cond} = \frac{W_{vent, cond}}{1000} \cdot P_{eléc}$$

Nótese que es necesario realizar la división de ambas potencias por 1000, para expresarlas en unidades de kWh.

### 3) Coste económico debido al impuesto sobre la electricidad:

Este es el coste debido al impuesto sobre la electricidad, en este caso, es un coste variable que depende de la potencia eléctrica consumida (en kWh). Esta potencia eléctrica será, tanto la consumida por los ventiladores del evaporador y el condensador como la necesaria para alimentar el compresor.

De manera que, la **Expresión 5.18**, permite obtener el coste debido al impuesto sobre la electricidad

$$C_{\text{impuesto,eléc}} = ((C_{\text{compresor}} + C_{\text{vent,evap}} + C_{\text{vent,cond}}) \cdot P_{\text{mant,linea}}) \cdot 0,04864 \cdot 1,05113$$

$$C_{\text{impuesto,eléc}} = ((C_{\text{compresor}} + C_{\text{vent,evap}} + C_{\text{vent,cond}}) \cdot P_{\text{mant,linea}}) \cdot 0,051$$

#### **Expresión 5.18**

### 4) Coste de alquiler de equipos:

El coste de alquiler de equipos es un coste fijo debido al alquiler de los equipos de medida, tiene un valor ya determinado para todo el mes, a continuación se muestra dicho valor.

$$C_{\text{alq,equip}} = 0,56 \text{ €}$$

Por lo tanto, con todo lo expresado anteriormente, queda totalmente determinado el coste económico, expresado en euros, de la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción.

No obstante, es necesario tener en cuenta también, que en España se aplica un impuesto sobre el valor añadido (I.V.A) del 21%. De manera que, el coste total de la utilización de la bomba de calor viene dado finalmente por la **Expresión 5.19**.

$$C_{\text{total bomba,calor}} = 1,21 \cdot C_{\text{bomba,calor}}$$

#### **Expresión 5.19**

5.3.3. COSTE ECONÓMICO DE UTILIZACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR, RESULTADOS.

En la **Tabla 5.7** se muestran los diferentes costes de utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción de la vivienda, para los meses de invierno considerados.

**Tabla 5.7.** Coste mensual de utilización de la bomba de calor.

<b>Mes</b>	<b>Coste</b>
Noviembre	172,62 €
Diciembre	207,23 €
Enero	214,75 €
Febrero	181,83 €
Marzo	163,49 €



## 5.4. Impacto ambiental.

En este apartado se procede a evaluar el impacto ambiental producido por la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción. Se sabe que, el sistema necesita energía para mover el compresor que hace circular el refrigerante, así como los ventiladores de los distintos intercambiadores, evaporador y condensador.

Esta energía, que será necesario suministrar a dichos elementos se puede traducir en energía eléctrica, esta electricidad se obtiene de la red. De manera que, el impacto ambiental producido por la utilización de la bomba de calor se puede tabular como, la contaminación que ha generado una central térmica para la producción de dicha electricidad.

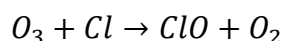
Por esta razón, en primer lugar será necesario evaluar el potencial de efecto invernadero indirecto (PEII), este concepto ya se introdujo anteriormente, representa las emisiones de dióxido de carbono que una central térmica genérica ha transmitido a la atmosfera para la producción de una cierta cantidad de electricidad.

En el caso de disponer de una instalación completamente estanca, el análisis del impacto ambiental terminaría con la obtención del PEII, pero en la realidad no es así, ya que, el circuito por el que circula el refrigerante no es completamente estanco. El circuito no es estanco, ya que las juntas no son perfectas y además tiene la desventaja de que se trata de un circuito presurizado.

En este sentido, el fluido, en caso de existir una fuga, por pequeña que sea, se dirigirá desde el lugar de mayor presión (circuito de la instalación) hacia el lugar de menor presión (atmosfera).

Por este motivo es necesario tener en cuenta la contaminación que el refrigerante genera en la atmosfera cuando se producen estas pequeñas fugas, este impacto no es irrelevante, puesto que la composición química de los refrigerantes hace que estos sean muy perjudiciales para el medio ambiente.

En concreto, aquellos que disponen de cloro en su composición, ya que al llegar a la estratosfera entran en contacto con el ozono, dividiéndolo en oxígeno y monóxido de cloro. La **Expresión 5.20** representa la reacción producida.



### Expresión 5.20

De manera que para tener en cuenta el efecto que producen las fugas de refrigerante a la atmosfera será necesario recurrir a un parámetro que se denominará potencial de efecto invernadero directo (PEID). En este caso, se dirá que es directo porque evalúa la contaminación producida directamente por la instalación.

5.4.1. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII).

El potencial de efecto invernadero indirecto (PEII) se puede calcular mediante la utilización de la **Expresión 5.21**, tal y como se muestra a continuación.

$$PEII = peii \cdot W_{bomba,calor}$$

**Expresión 5.21**

Siendo:

- "*peii*" la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmosfera por kWh eléctrico consumido, este parámetro es constante independiente del mes considerado. Es un dato de referencia, ya que su estimación de manera precisa puede llegar a ser muy compleja.

$$peii = 0,411 \frac{kg CO_2}{kWh}$$

- "*W<sub>bomba,calor</sub>*" es el consumo de electricidad total, debido al compresor y a los ventiladores, medido en kWh, por la utilización de la bomba de calor durante un mes.

En la **Tabla 5.8** se muestran las emisiones de dióxido de carbono producidas por la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción, durante los meses considerados de invierno.

**Tabla 5.8.** Potencial de efecto invernadero indirecto mensual.

Mes	Consumo eléctrico [kWh]	PEII [kg de CO <sub>2</sub> ]
Noviembre	843,2	346,5
Diciembre	1023,5	420,7
Enero	1062,6	436,8
Febrero	891,2	366,3
Marzo	795,6	326,0

Tal y como se puede observar de la **Tabla 5.8**, el potencial de efecto invernadero indirecto (PEII) viene dado en emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera, y sobre estas emisiones se realizará la comparación con la caldera de gas.

Es evidente que también se emiten otros compuestos contaminantes a la atmosfera debido a la utilización de combustibles fósiles, pero en este caso se evaluará el impacto ambiental de ambos sistemas de calefacción únicamente en emisiones de dióxido de carbono.

5.4.2. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID).

El potencial de efecto invernadero directo es un parámetro que, representa la cantidad de dióxido de carbono emitida a la atmósfera debido a la utilización del refrigerante.

El circuito por el cual circula el refrigerante en la instalación de bomba de calor no es perfectamente estanco. Además, el hecho de que dicho circuito se encuentre presurizado favorece la aparición de pequeñas fugas de refrigerante.

Los refrigerantes, al igual que todos los gases considerados de efecto invernadero, sobre todo el dióxido de carbono, tienen la propiedad de ser opacos a la radiación infrarroja, es decir, impiden la emisión de dicha radiación desde la tierra hasta el espacio exterior, provocando que la tierra no pueda enfriarse de la misma manera.

Es por este motivo por el cuál el efecto contaminante del refrigerante se tabula como referencia en emisiones de dióxido de carbono.

Para estimar el efecto invernadero producido por el refrigerante de la instalación se utilizará la **Expresión 5.22**, tal y como se muestra a continuación.

$$PEID = GWP \cdot f \cdot C_R \cdot n$$

**Expresión 5.22**

Donde:

- "GWP" es el potencial de efecto invernadero del refrigerante utilizado, en este caso, el R-410A. Este parámetro es un dato, que se puede obtener de la tabla de la **Figura 5.5**, que representa los datos medioambientales de distintos refrigerantes.

	Fórmula química o composición (% del peso)	ODP	GWP100
R11	CCl3F	1.000	4000
R12	CCl2F2	0.900	8500
R13	CClF3	1.000	11700
R13B1	CBrF3 - Halon 1301	13.000	5600
R22	CHClF2	0.050	1700
R23	CHF3	0	11700
R32	CH2F2	0	650
R123	CHCl2CF3	0.020	93
R124	CF3CHClF	0,022	480
R125	CHF2CF3	0	2800
R134a	CH2FCF3	0	1300
R143a	CH3CF3	0	3800
R152a	CH3CHF2	0	140
R227ea	CF3CHF2CF3	0	2900
R365mfc	CF3CH2CF2CH3	0	825
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	0	3260
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	0	2100
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	0	1530
<b>R410A</b>	<b>R32/125 (50/50)</b>	<b>0</b>	<b>1730</b>
R502	R22/115 (48.8/51.2)	0.229	5590

**Figura 5.5.** ODP y GWP de los refrigerantes más utilizados.

Por lo tanto:

$$GWP = 1730 \text{ kg de } CO_2$$

Cabe destacar que este parámetro es propio del refrigerante y además es representativo, ya que utiliza el dióxido de carbono como gas de referencia para evaluar el efecto invernadero del refrigerante.

- "*f*" es el factor de fugas, representa la cantidad de refrigerante, en tanto por ciento, que se fuga anualmente de la instalación a la atmosfera. Este parámetro depende de la instalación y los equipos utilizados, de manera su obtención exacta puede llegar a ser complicada. No obstante, se supondrá que tiene un valor constante y aproximado al 8%.

$$f = 8\% \text{ kg/año}$$

- "*C<sub>R</sub>*" es la cantidad de refrigerante que posee la instalación, este parametro depende íntegramente de la instalación utilizada, de manera que puede ser difícil de obtener. Pero se puede calcular de manera aproximada, imponiendo que para el máximo valor de carga térmica, será necesario que la instalación posea medio kilogramo de refrigerante por cada kilovatio de potencia del compresor.

$$Q_{max} = m_{ref,max} \cdot \Delta h_{cond}$$

$$Q_{max} = 6,50 \text{ kW} = m_{ref,max} \cdot 241,24 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{ref,max} = \frac{6,50}{241,24} = 0,0269 \text{ kg/s}$$

De manera que:

$$W_{comp,max} = m_{ref,max} \cdot \Delta h_{comp}$$

$$W_{comp,max} = 0,0269 \cdot 72,03$$

$$W_{comp,max} = 1,94 \text{ kW}$$

Por lo tanto:

$$C_R = \frac{1,94}{2} = 0,97 \text{ kg}$$

- "*n*" es el tiempo, medido en años, para el cuál se quiere evaluar el impacto ambiental, en este caso el tiempo será de un mes.

$$n = 1 \text{ mes} = \frac{1}{12} \text{ años}$$

El potencial de efecto invernadero directo (PEID) se puede obtener, una vez calculado todo lo necesario, con la **Expresión 5.22** tal y como se muestra a continuación.

$$PEID = GWP \cdot f \cdot C_R \cdot n$$

$$PEID = 1730 \cdot 0,08 \cdot 0,97 \cdot (1/12)$$

$$PEID = 11,2 \text{ kg de CO}_2$$

Este parámetro será constante para cada uno de los meses considerados, tal y como se muestra en la **Tabla 5.9**, esto es debido a que se ha supuesto que el factor de fugas es constante independientemente del mes.

**Tabla 5.9.** Potencial de efecto invernadero directo mensual.

Mes	PEID [kg de CO <sub>2</sub> ]
Noviembre	11,2
Diciembre	11,2
Enero	11,2
Febrero	11,2
Marzo	11,2

### 5.4.3. POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC).

En este apartado se procede a calcular el potencial total de calentamiento, o potencial de calentamiento global, debido a la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción.

Este coeficiente se puede calcular, tal y como muestra la **Expresión 5.23**, como la suma del potencial de efecto invernadero indirecto (PEII) y el potencial de efecto invernadero directo (PEID).

$$PTC = PEII + PEID$$

#### Expresión 5.23

El potencial total de calentamiento viene dado en kilogramos emitidos a la atmosfera, utilizando como gas de referencia de dióxido de carbono, ya que es el gas que más contribuye al efecto invernadero.

En la **Tabla 5.10** se muestra el cálculo del potencial total de calentamiento para cada uno de los meses considerados de invierno. El cálculo ha sido realizado utilizando la **Expresión 5.23**.

**Tabla 5.10.** Potencial total de calentamiento mensual.

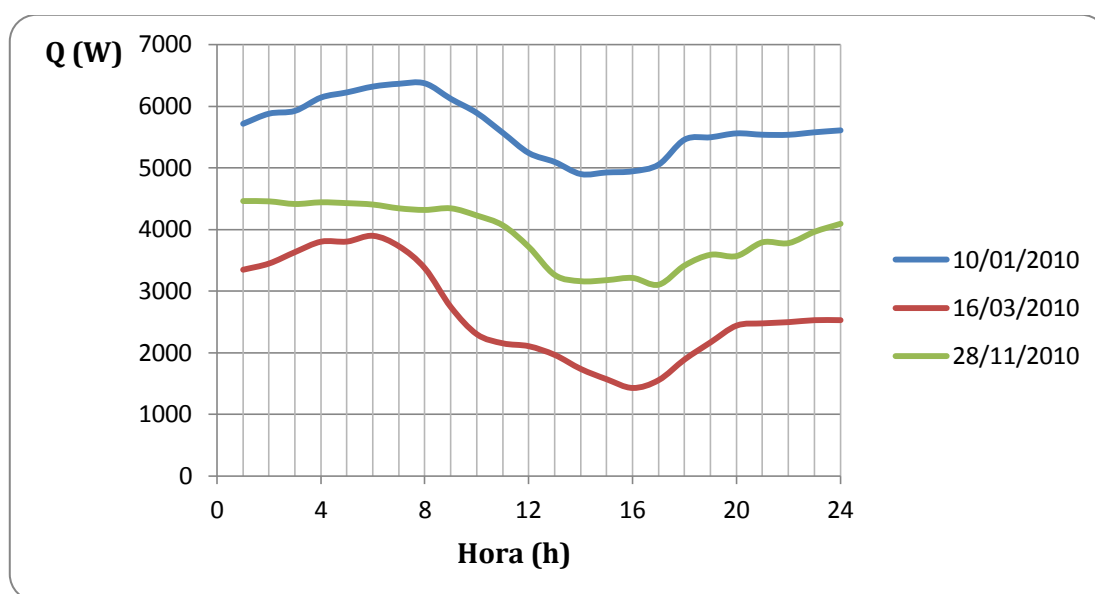
Mes	PTC [kg de CO <sub>2</sub> ]
Noviembre	357,7
Diciembre	431,9
Enero	448,0
Febrero	377,5
Marzo	337,2

## **6. SIMULACIÓN NUMÉRICA.**

En este apartado se presenta, gráficamente, la evolución de las distintas variables que han sido objeto de estudio en el presente documento.

### **6.1. Evolución de la carga térmica.**

En la **Figura 6.1** se muestra gráficamente la carga térmica en función de la hora del día. En este caso, la gráfica representa la carga térmica de la vivienda calculada para 3 días significativos del año, el día más frío del año (10 de Enero) y otros dos días (16 de Marzo y 28 de Noviembre).



**Figura 6.1.** Evolución de la carga térmica en función de la hora del día.

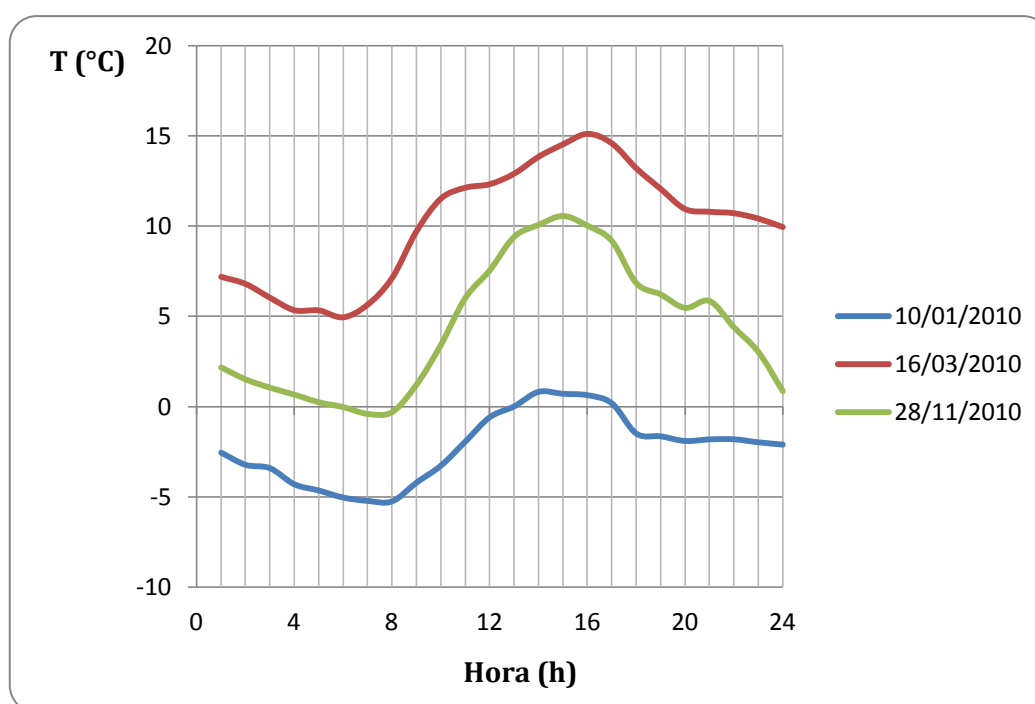
Tal y como se puede observar en la **Figura 6.1**, la máxima carga térmica se da cuando la temperatura ambiente es más baja, esto es por norma general alrededor de las ocho de la mañana, ya que todavía no ha salido el sol, y ha pasado el máximo tiempo posible sin que incidan sus rayos sobre la vivienda.

La vivienda se ha ido enfriando desde que se pone el sol, alcanzado su mínima temperatura antes de que éste vuelva a salir y vuelva a calentarla mediante la radiación.

De manera análoga, se puede observar que la mínima carga térmica se produce siempre en las tres curvas alrededor del medio día, esto es, cuando la temperatura exterior del aire es más alta, ya que el sol ha calentado la vivienda por radiación, desde el amanecer hasta que alcanza su máxima altura.

## 6.2. Evolución de la temperatura.

En la **Figura 6.2** se muestra la evolución de la temperatura en función de la hora del día, cada una de las tres curvas que se representan corresponden a 3 días significativos de 3 meses de invierno distintos, que son Marzo, Noviembre y Enero.



**Figura 6.2.** Evolución de la temperatura exterior en función de la hora del día.

Así pues, se puede observar que la curva que representa la evolución de la temperatura ambiente con respecto la hora del día tiene forma de campana.

Esta forma se asemeja a la curva inversa de la carga térmica, esto tiene sentido, puesto que, cuanto mayor sea la temperatura ambiente menor será la carga térmica de la vivienda y viceversa.

No obstante, las 3 curvas tienen una forma ligeramente irregular, esto se puede explicar de manera sencilla, ya que la temperatura exterior del aire depende de diversos factores.

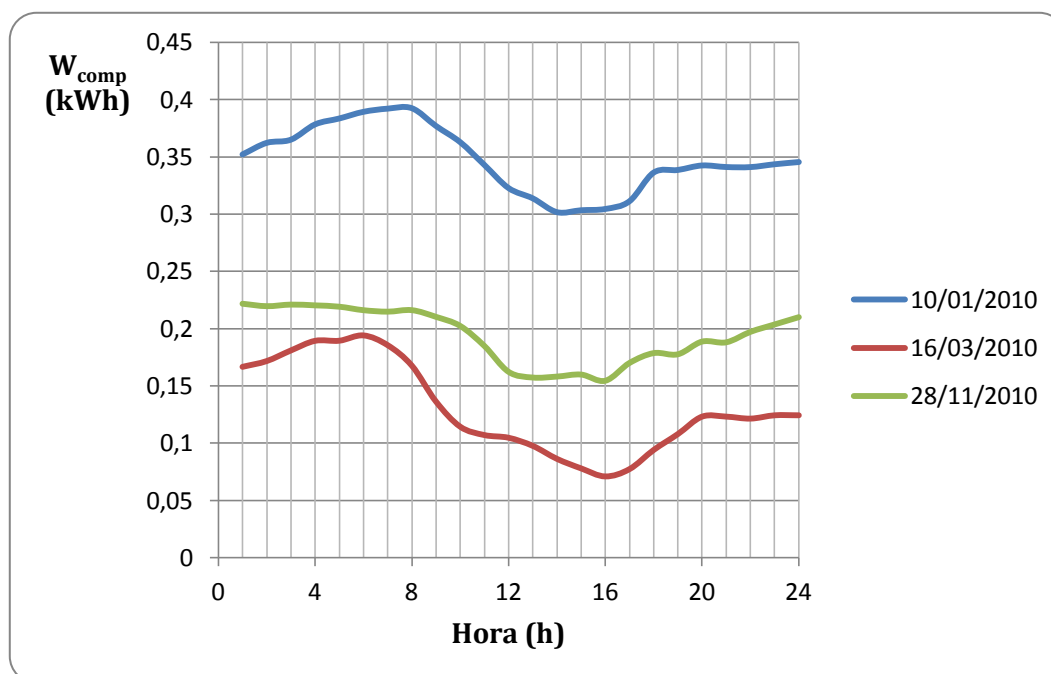
Estos factores son, el tipo de radiación de cada día, puesto que en un día soleado la radiación solar absorbida por los materiales es mayor que en un día con lluvia (radiación difusa), nubes o algún otro fenómeno meteorológico.



### 6.3. Evolución de los parámetros característicos de la bomba de calor.

#### 6.3.1. TRABAJO DEL COMPRESOR.

En la **Figura 6.3** se muestra una gráfica que representa el consumo de electricidad del compresor para 3 días significativos del invierno.



**Figura 6.3.** Evolución del trabajo del compresor en función de la hora del día.

Tal y como se puede observar en la **Figura 6.3**, el consumo de energía del compresor es inversamente proporcional a la temperatura exterior del aire (Ver **Figura 6.2**). Esto quiere decir, que cuanto mayor sea la temperatura exterior del aire menor será el trabajo que tenga que realizar el compresor ya que, menor será la carga térmica existente en la vivienda.

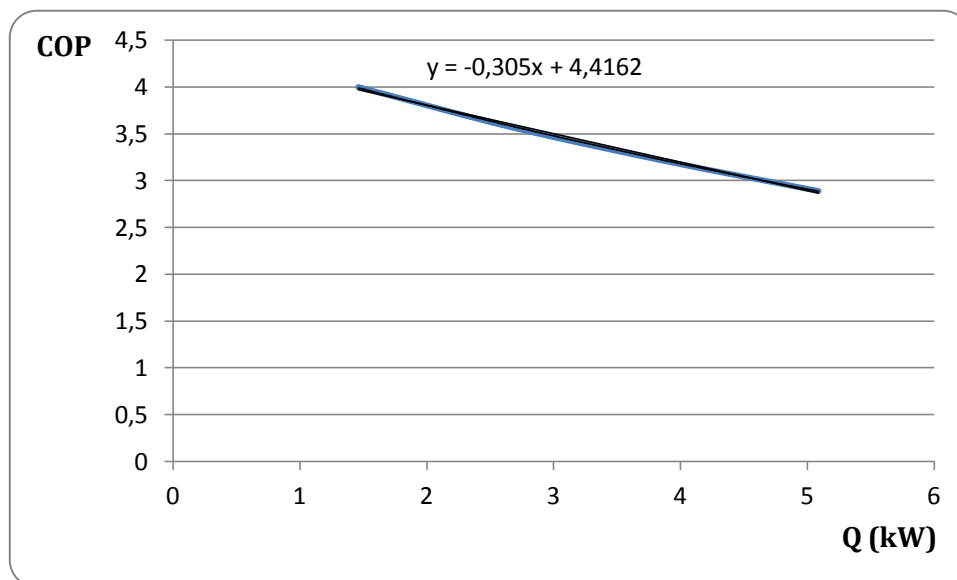
#### 6.3.2. POTENCIA TÉRMICA DEL CONDENSADOR.

La potencia térmica del condensador, al tratarse de un sistema que funciona como bomba de calor, viene determinada por la carga térmica de la vivienda, debido a que es la condición que ha sido impuesta para obtener el consumo de refrigerante instantáneo.

Esta condición consiste en que la cantidad de calor que produce el condensador ha de ser igual a la pérdida de calor de la vivienda, para mantener la temperatura de diseño. Es por esto que, la gráfica de la potencia del condensador a lo largo del día, es exactamente igual a la gráfica de la evolución de la carga térmica (Véase **Figura 6.1**).

### 6.3.3. EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE OPERACIÓN (COP).

En la **Figura 6.4** se muestra la evolución del coeficiente de operación (COP) en función de la carga térmica de la vivienda.



**Figura 6.4.** COP en función de la carga térmica.

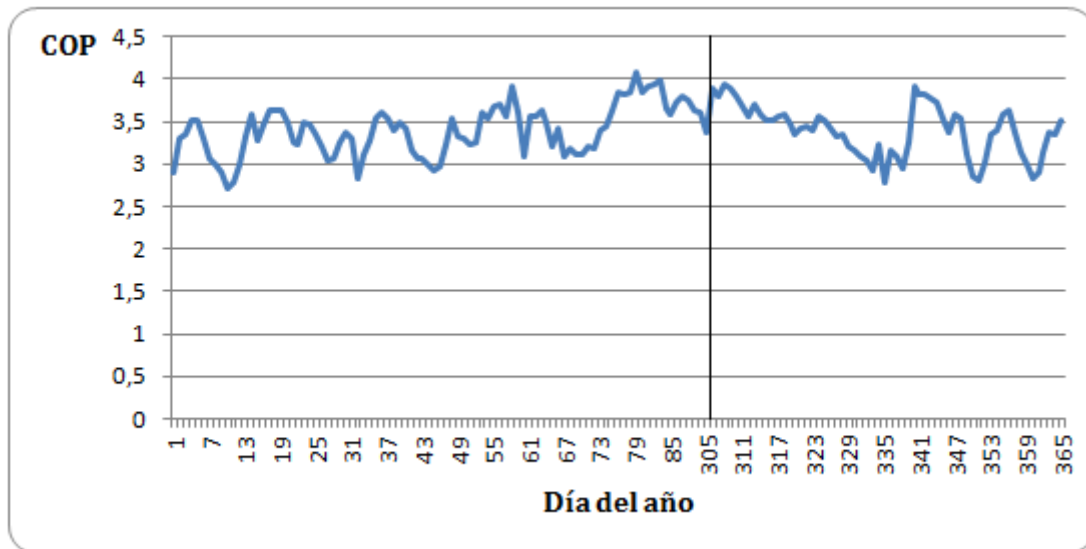
De la **Figura 6.4** se puede deducir que, el coeficiente de operación de la bomba de calor aumenta al disminuir la carga térmica.

Esto es así porque al aumentar la temperatura exterior, aumenta la temperatura de evaporación, y como la temperatura de condensación es constante e igual a la temperatura de diseño, disminuye la relación de compresión.

Por lo tanto, la potencia requerida por el compresor será más pequeña y, como la potencia del condensador será la misma, la relación entre ambas será más grande, y en consecuencia el COP aumentará.

Una vez obtenida la relación entre el coeficiente de operación y la carga térmica de la vivienda, se puede establecer, gráficamente, la evolución del COP en función del tiempo, para todo el invierno. Ya que, se tiene calculada la carga térmica instantánea de la vivienda.

En la **Figura 6.5** se presenta, por lo tanto, la evolución anual del coeficiente de operación del sistema con bomba de calor.



**Figura 6.5.** Evolución anual del COP.

El coeficiente de operación, o eficiencia energética, del sistema de calefacción con bomba de calor varía de manera instantánea con la carga térmica de la vivienda.

La expresión utilizada para el cálculo, se obtiene de la **Figura 6.4**, ajustando la gráfica a una función, tal como muestra la **Expresión 6.1**.

$$COP = -0,305 \cdot Q + 4,4162$$

#### Expresión 6.1

Donde:

- “COP” es el coeficiente de operación.
- “Q” es la carga térmica de la vivienda medida en [kW].

El coeficiente de operación disminuye al aumentar la carga térmica, tal y como se puede observar, en la **Figura 6.5**. El sistema posee un mayor coeficiente de operación para los meses menos fríos del año.

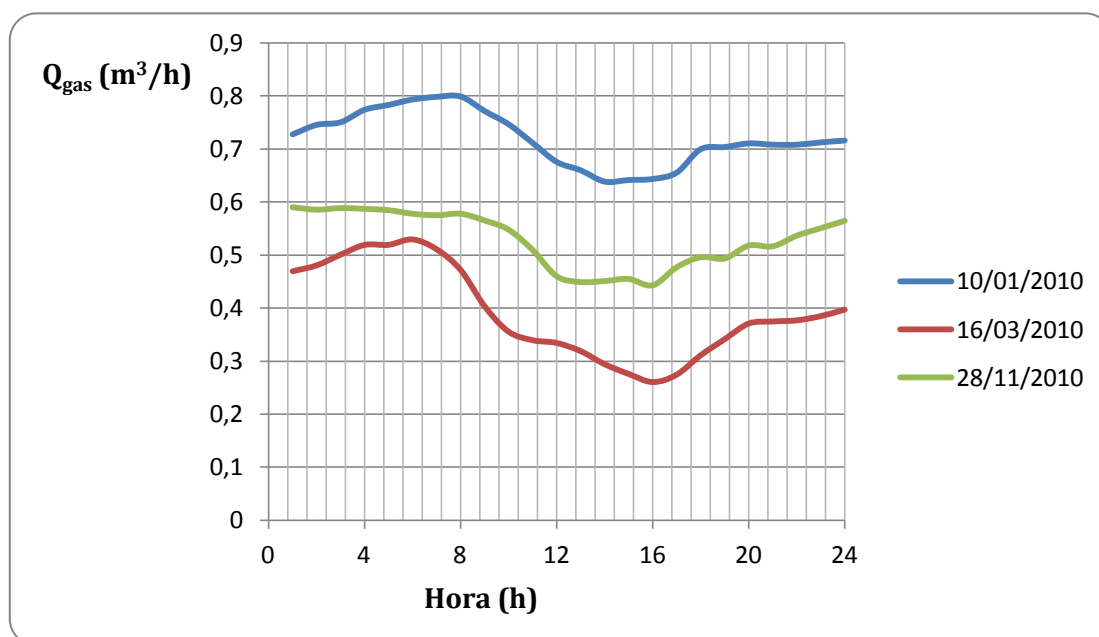
En el mes de Marzo el COP alcanza valores que llegan a 4, mientras que en Enero se da el mínimo COP, en torno a 2,7 para el día más frío (10 de Enero).

#### 6.4. Evolución de los parámetros característicos de la caldera.

En este caso, para la caldera de gas, únicamente existe un parámetro característico. Es así porque, al haber supuesto el consumo eléctrico de la bomba constante, el único parámetro que varía en función de la temperatura ambiente exterior es el consumo de gas natural.

En la **Figura 6.6** se representa el consumo de gas natural en función de la hora del día, para el día más frío del invierno (10 de Enero), así como para 2 días significativos correspondientes a los meses de Marzo y Noviembre.

El cálculo del caudal de gas requerido por la instalación se ha realizado utilizando la **Expresión 4.1**, tal y como se mostró anteriormente.



**Figura 6.6.** Consumo de gas natural en función de la hora del día.

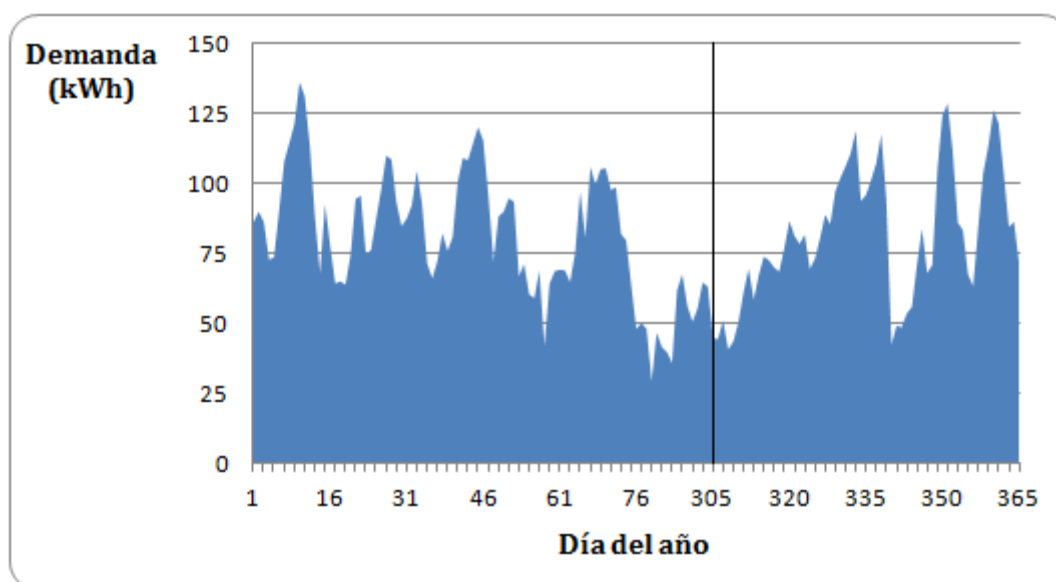
De manera análoga, y como es de esperar, la curva del consumo de gas natural necesario para satisfacer la carga térmica de la vivienda tiene la misma forma que la curva del trabajo del compresor (Ver **Figura 6.3**).

A su vez, es también directamente proporcional a la de la carga térmica (Ver **Figura 6.1**), esto indica que la obtención de resultados es coherente, puesto que existe una relación de proporcionalidad entre el consumo de gas natural y la carga térmica. A mayor carga térmica mayor será el consumo de gas natural necesario para satisfacer la misma.

## 6.5. Demanda.

### 6.5.1. DEMANDA TÉRMICA.

En la **Figura 6.7** se muestra la variación de la demanda térmica de calefacción, en función del día del año y para cada uno de los días de invierno considerados.



**Figura 6.7.** Demanda térmica de calefacción en función del día del año.

El cálculo de la demanda térmica, para un sistema de calefacción, es función de la carga térmica instantánea de la vivienda. Así, cuanto mayor sea la carga térmica (o pérdida de calor) existente en la vivienda, mayor cantidad de energía requerirá el sistema de calefacción y mayor será la demanda.

En este caso, la demanda térmica de calefacción viene dada como suma de la demanda instantánea (función de la carga térmica instantánea) y tiene un valor determinado para cada uno de los días de invierno considerados.

Tal y como puede observarse de la **Figura 6.7**, el valor de mayor demanda térmica de calefacción se produce entre los días 1 y 16 del año (correspondientes al mes de Enero). Concretamente en el día más frío (10 de Enero), donde la demanda diaria alcanza valores de aproximadamente 135 kWh.

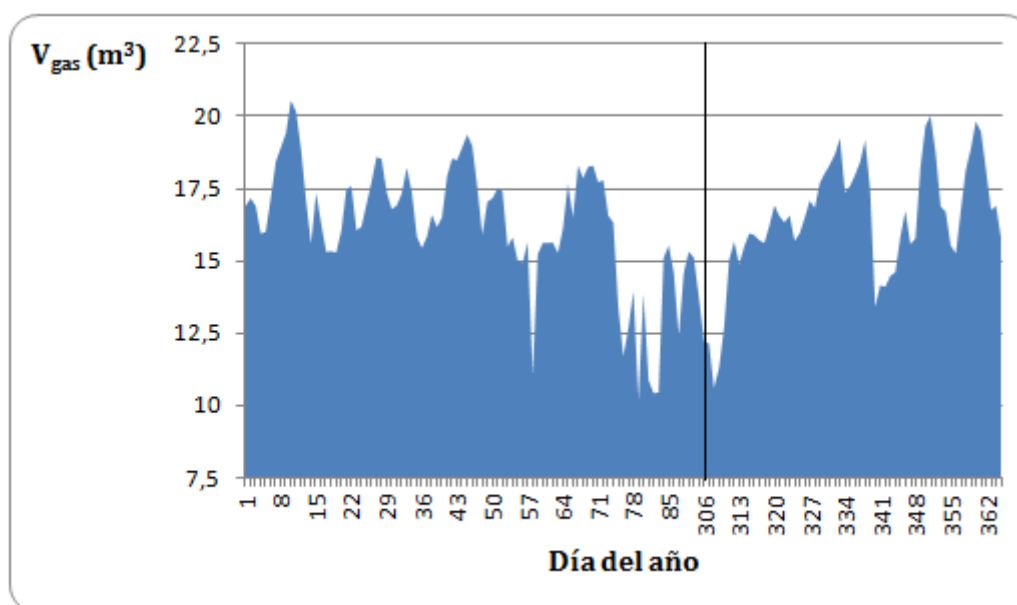
Por último, la demanda térmica de calefacción anual, se puede obtener de manera sencilla como suma de la demanda de cada uno de los días considerados.

De manera que:

$$D_{\text{térmica}} = 12284,7 \text{ kWh}$$

### 6.5.2. DEMANDA DE GAS.

En la **Figura 6.8** se muestra la demanda anual, obtenida día a día, del volumen de gas natural requerido por la caldera para satisfacer la carga térmica de la vivienda. Esta demanda ha sido calculada para cada uno de los días de invierno.



**Figura 6.8.** Demanda anual de gas natural.

El cálculo de la demanda de gas natural viene dado como el volumen total de gas natural requerido por la caldera para satisfacer la carga térmica de la vivienda.

Tal y como se puede observar en la **Figura 6.6**, la máxima demanda de gas natural se da para el día más frío del invierno, este día es el 10 de Enero.

Se observa por lo tanto, que para el día más frío del invierno es necesario suministrar, a lo largo del día, algo más de 20 metros cúbicos de gas a la caldera, para que el sistema pueda mantener las condiciones de diseño en el interior de la vivienda.

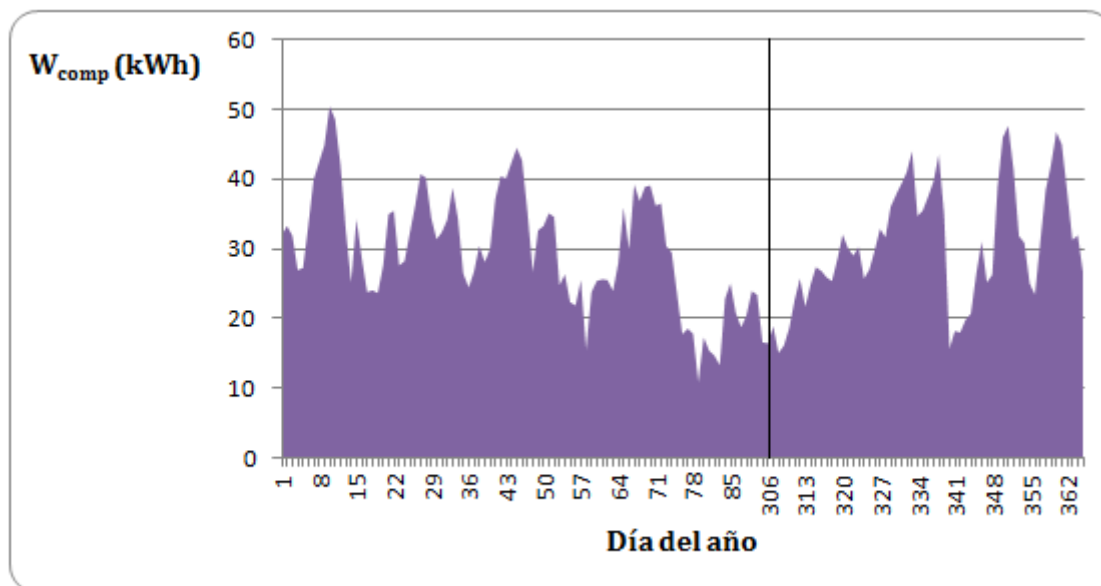
La demanda de gas anual se puede obtener, de manera sencilla, como suma del volumen de gas natural utilizado por la caldera para cada uno de los días de invierno.

De manera que:

$$D_{gas} = 2461,61 \text{ m}^3$$

### 6.5.3. DEMANDA ELÉCTRICA.

En la **Figura 6.9** se muestra la evolución de la demanda eléctrica, en función del día del año, para los meses de invierno considerados.



**Figura 6.9.** Demanda eléctrica en función del día del año.

La demanda eléctrica representa el consumo eléctrico del compresor (medido en kWh), necesario para que el sistema de bomba de calor sea capaz de satisfacer la carga térmica de la vivienda.

Así pues, la demanda eléctrica se obtendrá como suma del trabajo instantáneo real del compresor, para cada uno de los días considerados de invierno.

La demanda eléctrica es función de la demanda térmica, ya que a mayor carga térmica mayor será el trabajo que tendrá que realizar el compresor para satisfacer la misma. Es por eso que ambas gráficas (**Figura 6.7** y **6.9**) tienen la misma forma.

Tal y como se puede observar de la **Figura 6.9**, la mayor demanda eléctrica se da para el día 10 de Enero, llegando a los 50 kWh, de manera análoga que para la demanda térmica (ver **Figura 6.7**). Esto se debe a que el día 10 de Enero es el más frío de todo el año.

Se puede obtener la demanda eléctrica anual como suma de la demanda diaria para cada uno de los meses considerados.

De manera que:

$$D_{eléctrica} = 4549,9 \text{ kWh}$$

## **7. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS.**

En este apartado se procede a realizar la comparación de la utilización de ambos sistemas de calefacción para la vivienda. Para ello, es necesario recapitular y mostrar la información obtenida con los cálculos realizados desde el inicio de este documento.

### **7.1. Costes Variables.**

○ CALDERA DE GAS (EMISORES TÉRMICOS):

La **Tabla 7.1** representa los resultados obtenidos de coste económico e impacto ambiental consecuente del uso de la caldera de gas como sistema de calefacción.

**Tabla 7.1.** Coste e impacto ambiental mensual para la caldera de gas.

Mes	Coste	Emisiones CO2 [kg]
Noviembre	350,67 €	1142,2
Diciembre	389,25 €	1272,3
Enero	394,78 €	1293,3
Febrero	348,32 €	1134,2
Marzo	345,68 €	1125,1

○ BOMBA DE CALOR:

La **Tabla 7.2** representa, de manera análoga que para la caldera de gas, los resultados obtenidos de la utilización de la bomba de calor como sistema de calefacción.

**Tabla 7.2.** Coste e impacto ambiental mensual para la bomba de calor.

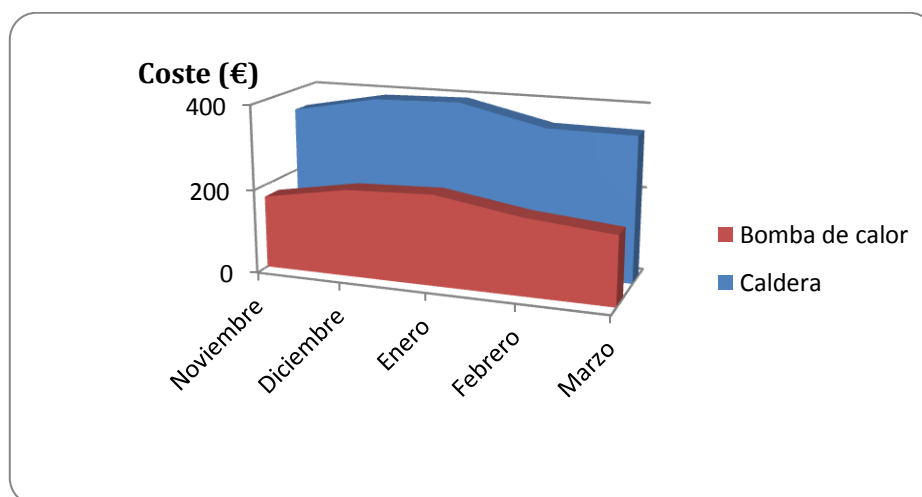
Mes	Coste	Emisiones CO2 [kg]
Noviembre	172,62 €	357,7
Diciembre	207,23 €	431,9
Enero	214,75 €	448,0
Febrero	181,83 €	377,5
Marzo	163,49 €	337,2

Nótese que ambas tablas representan el coste económico y las emisiones de dióxido de carbono debida a la utilización de los dos sistemas, esta será la base para realizar la comparativa.

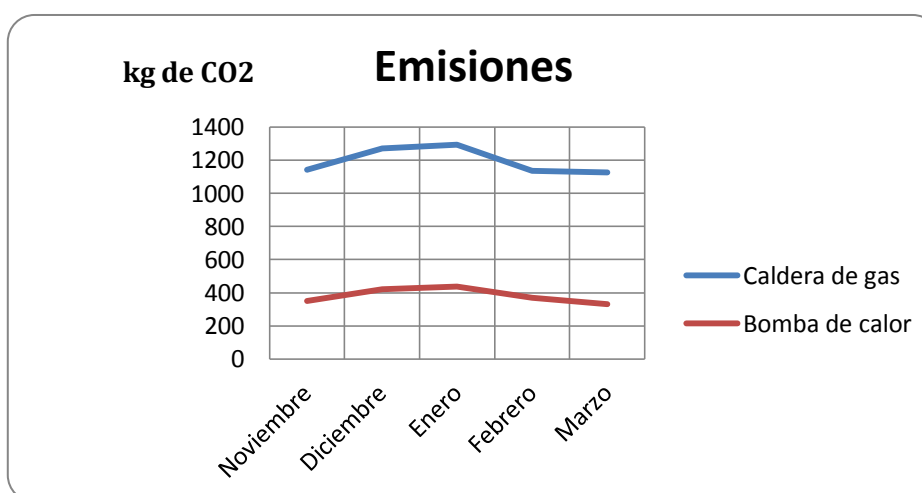
No obstante, es necesario tener en cuenta que para el caso de la caldera de gas, el mero hecho de que se produzca la combustión para quemar dicho gas, provoca la aparición de otros productos perjudiciales para el medio ambiente, como por ejemplo los NOx.



En la **Figura 7.1** y **7.2** se muestran los resultados obtenidos en las **Tablas 7.1** y **7.2** en forma de gráfica.



**Figura 7.1.** Coste económico anual. Bomba de calor frente a caldera de gas.



**Figura 7.2.** Impacto ambiental anual. Bomba de calor frente a caldera de gas.

Como se puede observar en las **Figuras 7.1** y **7.2**, el coste e impacto ambiental de ambos sistemas aumenta en los meses más fríos del invierno, y viceversa para los meses menos severos, donde disminuyen ambos.

También se puede observar que la diferencia de resultados entre ambos sistemas es mucho mayor en el caso del impacto ambiental, del orden de un 70% (ver **Figura 7.2**).

Por lo tanto, el uso de la caldera como sistema de calefacción es más caro y a la vez, por supuesto, más perjudicial para el medio ambiente. Se puede entonces establecer un ratio, o relación entre ambos sistemas, con el objetivo de llegar a un resultado numérico.

La **Expresión 7.1** muestra como se procederá al cálculo de dicho ratio para cada uno de los meses estudiado. Este ratio viene expresado en tanto por ciento de ahorro, cuando se utiliza como sistema de climatización la bomba de calor en lugar de la caldera de gas.

$$\% \text{ Ahorro} = \left( 1 - \frac{C_{\text{bomba de calor}}}{C_{\text{caldera}}} \right) \cdot 100$$

### Expresión 7.1

Cabe destacar que, de manera análoga, se puede obtener el ratio expresado como tanto por ciento de contaminación entre ambos sistemas, tomando como referencia siempre el sistema más caro, en este caso, la caldera.

La contaminación se evaluará para ambos sistemas como emisiones de dióxido de carbono hacia la atmosfera, ya que el dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero. Así se tiene, por lo tanto, en cuenta el efecto invernadero de ambos sistemas.

De manera que, en la **Figura 7.3** se muestra, calculado para cada uno de los meses de invierno estudiado, las ventajas del uso de la bomba de calor como sistema de climatización.

## VENTAJAS DE LA BOMBA DE CALOR

MES	AHORRO	CONTAMINACIÓN
Noviembre	51%	- 69%
Diciembre	47%	-66%
Enero	46%	-65%
Febrero	48%	-67%
Marzo	53%	-70%

**Figura 7.3.** Ventajas de la climatización por aire.

Es necesario tener en cuenta que en la **Figura 7.3** se representa el porcentaje de ahorro obtenido con la bomba de calor. Estos cálculos han sido realizados teniendo en cuenta una factura de luz y gas, con lo que se ha introducido también costes debido a los diferentes impuestos aplicables en el territorio español.

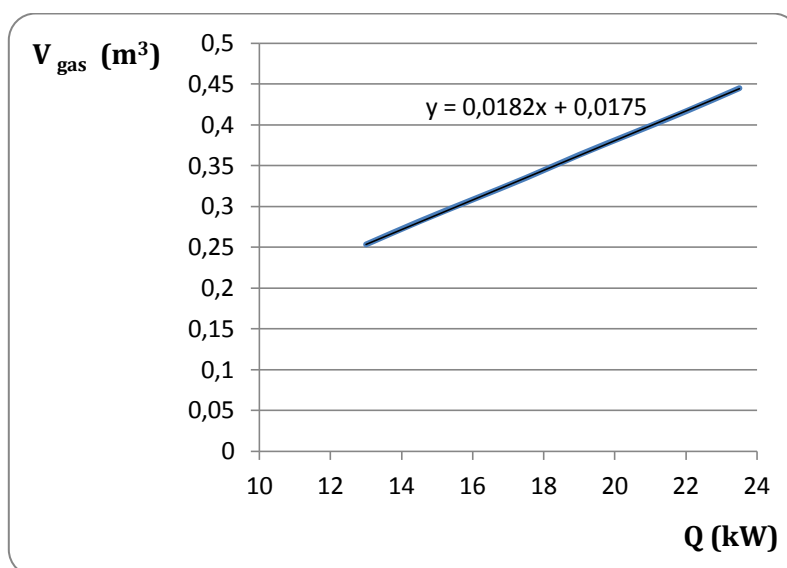
No obstante, a continuación se presenta el estudio económico, teniendo en cuenta el gasto monetario que requieren ambos sistemas para satisfacer una determinada carga térmica. En este caso sólo se tendrán en cuenta los precios de la electricidad y del gas, no se incluirán los distintos impuestos aplicables.

El procedimiento a seguir será el mismo para ambos sistemas, en el caso de la caldera se representará la gráfica que expresa el volumen de gas natural instantáneo consumido con respecto a la carga térmica.

En el caso de la bomba de calor se escogerán dos puntos representativos y se presentará gráficamente de nuevo la relación existente entre el trabajo del compresor y la carga térmica de la vivienda.

#### 1) Coste de calefacción con caldera de gas.

En la **Figura 7.4** se representa la gráfica que relaciona el volumen de gas natural empleado por la caldera para satisfacer la carga térmica instantánea de la vivienda (cada 10 min). Esta gráfica ha sido tabulada a partir de los valores dados en la **Tabla 4.2**.



**Figura 7.4.** Volumen de gas ideal en función de la carga térmica.

Mediante la **Expresión 7.2**, se puede obtener el volumen de gas natural ideal necesario para satisfacer una carga térmica de 1 kilovatio.

$$y = 0,0182 \cdot x + 0,0175$$

**Expresión 7.2**

De manera representativa se tiene que:

$$x = 1 \text{ kW} \rightarrow y = 0,0182 \cdot 1 + 0,0175$$

$$y = 0,0357 \text{ m}^3 \text{ de gas}$$

Ahora es necesario tener en cuenta, tal como se mostró en la **Expresión 4.3**, el rendimiento de la caldera para la carga térmica considerada (1 kW).

$$\eta_{caldera} = -0,008 \cdot 1^2 + 0,1418 \cdot 1 + 0,3023 = 0,44$$

Con lo que, el volumen de gas real será:

$$V_{gas,real} = \frac{0,0357}{0,44} = 0,0811 \text{ m}^3$$

Para poder realizar el cálculo económico es necesario realizar la conversión de metros cúbicos a kilovatios hora, esta conversión viene impuesta por la compañía de gas, que estipula lo siguiente.

$$1 \text{ m}^3 \text{ de gas} = 10,75 \text{ kWh}$$

Entonces:

$$0,0811 \text{ m}^3 = 10,75 \cdot 0,0811 = 0,872 \text{ kWh}$$

Por último conociendo el precio del gas se puede obtener el coste económico:

$$P_{gas} = 0,05 \text{ €/kWh}$$

Coste económico:

$$C_{gas} = 0,05 \cdot 0,872 = 0,0436 \text{ €/kWh}$$

$$C_{gas} = 4,36 \text{ céntimos de €/kW}_{t\acute{e}rmico}$$

Con lo cual el coste económico necesario para aportar 1 kilovatio de potencia térmica a la vivienda usando la caldera es de 4,36 céntimos de euro.

Nótese que, en este caso, no se ha tenido en cuenta el coste económico de la electricidad consumida por la bomba debido a la utilización de la caldera, ya que, este coste se ha supuesto prácticamente despreciable en el intervalo de tiempo considerado instantáneo (10 minutos).

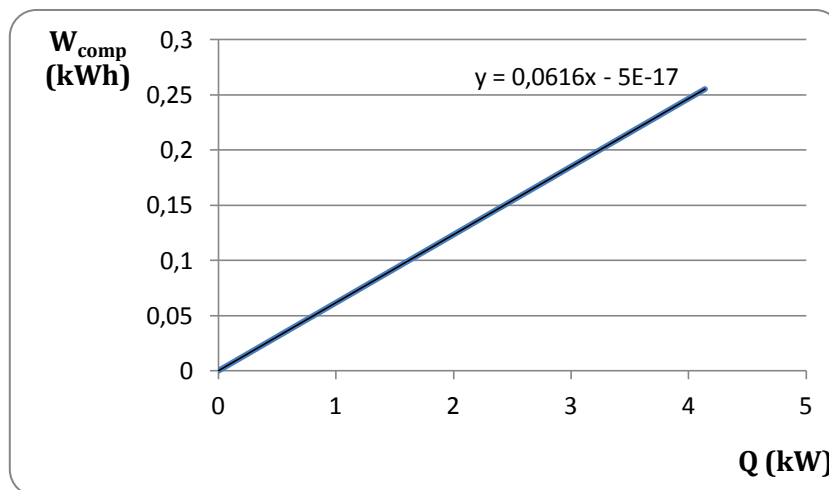
2) Coste de calefacción con bomba de calor.

En este caso es necesario escoger dos puntos que representen la carga térmica en función del trabajo que es necesario realizar por el compresor para satisfacer la misma. Tal y como se muestra a continuación, los puntos escogidos son:

$$\text{Punto 1} \rightarrow Q = 0 \text{ kW}, \quad W_{\text{comp}} = 0 \text{ kWh}$$

$$\text{Punto 2} \rightarrow Q = 4,1397 \text{ kW}, \quad W_{\text{comp}} = 0,2551 \text{ kWh}$$

En la **Figura 7.5** se muestra la representación gráfica de la recta que une los puntos considerados.



**Figura 7.5.** Trabajo del compresor en función de la carga térmica.

La **Expresión 7.3**, presenta la relación existente entre la carga térmica y el trabajo del compresor, dicha expresión se puede obtener del gráfico (Ver **Figura 7.5**).

$$y \approx 0,0616 \cdot x$$

**Expresión 7.3**

De manera representativa se tiene que:

$$x = 1 \text{ kW} \rightarrow y = 0,0616 \cdot 1$$

$$y = 0,0616 \text{ kWh}$$

Conociendo el precio de la electricidad es posible obtener el coste económico de electricidad debido al compresor, tal y como se muestra a continuación.

$$P_{eléc} = 0,15 \text{ €/kWh}$$

Coste económico:

$$C_{bomba.calor} = 0,15 \cdot 0,0616$$

$$C_{bomba.calor} = 9,24 \cdot 10^{-3} \text{ €}$$

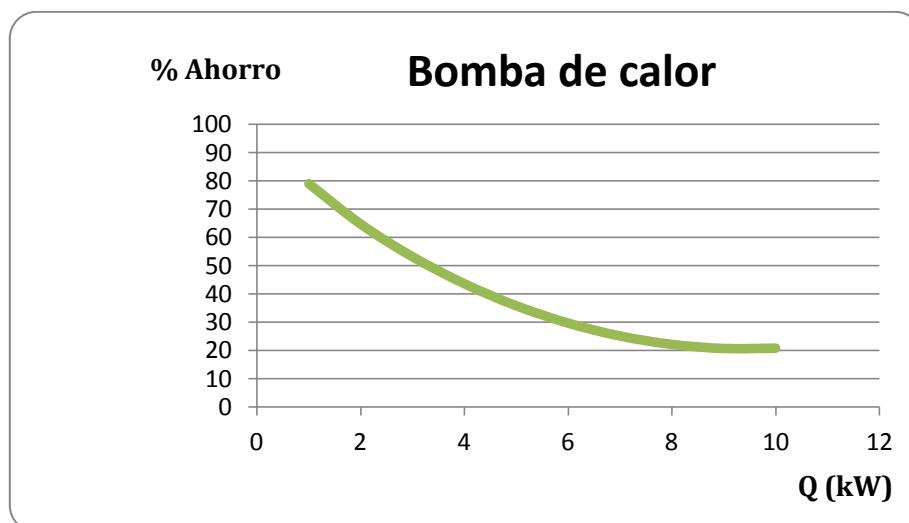
$$C_{bomba.calor} = 0,92 \text{ céntimos de €/kW}_{t\acute{e}rmico}$$

Esto quiere decir que, el coste económico de la bomba de calor para proporcionar un kilovatio de potencia térmica es menos de 1 céntimo de euro, en este caso 0,92 céntimos de euro.

Es necesario tener en cuenta que se ha supuesto despreciable el consumo eléctrico de los ventiladores de los intercambiadores (evaporador y condensador), por ser mucho menor en comparación con el coste del compresor. En el peor caso, el coste de ambos ventiladores representarían del orden de un 15% el coste del compresor.

En la **Figura 7.6**, y siguiendo el mismo procedimiento de cálculo anteriormente mostrado, se representa el porcentaje de ahorro económico en función de la carga térmica. Cuando se utiliza la bomba de calor en lugar de la caldera de gas como sistema de calefacción.

El cálculo de dicho porcentaje se ha realizado siguiendo la metodología mostrada en la **Expresión 7.1**.



**Figura 7.6.** Porcentaje de ahorro bomba de calor en función de la carga térmica.

La principal conclusión que se obtiene a priori, mediante la observación de la **Figura 7.6** es que, el uso de la bomba de calor como sistema de calefacción es, aproximadamente, un 80 % más barato que si se utiliza la caldera de gas, cuando la carga térmica que es necesario aportar es de 1 kilovatio.

No obstante, se puede observar que si la carga térmica es relativamente grande, en torno a los 10 kilovatios, el sistema de bomba de calor empieza a perder eficiencia, y el porcentaje de ahorro es menor, en torno a un 20%.

Para el caso de la vivienda considerada, en la cual la carga térmica no supera los 6,5 kilovatios de manera puntual, el sistema con bomba de calor es como mínimo un 30% más barato que si se utilizase la caldera de gas.

A continuación se procede a calcular la eficiencia energética del sistema con bomba de calor aire-aire, para las condiciones de proyecto.

Es necesario destacar que no se debe confundir el término eficiencia con el rendimiento de la instalación, ya que, el rendimiento en cualquier instalación no puede ser mayor al 100%, sin embargo, la eficiencia sí.

La eficiencia energética es un cociente, en el cuál se expresa el ratio entre la energía generada por una instalación y la energía consumida por la misma.

En la **Expresión 7.4** se muestra la ecuación que permite obtener la eficiencia energética, o coeficiente de operación de la instalación de calefacción de bomba de calor aire-aire, en función de las entalpías específicas del ciclo.

$$COP = \eta_{mec} \cdot \eta_{eléc} \cdot \frac{\Delta h_{cond}}{\Delta h_{comp}}$$

#### Expresión 7.4.

Por lo tanto:

$$COP = 0,85 \cdot 0,95 \cdot \frac{241,24}{72,03} \rightarrow COP = 2,7$$

Tal y como se puede deducir de la **Expresión 7.4**, la bomba de calor posee una eficiencia casi igual a 3, en condiciones de proyecto. Esto quiere decir que por cada kilovatio de energía que es necesario proporcionar al compresor, el sistema genera 2,7 kilovatios para satisfacer la carga térmica de la vivienda.

Esta es la principal causa de que el sistema de calefacción con bomba de calor aire-aire sea más económico, y menos perjudicial para el medio ambiente.

## 7.2. Costes fijos.

En este apartado se presentan los costes fijos de cada uno de los sistemas de climatización estudiados, para posteriormente realizar una comparación más precisa y tener una obtención de resultados que se aproxime más a la realidad.

Es necesario recordar que todos los cálculos mostrados anteriormente, pertenecen a la obtención de los costes variables, costes que dependen íntegramente del sistema de climatización utilizado.

Sin embargo, los costes fijos, son los costes debidos a la compra u obtención de los sistemas de climatización y, por supuesto también, los debidos a la posterior instalación y montaje de dichos sistemas en la vivienda.

Es por esto que los costes fijos pueden variar significativamente, dependiendo de la marca y modelo de sistema utilizado, así como de los precios de la mano de obra estipulados por la empresa a la que el usuario encargará la instalación.

No obstante, se han pedido dos presupuestos a dos empresas reales distintas, lo cual ofrece una idea muy aproximada para poder sacar conclusiones acertadas.

De manera que:

### 1) Costes fijos para la bomba de calor.

En el **Anexo III** (Pág. 127) se muestra el presupuesto para la instalación de un sistema de bomba de calor mediante "Split" de la marca Fujitsu. Tal y como se muestra a continuación en la **Tabla 7.3.**

**Tabla 7.3.** Costes bomba de calor: Equipos y mano de obra.

Descripción	Cantidad	Importe
2x1 Multisplit	2	3074 €
Mano de obra	-	872€
<b>TOTAL</b>	-	<b>3946€</b>



2) Costes fijos para la caldera de gas.

En el **Anexo III** (Pág. 127) se muestra el presupuesto para la instalación de un sistema de calefacción con caldera de gas. Tal y como se muestra en la **Tabla 7.4**.

**Tabla 7.4.** Costes caldera de gas: Materiales, instalación y mano de obra.

Descripción	Importe
Caldera Minox 24E + Instalación	1470€
Materiales	801€
Mano de Obra	2000€
<b>TOTAL</b>	<b>4271 €</b>

En la **Tabla 7.5** se presenta la lista de materiales necesaria para realizar la instalación del sistema de calefacción de emisores térmicos, así como el importe de compra de dichos materiales.

**Tabla 7.5.** Lista de materiales necesarios para realizar la instalación.

Elemento	Cantidad	Precio
Llaves Escuadra (1/2)"	6	27,95€
Detentores (1/2)"	6	27,08€
Tapones Radiador	12	9,65€
Soportes Radiador	12	4,65€
Tubo cobre rígido 18mm	55 metros	210,3€
Tubo cobre rígido 15mm	5 metros	15,3€
Tés cobre 18/15/18	12	2,47€
Codo cobre 15mm	12	6,53€
Radiadores	6 (56 elementos)	496,83€
<b>TOTAL</b>		<b>800,76 €</b>

Tal y como se puede deducir de las **Tablas 7.3** y **7.4**, los costes fijos en ambos casos son prácticamente idénticos, siendo el coste de la caldera de gas ligeramente superior.

Esto es debido a que, si la vivienda no posee una instalación de tuberías de cobre que alimente a los emisores térmicos cuando fue construida, el coste de los materiales y de la mano de obra necesaria para realizar dicha instalación es muy grande.

## **8. CONCLUSIÓN.**

En este documento se ha presentado un estudio que evalúa el coste económico e impacto ambiental, derivado de la utilización de dos sistemas de calefacción diferentes para una vivienda situada en la Comunidad Madrid.

La principal conclusión que se obtiene con la realización de dicho estudio, es que el sistema de calefacción, que tiene menor coste económico y menor impacto ambiental, es el sistema con bomba de calor aire-aire.

Como se ha comprobado en este documento, desde el punto de vista energético, utilizar como sistema de calefacción una bomba de calor aire-aire resulta en torno a un 45% más barato y un 65% menos perjudicial para el medio ambiente. Aunque debido a varios motivos, principalmente es porque la eficiencia energética (coeficiente de operación ó COP) de la bomba de calor es muy alta, como media produce 2,7 veces más de lo que consume.

El hecho de que el coeficiente de operación sea mayor que uno implica, por lo tanto, que el sistema de bomba de calor necesita menos energía para satisfacer la carga térmica. Por lo que el coste necesario también es menor.

En contraposición, se ha demostrado (Ver **Figura 4.6**) que el rendimiento de la caldera es muy bajo para cargas térmicas relativamente pequeñas, como es el caso de la vivienda cuando se considera la demanda durante la mayor parte del invierno.

No obstante, para los meses más fríos, como por ejemplo el mes de Enero, el uso de la caldera comienza a ser más eficiente, por lo que existe menos ahorro y menos diferencia en cuanto a impacto ambiental. Esto es debido a que, cuando las temperaturas exteriores del aire son muy bajas, la eficiencia del sistema con bomba de calor disminuye y el rendimiento del sistema de caldera de gas aumenta. En la siguiente figura se muestra numéricamente este hecho.

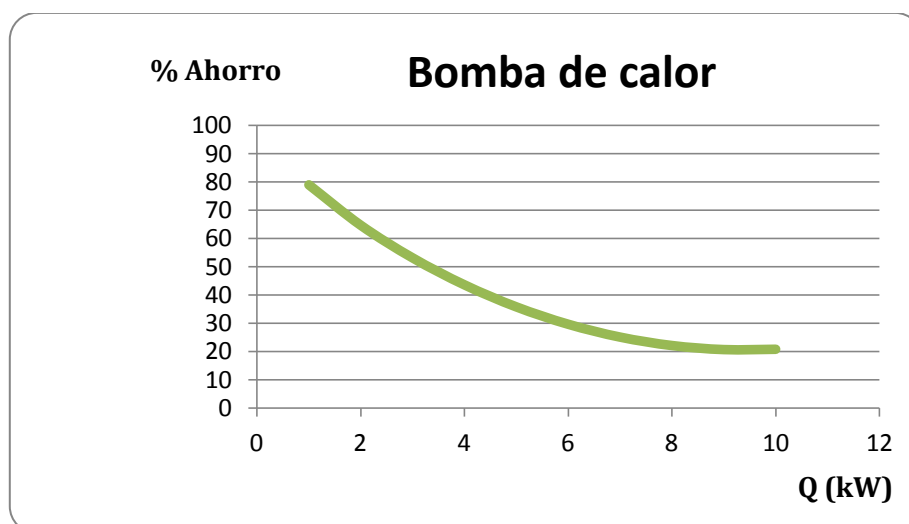
<b>MES</b>	<b>AHORRO</b>	<b>CONTAMINACIÓN</b>
<b>Noviembre</b>	<b>51%</b>	<b>- 69%</b>
<b>Diciembre</b>	<b>47%</b>	<b>-66%</b>
<b>Enero</b>	<b>46%</b>	<b>-65%</b>
<b>Febrero</b>	<b>48%</b>	<b>-67%</b>
<b>Marzo</b>	<b>53%</b>	<b>-70%</b>

La pérdida de eficiencia del sistema de bomba de calor se debe a que resulta más difícil que el fluido refrigerante extraiga calor del aire si este aire se encuentra a una temperatura muy baja.

También es necesario considerar que, cuando la temperatura del aire que pasa por el evaporador alcanza su punto de rocío, pueden aparecer problemas por condensación de agua en los tubos del intercambiador de la unidad exterior, el evaporador. Y la condensación de agua provoca, cuando la temperatura de las aletas y tubos del evaporador es inferior a 0 °C, que dicha agua se congele. La congelación de agua a su vez puede inducir, si se acumula, una pérdida de carga adicional, dificultando el paso de aire a través del evaporador.

En consecuencia, la transferencia de calor entre el intercambiador y el aire exterior no se produciría y la máquina se detendría. Lo que provocaría una disminución considerable de la eficiencia.

En la figura que se muestra a continuación se representa, de manera gráfica, como afecta económicamente el aumento de la carga térmica. Al aumentar la carga térmica disminuye el ahorro económico que produce la utilización del sistema de bomba de calor con respecto a la caldera de gas. Así pues, a mayor carga térmica menor será la diferencia existente entre el coste económico de ambos sistemas.



Por último, es necesario tener en cuenta que la diferencia en el coste de utilización de ambos sistemas vendrá determinada por los precios de utilización de la energía del país en el que se encuentre dicho sistema. En este caso, se han tenido en cuenta todos los precios e impuestos aplicables en el territorio español.

**9. NOMENCLATURA.**

$\Delta T_{ext}$	Diferencia de temperaturas con el exterior.
$\Delta T_{ady}$	Diferencia de temperaturas con la vivienda adyacente.
$Q_{trans}$	Carga térmica de transmisión.
$C_p$	Calor específico del aire.
$\rho_{aire}$	Densidad del aire.
$V$	Volumen de aire.
$Q_{inf}$	Carga térmica de infiltración.
$Q_{renov}$	Carga térmica debida a la inercia térmica.
$Q_{total}$	Carga térmica total de la vivienda.
$UA_{global}$	Coefficiente global de transmisión de calor de la vivienda.
$T_{aire,ext}$	Temperatura del aire exterior.
$T_{dis}$	Temperatura de diseño.
$V_{gas}$	Volumen de gas natural.
$Q_{gas}$	Caudal de gas natural.
$t$	Tiempo.
$W_{total,gas}$	Potencia de gas natural consumida en 1 mes.
$V_{total,gas}$	Volumen de gas natural total consumido en 1 mes.
$C_{total,gas}$	Coste económico de la utilización del gas natural en 1 mes.
$P_{kWhgas}$	Precio del gas natural.
$P_{hidrocarburos}$	Impuesto derivado de la utilización de hidrocarburos.
$C_{alquiler,contador}$	Coste de alquiler del contador.
$C_{mant,línea}$	Coste de mantenimiento de la línea.
$W_{bomba,real}$	Potencia eléctrica de la bomba.
$C_{int}$	Coefficiente de intermitencia.

$P_{electricidad}$	Precio de la electricidad.
$P_{alquiler, equipos}$	Precio de alquiler de equipos de medida.
$P_{impuestos}$	Precio de los impuestos sobre la electricidad.
$C_{bomba, total}$	Coste económico de la bomba durante 1 mes.
$n$	Exceso de aire.
$F_R$	Dosado relativo.
$F_{est}$	Dosado estequiométrico.
$F$	Dosado real.
$PM_{comb}$	Peso molecular el gas natural.
$n_{comb}$	Número de moles de gas natural.
$PM_{aire}$	Peso molecular del aire atmosférico.
$n_{aire}$	Número de moles de aire atmosférico.
$m_{reactivos}$	Masa de reactivos.
$m_{productos}$	Masa de productos.
$m_{NO_x}$	Emisiones de NO <sub>x</sub> .
$T_{evap}$	Temperatura de entrada al evaporador.
$T_{cond}$	Temperatura de salida del condensador.
$T_{recal}$	Temperatura del recalentamiento.
$T_{subenf}$	Temperatura de subenfriamiento.
$\Delta P_{evap}$	Pérdida de carga en el evaporador.
$\Delta P_{cond}$	Pérdida de carga en el condensador.
$\eta_{iso}$	Rendimiento isoentrópico del compresor.
$\pi_c$	Relación de compresión.
$m_{ref}$	Gasto másico de refrigerante.
$\Delta h_{cond}$	Diferencia de entalpías en el condensador.
$\Delta h_{comp}$	Diferencia de entalpías en el compresor.

$\eta_{mec}$	Rendimiento mecánico del compresor.
$\eta_{eléc}$	Rendimiento eléctrico.
$W_{comp}$	Trabajo del compresor.
$Q_{evap}$	Potencia térmica del evaporador.
$Q_{cond}$	Potencia térmica del condensador.
$\dot{m}$	Gasto másico de aire.
$\eta_{evap}$	Rendimiento del evaporador
$\eta_{cond}$	Rendimiento del condensador.
$\Delta T_{cond}$	Diferencia de temperaturas en el condensador.
$\Delta T_{evap}$	Diferencia de temperaturas en el evaporador.
$P_{mant,linea}$	Precio de mantenimiento de la línea.
$PEID$	Potencial de efecto invernadero directo.
$PEII$	Potencial de efecto invernadero indirecto.
$PTC$	Potencial total de calentamiento.
$f$	Factor de fugas.
$C_R$	Cantidad de refrigerante.
$COP$	Coefficiente de operación.
$R$	Resistencia térmica.
$e$	Espesor.
$k$	Conductividad térmica.
$U_{muro,ext}$	Coefficiente de transmisión de calor del muro exterior.
$U_{muro,adyacente}$	Coefficiente de transmisión de calor del muro adyacente
$U_{ventana,simple}$	Coefficiente de transmisión de calor de la ventana simple.
$U_{ventana,doble}$	Coefficiente de transmisión de calor de la ventana doble.
$U_{suelo}$	Coefficiente de transmisión de calor del suelo.
$U_{techo}$	Coefficiente de transmisión de calor del techo.

---

$A_{muro,ext}$	Superficie de muro en contacto con el exterior.
$A_{muro,ady}$	Superficie de muro en contacto con vivienda adyacente.
$A_{ventana,doble}$	Superficie de ventana de doble acristalamiento.
$A_{ventana,simple}$	Superficie de ventana de acristalamiento simple.
$A_{suelo}$	Superficie de suelo.
$A_{techo}$	Superficie de techo.

**10. ANEXOS.**

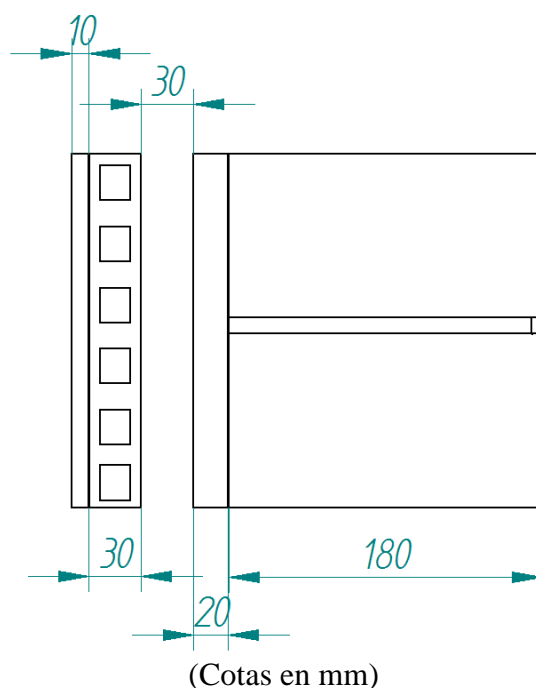


## ANEXO I.

En este Anexo se muestran los cálculos necesarios para la obtención de los coeficientes globales de transmisión de calor para cada uno de los cerramientos de la vivienda, este cálculo está determinado en función del material del que estos están fabricados.

### 1. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA EL MURO DE FACHADA.

En la **Figura I.I** se muestra la geometría, acotación y disposición de los distintos materiales que forman el muro que está en contacto con el aire exterior.



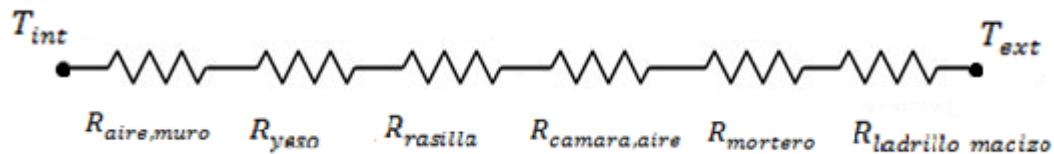
**Figura I.I.** Perfil muro de fachada.

Tal y como se puede observar en la figura anterior (**Figura I.I**) el muro está compuesto por:

- Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.
- Rasilla de 3 cm de espesor.
- Cámara de aire de 3 cm de espesor.
- Mortero de cemento de 2 cm de espesor.
- Ladrillo macizo de 18 cm de espesor.

Las conductividades térmicas son un dato que viene dado por el CTE-DB- HE.

El circuito térmico equivalente al muro exterior se puede representar tal y como se muestra en la **Figura I.II**.



**Figura I.II.** Circuito térmico equivalente del muro de fachada.

Conociendo el circuito térmico equivalente, las conductividades y la geometría se puede determinar la resistencia térmica total y por lo tanto el coeficiente global de transmisión de calor del muro exterior. Además se conocen las resistencias térmicas de convección, se obtienen del CTE-DB-HE tal y como muestra la **Tabla I**.

**Tabla I.** Resistencias térmicas de convección.

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

La resistencia térmica total del circuito térmico equivalente se puede obtener como la suma de todas las resistencias debido a que éstas están colocadas en serie.

$$R_{muro,ext} = R_{aire,muro} + R_{yeso} + R_{rasilla} + R_{cámara,aire} + R_{mortero} + R_{ladrillo,macizo}$$

- Resistencia térmica de conducción del Yeso.

$$R_{yeso} = \frac{e_{yeso}}{k_{yeso}} = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{0.3} = 0.033 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- Resistencia térmica de conducción de la Rasilla.

$$R_{rasilla} = \frac{e_{rasilla}}{k_{rasilla}} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0.32} = 0.094 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- Resistencia térmica de conducción del ladrillo macizo.

$$R_{\text{ladrillo,macizo}} = \frac{e_{\text{ladrillo,macizo}}}{k_{\text{ladrillo,macizo}}} = \frac{18 \cdot 10^{-2}}{0,87} = 0,207 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- Resistencia térmica de convección.

La resistencia térmica de convección en las particiones se puede calcular en función de la inclinación del muro y el sentido del flujo de calor, tal y como se muestra en la **Tabla I**.

De manera que:

$$R_{\text{aire,muro}} = R_{\text{convección,ext}} + R_{\text{convección interior}}$$

$$R_{\text{aire,muro}} = 0,13 + 0,13$$

$$R_{\text{aire,muro}} = 0,26 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- Resistencia térmica de la cámara de aire.

$$R_{\text{cámara,aire}} = 0,16 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Tal y como especifica el código técnico de edificación, para cámaras de aire sin ventilar, con flujo de calor horizontal y un espesor comprendido entre 2 y 5 cm. Véase **Tabla II**.

**Tabla II.** Resistencia térmica de cámara de aire en función del espesor

Espesor [cm]	Resistencia flujo horizontal [m <sup>2</sup> C/W]	Resistencia flujo vertical [m <sup>2</sup> C/W]
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

- Resistencia térmica del mortero de cemento.

$$R_{\text{mortero}} = \frac{e_{\text{mortero}}}{k_{\text{mortero}}} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0,17} = 0,12 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Resistencia térmica de muro en contacto con el exterior:

$$R_{muro,ext} = 0.26 + 0.033 + 0.094 + 0.16 + 0.12 + 0.207 = 0.874 \text{ m}^2\text{C/W}$$

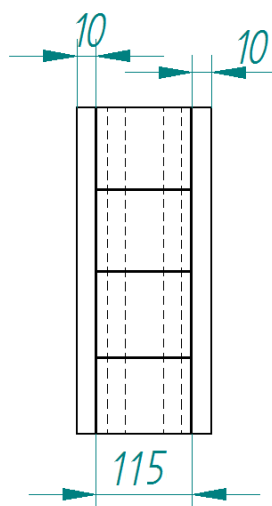
Coefficiente de transmisión de calor de muro en contacto con el exterior:

$$U_{muro,ext} = \frac{1}{R_{muro,ext}} = \frac{1}{0.874}$$

$$U_{muro,ext} = 1,14 \text{ W/m}^2\text{C}$$

## 2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA MURO EN CONTACTO CON VIVIENDA ADYACENTE.

En la **Figura I.III** se muestra la geometría y acotación del muro que está en contacto con las viviendas adyacentes.



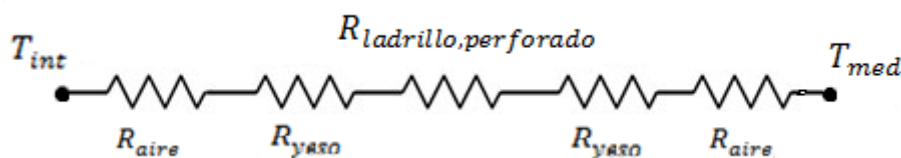
(cotas en mm)

**Figura I.III.** Perfil muro en contacto con vivienda adyacente.

El muro que está en contacto con las viviendas adyacentes, tal y como se muestra en la **Figura I.III**, está compuesto por:

- Enlucido de yeso, 2 placas de 1 cm de espesor cada una.
- Ladrillo hueco de 11,5 cm de espesor.

El circuito térmico equivalente al muro en contacto con la vivienda adyacente se muestra en la **Figura I.IV**.



**Figura I.IV.** Circuito térmico equivalente muro en contacto con vivienda adyacente.

En el contacto con viviendas adyacentes se tomará, según la normativa RITE, para el cálculo de la carga térmica, una temperatura de referencia ( $T_{med}$ ), que en este caso será igual a la media aritmética de la temperatura exterior y la temperatura interior.

$$T_{med} = \frac{21 - 3,7}{2} \approx 9^{\circ}\text{C}$$

Resistencia térmica total del muro en contacto con la vivienda adyacente:

$$R_{muro,adyacente} = R_{aire} + R_{yeso} + R_{ladrillo,perforado} + R_{yeso} + R_{aire}$$

- Resistencia térmica de conducción del ladrillo perforado.

$$R_{ladrillo,perforado} = 0,23 \text{ m}^2\text{C/W}$$

La resistencia térmica del ladrillo perforado se obtiene del CTE-DB-HE, interpolando entre los distintos valores de resistencia térmica que se dan en función del espesor.

- Resistencia térmica de conducción del enlucido de Yeso.

$$R_{yeso} = 0.033 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- Resistencia térmica de convección del aire interior en contacto con los cerramientos.

Según el código técnico de edificación (CTE) la resistencia térmica de convección del aire interior es:

$$R_{aire} = 0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Resistencia térmica de muro en contacto con viviendas adyacentes:

$$R_{muro,adyacente} = 0,11 + 0,033 + 0,23 + 0,033 + 0,11$$

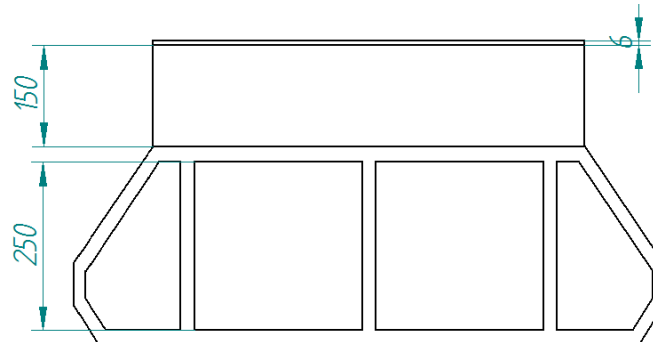
$$R_{muro,adyacente} = 0,516 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Coefficiente de transmisión de muro en contacto con vivienda adyacente:

$$U_{muro,adyacente} = 1,94 \text{ W/m}^2\text{C}$$

### 3. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA SUELO Y TECHO.

En la **Figura I.V** se representa, de manera esquemática, la geometría y disposición de materiales y la geometría del suelo y del techo de la vivienda.



(Cotas en mm)

**Figura I.V.** Perfil del suelo.

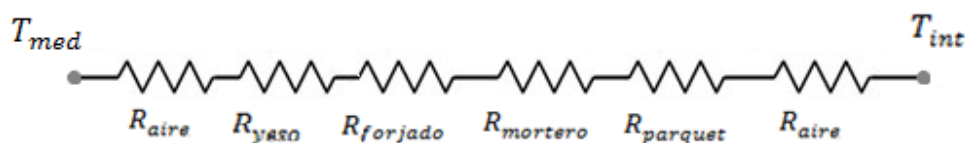
El suelo y el techo poseen la misma geometría y composición puesto que la vivienda está situada entre plantas, de manera que están compuestos por:

- Parquet de 0,6 cm de espesor.
- Mortero de hormigón con áridos ligeros de 15 cm de espesor
- Forjado de bovedilla cerámica de 25 cm de espesor y 65 cm de distancia de entrevigado.
- Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.

Resistencia térmica total del techo:

$$R_{\text{suelo,techo}} = R_{\text{aire}} + R_{\text{parquet}} + R_{\text{forjado}} + R_{\text{mortero}} + R_{\text{aire}}$$

En la **Figura I.VI** se muestra la representación del circuito térmico equivalente al suelo y al techo de la vivienda.



**Figura I.VI.** Circuito térmico equivalente del suelo.

Donde:

- Resistencia térmica de conducción del parquet:

$$R_{\text{parquet}} = 0,045 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

- Resistencia térmica convección del aire:

$$R_{\text{aire,suelo}} = 0,10 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

$$R_{\text{aire,techo}} = 0,17 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

- Resistencia térmica de conducción del forjado:

$$R_{\text{forjado}} = 0,34 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

- Resistencia térmica de conducción del hormigón:

$$R_{\text{mortero}} = \frac{e_{\text{mortero}}}{k_{\text{mortero}}} = \frac{15 \cdot 10^{-2}}{0,17} = 0,882$$

Resistencia térmica de techo:

$$R_{\text{techo}} = 0,10 + 0,045 + 0,34 + 0,882 + 0,10$$

$$R_{\text{techo}} = 1,47 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

Coefficiente de transmisión de calor del techo de la vivienda:

$$U_{\text{techo}} = \frac{1}{R_{\text{techo}}} = \frac{1}{1,47}$$

$$U_{\text{techo}} = 0,68 \text{ W/m}^2\text{°C}$$



Resistencia térmica del suelo:

$$R_{suelo} = 0,17 + 0,045 + 0,34 + 0,882 + 0,17$$

$$R_{suelo} = 1,61 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Coefficiente de transmisión de calor del suelo de la vivienda:

$$U_{suelo} = \frac{1}{R_{suelo}} = \frac{1}{1,61}$$

$$U_{suelo} = 0,62 \text{ W/m}^2\text{C}$$

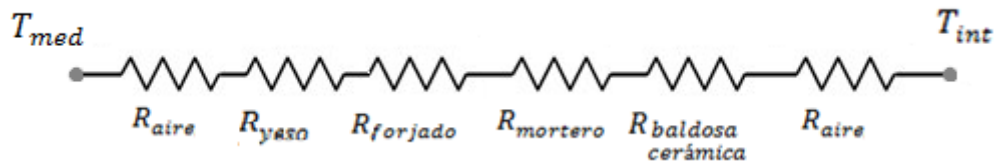
Es necesario destacar que la única diferencia a la hora de calcular el coeficiente global de transmisión de calor entre suelo y techo radica en el sentido del flujo de calor.

Con lo cual, el único parámetro que es diferente en ambos casos es la resistencia térmica de convección. Es por esto por lo que el valor del coeficiente global de transmisión de calor de suelo y techo de la vivienda varía ligeramente.

#### 4. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR DEL SUELO DE BALDOSA.

El cálculo en éste caso es análogo al del Apartado 3 de este Anexo. La geometría y disposición de materiales es la misma, sustituyendo el suelo de Parquet de 1 cm, por suelo de baldosa de 1 cm.

El circuito térmico equivalente se muestra en la **Figura I.VII**.



**Figura I.VII.** Circuito térmico equivalente suelo de baldosa.

Siendo:

- Resistencia de la baldosa cerámica

$$R_{baldosa\ cerámica} = \frac{e_{baldosa}}{k_{baldosa}} = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{1} = 0,01 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Resistencia térmica total:

$$R_{suelo,techo} = R_{aire} + R_{baldosa\ cerámica} + R_{forjado} + R_{mortero} + R_{aire}$$

$$R_{suelo,baldosa} = 0,17 + 0,01 + 0,34 + 0,882 + 0,17$$

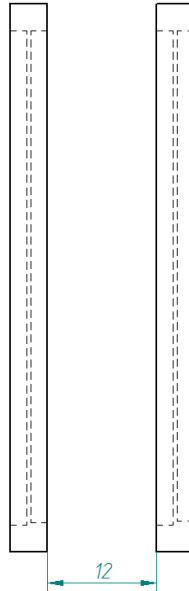
$$R_{suelo,baldosa} = 1,57 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Coefficiente de transmisión de calor de suelo de baldosa:

$$U_{suelo,baldosa} = 0,64 \text{ W/m}^2\text{C}$$

5. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA LA VENTANA DE DOBLE ACRISTALAMIETO.

En la **Figura I.VIII** se muestra una representación de la ventana con doble con cámara de aire.



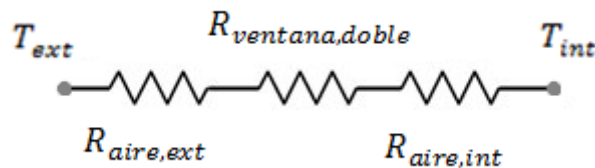
**Figura I.VIII.** Perfil ventana de acristalamiento doble.

El coeficiente de transmisión de calor de la ventana se obtiene del CTE, siendo su valor:

$$k_{doble} = 3,7 \text{ W/ m}^2\text{°C}$$

Para una Ventana de doble acristalamiento con marco metálico y espesor nominal de la cámara de aire superior o igual a 12 cm.

En la **Figura I.IX** se muestra el circuito térmico equivalente.



**Figura I.IX.** Circuito térmico equivalente ventana de doble acristalamiento.

Resistencia térmica de la ventana de acristalamiento doble:

$$R_{\text{ventana,doble}} = R_{\text{aire,ext}} + R_{\text{ventana,doble}} + R_{\text{aire,int}}$$

$$R_{\text{ventana,doble}} = 0,07 + \frac{1}{3,7} + 0,11 = 0,45$$

$$R_{\text{ventana,doble}} = 0,45 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Por lo tanto:

Coefficiente de transmisión de calor en ventana de doble acristalamiento:

$$U_{\text{ventana,doble}} = 2,2 \text{ W/ m}^2\text{C}$$

6. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LA VENTANA DE ACRISTALAMIENTO SIMPLE.

En la **Figura I.X** se muestra esquemáticamente una ventana de acristalamiento simple.

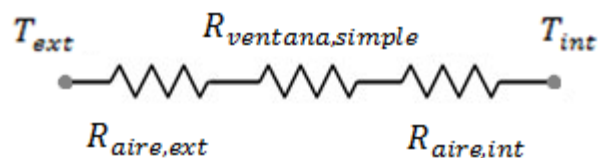


**Figura I.X.** Perfil ventana de acristalamiento simple.

El CTE establece que el coeficiente de transmisión de calor para una ventana de acristalamiento simple y marco metálico es igual a:

$$k_{simple} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

En el **Figura I.XI** se muestra el circuito térmico equivalente.



**Figura I.XI.** Circuito térmico equivalente ventana acristalamiento simple.

Resistencia térmica de la ventana de acristalamiento simple:

$$R_{\text{ventana,simple}} = R_{\text{aire,ext}} + R_{\text{ventana,simple}} + R_{\text{aire,int}}$$

$$R_{\text{ventana,simple}} = 0,07 + \frac{1}{5,8} + 0,11 = 0,35 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{ventana,simple}} = 0,35 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Coefficiente de transmisión de calor en ventana de acristalamiento simple:

$$U_{\text{ventana,simple}} = 2,8 \text{ W/ m}^2\text{C}$$

## ANEXO II.

### 1. PLANOS DE LA VIVIENDA.

En la **Figura III.I** se muestra el diseños de la planta del vivienda.



**Figura III.I.** Planta y orientación de la vivienda.

En la **Figura III.II** se muestra una imagen en tres dimensiones, de la vivienda que ha sido objeto de estudio de éste documento.



**Figura III.II.** Imagen de la vivienda en 3 dimensiones.

## 2. ÁREAS DE TRANSMISIÓN.

A continuación se muestran, para cada uno de las distintas zonas de la vivienda, el área de transmisión considerada para realizar el cálculo de cargas térmicas.

### 2.1. Salón comedor.

En la **Figura III.III** se muestra el salón de la vivienda.



**Figura III.III.** Salón comedor.

$$A_{muro,ext} = 2,46 \cdot 3,8 - 1,73 \cdot 1,15 = 7,36 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot 3,8 = 9,35 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,doble} = 1,73 \cdot 1,15 = 1,99 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 4,7 \cdot 3,8 = 17,86 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,simple} = 0 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [ $\text{m}^2$ ]
Muro exterior	7,36
Muro adyacente	9,35
Ventana doble	1,99
Ventana Simple	0
Suelo	17,86
Techo	17,86



2.2 Habitaciones individuales.

En la **Figura III.IV** se muestra una de las dos habitaciones individuales que posee la vivienda.



**Figura III.IV.** Habitación individual.

$$A_{\text{ventana, doble}} = 1,23 \cdot 1,17 = 1,44 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{muro, ext}} = 3,87 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{suelo}} = A_{\text{techo}} = 2,82 \cdot 2,20 = 6,22 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{muro, ady}} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ventana, simple}} = 0 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [m <sup>2</sup> ]
Muro exterior	3,87
Muro adyacente	0
Ventana doble	1,44
Ventana simple	0
Suelo	6,22
Techo	6,22

2.3 Habitación de matrimonio.

En la **Figura III.V** se representa la habitación principal, o habitación de matrimonio de la vivienda.



**Figura III.V.** Habitación principal (de matrimonio).

$$A_{muro,ext} = 2,46 \cdot (2,60 + 4,72) - 1,49 - 1,55 = 14,97 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot 2,6 = 6,40 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,dooble} = 1,23 \cdot 1,21 = 1,49 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,simple} = 2,06 \cdot 0,75 = 1,55 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 12,27 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [ $\text{m}^2$ ]
Muro exterior	14,97
Muro adyacente	6,40
Ventana doble	1,49
Ventana simple	1,55
Suelo	12,27
Techo	12,27

2.4 Cocina y chiscón.

En la **Figura III.VI** se muestra la cocina de la vivienda.



**Figura III.VI.** Cocina.

$$A_{muro,ext} = 2,46 \cdot 2,10 - 1,12 \cdot 0,76 + 2,46 \cdot 1,25 - 1,55 \cdot 0,88$$

$$A_{muro,ext} = 6,03 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot 3,45 = 8,5 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,dooble} = 1,12 \cdot 0,76 = 0,85 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,simple} = 1,55 \cdot 0,88 = 1,36 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 9,87 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [m <sup>2</sup> ]
Muro exterior	6,03
Muro adyacente	8,50
Ventana doble	0,85
Ventana simple	1,36
Suelo	9,87
Techo	9,87

2.5 Cuarto de baño.

En la **Figura III.VII** se muestra el cuarto de baño perteneciente a la vivienda.



**Figura III.VII.** Cuarto de baño.

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot (1,99 + 1,62 \cdot 2) = 12,87 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 1,99 \cdot 1,62 = 3,22 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ext} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,dooble} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,simple} = 0 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [m <sup>2</sup> ]
Muro exterior	0
Muro adyacente	12,87
Ventana doble	0
Ventana simple	0
Suelo	3,22
Techo	3,22

2.6 Pasillo.

La **Figura III.VIII** muestra el pasillo de la vivienda.



**Figura III.VIII.** Pasillo.

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot 4,45 = 10,95 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 4,45 \cdot 0,9 = 4 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ext} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,doble} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{ventana,simple} = 0 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [ $m^2$ ]
Muro exterior	0
Muro adyacente	10,95
Ventana doble	0
Ventana simple	0
Suelo	4
Techo	4

2.7 Hall Recibidor.

La **Figura III.IX** muestra una imagen del hall de la vivienda.



**Figura III.IX.** Hall Recibidor.

$$A_{muro,ady} = 2,46 \cdot 2,18 = 5,36 \text{ m}^2$$

$$A_{suelo} = A_{techo} = 1,18 \cdot 2,18 = 2,57 \text{ m}^2$$

$$A_{puerta} = 2,04 \cdot 0,83 = 1,7 \text{ m}^2$$

$$A_{muro,ext} = 0 \text{ m}^2$$

$$A_{ventanas} = 0 \text{ m}^2$$

Cerramiento	Área [m <sup>2</sup> ]
Muro exterior	0
Muro adyacente	5,36
Ventanas	0
Puerta	1,7
Suelo	2,57
Techo	2,57

**ANEXO III.**

**1. FACTURA DE ELECTRICIDAD.**



Referencia contrato 299362760  
 Periodo de facturación 15/01/2013 - 14/02/2013  
 Fecha factura 14 de febrero de 2013  
 N° factura 20130214010064716

**IMPORTE FACTURA 60,85 €**

Remite: IBERDROLA COMERCIALIZACION DE ULTIMO RECURSO S.A.U. Apartado de Correos 61175 28080 Madrid



DY 751 M 5 0299362760 0 1 531W 010032 020071 20130214

02993627600033751280212807900010114023



Documento emitido por IBERDROLA COMERCIALIZACION DE ULTIMO RECURSO S.A.U. - Plaza Euzkadi s. 48009 Bilbao; inscrita en el Registro Mercantil de Bizkaia al Tomo 5015, Folio 19, Hoja BI-53822, inscripción 1.- CIF A-9554630

**1 DATOS DEL CLIENTE**

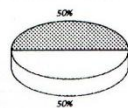
██████████  
 C/ HUERTA DE VILLVERDE, 11, Bajo C  
 28021 MADRID  
 Forma de pago  
 Entidad BANKIA  
 Sucursal 1880 Código Cuenta Bancaria 66300064\*\*\*\*  
 \*\*\*\* Ocultos para su seguridad  
 Fecha de cargo: 22/02/2013

C/ HUERTA DE VILLVERDE, 11, Bajo C  
 28021 MADRID

**2 FACTURACIÓN**

EUROS		
<b>ENERGÍA</b>		
Potencia contratada	4,4 kW x 30 días x 0,059981 €/kW día	7,92
Energía consumida	261 kWh x 0,150938 €/kWh	39,39
Impuesto sobre electricidad	4,864% s/47,31 € x 1,05113	2,42
<b>TOTAL ENERGÍA</b>		<b>49,73</b>
<b>SERVICIOS</b>		
Alquiler equipos de medida	30 días x 0,01874 €/día	0,56
<b>TOTAL SERVICIOS</b>		<b>0,56</b>
<b>IMPORTE TOTAL</b>		<b>50,29</b>
IVA	21% s/50,29 €	10,56
<b>TOTAL IMPORTE FACTURA</b>		<b>60,85</b>

**¿Cuál es el destino de lo que paga en su factura?**  
 De los 60,85 € de su factura, 30,35 € están destinados al pago de impuestos y otros recargos establecidos por la normativa en vigor, ajenos al suministro. Los 30,50 € restantes están destinados al pago de la producción y suministro de la energía así como a la retribución de las redes eléctricas.



- Impuestos, recargos y otros conceptos
- Costes suministro eléctrico

Costes suministro eléctrico	
Energía: producción y suministro (1)	21,94€
Redes eléctricas: retribución (2)	8,56€
<b>Total</b>	<b>30,50€</b>
Resto de costes	
Recargos por normativa vigente (2)	17,37€
Impuestos (IE-IVA)	12,98€
<b>Total</b>	<b>30,35€</b>
<b>Total</b>	<b>60,85€</b>

(1) Coste de energía: Resolución 17/12/2012 de DC/PM/IBEX, 29/12/2012  
 (2) Redes y Otros costes: Informe 38/2012 de la CNE

**Ayúdenos a cuidar del medio ambiente, haciendo que ésta sea la última vez que imprimimos esta factura. Apúntese a la factura electrónica y disfrute, además, de otras ventajas:**

- Segura.** Con certificado de firma electrónica.
- Rápida.** A su disposición en el mismo momento de ser emitida.
- Cómoda.** Accesible desde cualquier lugar, a través de Internet.
- Gratuita.** Sin compromiso de permanencia.

Infórmese y solicite el alta en el 902 20 15 20, en [www.iberdrola.com](http://www.iberdrola.com) o en nuestros Establecimientos Colaboradores.



2. FACTURA DEL GAS NATURAL.

Gas Natural Servicios SDG, S.A.  
Nº factura: FE14321138484593

Fecha de emisión: 03.01.2014

**facturaenergía**



Nombre: [REDACTED]  
Dirección suministro: HUERTA DE VILLAVERDE 0011  
BJ C 28021 MADRID  
Nº Referencia: 3858578  
Nº cliente: 1367459

[REDACTED]  
HUERTA DE VILLAVERDE 0011 BJ C  
28021 - MADRID

Dirección: HUERTA DE VILLAVERDE 0011 BJ C 28021  
Madrid

28153/17852

Entidad: BANKIA S.A.

Datos bancarios: [REDACTED]

Esta factura será cargada en cuenta siguiendo el mandato 000032004653

¿Son correctos sus datos personales?

Puede actualizarlos online en su Área Privada de la web entrando en [areaprivada.gasnaturalfenosa.es/misdatos](http://areaprivada.gasnaturalfenosa.es/misdatos)

**Total a pagar**

**142,19 €**

**gas natural Óptima Gas** Contrato: 20076274  
Del 30.10.2013 al 27.12.2013 (59 días = 1,939726 meses)

Consumo gas	1.853 kWh	0,050790 €/kWh	94,11 €
Impuesto Especial sobre hidrocarburos	1.853 kWh	0,00234 €/kWh	4,34 €
Término fijo	59 días	0,282082 €/día	16,64 €
Otros conceptos gas			
Alquiler de contador			2,42 €
<b>Total gas natural</b>			<b>117,51 €</b>
Base imponible			117,51 €
IVA 21%			24,68 €
<b>Total factura</b>			<b>142,19 €</b>

**Canales para contactar con Gas Natural Fenosa**

24 horas / 365 días del año

Web [www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)

Reparación urgente de calderas y electrodomésticos 902 350 053

Lectura del contador 900 234 000

[www.gasnaturalfenosa.es/lecturas](http://www.gasnaturalfenosa.es/lecturas)

Urgencias gas 900 760 750

Lunes a sábado, de 8 a 22 horas

Contratación Productos y Servicios 902 200 605

Información y gestiones 902 200 850

Reclamaciones e incidencias 900 100 251

Si quiere una atención más personalizada puede acudir a alguno de los centros que Gas Natural Fenosa tiene a su servicio. Encuentre el más cercano en [www.gasnaturalfenosa.es/centros](http://www.gasnaturalfenosa.es/centros) o desde su móvil en [hogar.gasnaturalfenosa.mobi](http://hogar.gasnaturalfenosa.mobi).

Gas Natural Servicios SDG, S.A. Dom. Social: Plaça del Gas nº1 08003 Barcelona. Tomo 37.982, folio 51, hoja número B-39048, inscripción 171. C.I.F. A-08431090

I9NS14007/5605



@facturaonline Dese de alta gratis en [areaprivada.gasnaturalfenosa.es/mifactura](http://areaprivada.gasnaturalfenosa.es/mifactura)





3. PRESUPUESTO BOMBA DE CALOR.

página: 1 / 5



FECHA
26-04-2014

PRESUPUESTO
23527849

CENTRO		
001	0901	CALLAO

VENDEDOR
51326973

CLIENTE

NOMBRE	TARJETA ECI	TLF. CONTACTO
SAMUEL BLANCO BEJARANO		
DOMICILIO HABITUAL		
CL/ HUERTA DE VILLAVERDE N.11, B		
LOCALIDAD	PROVINCIA	C.POSTAL
MADRID	MADRID	28021

DOMICILIO OBJETO DEL PRESUPUESTO

DOMICILIO		
CL/ HUERTA DE VILLAVERDE N.11, B		
LOCALIDAD	PROVINCIA	C.POSTAL
MADRID	MADRID	28021

Distinguido cliente:

Le detallamos a continuación el presupuesto que nos ha solicitado. Le agradeceremos que, si es de su interés, nos lo devuelva debidamente firmado y aceptado, o nos comunique las modificaciones que considere oportunas.

FORMA DE PAGO:

<input type="checkbox"/> CARGO EN TARJETA EL CORTE INGLÉS	<input type="checkbox"/> TRANSFERENCIA BANCARIA	<input type="checkbox"/> FÓRMULA PERSONAL DE PAGO
<input type="checkbox"/> OTRA TARJETA :	Nº:	

AREA: HOGAR	SUBAREA: AIRE A. SPLIT
-------------	------------------------

ESTANCIA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANT.	MED.	IMPORTE
VARIAS	MERCANCIA - 2X1 MULTI SPLIT INVERT. MARCA: FUJITSU MODELO: ASY3525U111-LM COLOR: (EXT. 50) TAMAÑO: 3010/2322F	001 0047 81105731	1,00		1.499,00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>1.499,00</b>
	INSTALACION H - INSTALACIÓN BASICA STANDARD DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO 2X1 HASTA 6000 FRIG. INCLUYE:HASTA 6ML. DE LINEA FRIGORIFICA Y MATERIAL DE AISLAMIENTO,HASTA 6ML. DE CONEXION ELECTRICA Y DESAGÜE, SOPORTE Y/O SILENT-BLOCKS ESTATICOS		1,00		
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>436,00</b>
	<i>NOTA:</i> - SALON Y DORMITORIO				
	MERCANCIA - MULTI SPLIT INV. (2X1) -EXT. MARCA: FUJITSU MODELO: ASY20U2MI-LM COLOR: 3NGF0037 TAMAÑO: .	001 0047 81105905	1,00		1.575,00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>1.575,00</b>
	INSTALACION H				

EL CORTE INGLÉS, S.A. / Hermosilla, 112, 28009 - Madrid / Ins. Reg. Mer. de Madrid, T. 677 Gral.61, Secc. 4ª del L. de S.H. 8085, F. 182 / N.L.F. A-28017895

FECHA
26-04-2014

PRESUPUESTO
23527849

**El Corte Inglés**

CENTRO		
001	0901	CALLAO

VENDEDOR
51326973

ESTANCIA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANT.	MED.	IMPORTE
	- INSTALACIÓN BÁSICA STANDARD DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO 2X1 HASTA 6000 FRIG. INCLUYE HASTA 6ML. DE LÍNEA FRIGORÍFICA Y MATERIAL DE AISLAMIENTO, HASTA 6ML. DE CONEXIÓN ELÉCTRICA Y DESAGÜE, SOPORTE Y/O SILENT-BLOCKS ESTÁTICOS		1,00		
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>436,00</b>
	<i>NOTA:</i> - 2 DORMITORIOS				

FECHA
26-04-2014

PRESUPUESTO
23527849



CENTRO		
001	0901	CALLAO

VENDEDOR
51326973

<b>IMPORTE TOTAL (impuestos incluidos)</b>	<b>3.946,00€</b>
--	------------------

**CONDICIONES ESPECÍFICAS:**

INSTALACIONES DE AIRE ACONDICIONADO

-EL SERVICIO DE INSTALACIÓN DE ESTE PRESUPUESTO INCLUYE:

- \*TUBERÍA DE COBRE DESHIDRATADO, VISTA Y AISLADA, CON INTERCONEXIONADO ELECTRÓNICO.
- \*CONEXIÓN ELÉCTRICA A ENCHUFE MÁS CERCANO, EN CABLE VISTO SEGUNPAQUETE DE INSTALACIÓN.
- \*MONTAJE UNIDAD INTERIOR Y UNIDAD EXTERIOR, CONEXIÓN DE DESAGÜES INTERIORES A RECIPIENTES FACILITADOS POR EL CLIENTE, Y EXTERIORES, SI SE HACEN A PETICIÓN DEL CLIENTE, A 10 CM. DE LA FACHADA.
- DESHIDRATACIÓN DE TUBERÍAS Y UNIDAD EXTERIOR, PRUEBA DE FUGAS, PUESTAS EN MARCHA Y EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.
- INSTALACIÓN SOBRE PAREDES TAPIZADAS, O FORRADAS DE MATERIALES ESPECIALES (MÁRMOL, CRISTAL, MADERA , ETC.), SE REALIZARÁ PRESUPUESTO ESPECÍFICO.
- SERÁ POR CUENTA DEL CLIENTE CUALQUIER PARTIDA, SERVICIOS O MATERIALES NO REFLEJADOS EN ESTE PRESUPUESTO, TALES COMO ALBAÑILERÍA, PINTURA, MONTAJES DE ANDAMIOS Y GRÚAS, ADAPTACIÓN ELÉCTRICA, CAMBIOS DE CONTADOR, AUTOMÁTICOS, DIFERENCIALES, INTERRUPTORES, TOMA DE TIERRA, EMISIÓN DE DICTAMEN TÉCNICO, PERMISOS O LICENCIAS, ETC.

EL CORTE INGLÉS, S.A.

CONFORME, EL CLIENTE

4. PRESUPUESTO CALDERA DE GAS.



Nº Factura: <b>A6778</b>	Fecha Factura: 31-10-11	BLANCO RODRIGUEZ, JOSE C/ Huerta de Villaverde, 11 Bajo C 28021 Madrid Madrid Tfno: [REDACTED] Fax: [REDACTED]
Cod. Cliente: 000667	Nº Pedido:	

EUROCLIMA MADRID SL. Insc. Reg. Mercantil de Madrid. Tomo 9.465. Libro 0. Sección 8ª. Folio 1. Hoja M-152132. Inscripción 1ª. C.I.F. B-81171266

Referencia	Descripción	Cant	Precio	Importe
MINOX ECO 24E N	Suministro e instalación de caldera bajo Nox según presupuesto.	1,00	1.245,76	1.245,76

euroclimamadrid.com

TOTAL	%	DESCUENTO	BASE IMPONIBLE	%	IVA	TOTAL FACTURA
1.245,76			1.245,76	18,0	224,24	1.470,00

FORMA DE PAGO: Aplazo Bco. Pastor

**Entrega a cuenta:**  
 EXPOSICIONES CENTRALES - INGENIERIA  
 C/ Embajadores, 181 ALMACEN - SERVICIO TECNICO  
 28045 - MADRID C/ Adelfa, 16 - Pol. Ind. Calahorro  
 Telf: 91 467 68 00 28970 - Humanes de Madrid - Madrid  
 Fax: 91 528 83 44 Telf: 91 481 02 02 - Fax: 91 697 60 01

Agente Colaborador de  
**gasNatural**  
 Servicios

## **11. REFERENCIAS.**

- *Código técnico de edificación (CTE-DB-HE y CTE-DB-HS3).*
- *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE).*
- *Norma UNE-100001.*
- *Pág. 135 tabla 5.2-a-CALEFACCIÓN VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO (McQuinston-Parker-Spitler).*
- [http://books.google.es/books?id=nDvvyZNXxy0C&pg=PA47&lpg=PA47&dq=osado+estequiometrico&source=bl&ots=LbNyYXmU2j&sig=X3fqfYrjPF7GwSebtokuNyNS\\_Tc&hl=es&sa=X&ei=lg4JUUpnzM8Gu7Abzq4DICQ&ved=0CEUQ6AEwAg#v=onepage&q=dosado%20estequiometrico&f=false](http://books.google.es/books?id=nDvvyZNXxy0C&pg=PA47&lpg=PA47&dq=osado+estequiometrico&source=bl&ots=LbNyYXmU2j&sig=X3fqfYrjPF7GwSebtokuNyNS_Tc&hl=es&sa=X&ei=lg4JUUpnzM8Gu7Abzq4DICQ&ved=0CEUQ6AEwAg#v=onepage&q=dosado%20estequiometrico&f=false)
- <http://www.dicoruna.es/contratacion/-anexos-perfil-do-contratante/datos/proyecto-centro-interpretacion-entorno-fluvial-chelo/Chelo/proyecto-centro-interpretacion-entorno-fluvial-chelo/MEMORIAS/F-MEMORIA-DE-INSTALACIONES/F-4-INST-CALEFACCION-Y-VENT.pdf>
- <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=22>
- <http://www.atean.es/dfile.asp?f=martes/daikin2.pdf>
- *TRABAJO DE FIN DE GRADO: Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa. AUTOR: Adrián Sanz Blázquez. TUTOR: Marcelo Izquierdo Millán.*
- *MANUAL DE LA CALDERA MANAUT MINOX 24 kW.*
- *AUTODESK HOMESTYLER (Software de diseño online).*