

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

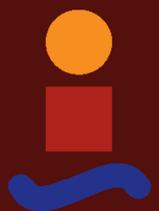
Simulación anual de la demanda de refrigeración y calefacción de una vivienda.

Autor: Francisco Encinas Lunar

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

Dep. Ingeniería Energética
Grupo Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Simulación anual de la demanda de refrigeración y calefacción de una vivienda.

Autor:

Francisco Encinas Lunar

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena

Profesor titular

Dep. Ingeniería Energética

Grupo Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Grado: Simulación anual de la demanda de refrigeración y calefacción de una vivienda.

Autor: Francisco Encinas Lunar

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mis padres, Francisco e Inma

A mi hermana, Inma

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Francisco Javier por haberme brindado la oportunidad de realizar el Trabajo Fin de Grado con él. Gracias por su atención y tiempo empleado en la realización del mismo.

Gracias a mis padres, por ellos soy quien soy y hacia quienes sólo puedo expresar mi sincero agradecimiento por apoyarme siempre.

Por último, muchas gracias a mis compañeros y amigos, quienes me han dado confianza y apoyo en los peores momentos, y hemos compartido experiencias, alegrías, tristezas, peleas y celebraciones que nos han llevado a ser una familia.

Francisco Encinas Lunar

Sevilla, 2019

Resumen

El consumo energético es un elemento fundamental en el sector de la edificación, contribuyendo de manera directa en el confort de las personas que habiten dicho edificio. Por ello, estudiar previamente el posible consumo energético de una vivienda puede llevar a mejorar la condición de vida.

Este Trabajo Fin de Grado trata de llevar a cabo una simulación anual del consumo de un sistema de climatización, en una vivienda situada en el municipio de Pozoblanco (Córdoba). En esta vivienda se estudiarán las cargas térmicas en un año, el cual se dividirá en dos períodos, calefacción y refrigeración. Las cargas térmicas se representarán de forma gráfica para una mejor visualización.

Además, se procederá a un estudio de sensibilidad de parámetros interiores de diseño. Por un lado, se estudiarán la variación del espesor del aislante de las distintas superficies de la vivienda con respecto al coeficiente global de transferencia de calor y a la energía consumida en los períodos de invierno y verano. Otros parámetros de estudio serán la temperatura interior y la humedad relativa interior frente la energía consumida en ambos períodos. Y, por último, el efecto de evitar la radicación a través de las ventanas.

Y para finalizar este proyecto, se realizará una comparación entre dos zonas climáticas opuestas como son Burgos y Sevilla.

Para ello se usará una herramienta de software matemático llamada MATLAB, para realizar los cálculos necesarios para llevar a cabo los objetivos de este trabajo.

Abstract

Energy consumption is a fundamental element in the building sector, contributing directly to the comfort of the people who live in the building. Therefore, previously studying the possible energy consumption of a house can lead to an improvement in living conditions.

This Final Degree Project tries to carry out an annual simulation of the consumption of an air conditioning system in a house located in the municipality of Pozoblanco (Cordoba). In this dwelling the thermal loads will be studied in one year, which will be divided into two periods, heating and cooling. The thermal loads will be represented graphically for a better visualization.

In addition, a sensitivity study of interior design parameters will be carried out. On the one hand, the variation of the thickness of the insulator of the different surfaces of the house will be studied with respect to the global coefficient of heat transfer and to the energy consumed in the periods of winter and summer. Other study parameters will be the indoor temperature and indoor relative humidity compared to the energy consumed in both periods. And, finally, the effect of avoiding radiation through the windows.

And to finish this project, a comparison will be made between two opposing climatic zones such as Burgos and Seville.

To do this, a mathematical software tool called MATLAB will be used to carry out the calculations necessary to carry out the objectives of this work.

Índice

Agradecimientos	IX
Resumen	X
Abstract	XII
Índice	XIV
Índice de Tablas	XVI
Índice de Figuras	XVIII
Índice de Gráficos	XX
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivos</i>	1
1.2 <i>Eficiencia energética en la edificación</i>	1
2 Cálculos previos	2
2.1 <i>Circuito térmico equivalente</i>	2
2.2 <i>Coefficiente global de transferencia de calor</i>	3
2.2.1 <i>Coefficiente global de transferencia de calor en el muro</i>	4
2.2.2 <i>Coefficiente global de transferencia de calor en el suelo</i>	6
2.2.3 <i>Coefficiente global de transferencia de calor en el techo</i>	7
2.2.4 <i>Coefficiente global de transferencia de calor en ventanas</i>	8
2.2.5 <i>Coefficiente global de transferencia de calor en puertas</i>	9
2.2.6 <i>Limitación de demanda energética</i>	9
2.3 <i>Psicrometría</i>	11
3 Cargar Térmicas	13
3.1 <i>Introducción</i>	13
3.2 <i>Descripción del edificio</i>	13
3.3 <i>Componentes de la carga térmica</i>	15
3.4 <i>Condiciones de diseño</i>	16
3.5 <i>Cargas térmicas en período de calefacción</i>	18
3.5.1 <i>Carga térmica por transmisión</i>	18
3.5.2 <i>Carga térmica por intercambio de aire</i>	21
3.5.3 <i>Carga térmica debida a la radiación</i>	24
3.6 <i>Carga térmica en el período de refrigeración</i>	30
3.6.1 <i>Carga térmica por transmisión</i>	30
3.6.2 <i>Carga térmica por intercambio de aire</i>	33
3.6.3 <i>Carga térmica interna</i>	35
3.6.4 <i>Carga térmica debida a la radiación</i>	36
3.7 <i>Carga térmica anual total</i>	38

4	Estudio de sensibilidad de parámetros interiores de la vivienda	40
4.1	<i>Introducción</i>	40
4.2	<i>Estudio del espesor del aislante de la vivienda</i>	40
4.2.1	Caso 1: Coeficiente de transferencia de calor	40
4.2.2	Caso 2: Energía consumida	43
4.3	<i>Estudio de la temperatura interna de la vivienda</i>	44
4.4	<i>Estudio de la humedad relativa interior de la vivienda</i>	46
4.5	<i>Estudio del efecto de la radiación</i>	47
5	Comparación entre climas opuestos	49
5.1	<i>Introducción</i>	49
5.2	<i>Comparación</i>	49
6	Conclusiones	52
7	Bibliografía	53
8	Anexos	54
8.1	<i>Código MATLAB: Cálculo de cargas térmicas</i>	54
8.1.1	Datos	54
8.1.2	Áreas	54
8.1.3	Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor U	55
8.1.4	Calefacción	58
8.1.5	Refrigeración	77

Índice de Tablas

Tabla 1: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 1.[15]	4
Tabla 2: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 2.[15]	5
Tabla 3: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 3.[15]	5
Tabla 4: Coeficientes globales de transferencia de calor según el tipo de muro.	6
Tabla 5: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del suelo.[15]	6
Tabla 6: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del techo 1[15].	8
Tabla 7: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del techo 2.[15]	8
Tabla 8: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica de las ventanas.[15]	8
Tabla 9: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica de las puertas de la terraza y patio.[15]	9
Tabla 10: Coeficientes globales de transferencia de calor según el tipo de puerta.	9
Tabla 11: Comparación de los valores calculados y los valores límite.	11
Tabla 12: Áreas de las diferentes estancias a climatizar en la planta baja.[15]	14
Tabla 13: Áreas de las diferentes estancias a climatizar en la planta primera.[15]	14
Tabla 14: Dimensiones y orientación de los huecos de las diferentes estancias a climatizar.[15]	15
Tabla 15: Área de los elementos de estudio de la vivienda.[15]	15
Tabla 16: Condiciones interiores de diseño. [4]	16
Tabla 17: Caudales mínimos en cada estancia de la casa.	22
Tabla 19: Características de los diferentes tipos de ventanas.	28
Tabla 18: Factor de uso y potencia de los distintos aparatos.	36
Tabla 20: Espesores límites del aislante de sus respectivas superficies.	41
Tabla 21: Resultados de simulación anual	49

Índice de Figuras

Figura 1: Circuito térmico equivalente	3
Figura 2: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2 K/W$. [2]	3
Figura 3: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2 K/W$. [2]	6
Figura 4: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2 K/W$. [2]	7
Figura 5: Cuadro de zonas climáticas y cambio de zona dependiendo de la altitud. [4]	10
Figura 6. Valores límite de los parámetros característicos medios. [4]	10
Figura 7: Diagrama psicrométrico.	12
Figura 8: Distribución de la vivienda. Planta baja [15]	13
Figura 9: Distribución de la vivienda. Planta primera. [15]	14
Figura 10: Caudales de ventilación mínimos exigidos. [3]	22
Figura 11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo. [4]	28

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año	17
Gráfico 2: Humedad relativa en tanto por ciento cada hora del año	17
Gráfico 3: Carga térmica en el muro en el período de calefacción.	19
Gráfico 4: Carga térmica en el techo en el período de calefacción.	19
Gráfico 5: Carga térmica en las puertas en el período de calefacción.	20
Gráfico 6: Carga térmica en ventanas en el período de calefacción.	20
Gráfico 7: Carga térmica de Transmisión en el período de calefacción.	21
Gráfico 8: Carga térmica total de ventilación en período de calefacción.	23
Gráfico 9: Carga térmica por infiltraciones en período de calefacción.	24
Gráfico 10: Carga térmica por intercambio de aire en período de calefacción.	24
Gráfico 11: Radiación global diaria a lo largo del año.	25
Gráfico 12: Radiación difusa diaria a lo largo del año.	25
Gráfico 13: Radiación directa diaria a lo largo del año.	26
Gráfico 14: Radiación reflejada diaria a lo largo del año.	26
Gráfico 15: Carga térmica por radiación orientación Norte.	27
Gráfico 16: Carga térmica por radiación orientación Sur.	29
Gráfico 17: Carga térmica por radiación en período de calefacción.	29
Gráfico 18: Carga térmica total en período de calefacción.	30
Gráfico 19: Carga térmica de transmisión en el muro en el período de refrigeración.	31
Gráfico 20: Carga térmica de transmisión en el techo en período de refrigeración.	31
Gráfico 21: Carga térmica de transmisión en las ventanas en el período de refrigeración.	32
Gráfico 22: Carga térmica de transmisión en las puertas en el período de refrigeración.	32
Gráfico 23: Carga térmica de transmisión en el período de refrigeración.	33
Gráfico 24: Carga térmica de ventilación en el período de refrigeración.	33
Gráfico 25: Carga térmica de infiltraciones en el período de refrigeración.	34
Gráfico 26: Carga térmica por intercambio de aire en período de refrigeración.	34
Gráfico 27: Carga térmica total por radiación en el período de refrigeración.	37
Gráfico 28: Carga térmica total de refrigeración.	37
Gráfico 29: Carga térmica total anual.	38
Gráfico 30: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 1 frente al espesor del aislante.	41
Gráfico 31: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 2 frente al espesor del aislante.	41
Gráfico 32: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 3 frente al espesor del aislante.	42
Gráfico 33: Coeficiente global de transferencia de calor del techo 1 frente al espesor del aislante.	42

Gráfico 34: Coeficiente global de transferencia de calor del techo 2 frente al espesor del aislante.	43
Gráfico 35: Coeficiente global de transferencia de calor del suelo frente al espesor del aislante.	43
Gráfico 36: Energía consumida en los períodos de calefacción y refrigeración frente al espesor del aislante.	44
Gráfico 37: Energía anual consumida en el período de calefacción frente la variación de temperatura interior.	45
Gráfico 38: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente la variación de temperatura interior.	45
Gráfico 39: Energía anual consumida en el período de calefacción frente la variación de la humedad relativa interior.	46
Gráfico 40: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente la variación de la humedad relativa interior.	47
Gráfico 41: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente la variación del factor sombra.	48
Gráfico 42: Carga térmica total anual en Sevilla.	50
Gráfico 43: Carga térmica total anual en Burgos.	50

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

El objetivo fundamental por el que se lleva a cabo este Trabajo Fin de Grado es con el propósito de ver la importancia de la realización previa de un estudio energético de los edificios. En este caso, se estudiará el consumo de un sistema de climatización en una vivienda unifamiliar situada en el municipio de Pozoblanco (Córdoba). Para ello se realizará una simulación anual la cual dividiremos en dos períodos, calefacción y refrigeración.

Se calcularán las cargas térmicas de la vivienda en ambos períodos, con el aporte de los planos constructivos de la vivienda. La normativa en la que se basará es el Código Técnico de la Edificación (CTE), dentro del cual se encuentra el documento básico de Ahorro de Energía, así como el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).

Se procederá a hacer un estudio de sensibilidad de los parámetros interiores de diseño de la vivienda como el espesor del aislante de los elementos constructivos, la temperatura y humedad relativa interior, y el efecto de la radiación solar incidente sobre las ventanas. En dicho estudio se pretende comprobar cómo afectan dichos parámetros al consumo de energía del sistema de climatización y confort de la vivienda.

El último punto de este Proyecto consistirá en realizar una simulación, utilizando la misma vivienda, en Sevilla y Burgos, los cuales presentan dos climas opuestos. Con ello se podrá observar las diferencias entre ambas localizaciones.

1.2 Eficiencia energética en la edificación

El sector de la edificación representa un gran porcentaje del consumo de energía final en España. Dicha energía viene del consumo de energías primarias, como son los combustibles fósiles. No obstante, se está implementando cada vez más el uso de energías renovables para el consumo de energía en el ámbito de la climatización. Lo que se pretende es conseguir un ahorro energético, económico y una reducción de la contaminación.

En la edificación el consumo de energía se ha limitado por la aplicación de Código Técnico de la Edificación, en su apartado de ahorro de energía, donde las condiciones que establece permiten limitar la demanda de energía en los edificios, mejorar la eficiencia de las instalaciones térmicas e incluir energías renovables. Esto supone además una disminución de la dependencia energética y un aumento de la lucha contra el cambio climático. Por tanto, uno de los objetivos es la rehabilitación de los edificios para conseguir un mejor rendimiento energético.

El Código Técnico de la Edificación establece unas pautas para conseguir mejorar la calidad de los edificios, por lo que, es de vital importancia seguir sus instrucciones para realizar nuevas edificaciones. Por ello, conseguir mayor seguridad y bienestar de las personas.

El estudio que se realiza en este trabajo ha seguido los requisitos impuestos por el Código Técnico de la Edificación. Por consiguiente, se pretende obtener unos resultados que demuestren la importancia de un estudio previo de las cargas térmicas, para conseguir un ahorro energético.

2 CÁLCULOS PREVIOS

Al comienzo de este proyecto, se procederá a obtener unos resultados numéricos, mediante el uso de ecuaciones de transferencia de calor, que serán de utilidad para el cálculo de las distintas cargas térmicas de la vivienda.

2.1 Circuito térmico equivalente

Para llevar a cabo el estudio de las cargas térmicas, para los cálculos del flujo de calor a través de las distintas superficies en el proyecto, se ha utilizado como método el “circuito térmico equivalente”. Este método se aplica para el caso en el que el flujo de calor sea unidimensional sin generación de energía y cuando las propiedades de los materiales que atraviesa el flujo de calor sean constantes.

Cuando se habla de conducción de electricidad se emplean resistencias eléctricas y para el caso de la conducción térmica se aplica el mismo concepto, pero en este caso se utilizan resistencias térmicas.

Dependiendo del fenómeno de transferencia de calor que tenga lugar, las ecuaciones de las resistencias térmicas serán diferentes.

Partiendo de la Ley de Ohm, se pueden deducir las ecuaciones para el fenómeno de conducción y convección.

$$R_e = \frac{E_1 - E_2}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad (\text{Ec. 9})$$

L, es la distancia que atraviesa la corriente eléctrica, σ su conductividad y A el área que atraviesa. Para la conducción

$$R_{t,cond} = \frac{T_1 - T_2}{q_x} = \frac{L}{KA} \quad (\text{Ec. 10})$$

La diferencia con la resistencia eléctrica es K, conductividad térmica del material. Para el caso de convección

$$R_{t,conv} = \frac{T_1 - T_\infty}{q} = \frac{L}{hA} \quad (\text{Ec. 11})$$

El flujo de calor no se ve influido por la distancia y se sustituye la conductividad del material por el coeficiente de convección h, que depende de la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y un conjunto de propiedades de transporte y termodinámicas del fluido.

Mediante el uso de este modelo se puede simplificar la comprensión y cálculo de todo tipo de problemas referentes a la transmisión de calor a través de cuerpos. Para el caso que nos ocupa, el método del circuito equivalente se utilizará para el cálculo de transferencia de calor a través de las superficies de la vivienda. En la siguiente figura se representa un esquema de este método.

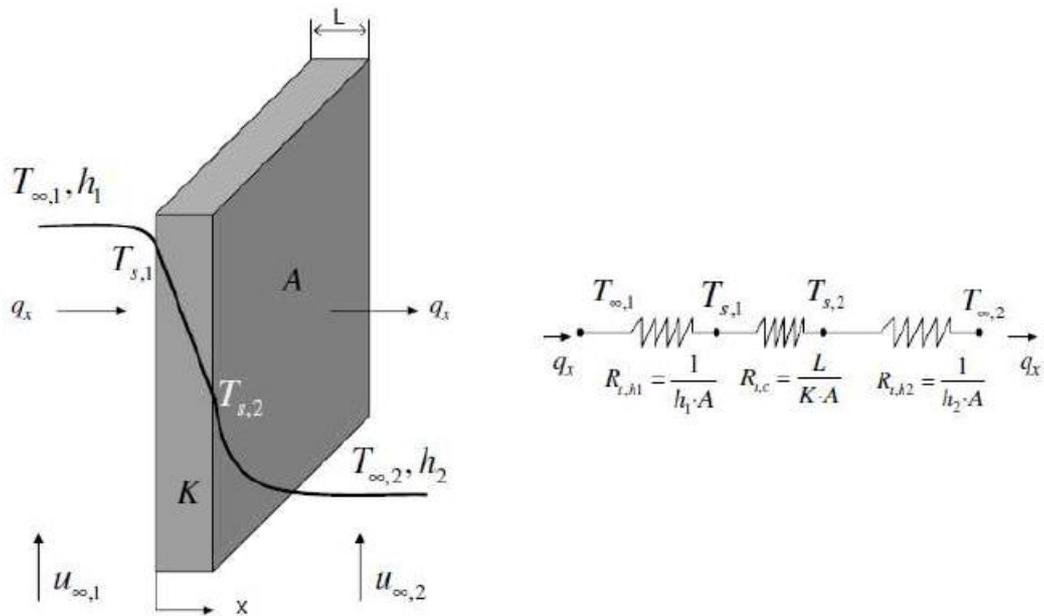


Figura 1: Circuito térmico equivalente

Para modelar la pared por medio del modelo de resistencias térmicas también hace falta introducir la transferencia de calor por convección, que como se indica en el código técnico de la edificación y según la orientación de dicha transferencia, se tiene unos coeficientes de convección distintos. En este caso al ser la transferencia de calor a través del muro de la vivienda los valores exterior e interior del coeficiente de convección se muestran en la siguiente figura.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal	0,04	0,13

Figura 2: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en m² K/W. [2]

El código técnico de la edificación marca que en invierno la temperatura interior de confort son 20°C y en verano la temperatura de confort se eleva hasta los 25°C. La temperatura exterior que se utilizará para los cálculos se obtiene de mediciones cada hora durante todo el año, por lo que se tendrá la temperatura de cada hora del año, pudiendo así obtener datos fiables.

2.2 Coeficiente global de transferencia de calor

Para los sistemas que se distribuyen en capas, como en el muro de la vivienda que se estudia, se utiliza el coeficiente global de transferencia U (W/m² K), que es la capacidad que tiene las superficies de los materiales para transmitir el calor, el cual se relaciona mediante la siguiente fórmula

$$q_x = U A \Delta T \text{ (Ec. 12)}$$

ΔT : Diferencia total de temperaturas, para este caso es la diferencia de temperatura interior y exterior. El coeficiente global de transferencia de calor está relacionado con la resistencia total de la siguiente forma

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{capas} \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\sum_{capas} Rt_i} \quad (Ec. 13)$$

Donde L_i es el espesor de la capa de material i (m), k_i es la conductividad térmica de la capa i (W/m K), h_i es el coeficiente de convección interior (W/m² K), h_e es el coeficiente de convección exterior (W/m² K) y Rt_i es la resistencia térmica de cada capa (m² K/W), que hace referencia a la suma de las resistencias que forman la pared y su valor dependerá de la disposición de estas, pudiendo estar en serie, paralelo o ambas al mismo tiempo.

Lo primero que se realizará para resolver el problema planteado de cargas térmicas en la vivienda, es obtener los coeficientes globales de transferencia de calor en todos los distintos tipos de superficies susceptibles de transferencia de calor entre ellas y el exterior. Para ello, tras exponer la teoría tanto de resistencias térmicas como uso del coeficiente global de transferencia de calor, y siguiendo las pautas del Código Técnico de la Edificación, documento básico del ahorro de energía se calcula el coeficiente global de transferencia de calor en las zonas susceptibles de intercambio de calor.

2.2.1 Coeficiente global de transferencia de calor en el muro

En la vivienda a estudio se puede encontrar distintas composiciones de muros. Para el problema planteado se tendrán en cuenta tres tipos de composiciones, por tanto, se calcularán tres coeficientes globales de transferencia de calor en el muro.

El muro de tipo 1 está compuesto por los siguientes materiales, con su respectivo espesor de cada capa y su conductividad térmica.

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
1	Mortero de cemento para enlucido	0,015	1,3
2	Ladrillo hueco	0,09	0,52
3	EPS Poliestireno Expandido	0,04	0,033
4	Ladrillo hueco	0,09	0,52
5	Enlucido de yeso	0,015	0,3
-	Interior	---	---

Tabla 1: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 1.[15]

A continuación, los muros de tipo 2 y tipo 3 están compuestos por los siguientes materiales, con su respectivo espesor de cada capa y su conductividad térmica.

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
6	Mortero de cemento para enlucido	0,02	1,3
7	EPS Poliestireno Expandido	0,04	0,033
8	Ladrillo hueco	0,07	0,52
9	Enlucido de yeso	0,02	0,3
-	Interior	---	---

Tabla 2: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 2.[15]

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
10	Mortero de cemento para enlucido	0,02	1,3
11	Ladrillo hueco	0,15	0,52
12	EPS Poliestireno Expandido	0,06	0,033
13	Ladrillo hueco	0,15	0,52
14	Enlucido de yeso	0,02	0,3
-	Interior	---	---

Tabla 3: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del muro tipo 3.[15]

Además, se tiene que incluir las resistencias debidas a la convección que muestra el código técnico para este tipo de cerramientos en contacto con el exterior, estos datos son los mostrados en la figura 2.

El coeficiente de transferencia de calor en los muros se calculará de acuerdo con el código técnico de la siguiente forma

$$U_{muro_i} = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + R_{si}} \quad (Ec. 14)$$

Donde los subíndices i y j corresponden al tipo de muro y el tipo de material respectivamente, dichos materiales de las tablas 1, 2 y 3.

El valor numérico que muestra la solución del coeficiente global de transferencia de calor de cada tipo de muro es el siguiente

Tipo	U (W/m ² K)
1	0,559
2	0,625
3	0,378

Tabla 4: Coeficientes globales de transferencia de calor según el tipo de muro.

2.2.2 Coeficiente global de transferencia de calor en el suelo

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor del suelo de la vivienda primero hay que definir la composición de ese suelo de la misma forma que se hizo en el caso del muro de la vivienda. Con los datos constructivos de la vivienda se tiene que las capas en las que está dividido el suelo son las que se muestran en la tabla 5, con sus espesores y conductividades térmicas asociadas.

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Terreno	---	---
15	Arena y grava	0,2	0,15
16	Hormigón armado	0,35	2,3
17	XPS Expandido con dióxido de carbono	0,02	0,034
18	Polietileno alta densidad (HDPE)	0,001	0,5
19	Gres porcelánico	0,05	1,45
-	Interior	---	---

Tabla 5: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del suelo.[15]

Además, se tiene que incluir las resistencias debidas a la convección que muestra el código técnico para este tipo de cerramiento en contacto con el exterior, mostrados en la figura 3.

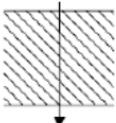
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo) 	0,04	0,17

Figura 3: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en m² K/W. [2]

El coeficiente de transferencia de calor en el suelo se calculará de acuerdo con el código técnico de la siguiente forma

$$U_{suelo} = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + R_{si}} \quad (Ec. 15)$$

Donde el subíndice j corresponde a los diferentes materiales con los números de la tabla 5. El valor numérico que muestra la solución del coeficiente global de transferencia de calor es $U_{suelo} = 0,431 \frac{W}{m^2K}$

2.2.3 Coeficiente global de transferencia de calor en el techo

Para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor en el techo, lo primero que se tiene que hacer es conocer las capas de material de la que está hecho el mismo. En la vivienda se distinguen dos tipos de techo, pues el techo del salón, la cocina y el lavadero es distinto ya que dan a la terraza (exterior) y al trastero que se considerará zona no climatizable. Mientras que el otro tipo de techo es el cual está tejado. La tabla 6, muestra de la misma forma que se había hecho antes con el muro y el suelo los distintos materiales con los que está construido el techo tejado de la vivienda y la tabla 7 muestra el otro tipo de techo ya nombrado. Además, tendremos en cuenta las resistencias debidas a la convección que muestra el código técnico para este tipo de cerramiento en contacto con el exterior, mostrados en la figura 4.

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



Figura 4: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2 K/W$. [2]

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
20	Teja Cerámica	0,09	1,3
21	Lámina asfáltica LBM-40 FV	0,0033	0,029
22	Mortero de cemento M-5	0,02	0,67
23	Ladrillo hueco	0,9	0,52
24	EPS Poliestireno Expandido	0,06	0,033
25	Hormigón con áridos ligeros	0,3	1,15
26	Enlucido de yeso	0,015	0,3

-	Interior	---	---
---	----------	-----	-----

Tabla 6: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del techo 1[15].

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
27	Baldosa cerámica	0,05	0,12
28	Mortero de cemento M-5	0,025	0,67
29	EPS Poliestireno Expandido	0,06	0,033
30	Hormigón armado	0,30	2,3
31	Enlucido de yeso	0,015	0,3
-	Interior	---	---

Tabla 7: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica del techo 2.[15]

El coeficiente de transferencia de calor en el techo se calculará de acuerdo con el código técnico de la siguiente forma

$$U_{techo} = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + R_{si}} \quad (Ec. 16)$$

Donde el subíndice j corresponde a los diferentes materiales con los números de la tabla 6 y 7. El valor numérico que muestra la solución del coeficiente global de transferencia de calor es $U_{techo1} = 0,237 \frac{W}{m^2K}$ y $U_{techo2} = 0,377 \frac{W}{m^2K}$.

2.2.4 Coeficiente global de transferencia de calor en ventanas

En la vivienda tenemos un tipo de ventanas de doble acristalamiento, dos lunas incoloras de 6 milímetros de espesor y 12 milímetros de cámara de aire deshidratado.

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Exterior	---	---
32	Vidrio	0,06	0,55
33	Cámara de aire	0,012	0,027
34	Vidrio	0,06	0,55
-	Interior	---	---

Tabla 8: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica de las ventanas.[15]

El coeficiente de transferencia de calor en las ventanas se calculará de acuerdo con el código técnico de la siguiente forma, teniendo en cuenta las resistencias de convección como ya hemos citado anteriormente

$$U_{ventana} = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + R_{si}} \quad (Ec. 16)$$

Donde el subíndice j corresponde a los diferentes materiales con los números de la tabla 8. El valor numérico que muestra la solución del coeficiente global de transferencia de calor es $U_{ventana} = 1,201 \frac{W}{m^2K}$.

2.2.5 Coeficiente global de transferencia de calor en puertas

En la vivienda hay tres tipos de puertas, del primer tipo tenemos dos puertas que están construidas del mismo material que son las puertas de la terraza y el patio de la vivienda. El segundo tipo es la puerta principal, y por último está la puerta del garaje. La puerta principal está hecha en pino y barnizada de un espesor de 75 milímetros y una conductividad térmica de 0,163 W/m K. Las puertas de la terraza y el patio están construidas de aluminio lacado en color en madera y acristaladas por medio de junquillos a presión con hueco de 12 milímetros. En la tabla 9 se puede observar la composición de dichas puertas. Y por último la puerta del garaje es un portón metálico basculante lacado en madera de 2 milímetros de espesor y una conductividad de 17 W/m K.

Número	Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m K)
-	Terreno	---	---
35	Aluminio	0,07	160
36	Cámara de aire	0,012	0,027
37	Aluminio	0,07	160
-	Interior	---	---

Tabla 9: Lista de materiales con sus espesores y conductividad térmica de las puertas de la terraza y patio.[15]

Los valores numéricos del coeficiente global de transferencia de calor de cada tipo de puerta son

Puertas	U (W/m ² K)
Terraza y patio	5,867
Puerta principal	1,587
Garaje	5,878

Tabla 10: Coeficientes globales de transferencia de calor según el tipo de puerta.

2.2.6 Limitación de demanda energética

La limitación de demanda energética de los edificios es en función del clima de la localidad en la que se ubican. Para la limitación de la demanda energética se establecen doce zonas climáticas identificadas según sea el invierno, con una letra, y según sea el verano, con un número. La zona climática de cualquier localidad se obtiene

del código técnico de la edificación en función de la altura entre la localidad en la que se encuentra la vivienda y la altura de referencia de la capital de provincia. La localidad en la que se encuentra la vivienda es Pozoblanco, una localidad del Noroeste de la provincia de Córdoba cuya altitud son 649 metros. La capital de la provincia que se utiliza como referencia es Córdoba, cuya altitud es de 113 metros por lo que la diferencia de altitud son 536 metros.

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Figura 5: Cuadro de zonas climáticas y cambio de zona dependiendo de la altitud. [4]

La diferencia de altura que existe entre Pozoblanco y Córdoba es mayor de 400 metros y menor de 600 metros, por tanto, se toma la zona climática C2, según la figura 5.

Con este dato de zona climática se procederá a la verificación de los valores límite de los parámetros característicos medios, que para la zona climática de la localidad los muestra la figura 6.

ZONA CLIMÁTICA C2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,32$

Figura 6. Valores límite de los parámetros característicos medios. [4]

Para la comparación y comprobación de estos valores límite se mostrará en la tabla 11 los distintos coeficientes globales de transferencia de calor

Elemento	Valores calculados (W/m ² K)	Valores límite (W/ m ² K)
Muros	0,559 0,625 0,378	0,73
Suelos	0,431	0,50
Cubiertas	0,237 0,377	0,41
Ventanas	1,201	---
Puertas	5,867 1,587 5,878	---

Tabla 11: Comparación de los valores calculados y los valores límite.

A la vista de los datos de la tabla 11, se puede concluir que los cerramientos están dentro de los límites marcados por el código técnico de la edificación, por tanto, la vivienda con estos materiales se puede construir cumpliendo las leyes españolas.

2.3 Psicrometría

Los elementos constructivos y algunos equipos utilizados habitualmente en la vivienda, en ocasiones, ya sea por su funcionamiento o por los factores climáticos externos también presentan un calor latente. Este calor latente se debe a una diferencia de humedad. La psicrometría se encarga de su estudio y es necesario hacer una mención a este tema, ya que se utilizará más adelante en este proyecto.

Sólo hay cinco cambios posibles en la condición del aire, todos representados fácilmente en el diagrama psicrométrico, desde el punto de estado inicial hasta un segundo punto que representa una condición diferente. Los distintos procesos son los siguientes: procesos de calor sensible constante, con temperatura de bulbo seco constante, procesos de calor latente constante, con un contenido en humedad y una temperatura de rocío constante, procesos adiabáticos, procesos de humedad relativa constante o una combinación de cualquiera de los procesos anteriores

En este proyecto utilizaremos un diagrama psicrométrico como en de la figura 7 para el cálculo de los valores de la humedad interior y exterior introduciendo la humedad relativa absoluta y la temperatura.

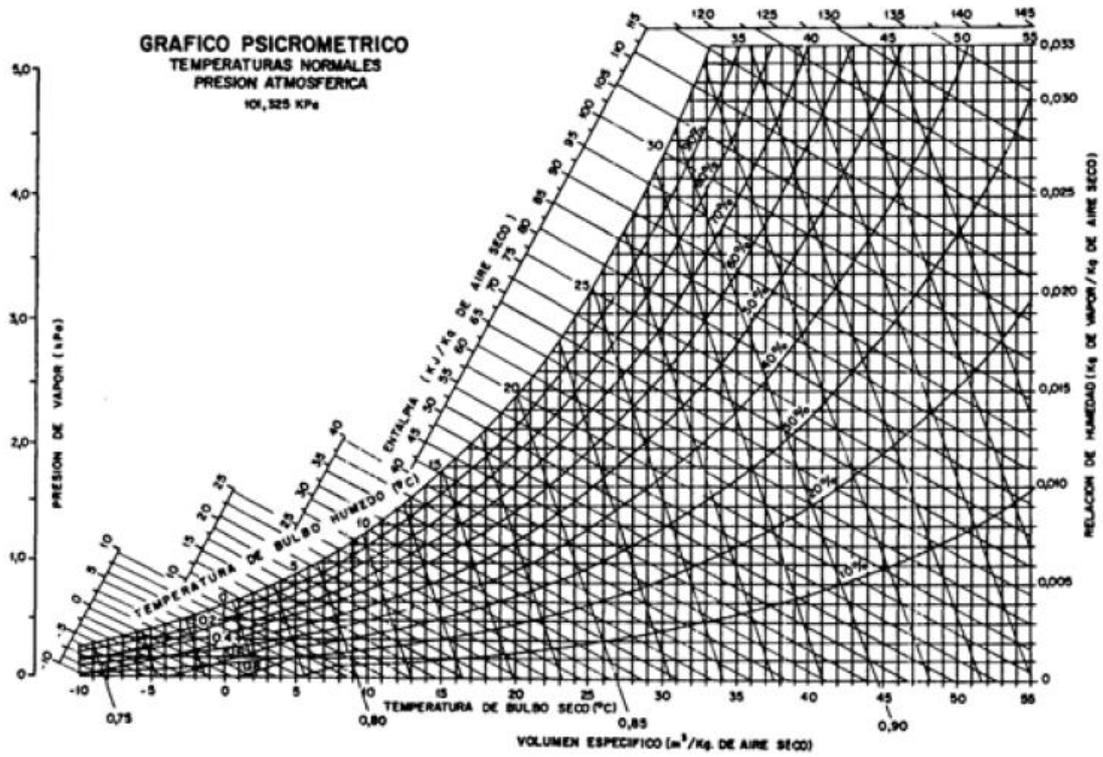


Figura 7: Diagrama psicrométrico.

3 CARGAR TÉRMICAS

3.1 Introducción

El primer paso para determinar la potencia térmica necesaria para cubrir la demanda de cualquier instalación, que se quiera diseñar, se conoce como cálculo de cargas. Se realiza un balance de pérdidas y ganancias de calor. Entre dichas cargas tenemos las sensibles que se corresponden a variaciones de temperatura seca del aire y las latentes que se corresponden a variaciones de cantidad de vapor de agua del aire.

Los datos utilizados para la realización de la simulación anual han sido obtenidos de la página web del Código Técnico de la Edificación.

3.2 Descripción del edificio

El edificio objeto de estudio se trata de una vivienda unifamiliar situada en el municipio de Pozoblanco, en la provincia de Córdoba. La vivienda tiene 213,24 m² dispuestos en dos plantas. La distribución se puede ver en el plano situado en las figuras 8 y 9.

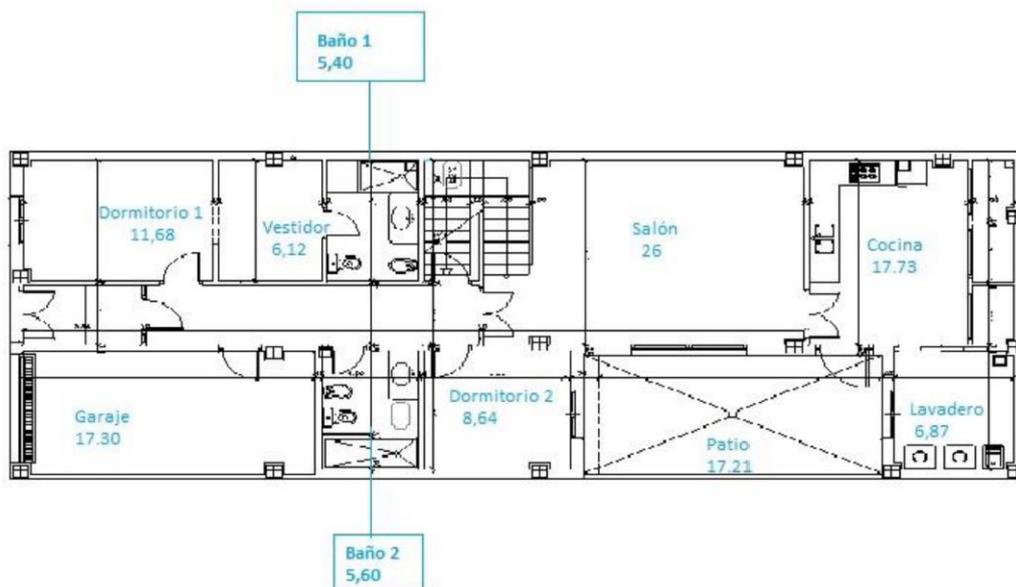


Figura 8: Distribución de la vivienda. Planta baja [15]

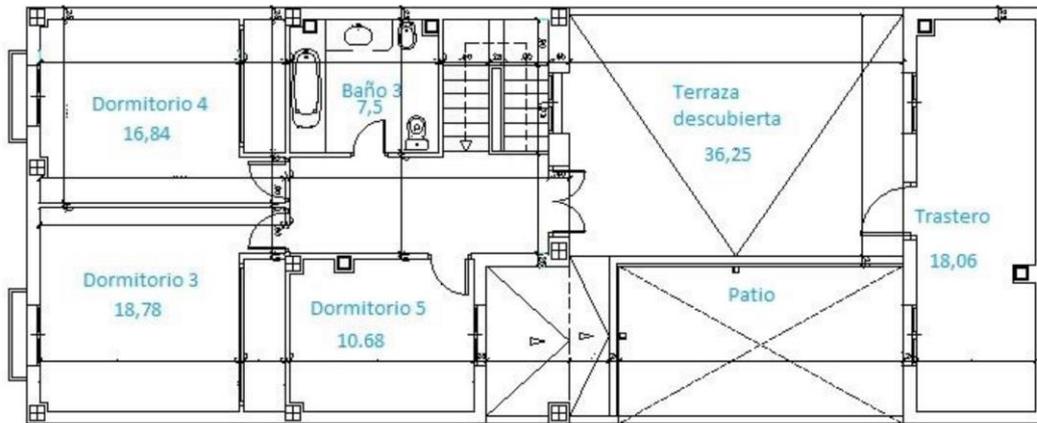


Figura 9: Distribución de la vivienda. Planta primera. [15]

En total, se dispone de las siguientes estancias a climatizar:

Planta baja	Área (m ²)
Vestíbulo y pasillo principal	13,31
Dormitorio 1 y cambiador	17,3
Baño 1	5,4
Baño 2	5,6
Dormitorio 2	8,64
Salón	26
Cocina	17,73
Lavadero	6,87

Tabla 12: Áreas de las diferentes estancias a climatizar en la planta baja.[15]

Planta primera	Área (m ²)
Dormitorio 3	16,84
Dormitorio 4	18,78
Dormitorio 5	10,68
Baño 3	7,5
Pasillo y escaleras	15,26

Tabla 13: Áreas de las diferentes estancias a climatizar en la planta primera.[15]

Además, dispone de un garaje de 17,3 m², un patio interior de 17,21 m², una terraza en la primera planta de 36,25 m² y un trastero de 18,09 m², que consideraremos estancias no climatizadas el garaje y el trastero, y como exterior el patio interior y la terraza.

Para el posterior cálculo de las cargas térmicas del edificio, necesitamos conocer antes el área de las diferentes puertas y ventanas de cada estancia, y con estas obtener el área de muro correspondiente. En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de las ventanas y puertas de cada estancia, así como su orientación.

Local	Ventana	Puerta
Cocina	---	2,10 x 1,10 m - Este
Lavadero	1,20 x 1,20m - Sur	---
Terraza	1,20 x 1,20m - Norte	2,20 x 1,40 m - Norte
Vestíbulo	---	2,54 x 1,40 m - Sur
Dormitorio 1	1,62 x 1,20 m - Sur	---
Dormitorio 2	1,20 x 1,20m - Norte	---
Dormitorio 3	2,32 x 1,20 m- Sur	---
Dormitorio 4	2,32 x 1,20 m- Sur	---
Dormitorio 5	1,20 x 1,20m - Norte	---
Salón	2,20 x 2,25 m - Este	---

Tabla 14: Dimensiones y orientación de los huecos de las diferentes estancias a climatizar.[15]

Sabiendo que la altura del edificio es de 6,85 m, la altura de las estancias es 2,9 y conocidas las dimensiones de los huecos, podemos obtener el área de las zonas susceptibles de transmisión de calor, distinguiendo entre zonas en contacto con el exterior, con una casa colindante y en contacto con las superficies no climatizables. En la tabla 15 se muestran las diferentes áreas de transferencia de calor, calculados a partir de los planos de la vivienda.

Elemento	Exterior (m ²)	Casa colindante (m ²)	Sup. No climatizable (m ²)
Muro tipo 1	82,47	200,98	---
Muro tipo 2	---	21	23,7
Muro tipo3	9,41	---	---
Techo tipo 1	60,06	---	---
Techo tipo 2	3,97	---	18,1
Suelo	100,85	---	---
Ventanas	18,22	---	---
Puertas	5,39	---	---
Puerta principal	3,56	---	---
Puerta garaje	6,93	---	----

Tabla 15: Área de los elementos de estudio de la vivienda.[15]

3.3 Componentes de la carga térmica

La carga térmica presenta 4 componentes:

- 1) Carga térmica de transmisión: se trata de una carga sensible la cual se origina por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio, es decir es por una carga transmitida al edificio a través de los diferentes cerramientos por conducción.
- 2) Carga térmica de intercambio de aire: esta se divide a su vez en carga de ventilación y carga de infiltraciones, teniendo cada una componente sensible y otra latente. La carga de ventilación es debida a la renovación del aire interior, mientras que la de infiltraciones es debida a la no estanquidad del edificio (puertas y ventanas).
- 3) Carga térmica interna: es debida al uso del edificio, es decir, el calor aportado es proporcionado por los ocupantes, tanto de forma sensible como latente, y la iluminación y equipos eléctricos del edificio, únicamente de forma sensible. Esta constituirá una ganancia térmica, por lo que sirve como apoyo al sistema calefactor, por lo que únicamente consideraremos esta carga en el caso de la carga de refrigeración.
- 4) Carga térmica de radiación: se trata de una carga sensible originada por la incidencia de la radiación solar sobre las superficies internas del edificio. Al igual que en el caso de la carga interna, esta carga solo ha de ser tomada en cuenta en el caso de la carga de refrigeración.

Además, para calcular la carga térmica del edificio se precisan unas condiciones de diseño.

3.4 Condiciones de diseño

A la hora de calcular las cargas térmicas se ha de dejar claro que va a ser una simulación de estudio a lo largo de un año. Un año se puede dividir en horas, días, semanas, meses o en estaciones.

Se dividirá el año en dos períodos, el período invernal y el período estival. Para el cálculo de las cargas térmicas es necesario conocer el coeficiente global de transferencia de calor de las superficies susceptibles de ello, así como su área, la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda y la diferencia de humedades relativas interior y exterior.

El período invernal pertenece al período de calefacción, mientras que el período estival es el que se refiere al período de refrigeración. Este último comienza a partir del 15 de abril a las 16:00 horas y termina el 15 de octubre a las 21:00.

Los valores de temperatura interior y de humedad relativa los fija el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), en el cual se fijan dichas condiciones tanto para verano como para invierno y cuyos valores se muestran en la siguiente tabla:

Estación	Temperatura operativa	Humedad relativa
Verano	23 a 25 °C	45 a 60 %
Invierno	20 a 23 °C	40 a 50 %

Tabla 16: Condiciones interiores de diseño. [4]

De acuerdo con la tabla anterior seleccionaremos una humedad relativa de diseño de 50% para invierno y verano.

En el caso de la temperatura fijaremos una temperatura interior de diseño de 20°C para invierno y 25°C para verano. Para las superficies no climatizadas y las casas colindantes tomaremos una temperatura media entre la temperatura exterior e interior de la vivienda.

Los valores de temperatura exterior y de humedad relativa quedan definidos por dos vectores, en los que se recoge un valor por cada hora del año, haciendo que el cálculo sea lo más exacto posible. Dichos valores vienen determinados por la localización del edificio.

Para tener un mayor conocimiento de los valores de temperatura y de humedad relativa en el exterior se recogen dos gráficas con los valores de estos a lo largo del año en los gráficos 1 y 2.

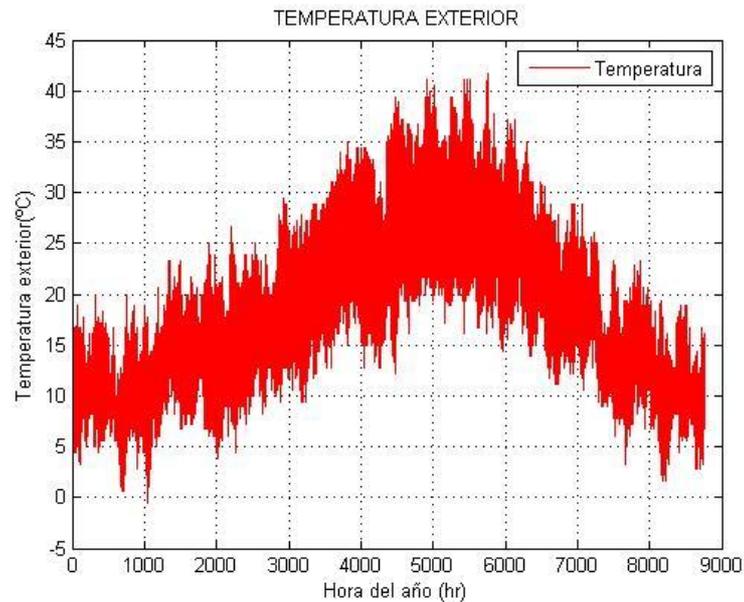


Gráfico 1: Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año

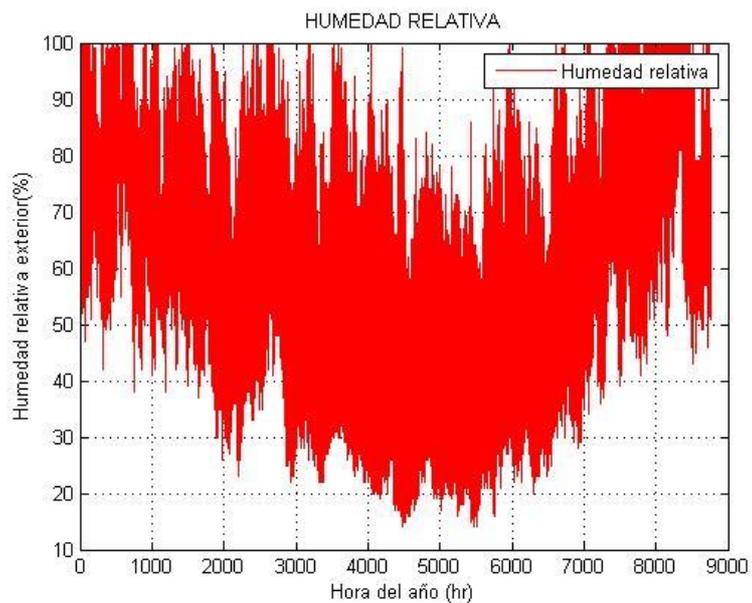


Gráfico 2: Humedad relativa en tanto por ciento cada hora del año

3.5 Cargas térmicas en período de calefacción

Las cargas térmicas que se tendrán en cuenta en el período de calefacción serán las de transmisión, las cargas térmicas debidas a ventilación y las infiltraciones y se considerarán las cargas debidas a la radiación, como una ganancia para paliar el consumo de energía. Se irán desgranando una a una para facilitar tanto el análisis como la comprensión de los cálculos realizados.

3.5.1 Carga térmica por transmisión

Este tipo de carga es la carga sensible, debida a la diferencia de temperaturas, en la que la pérdida de calor se origina desde el interior de la vivienda hacia el exterior debida a los cerramientos.

La ecuación 17 es la que modela esta carga,

$$Q_{transmisión} = U_{cerramiento} \cdot A_{cerramiento} \cdot (T_{interior} - T_{exterior}) \quad (Ec. 17)$$

Donde:

$Q_{transmisión}$: carga por transmisión de ese cerramiento [W].

$U_{cerramiento}$: coeficiente global de transferencia de calor [$W/m^2 K$].

$A_{cerramiento}$: área del cerramiento [m^2].

$(T_{interior} - T_{exterior})$: diferencia de temperaturas [K].

Una a una se irá viendo las cargas de transmisión a través del muro, techo, suelo, ventanas y puertas. La diferencia son el área y los coeficientes globales de transferencia. De momento este estudio es sólo para el periodo de calefacción, por tanto, los valores correspondientes al período de refrigeración son cero.

Los gráficos (3), (4), (5) y (6) muestran respectivamente la carga térmica de transmisión en el muro, techo, puertas y ventanas. Como el garaje no es necesario climatizarlo, no se tendrán que usar los datos de la puerta de este. Solo serán relevantes los otros tipos de puertas de las que anteriormente se había calculado su coeficiente global de transferencia de calor.

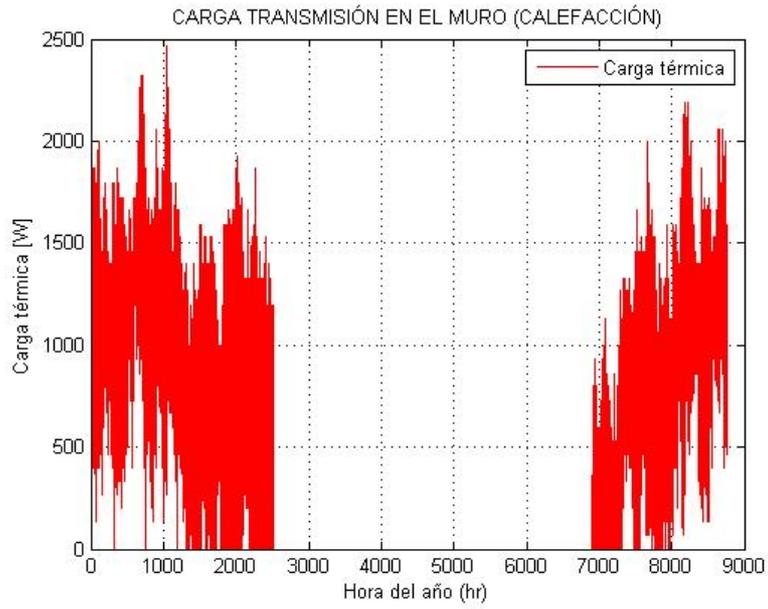


Gráfico 3: Carga térmica en el muro en el período de calefacción.

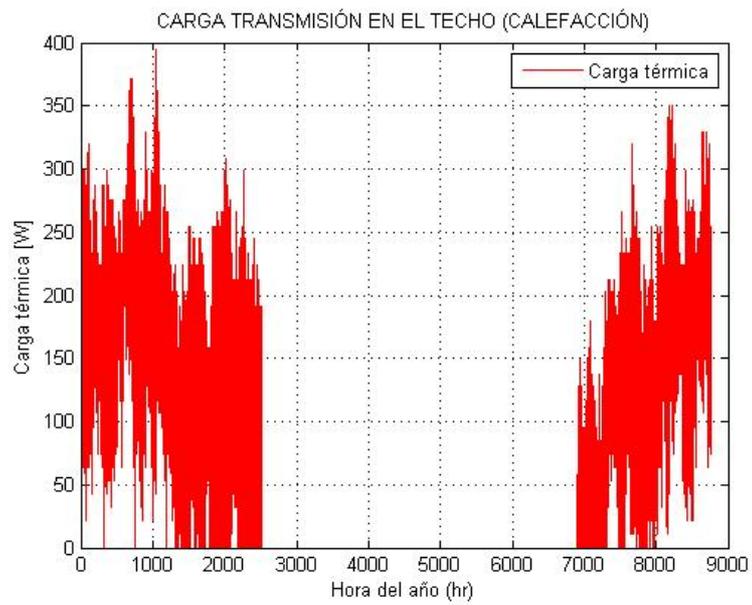


Gráfico 4: Carga térmica en el techo en el período de calefacción.

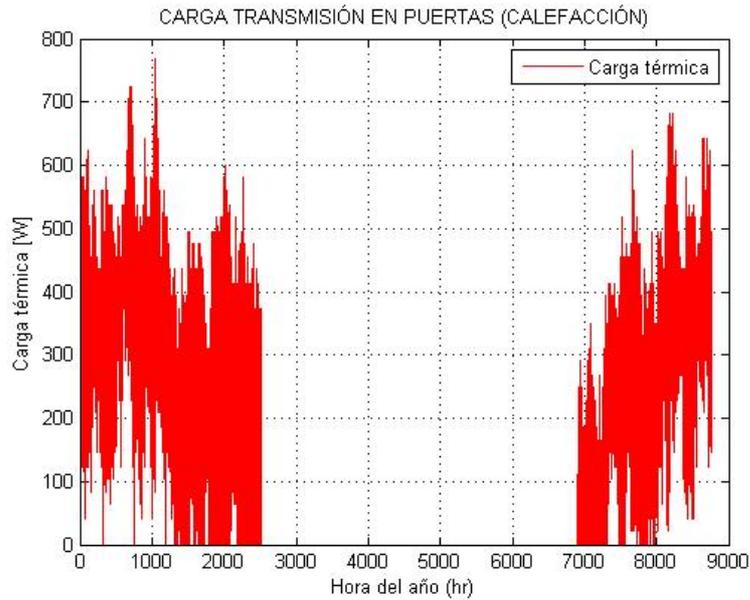


Gráfico 5: Carga térmica en las puertas en el período de calefacción.

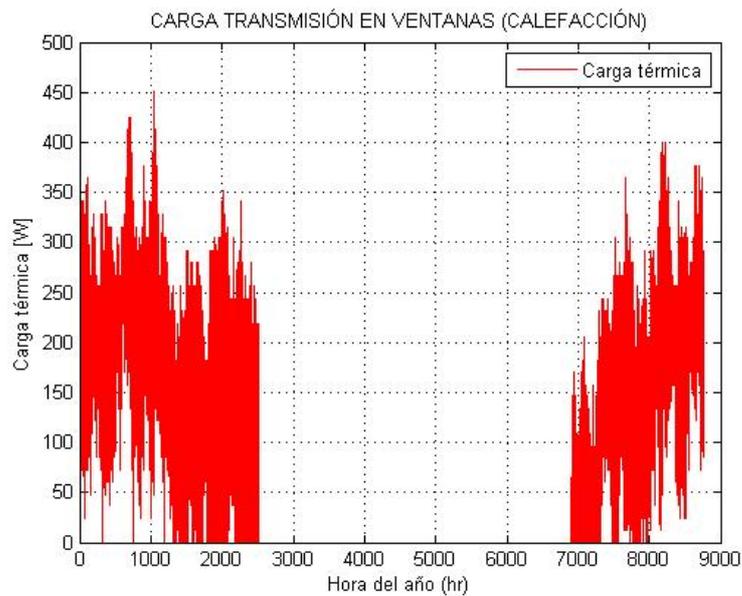


Gráfico 6: Carga térmica en ventanas en el período de calefacción.

Para la carga térmica de transmisión en el suelo no se presenta el gráfico ya que se trata de un valor constante, debido a que la temperatura exterior del suelo de la vivienda en el período de calefacción en Pozoblanco se encuentra a una temperatura media de 10°C .

La carga térmica de transmisión en el periodo de calefacción es la suma de todas las cargas calculadas anteriormente. La siguiente ecuación muestra la carga térmica de transmisión en el periodo de calefacción.

$$Q_{transmisión} = Q_{muro} + Q_{techo} + Q_{suelo} + Q_{puertas} + Q_{ventanas} \quad (Ec. 18)$$

$$\text{Siendo, } Q_{muro} = Q_{muro1} + Q_{muro2} + Q_{muro3} \quad (Ec. 19)$$

$$Q_{techo} = Q_{techo1} + Q_{techo2} \text{ (Ec. 20)}$$

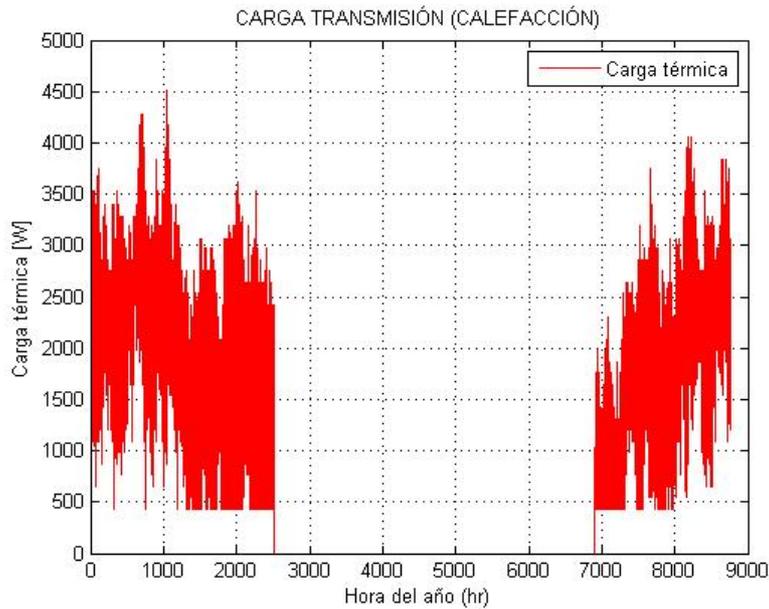


Gráfico 7: Carga térmica de Transmisión en el período de calefacción.

Como se comprueba la carga térmica de transmisión será importante, debido a que la superficie de transmisión es muy grande.

3.5.2 Carga térmica por intercambio de aire

- Carga térmica de ventilación.

Para evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado es necesario introducir una cierta cantidad de aire exterior que se llama de ventilación. La carga de ventilación es la derivada de esta renovación de aire del interior de la vivienda. Las ecuaciones 21 y 22 muestran la forma de cuantificar esta carga térmica, que tendrá dos componentes, sensible, ecuaciones 21 y latente, ecuación 22.

$$Q_{vent\ sensible} = V_{aire} \cdot \rho_{aire} \cdot Cp_{aire} \cdot (T_{int} - T_{ext}) \text{ (Ec. 21)}$$

$$Q_{vent\ latente} = V_{aire} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_{int} - \omega_{ext}) \text{ (Ec. 22)}$$

Donde:

$Q_{vent\ sensible}$: carga por ventilación sensible (W).

V_{aire} : caudal de aire de ventilación total (m³/s).

ρ_{aire} : densidad del aire(kg/m³). Tomaremos $\rho_{aire}=1,2$ kg/m³.

Cp_{aire} : calor específico del aire a temperatura ambiente (J/kg K).

Tomaremos $Cp_{aire}=1000$ J/kg K.

T_{int} : temperatura del local a climatizar (K).

T_{ext} : temperatura ambiente (K).

h_{fg} : calor de vaporización del agua. Tomaremos $h_{fg}=2557$ kJ/kg.

ω_{int} : humedad interior del edificio.

ω_{ext} : humedad exterior del edificio.

Los valores de la humedad interior y exterior se calcularán haciendo uso de un diagrama psicrométrico introduciendo la humedad relativa absoluta y la temperatura.

Se puede determinar el caudal de aire de ventilación utilizando los caudales mínimos exigidos en el código técnico de la edificación. Estos caudales se distinguen en litros por segundo de aire que depende del número de personas que habiten la casa, o de la superficie que ocupan las distintas estancias de la casa. La figura 10 muestra estos caudales mínimos exigidos que han sido utilizados para calcular el caudal de ventilación.

		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 ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Figura 10: Caudales de ventilación mínimos exigidos. [3]

Por la distribución de la vivienda y número de habitaciones se puede concluir que ha sido planteada para que nueve personas convivan en la misma. Tras la realización de los cálculos correspondientes, los caudales de aire que son necesarios para el cumplimiento del código técnico de la edificación se muestran en la tabla 17.

Estancia	Cantidad	Superficie (m ²)	Caudal de aire (l/s)
Dormitorios dobles	4	---	40
Dormitorios individuales	1	---	5
Salón	1	---	27
Cocina	1	17,73	35,46
Baño	3	---	45

Tabla 17: Caudales mínimos en cada estancia de la casa.

El caudal global de ventilación que será necesario en la casa, y que para el cálculo de la transferencia de calor se utilizará en las ecuaciones 21 y 22, será 152,46 l/s. La suma del flujo de calor debido al cambio de temperatura y al cambio de humedad, sensible y latente formaría el total del flujo de calor debido a la ventilación de la vivienda, que se muestra en gráfico 8.

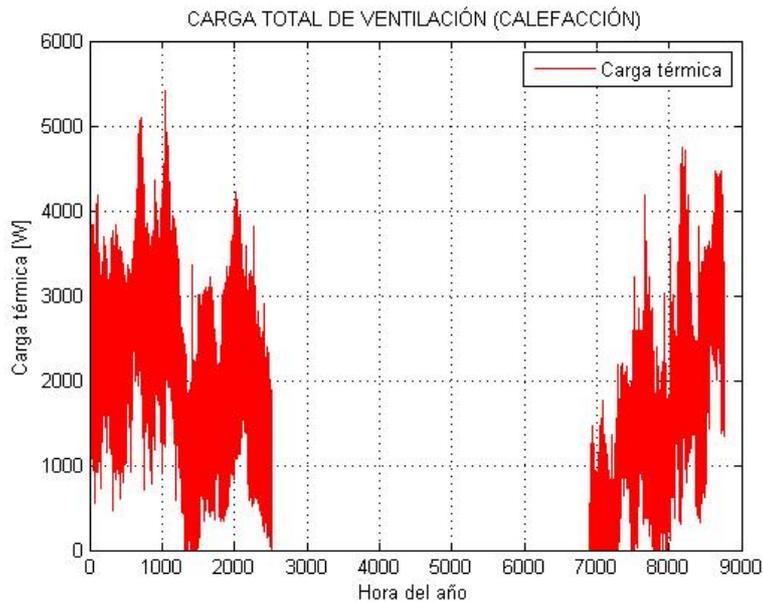


Gráfico 8: Carga térmica total de ventilación en período de calefacción.

La mayor influencia en la carga térmica de ventilación es la debida al calor sensible, ya que según las horas entre otras cosas la diferencia de temperaturas es mayor que la diferencia de humedades.

- Carga térmica por infiltraciones

Las infiltraciones de aire exterior en un local climatizado se producirán siempre que el local esté a una presión inferior que el ambiente que le rodea. Las infiltraciones producen diversos efectos como la introducción de frío en el período de calefacción o calor en el período de refrigeración en el ambiente interior, también pueden introducir en la vivienda polvo y contaminantes exteriores, así como vapor de agua, con la consiguiente carga latente.

Las infiltraciones y, en particular, la entrada de vapor de agua, constituyen un origen importante de ganancias o pérdidas de calor. El caudal de aire de infiltración varía según la estanqueidad de puertas y ventanas, la porosidad de las paredes del edificio, su altura, dirección, entre otras muchas. En ocasiones, muchos de esos parámetros dependientes no pueden ser calculados y deben ser objeto de una estimación más o menos empírica.

Las infiltraciones por puertas y ventanas durante el invierno son debidas a la presión dinámica del viento y al efecto chimenea, que es como se denomina a la diferencia de densidades entre el aire exterior y el interior provocado por diferencias de humedad y temperatura. El aire exterior penetra por las partes bajas, se calienta en el interior, asciende y se evacúa por las partes altas, dándose un movimiento de circulación natural.

Para el cálculo del caudal de infiltración se ha tenido en cuenta que por las puertas el caudal de infiltración es de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ y por las ventanas es de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Siendo el caudal de aire total por infiltraciones de $0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$. Con estos datos se puede calcular el calor debido a las infiltraciones utilizando las mismas ecuaciones que para calcular la carga térmica por ventilación, como suma del latente y el sensible, que se muestra en el gráfico 9.

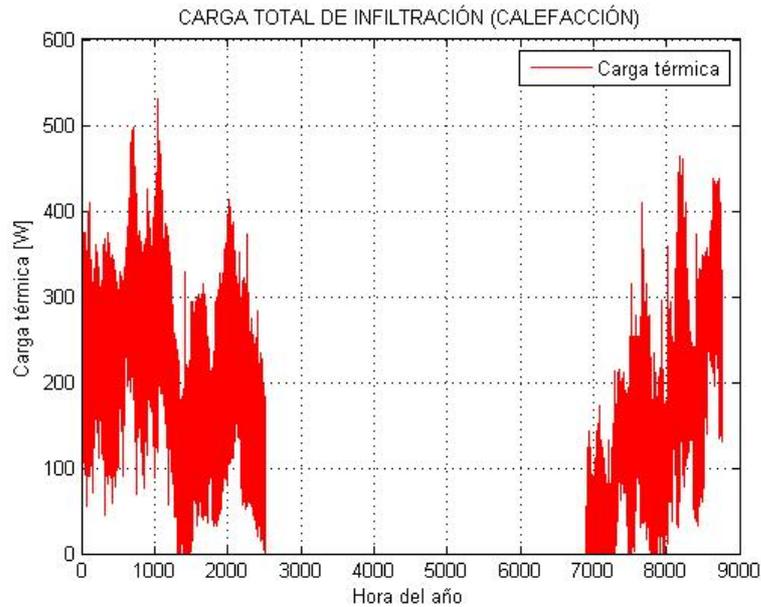


Gráfico 9: Carga térmica por infiltraciones en período de calefacción.

La carga térmica total por intercambio de aire en período de calefacción se muestra en el gráfico 10.

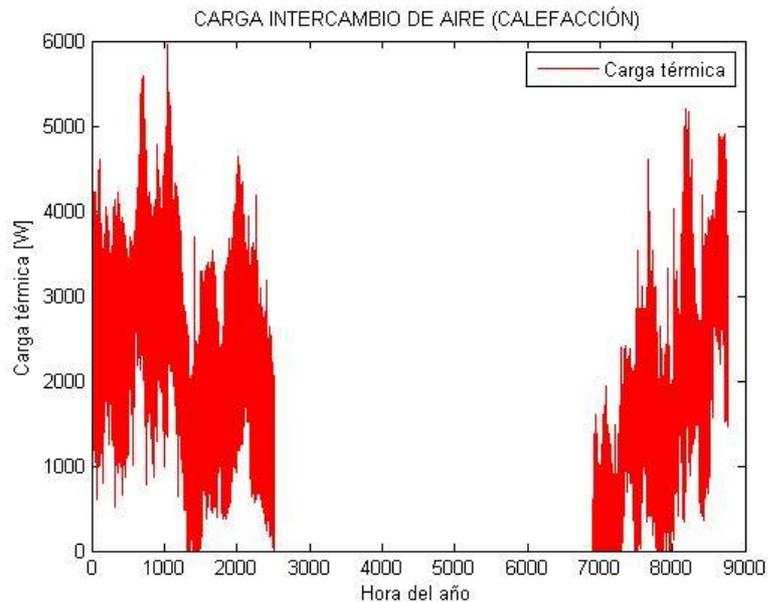


Gráfico 10: Carga térmica por intercambio de aire en período de calefacción.

3.5.3 Carga térmica debida a la radiación

En este apartado se tendrá en cuenta la ganancia de calor a través de superficies de vidrio como son las distintas ventanas de la vivienda. La ganancia de calor dependerá de la situación geográfica (latitud) del vidrio, del instante considerado y, por último, de su orientación. Se tendrán en cuenta las tres formas de radiación: directa, difusa y reflexión. La componente de radiación directa origina ganancia de calor en el espacio acondicionado sólo cuando la ventana es atravesada por los rayos solares, mientras que la radiación difusa origina ganancia de

calor cualquiera que sea la posición de la ventana en relación con el sol. El cristal absorbe una fracción de radiación solar del 5% y refleja o transmite el resto. La cantidad de calor reflejada y transmitida dependerá del ángulo de incidencia y el ángulo formado por la normal al cristal con la dirección de los rayos del sol. Al aumentar este ángulo, aumenta el calor reflejado y disminuye el transmitido.

Para calcular la radiación incidente en la vivienda lo primero que se tiene que consultar es su situación geográfica. Se encuentra a una latitud de 38,23 grados y una longitud de -4,81 grados. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la inclinación de la pared respecto del suelo, que, al ser las ventanas, será de 90 grados.

Se procederá a calcular la declinación para cada día del año.

Para el cálculo de la radiación incidente se dispone de datos empíricos de radiación global (gráfico 11), difusa (gráfico 12), y directa (gráfico 13), por metro cuadrado sobre plano horizontal a lo largo del año.

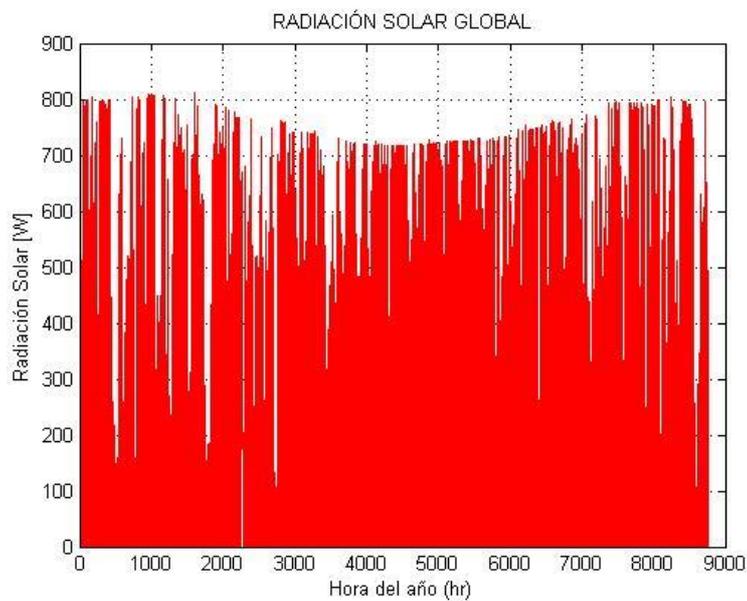


Gráfico 11: Radiación global diaria a lo largo del año.

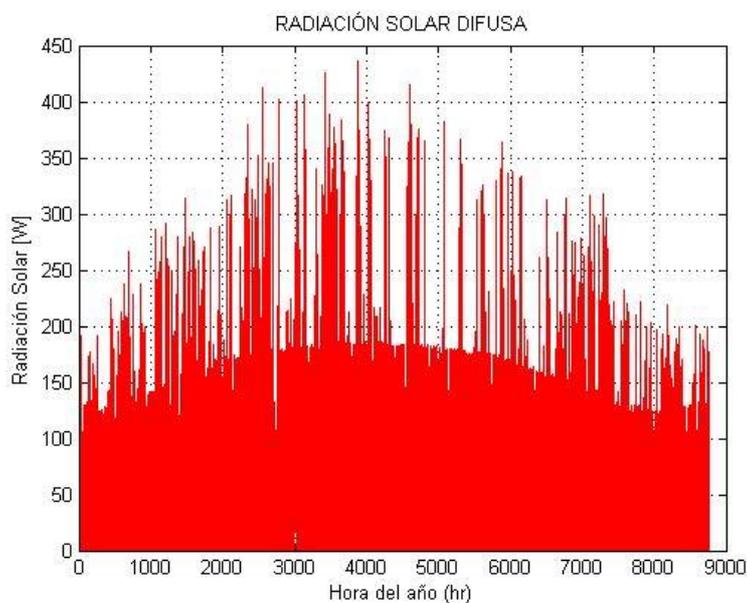


Gráfico 12: Radiación difusa diaria a lo largo del año.

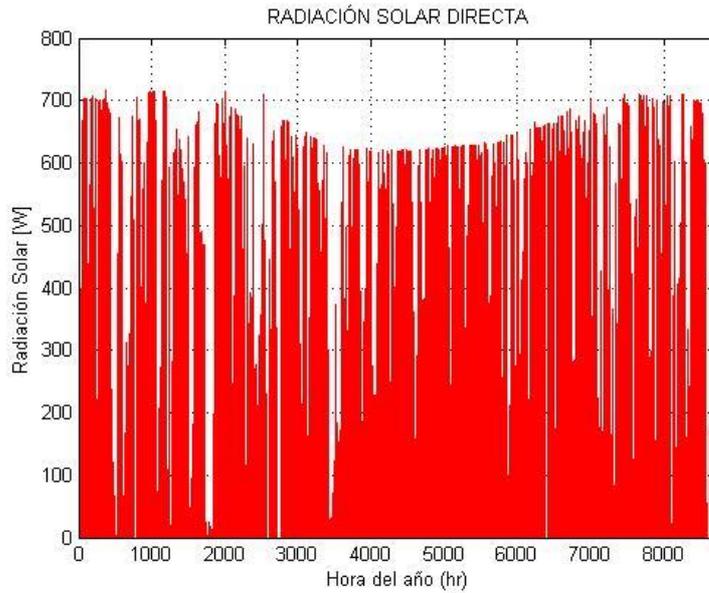


Gráfico 13: Radiación directa diaria a lo largo del año.

Otro componente de la radiación solar es la radiación reflejada (gráfico 14), que se obtiene de multiplicar la radiación global por un factor constante ρ llamado reflectancia que toma un valor de 0,2.

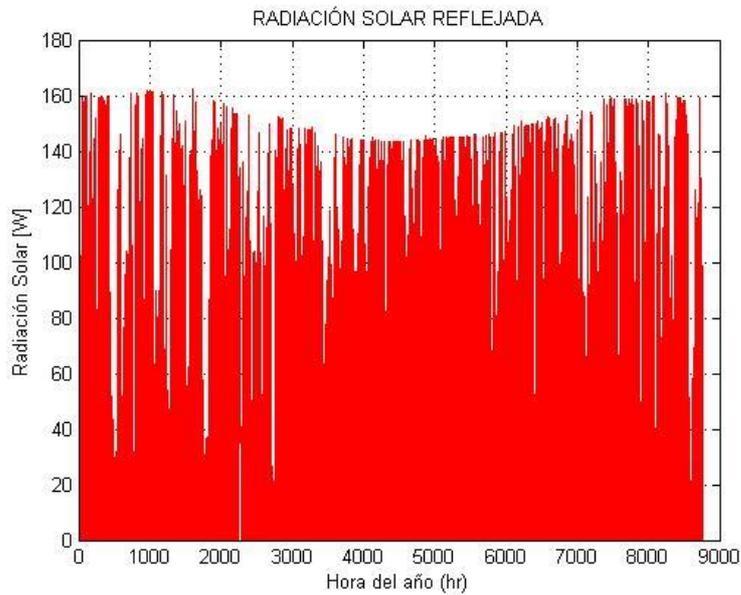


Gráfico 14: Radiación reflejada diaria a lo largo del año.

La radiación total queda definida por la siguiente ecuación.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_r \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (Ec. 23)$$

Donde:

I_T : Radiación total por metro cuadrado [W/m^2].

I_b : Radiación directa por metro cuadrado [W/m^2].

I_d : Radiación difusa por metro cuadrado [W/m^2].

R_b : Factor geométrico que depende de la orientación.

β : Ángulo de la pared con el suelo.

Para las distintas orientaciones de las superficies se calculará la cantidad de radiación solar total que realmente reciben las superficies. Para la orientación sur se usará una correlación geométrica con la que se obtendrá dicha radiación. Para la orientación del norte no hará falta aplicar ningún factor ya que la radiación incidente es la suma de la radiación directa más la radiación reflejada debido a que el sol nunca incidirá directamente sobre esta superficie de la vivienda (gráfico 15).

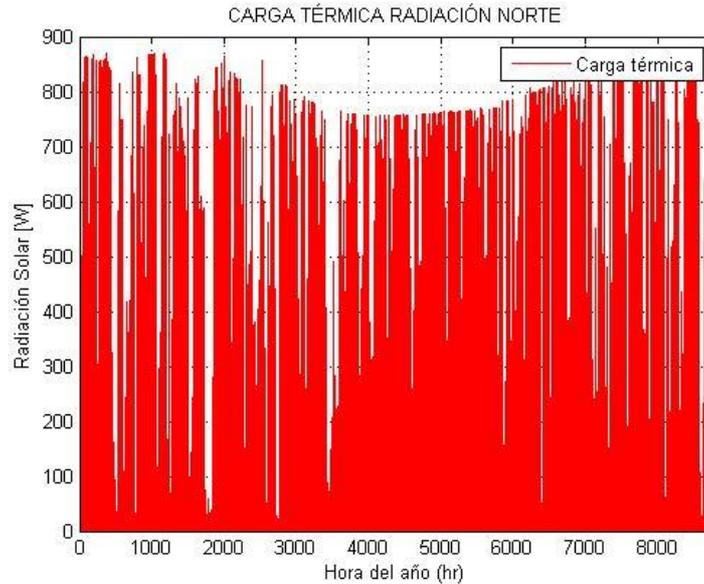


Gráfico 15: Carga térmica por radiación orientación Norte.

El factor geométrico que depende de la orientación sur y se calcula de la siguiente forma:

$$R_{bsur} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta)} \quad (Ec. 24)$$

$$I_{sur} = (I_b - I_d) R_{bsur} + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_r \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (Ec. 25)$$

Donde:

Latitud de nuestra zona.

ϕ :

Ángulo de declinación solar. Depende del día del año n . Se define como el ángulo formado por el plano ecuatorial terrestre y la línea Sol-Tierra y se calcula como:

δ :

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (Ec. 26)$$

ω :

Ángulo horario. Depende de la hora del día y se calcula de la siguiente forma:

$$\omega = -180 + 15 \cdot h \quad (Ec. 27)$$

Una vez calculado el factor geométrico para cada hora del año, se calcula el factor de corrección de las

ventanas, siguiente la fórmula:

$$F_{\text{corrección}} = F_s \cdot \left[(1 - FM) \cdot g_p + FM \cdot 0.04 \cdot U_{\text{marco}} \cdot \alpha \right] \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

F_s : Factor de sombra. Varía según el tipo de ventana.

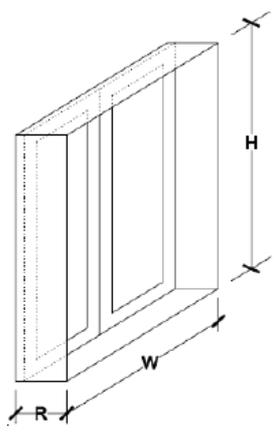
FM: Fracción de hueco ocupada por el marco.

g_p : Factor solar de la parte semitransparente.

U_{marco} : Coeficiente global de transferencia de calor del marco.

α : Absortividad el marco.

El factor sombra varía según el tipo de ventana, y en la vivienda de estudio hay tres tipos de ventanas con diferente factor sombra. Para calcular el factor de sombra de las ventanas se usan las dimensiones de su marco y se saca de la siguiente figura.



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

Figura 11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo. [4]

La absortividad del marco es 0,9, el factor solar de la parte semitransparente, que son los mismos vidrios para todas las ventanas es de 0,8 y la tabla 19 indica los diferentes tipos de ventana y su fracción de hueco ocupada por el marco.

Tipo	Número	FM
1	1	0,082
2	1	0,090
3	2	0,170

Tabla 18: Características de los diferentes tipos de ventanas.

Con todos los datos anteriores ya se está en disposición de calcular las cargas térmicas a través de la expresión:

$$Q_{\text{rad}} = F_{\text{corrección}} \cdot A_{\text{ventana}} \cdot I_{\text{orientación}} \quad (\text{Ec. 29})$$

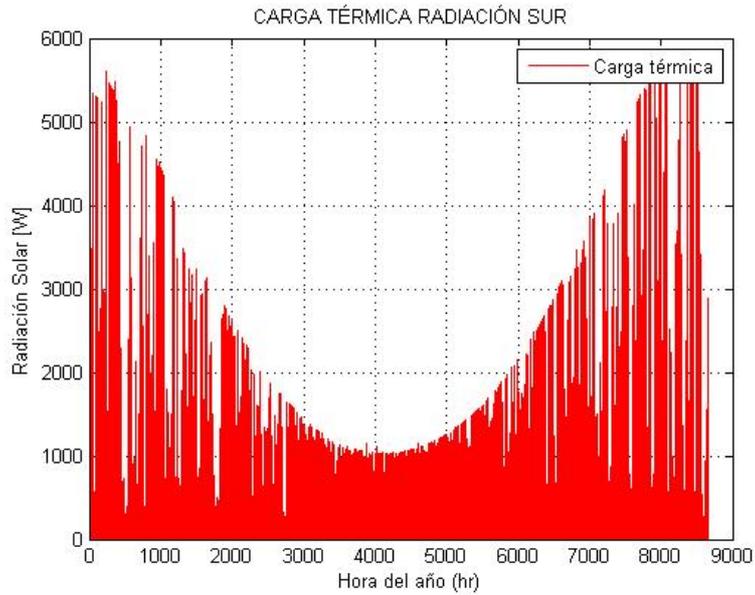


Gráfico 16: Carga térmica por radiación orientación Sur.

La carga de radiación en el período de refrigeración es la siguiente:

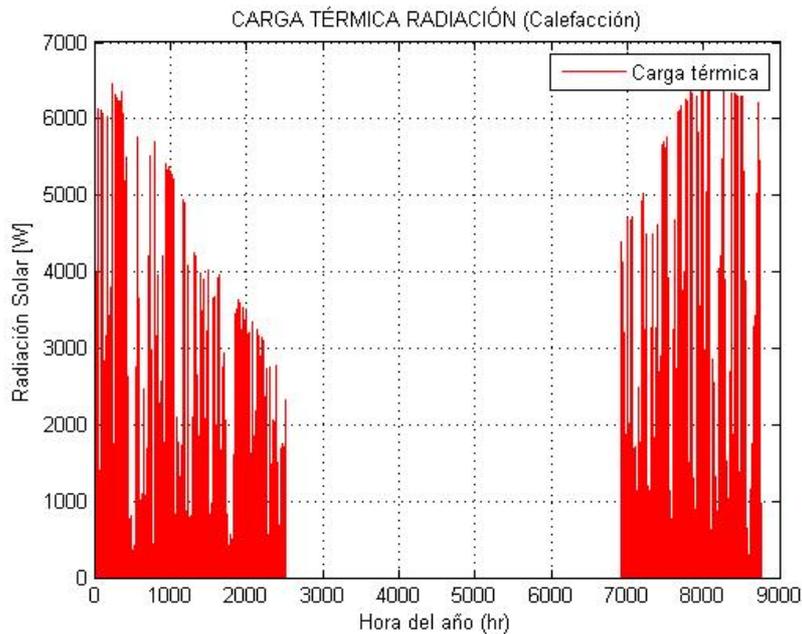


Gráfico 17: Carga térmica por radiación en período de calefacción.

Al considerar como una ganancia la radiación en este período, el sistema de climatización puede reducir su consumo 2,545 megavatios, que es un dato significativo al obtener el consumo global que se comprobará posteriormente.

Con el estudio de las cargas térmicas de ventilación, infiltración, transmisión y de radiación se completa el estudio de cargas térmicas en período de calefacción. La suma de los tres primeros aportes de calor y restando la ganancia que supone la radiación, se obtiene como resultado la carga térmica total en este período. La carga térmica total en período de calefacción se muestra en el gráfico 18.

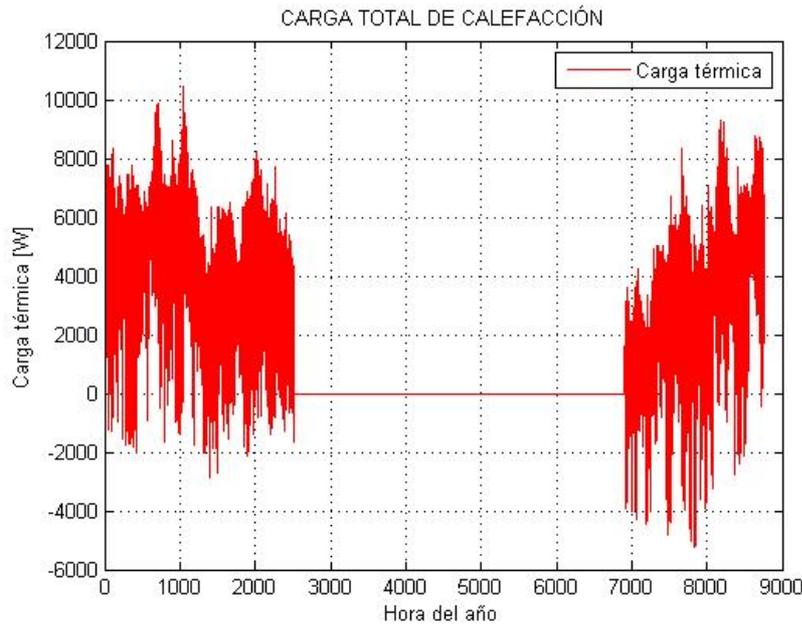


Gráfico 18: Carga térmica total en período de calefacción.

Finalmente, de los datos del gráfico se puede sacar que la máxima potencia que demanda la casa para la calefacción son 10,47 kW y se puede observar su evolución anual. Por tanto, para que se pueda completar la calefacción de la vivienda, el sistema de calefacción deberá ser capaz de aportar esa cantidad de calor como mínimo, ya que hay uno o varios días al año que se produce esa demanda, y el sistema de calefacción debe ser capaz de acondicionar el ambiente en estas condiciones. En las horas cuando la carga térmica se pone negativa es debido a la carga por radiación, ya que los rayos inciden sobre la vivienda y no sería necesario consumir energía para mantener el confort en la vivienda.

3.6 Carga térmica en el período de refrigeración

Siguiendo la práctica marcada por el Código Técnico de la Edificación en el período de refrigeración la temperatura interior que se utilizará será 25°C, además siguiendo las mismas pautas la humedad relativa para este período se tomará igual que en el período de calefacción, 50%. En el período de refrigeración no sólo se tendrán en cuenta los aportes de calor por transmisión, ventilación e infiltraciones, además de estas tres cargas térmicas, se tendrán en cuenta la carga térmica por radiación y la denominada carga interna, derivada del uso del edificio.

3.6.1 Carga térmica por transmisión

Al igual que en el período de calefacción será de significativa importancia este calor a la hora de determinar la carga térmica total en el período de refrigeración. La única diferencia apreciable en el caso de la carga de transmisión es que en el período de refrigeración la diferencia de temperaturas cambia, ya que la temperatura exterior será superior en la mayoría del tiempo a la temperatura interior de confort estipulada. Por tanto, la ecuación que se utilizará para el cálculo de la carga térmica de transmisión será la ecuación 17, pero en este caso a la temperatura exterior se le restará la temperatura interior. El gráfico 12 y el gráfico 13 muestran la evolución de la carga térmica debida a la transmisión en el muro y en el techo respectivamente.

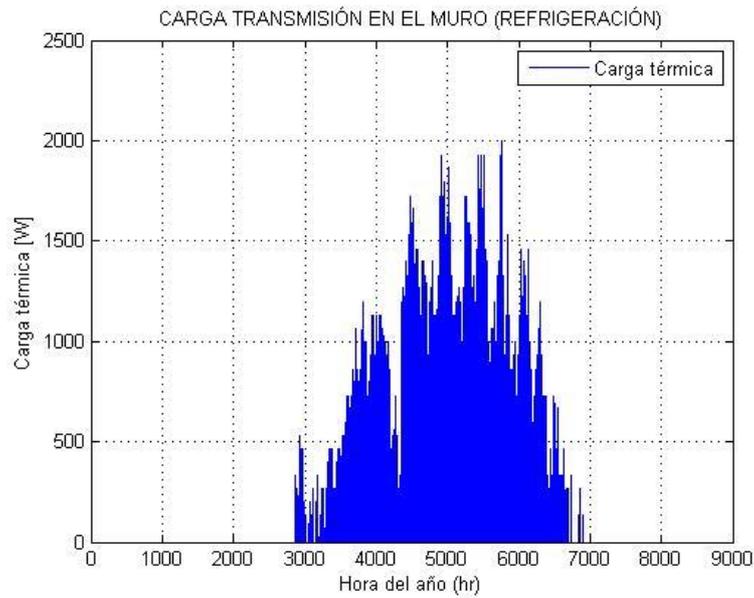


Gráfico 19: Carga térmica de transmisión en el muro en el período de refrigeración.

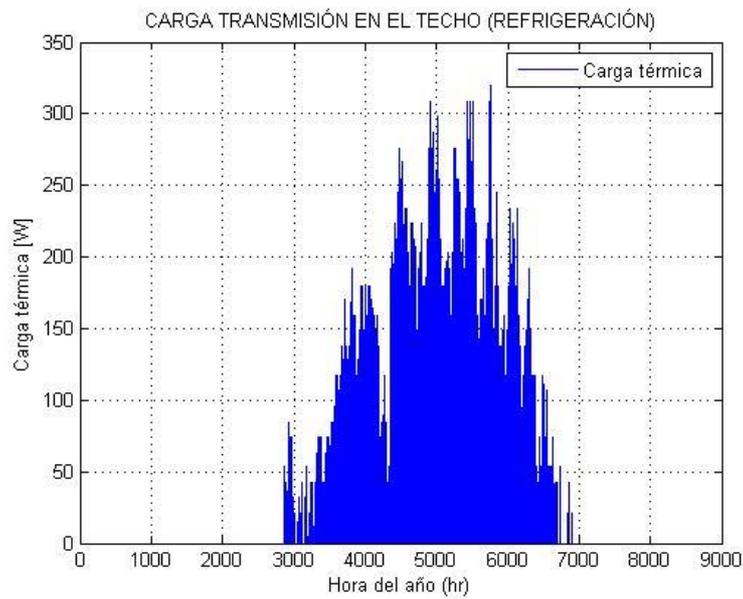


Gráfico 20: Carga térmica de transmisión en el techo en período de refrigeración.

Para la carga térmica en el período de refrigeración no se tendrá en cuenta la transmisión en el suelo ya que la temperatura del suelo será menor que la temperatura interior de la vivienda, por lo que será una ganancia y no será necesario tenerlo en cuenta.

Las cargas térmicas de transmisión de las ventanas y puertas se pueden observar en los siguientes gráficos 14 y 15.

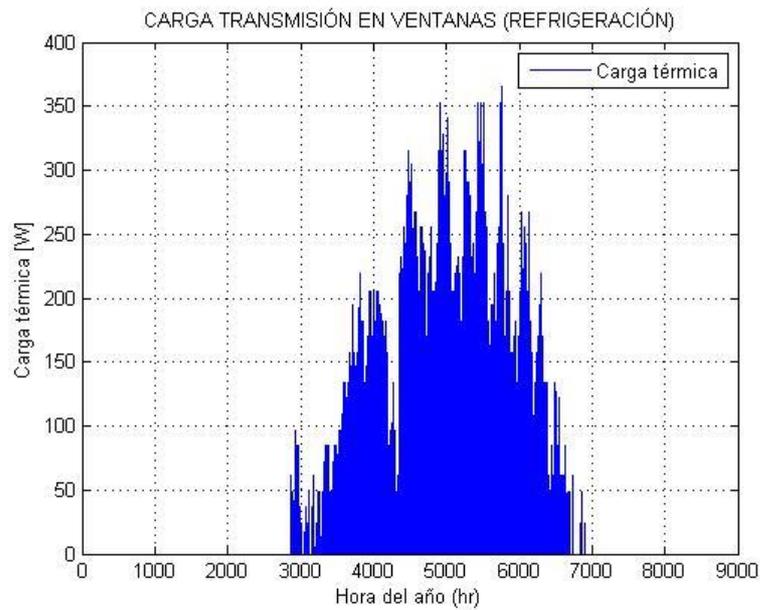


Gráfico 21: Carga térmica de transmisión en las ventanas en el período de refrigeración.

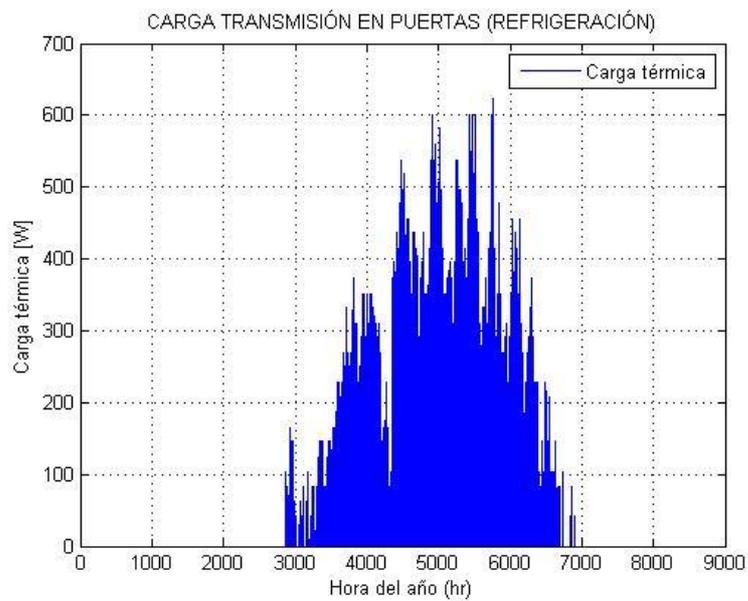


Gráfico 22: Carga térmica de transmisión en las puertas en el período de refrigeración.

Del mismo modo que en el período de calefacción, la suma de todas estas cargas por transmisión dará la carga total de transmisión que es la que muestra el gráfico 16.

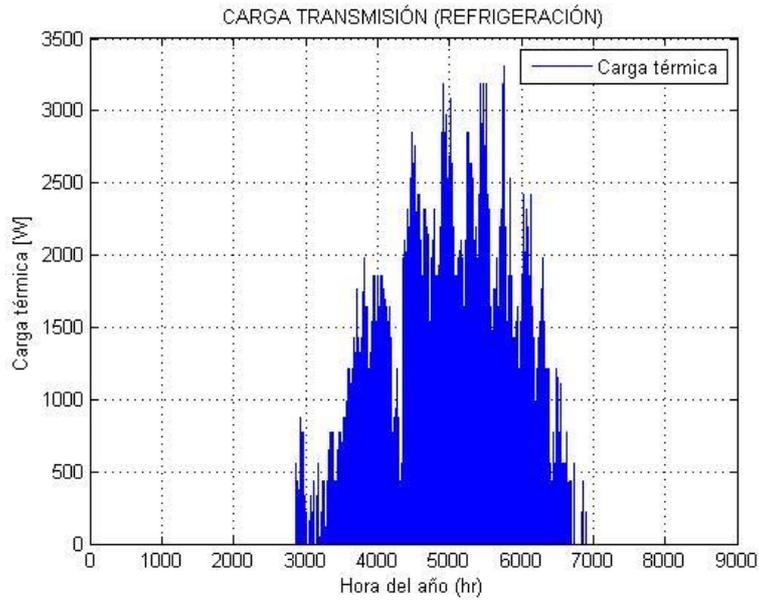


Gráfico 23: Carga térmica de transmisión en el período de refrigeración.

3.6.2 Carga térmica por intercambio de aire

- Carga térmica de ventilación.

Utilizando las ecuaciones 21 y 22, y los mismos datos de la figura 10 con los que se obtenía el caudal de ventilación en el período de calefacción y usando la humedad relativa del 50 % en este período para el calor latente se obtendría la carga térmica de ventilación, cuya evolución a lo largo del período de refrigeración se muestra en el gráfico 17.

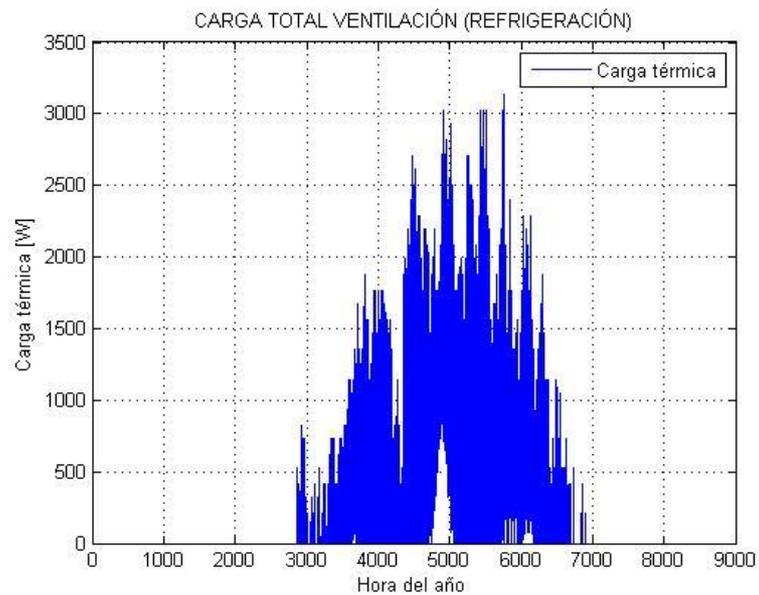


Gráfico 24: Carga térmica de ventilación en el período de refrigeración.

- Carga térmica por infiltraciones.

En la carga térmica por infiltraciones en el período de refrigeración se siguen las mismas pautas que en el período de calefacción. En el siguiente gráfico 18 se observa la carga sensible y latente de carga por infiltraciones.

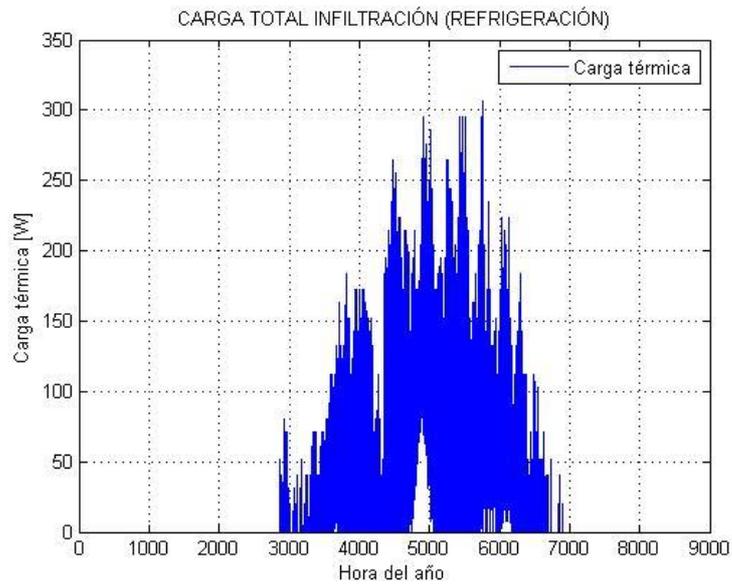


Gráfico 25: Carga térmica de infiltraciones en el período de refrigeración.

Finalmente, la carga total en el intercambio de aire en el período de refrigeración se muestra en el gráfico 19.

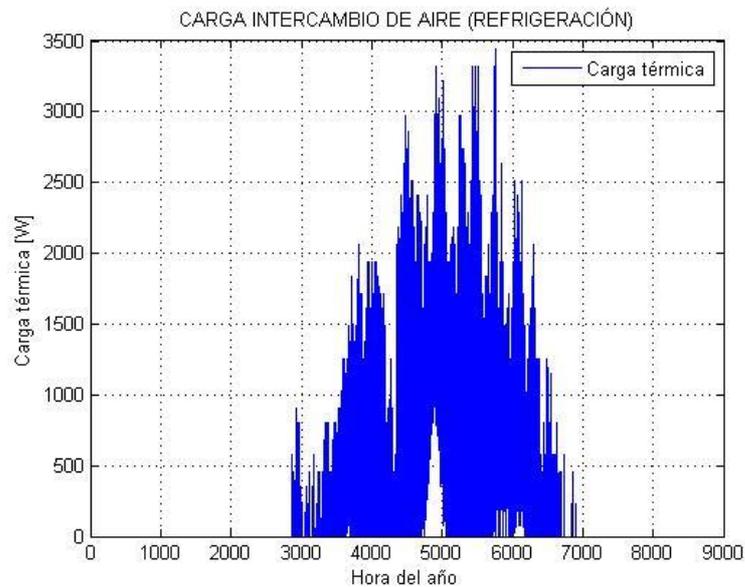


Gráfico 26: Carga térmica por intercambio de aire en período de refrigeración.

3.6.3 Carga térmica interna

Se denomina carga interna a las cantidades de calor latente y sensible que se producen en el interior de las estancias acondicionadas emitidas por las personas, la iluminación y los aparatos eléctricos.

- Cargas debidas a las personas:

Para esta vivienda se considera que el número de personas que conviven en ella es de nueve. Como los habitantes de la vivienda no van a estar en ella las 24 horas del día, se define un factor de simultaneidad. Se estima que este factor de simultaneidad es del 75%. Los valores que se emplean para la ganancia debida a las personas son 60 W de calor sensible y 70 de calor latente.

Las ecuaciones 23 y 24 se emplean para el cálculo de esta carga térmica. Su valor es constante a lo largo de todo el período de estudio.

$$Q_{ocupacion\ sensible} = Q_{sensible} \cdot N_{personas} \cdot F_{simultaneidad} \quad (Ec. 30)$$

$$Q_{ocupacion\ latente} = Q_{latente} \cdot N_{personas} \cdot F_{simultaneidad} \quad (Ec. 31)$$

Donde:

$Q_{ocupacion\ sensible}$: calor de ocupación sensible [W].

$Q_{sensible}$: calor sensible [W].

$Q_{ocupacion\ latente}$: calor de ocupación latente [W].

$Q_{latente}$: calor latente [W].

$N_{personas}$: número de personas.

$F_{simultaneidad}$: factor de simultaneidad.

La carga obtenida debida a las personas es $Q_{ocupacion}=877,5$ W.

- Cargas debidas a la iluminación:

El alumbrado constituye una fuente de calor sensible. Este calor se emite por radiación, convección y conducción. Se ha estimado la iluminación dependiendo de la superficie y el tipo de zona que iluminen, de esta forma en las zonas comunes se impondrán 10 W/m² y para el resto de las zonas 20 W/m². El calor aportado es igual a la potencia eléctrica de la lámpara. Además, se ha introducido un factor de uso de la iluminación, que no está encendida durante las 24 horas, reduciendo su uso en un 50%. La ecuación para el cálculo de esta ganancia térmica se expresa en la ecuación 25.

$$Q_{alumbrado} = f \cdot I_{zc} \cdot A_{zc} + f \cdot I_{resto} \cdot A_{resto} \quad (Ec. 32)$$

Donde:

f : factor de uso de iluminación.

I_{zc} : vatios de calor por metro cuadrado en zonas comunes.

A_{zc} : área zonas comunes.

I_{resto} : vatios de calor por metro cuadrado del resto de zonas.

A_{resto} : área del resto de zonas.

La carga obtenida debida a la iluminación es $Q_{alumbrado} = 496,59 \text{ W}$.

- Cargas debidas a los equipos:

La última fuente de carga interna estudiada es debida a la utilización de equipos y utensilios de diversas características. La mayor parte de los aparatos son, a la vez, fuente de calor sensible y latente.

El cálculo de este tipo de ganancias se ha realizado con la ecuación 26, donde se ha tomado la potencia de los aparatos más típicos de ser utilizados en una vivienda y se ha multiplicado por el factor medio de uso f de ese aparato.

$$Q_{equipos} = \Sigma f_{uso} \cdot Q_{aparato} \quad (Ec. 33)$$

Por la distribución de la casa se ha realizado un estudio con distintos tipos de aparatos, mostrados en la tabla 18.

Equipo eléctrico	Cantidad	Calor producido (W)	Horas/día funcionamiento	Factor de uso (%)
Nevera	2	300	24	1
Televisión	4	200	8	0,333
Horno	1	1500	4	0,167
Vitrocerámica	1	1000	4	0,167
Ordenador	1	250	12	0,5

Tabla 19: Factor de uso y potencia de los distintos aparatos.

La carga obtenida debida a los equipos eléctricos es $Q_{equipos} = 1408,3 \text{ W}$.

Si se suman las tres cargas estudiadas anteriormente podemos concluir que la carga interna, debida a la utilización de la vivienda a lo largo del período de refrigeración es $Q_{interna} = 2,782 \text{ kW}$.

3.6.4 Carga térmica debida a la radiación

Utilizando el mismo procedimiento descrito en el apartado de calefacción, donde se calculan las cargas térmicas debidas a la radiación, se calcularán en este apartado la carga de radiación en el período de refrigeración. Como se puede ver en el siguiente gráfico.

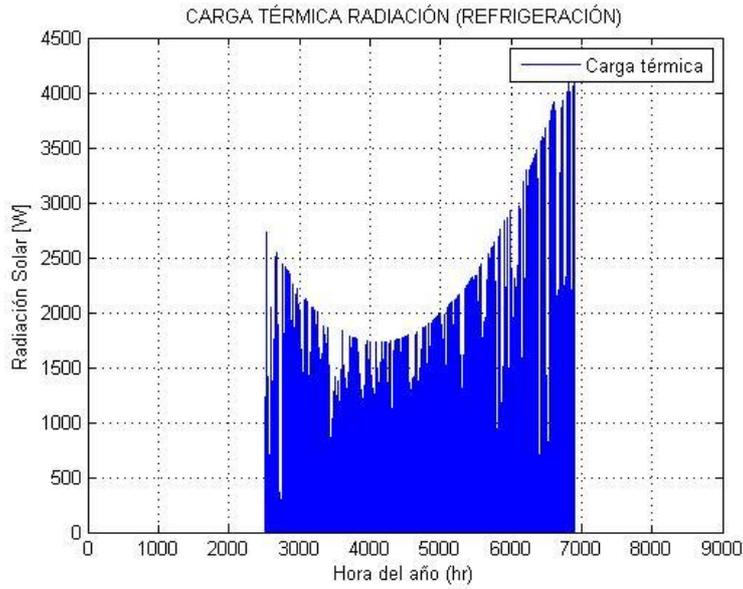


Gráfico 27: Carga térmica total por radiación en el período de refrigeración.

Con el estudio de las cargas térmicas de ventilación, infiltración, transmisión, interna y radiación se completa el estudio de cargas térmicas en período de refrigeración. La suma tendrá como resultado la carga térmica total en este período. La carga térmica total en período de refrigeración se muestra en el gráfico 28.

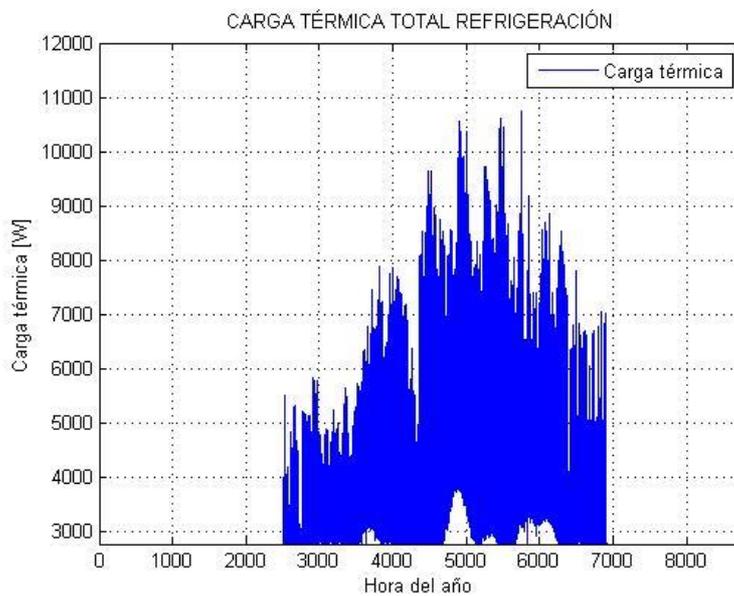


Gráfico 28: Carga térmica total de refrigeración.

A partir del análisis de la gráfica se deduce que el valor máximo para la carga térmica de refrigeración es de 10,74 kW, por lo tanto, el sistema de refrigeración se tiene que dimensionar para poder desalojar esta cantidad de calor como mínimo para cubrir las necesidades de climatización.

3.7 Carga térmica anual total

Una vez que hemos calculado las cargas térmicas durante los períodos de refrigeración y calefacción podemos representarlas conjuntamente en un mismo gráfico y obtener la energía total que habrá de invertirse para mantener la vivienda en las condiciones de confort fijadas.

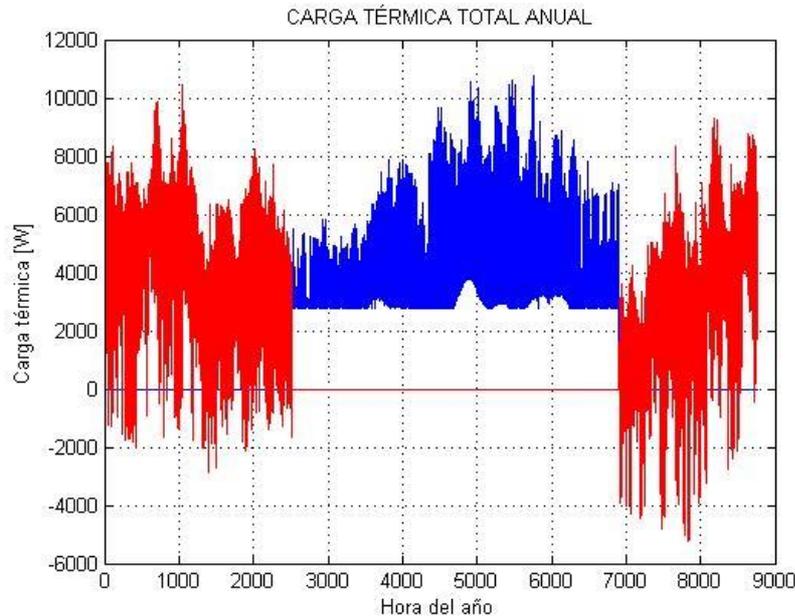


Gráfico 29: Carga térmica total anual.

$$Q_{cal_{max}} = 10,47 \text{ kW} \quad Q_{ref_{max}} = 10,74 \text{ kW}$$

En el gráfico 29 se comprueba como los valores máximos de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración son similares, debido a las características climáticas del municipio de Pozoblanco. Por tanto, conocida la carga térmica para cada hora del año, podemos calcular la energía consumida como:

$$E_{cal} = \sum_i Q_{cal_i} \cdot \Delta t = 15,88 \text{ MWh}$$

$$E_{ref} = \sum_i Q_{ref_i} \cdot \Delta t = 18,92 \text{ MWh}$$

Teniendo en cuenta que la zona climática es razonable que el consumo de energía en el período de refrigeración sea mayor que el de calefacción, teniendo en cuenta que la radiación actúa como ganancia en calefacción.

Y la energía total anual consumida en la climatización de la vivienda será, por tanto:

$$E_T = E_{cal} + E_{ref} = 34,80 \text{ MWh}$$

Al finalizar este estudio del consumo de energía anual del sistema de climatización de la vivienda, se puede obtener la conclusión de que los resultados son razonables. Con el acondicionamiento del aire interior de la vivienda se podrán mantener las condiciones de confort y sanitarias más favorables para las personas que la habitan. Para ello, la instalación de climatización deberá cubrir la potencia máxima de la carga térmica, de modo que, en la hora más extrema del año, tanto de frío como de calor, el interior se mantenga en esas condiciones para las que ha sido diseñado.

4 ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS INTERIORES DE LA VIVIENDA

4.1 Introducción

En el siguiente apartado se procederá a realizar un estudio de sensibilidad de los parámetros interiores de la vivienda, como son el espesor del aislante, la temperatura interior, la humedad relativa y el factor sombra de las ventanas de la vivienda. El resultado que se pretende obtener es ver cómo afecta esta variación de los parámetros en el consumo de energía.

4.2 Estudio del espesor del aislante de la vivienda

Un parámetro importante es el espesor del aislante que contienen los muros, techo y el suelo de la vivienda. Para el caso del muro y techo el aislante es EPS poliestireno expandido y para el suelo es XPS expandido con dióxido de carbono. En un primer caso se evaluará como varía el coeficiente global de transferencia de los diferentes muros, techos y suelo, al aumentar el espesor del aislante. En el segundo caso se estudiará el efecto que provoca aumentar el espesor del aislante con respecto a la energía consumida tanto en el período de calefacción, como en el período de refrigeración.

4.2.1 Caso 1: Coeficiente de transferencia de calor

En este primer caso se estudiará como afecta aumentar el espesor del aislante de las superficies a estudio al coeficiente global de transferencia de calor. El rango de valores en el cual se va a estudiar este caso irá de 0 centímetros a 9 centímetros de espesor e irá de centímetro en centímetro.

En la vivienda, como ya se indicó en el segundo apartado de este proyecto, se tiene diferentes composiciones de muros y techo, por tanto, se tienen distintos coeficientes globales de transferencia de calor.

Se han calculado los espesores que corresponden a los coeficientes límite de transferencia de calor que marca el Código Técnico de la Edificación, para comprobar hasta qué valor de espesor del aislante se podría colocar en las distintas superficies, y que cumplan los requisitos del código. En la tabla 20 se muestran dichos valores.

Superficie	U límite (W/m ² K)	Espesor límite (cm)
Muro 1	0,73	2,61
Muro 2	0,73	3,24
Muro 3	0,73	1,78
Techo 1	0,41	0,15
Techo 2	0,41	5,49

Suelo	0,50	0,91
-------	------	------

Tabla 20: Espesores límites del aislante de sus respectivas superficies.

En los siguientes gráficos se observarán las distintas superficies y como afecta esta variación del espesor del aislante.

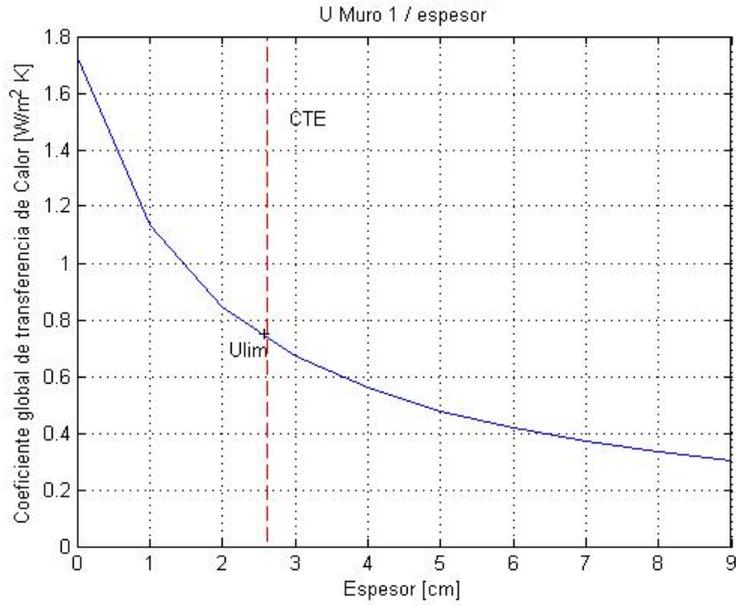


Gráfico 30: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 1 frente al espesor del aislante.

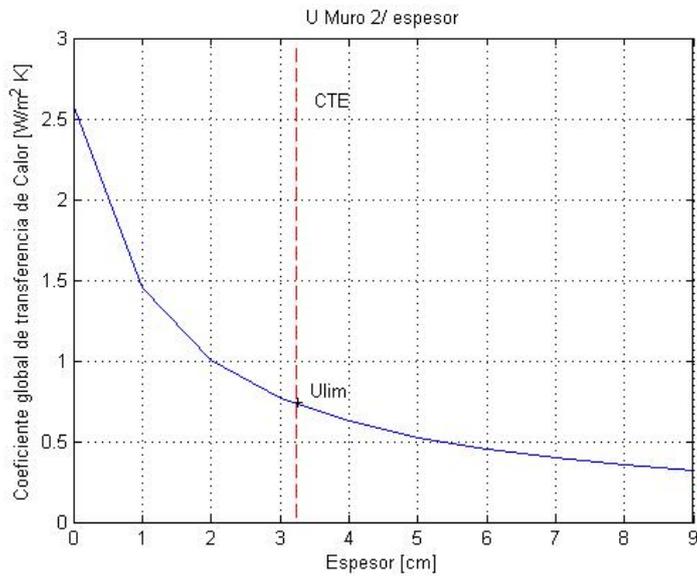


Gráfico 31: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 2 frente al espesor del aislante.

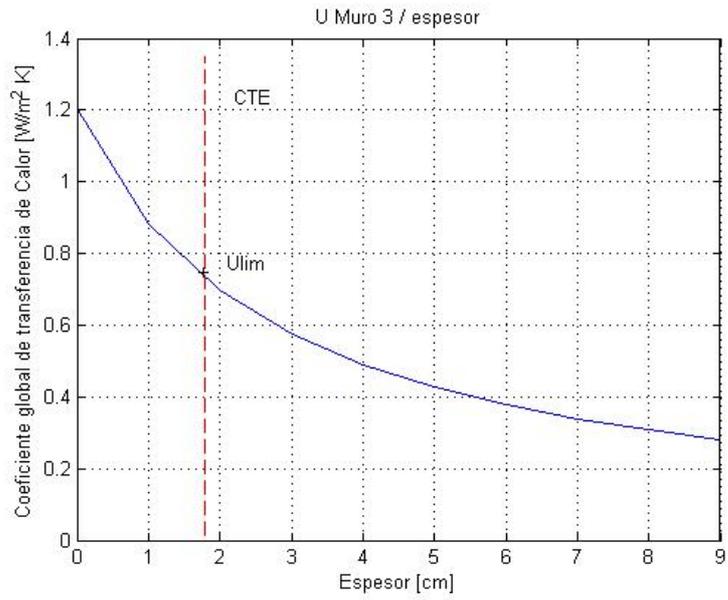


Gráfico 32: Coeficiente global de transferencia de calor del muro 3 frente al espesor del aislante.

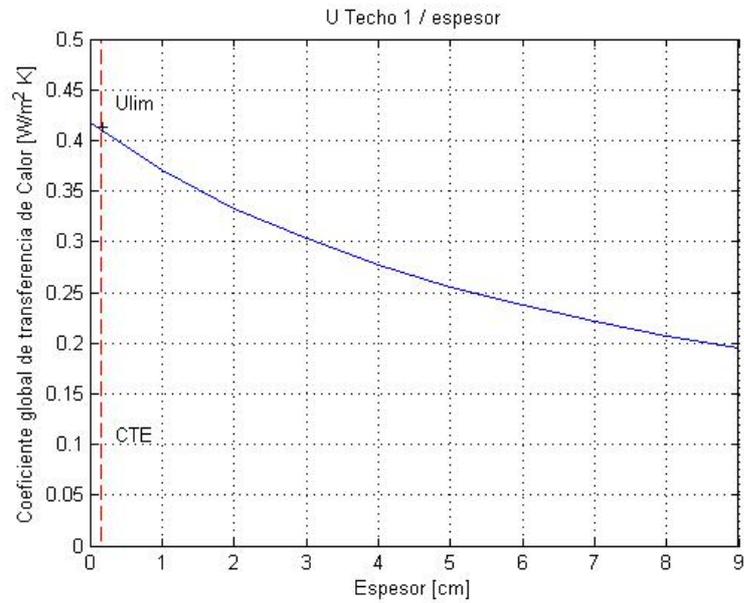


Gráfico 33: Coeficiente global de transferencia de calor del techo 1 frente al espesor del aislante.

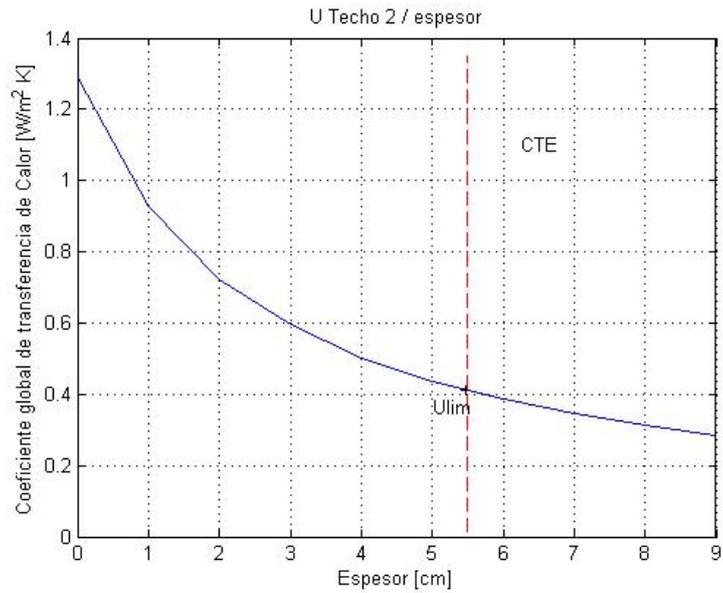


Gráfico 34: Coeficiente global de transferencia de calor del techo 2 frente al espesor del aislante.

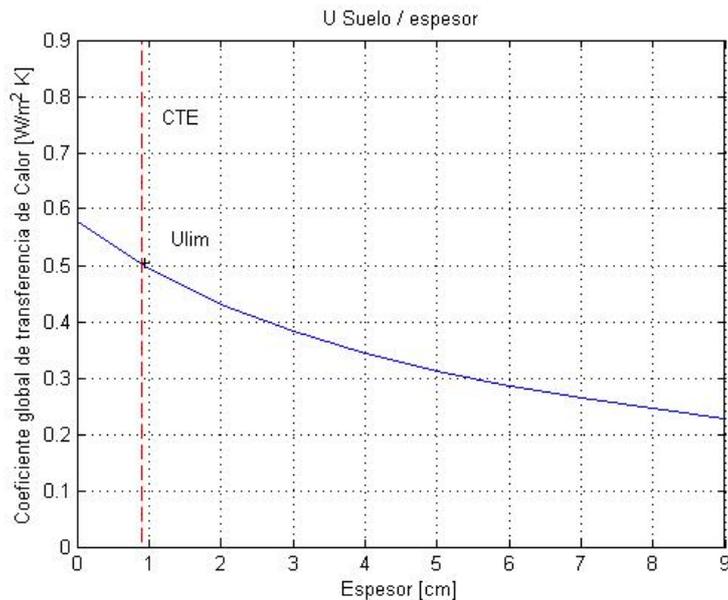


Gráfico 35: Coeficiente global de transferencia de calor del suelo frente al espesor del aislante.

Se puede ver que es obvio que cuanto mayor sea el espesor del aislante menor será el coeficiente global de transferencia de calor de muro, techo y suelo, por lo tanto, esto significa ahorro de energía en el consumo de la vivienda, que se podrá ver en el posterior caso de estudio. La línea discontinua roja, marca el mínimo espesor del aislante que debe tener esta vivienda para cumplir con el Código Técnico de la Edificación. Si se pusiese un valor menor, el coeficiente global de transferencia de calor estaría fuera de los límites que marca el CTE.

4.2.2 Caso 2: Energía consumida

En este segundo caso, tras el cálculo de los diferentes coeficientes de transferencia de calor, se ha calculado como varía la energía consumida en el período de calefacción y en el período de refrigeración, al haber variado el espesor del aislante de las distintas superficies

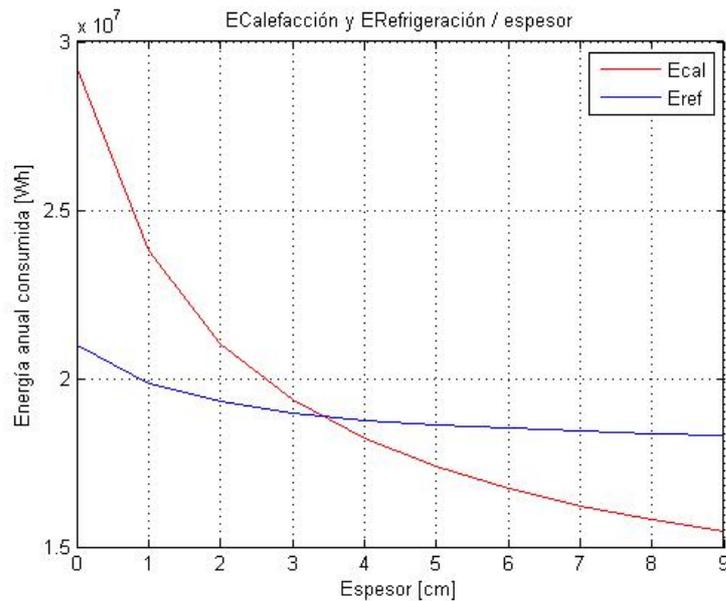


Gráfico 36: Energía consumida en los períodos de calefacción y refrigeración frente al espesor del aislante.

Del gráfico 35 se puede observar como la tendencia de ambas curvas de disminuir al aumentar el espesor de aislante. Lógicamente al aumentar el espesor del aislante, se necesitaría menos energía de calefacción, de ahí que su curva tenga una pendiente más pronunciada. No obstante, se observa que la curva de refrigeración tiende a mantenerse y tiene menor pendiente, ya que en verano al tener un espesor del aislante mayor evita que la vivienda tenga la temperatura deseada, ya que la transferencia de calor al exterior sería más complicada y se necesitaría consumir energía para refrigerar la vivienda.

Por tanto, se busca obtener un equilibrio entre el aislante y la energía consumida, según la zona climática donde se halle la vivienda. El espesor es un parámetro muy importante en el diseño de la vivienda, ya que, sin un adecuado espesor, la carga térmica será mayor o menor en función de dicho espesor.

4.3 Estudio de la temperatura interna de la vivienda

Otro de los parámetros digno de estudio es la temperatura interna de la vivienda durante los períodos de calefacción y refrigeración. Los valores de temperatura interior los fija el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), que se muestra en la tabla 16, vista anteriormente.

Ahora bien, lo que se plantea es ir aumentando grado a grado desde los 20°C hasta los 30°C en ambos períodos y ver como varia la energía consumida tanto en calefacción como en refrigeración.

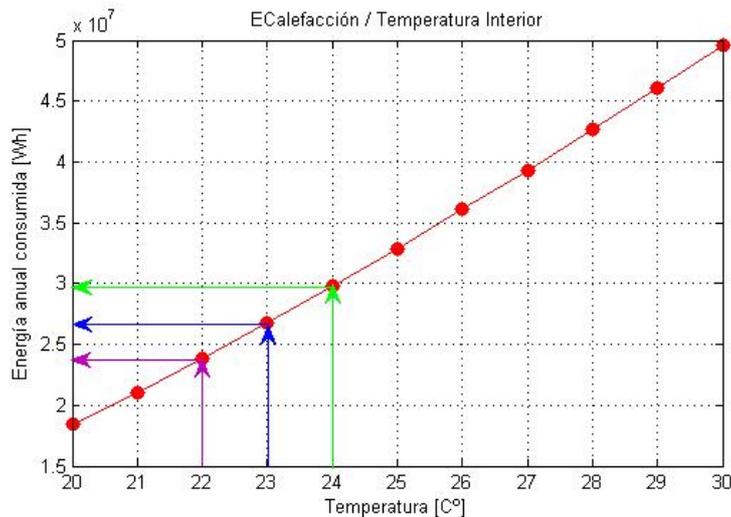


Gráfico 37: Energía anual consumida en el período de calefacción frente a la variación de temperatura interior.

En el gráfico 36 se observa cómo va aumentando el consumo de energía en el período de calefacción cuando aumenta la temperatura que hay en el interior de la vivienda. Obviamente, tenía que aumentar la energía ya que se quiere conseguir una temperatura alta en el interior mientras que en el exterior hace una temperatura menor. Se ha cogido como temperatura de referencia 23°C para ver qué porcentaje de energía aumenta y disminuye al variar la temperatura. Como resultado se obtiene que al aumentar un grado la energía aumenta un 11,3 % y al disminuir un grado la energía disminuye un 11,3 %.

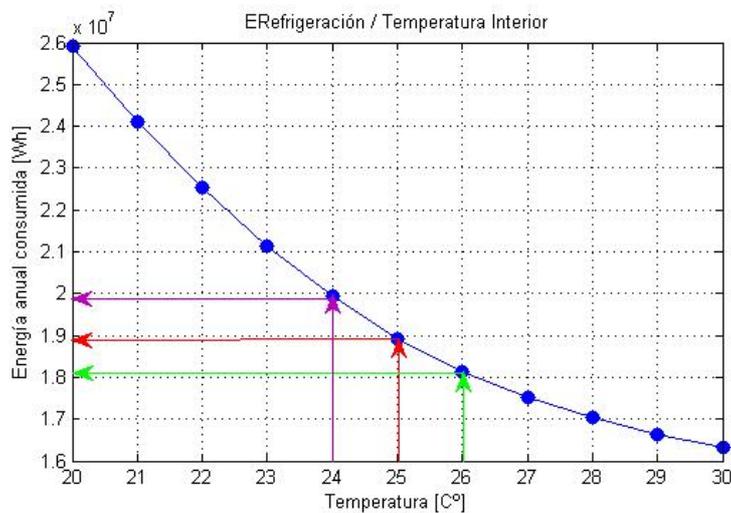


Gráfico 38: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente a la variación de temperatura interior.

En el gráfico 37 se tiene obtiene la forma inversa del gráfico anterior, pues al ir aumentando la temperatura irá disminuyendo la energía consumida en el período de refrigeración. La temperatura exterior es mayor que la interior y aumentar la temperatura interior se consigue dejando de utilizar la instalación de refrigeración, por lo tanto, el consumo de energía baja. Como en el caso anterior también se ha cogido una temperatura como referencia, en este caso es 25°C e ir variando 1°C. Al variar se obtiene que varía un 5,3% la energía consumida, con 26°C disminuiría y con 24°C aumentaría.

Por tanto, los valores de temperatura ideales están fijados por el RITE, ya que la temperatura interior es un parámetro muy importante en el diseño energético del edificio, pues como se observa, tanto en calefacción como en refrigeración, el aumentar o disminuir 1°C supone una inversión en un sistema de climatización adecuado y un coste económico, lo que supondría un ahorro energético y económico.

4.4 Estudio de la humedad relativa interior de la vivienda

El siguiente parámetro de estudio es la humedad relativa interior de la vivienda al cual se estudiará de forma similar al anterior apartado. Como la temperatura interior, la humedad relativa también la fija el RITE tal y como viene en la tabla 16.

El planteamiento que se seguirá es de ir aumentando un 2,5% la humedad relativa desde un 40% hasta un 60%, observando la variación de la energía anual consumida en la vivienda.

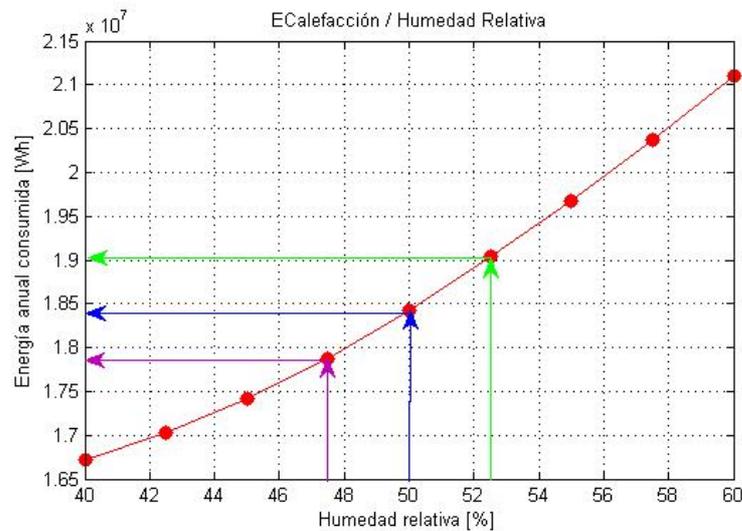


Gráfico 39: Energía anual consumida en el período de calefacción frente a la variación de la humedad relativa interior.

En el gráfico 38 se observa como aumentando la humedad relativa interior de la vivienda, aumentará la energía anual consumida en la vivienda, en el período de calefacción. Tomando como ejemplo las temperaturas, también se ha cogido una humedad relativa de referencia, que es 50% y se ha aumentado y disminuido 2,5% la humedad relativa para comprobar que porcentaje en el consumo varía. En este caso varía un 3% cada vez que se varía 2,5% la humedad relativa, lo que implica muy poco efecto de la humedad relativa sobre la energía anual consumida.

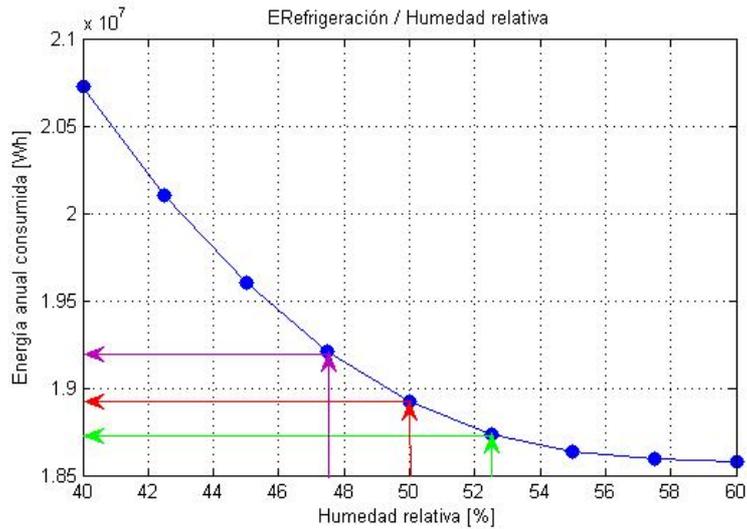


Gráfico 40: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente a la variación de la humedad relativa interior.

En el gráfico 39 sucede lo mismo que en el gráfico 38 pero inversamente, pues si se aumenta la humedad relativa, la energía anual consumida disminuye. Como en el caso anterior se ha cogido como referencia 50% y se ha variado 2,5% la humedad, y como resultado obtenido es que por cada 2,5% la energía anual consumida varía 1%.

Con esto se concluye que la variación de la humedad relativa no es un factor tan importante consumo de la energía en la vivienda, por lo que se puede observar en los gráficos, al variar la humedad relativa del 40% al 60%, dicha variación repercute poco en el consumo de energía, con respecto a los parámetros estudiados anteriormente. Aunque con respecto al confort de las personas si es un factor importante, por lo tanto, es fijado por el RITE.

4.5 Estudio del efecto de la radiación

Por último, se estudiará el efecto que tiene la radiación al entrar por las ventanas. Por tanto, el parámetro que se estudiará será el factor sombra frente a la energía anual consumida. Para este apartado solo se tendrá en cuenta el período de refrigeración.

Se va a variar el factor sombra de la ventana desde 0 hasta 1. Cuando su valor es 0 significa que hay sombra en la totalidad de la ventana pues la persiana está bajada, y cuando el factor sombra valga 1 significa que no hay sombra sobre la ventana, la persiana está subida completamente.

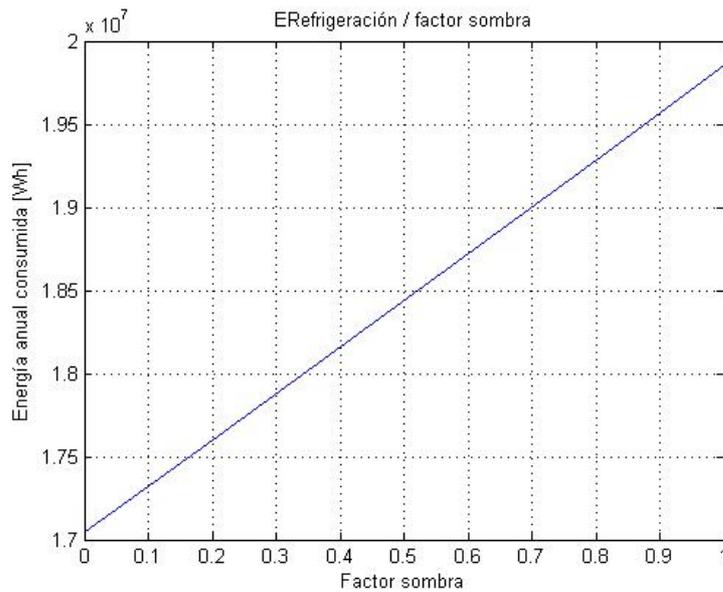


Gráfico 41: Energía anual consumida en el período de refrigeración frente la variación del factor sombra.

En el gráfico 40, se puede ver cómo afecta que haya sombra o no en las ventanas de la vivienda. Pues al aumentar el factor sombra va aumentando la energía anual consumida, es decir, la instalación de climatización debe hacer frente a dicha carga térmica que entra por la ventana. Esto supone una carga térmica de 2,8 MW si el factor sombra valiera 1, lo cual sería un coste económico y una carga que deberá cubrir la instalación de climatización.

Por lo tanto, se recomendaría tener unas persianas inteligentes que fueran cerrándose a la vez que la radiación incide sobre la ventana, evitando ese consumo energético.

5 COMPARACIÓN ENTRE CLIMAS OPUESTOS

5.1 Introducción

Para finalizar este estudio que se ha llevado a cabo, se realizará una comparación de dos ciudades en distintas zonas climáticas de España, como son Sevilla y Burgos. Dicha comparación consistirá en utilizar la misma vivienda, sujeto de estudios de este proyecto, y comparar el consumo de energía si esta vivienda estuviera construida en ambas ciudades.

Se dispone de todos los datos constructivos de la vivienda y sólo se modificarán los datos meteorológicos de cada zona climática. Dichos datos se han obtenido de la página web del Código Técnico de la Edificación.

5.2 Comparación

Estas dos ciudades son bastante distintas a lo que clima se refiere, pues Sevilla se encuentra al Sur de la península y Burgos se encuentra al norte. Por esta localización geográfica Sevilla tiene un clima más cálido donde los inviernos son suaves y los veranos son muy cálidos. En cambio, Burgos tiene unos veranos más suaves y unos inviernos muy largos y fríos.

La temperatura máxima que puede llegar Sevilla es en torno a 40 o 45 grados en verano y en invierno como mínima temperatura 10 o 15 grados. Por otro lado, en Burgos, la máxima temperatura puede estar entre los 27 y 30 grados, y en inviernos la temperatura mínima puede ser de -1 grado.

La radiación solar que reciben cada una de estas localizaciones es también muy diferente, pues Sevilla recibe mucha más radiación ya que es un clima más despejado y tiene más horas de sol. En cambio, en Burgos la radiación es menor pues tiende a ser un clima donde tiene más días nublados.

Tras realizar una simulación anual con los datos obtenidos de cada una de las zonas climáticas, se han obtenido los siguientes resultados:

	Sevilla	Burgos
Carga térmica de calefacción máxima	8,410 kW	12,636 kW
Carga térmica de refrigeración máxima	12,156 kW	8,947 kW
Energía anual de calefacción	14,701 MW	34,267 MW
Energía anual de refrigeración	20,479 MW	15,049 MW
Energía total consumida	35,180 MW	49,316 MW

Tabla 21: Resultados de simulación anual

Como se puede comprobar en la tabla 21, los resultados son bastante distintos pues en Sevilla se consumirá más

energía de refrigeración y en Burgos más energía de calefacción.

Hay que tener en cuenta que la composición estructural de la vivienda está hecha para un clima más cálido, por lo que si dicha vivienda estuviera construida en Burgos no estaría lo suficientemente aislada para soportar las temperaturas tan bajas, entonces los resultados salen que el consumo de energía de calefacción es muy alto.

Para una mayor visualización de las diferencias entre ambas ciudades, se puede comprobar en los siguientes gráficos:

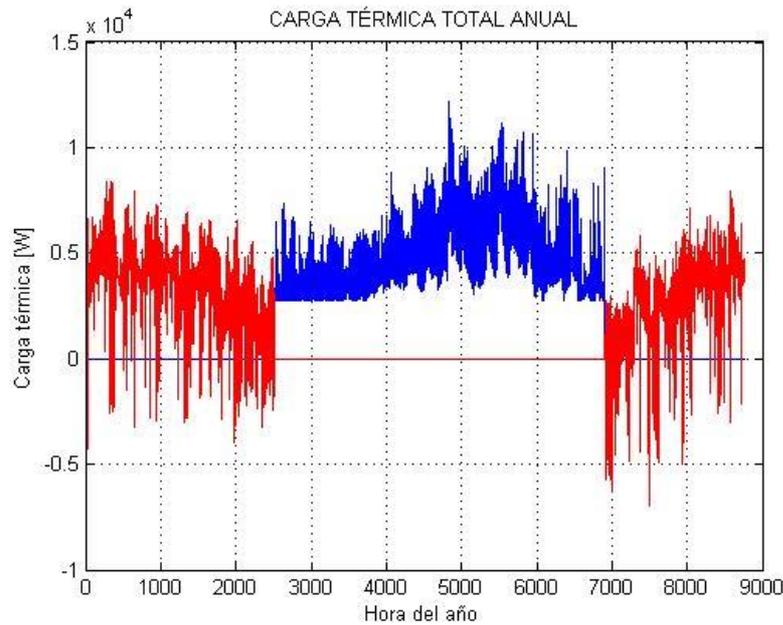


Gráfico 42: Carga térmica total anual en Sevilla.

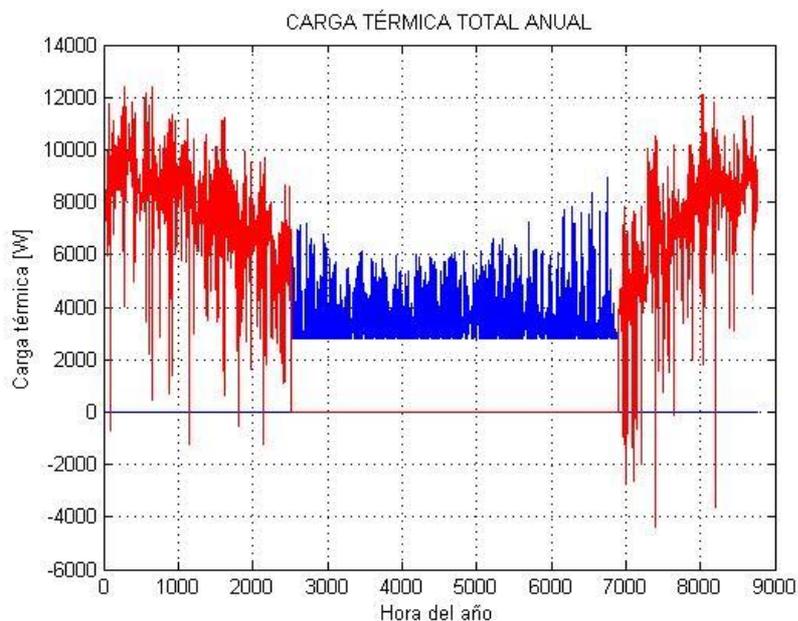


Gráfico 43: Carga térmica total anual en Burgos.

Se puede ver que en el gráfico 41 la zona más pronunciada es la señalada en azul que se refiere a la carga térmica de refrigeración y en el gráfico 42 sucede inversamente, la zona en rojo es la más pronunciada.

Como resultado a esta comparación, queda claro las diferencias entre los distintos climas. Es importante

aclimatar la vivienda según la zona climática en la que se construya para que se puedan conseguir las mejores condiciones de confort dentro de la vivienda. Lo que conlleva a un buen consumo de su sistema de climatización y un ahorro energético y económico.

6 CONCLUSIONES

Actualmente, el consumo de energía por los sistemas de climatización de las viviendas, suele ser un motivo de preocupación de los consumidores, ya que para alcanzar un grado de bienestar en los hogares supone un elevado gasto económico. Por este motivo, es importante que las viviendas estén construidas correctamente, teniendo en cuenta los factores climatológicos, para que los aparatos de climatización que se puedan instalar sean lo más eficientes posibles, y se produzca un ahorro energético y económico.

A la vista de los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que:

- Para conseguir una mejora del sistema de climatización, es necesario realizar un estudio exhaustivo de las cargas térmicas de una vivienda. Y con los resultados obtenidos se puedan llevar a cabo cambios en la vivienda.
- Realizar una simulación anual puede ser óptimo, para comprobar en que época del año se pueden llegar a alcanzar los picos máximos de carga, y así poder tener un sistema de climatización que pueda hacerse cargo de esa energía.
- Es muy importante seguir unas reglas generales, que sirvan de guía para realizar estos estudios, como es el Código Técnico de la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. Estos apoyos marcan las mejores condiciones de confort de las viviendas, para conseguir la mejor eficiencia.
- El estudio de sensibilidad de los parámetros interiores puede llevar a mejorar las condiciones de confort de la vivienda, pues fijar unas condiciones de diseño óptimas, puede llevar a un ahorro energético y económico.
- Según la zona climática en la que pueda estar la vivienda, la carga de refrigeración puede ser superior a la carga de calefacción, o viceversa. Por lo tanto, las condiciones constructivas de la vivienda deben ser las adecuadas para cada zona climática, que conllevará a la instalación eficiente del sistema de climatización.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Energía 2018, Madrid, 2018, Foro de la industria Nuclear Española.
- [2]. Documento de Apoyo al Documento Básico HE. Ahorro de energía. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.
- [3]. Código Técnico de la edificación, DB HS. Salubridad. Caudal aire interior. Caracterización y cuantificación de las exigencias, 2017.
- [4]. Código Técnico de la edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía.
- [5]. Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009.
- [6] www.codigotecnico.org
- [7] Reglamento De Instalaciones Térmicas en Edificio (RITE).
- [8] Informe técnico. Factores decisivos en la elección de sistemas de generación de calor y frío. Parte I, Madrid 2018. Centro de Observación y Teledetección Espacial S.A (COTESA) y departamento Solar del IDAE. Publicaciones IDEA
- [9] Bienestar Térmico en un espacio climatizado. IDAE.
- [10] Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo. Domingo Acosta. Artículo.
- [11] www.idae.es
- [12] www.construmatica.com
- [13] cte-web.iccl.es/materiales
- [14] energyplus.net/weather
- [15] Estudio de arquitectura, Juan Diego Cabrera Martínez.

8 ANEXOS

8.1 Código MATLAB: Cálculo de cargas térmicas

8.1.1 Datos

```
wr_inv = 50;           % humedad relativa interna en invierno
wr_ver = 50;           % humedad relativa interna en verano
T_inv = 20;            % temperatura interna de la vivienda en invierno
T_ver = 25;            % temperatura interna de la vivienda en verano
w_inv = 0.00726;       % Humedad absoluta en invierno a 20 grados
w_ver = 0.00988;       % Humedad absoluta en verano a 25 grados
T_sueloinv=10;         % Temperatura media del suelo en invierno
ini_ver = 2512;        % Hora correspondiente al 15 de Abril a las 16:00
fin_ver = 6909;        % Hora correspondiente al 15 de Octubre a las 21:00
rho_a = 1.2;           % Densidad del aire
c_p = 1000;            % Calor específico del aire a temperatura ambiente
h_lv = 2257e3;         % Calor de vaporización del agua
V_ven = 0.15646;       %caudal de aire en ventilacion
V_inf = 0.0153;        %caudal de aire en infiltracion
```

8.1.2 Áreas

```
A_muro1ext=82.47;     A_muro1colin=200.98;
                        A_muro2colin=21;      A_muro2supNo=23.7;
A_muro3=9.41;
A_techo1=60.06;
A_techo2ext=3.97;     A_techo2supNo=18.1;
```

```
A_suelo=100.85;

A_ventanas=18.22;

A_puertas1=5.39; A_puerta2=3.56;      A_garaje=6.93;
```

8.1.3 Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor U

```
%U_MURO (Muro 1, muro 2 y muro 3)

Rsem=0.04; % Resistencia Exterior de conveccion MURO

Rsim=0.13; % Resistencia Interior de conveccion MURO

e1=0.015;k1=1.3;      % Mortero de cemento para enlucido

e2=0.09;k2=0.52;      % ladrillo hueco

e3=0.04;k3=0.033;     % EPS Poliestireno expandido

e4=e2;k4=k2;          % Ladrillo hueco

e5=0.015;k5=0.3;      % Enlucido de yeso

U_muro1=1/(Rsem+(e1/k1)+(e2/k2)+(e3/k3)+(e4/k4)+(e5/k5)+Rsim);

e6=0.02;k6=k1; % Mortero de cemento para enlucido

e7=0.04;k7=k3; % EPS Poliestireno expandido

e8=0.07;k8=k2; % Ladrillo hueco

e9=0.02;k9=k5; % Enlucido de yeso

U_muro2=1/(Rsem+(e6/k6)+(e7/k7)+(e8/k8)+(e9/k9)+Rsim);
```

```
e10=0.02;k10=k1; % Mortero de cemento para enlucido

e11=0.15;k11=k2; % Ladrillo hueco

e12=0.06;k12=k3; % EPS Poliestireno expandido

e13=0.15;k13=k2; % Ladrillo hueco

e14=0.02;k14=k5; % Enlucido de yeso

U_muro3=1/(Rsem+(e10/k10)+(e11/k11)+(e12/k12)+(e13/k13)+(e14/k14)+Rsim);

%U_SUELO

Rses=0.04; % Resistencia Exterior de conveccion SUELO

Rsis=0.17; % Resistencia Interior de conveccion SUELO

e15=0.2;k15=0.15; % Arena y grava

e16=0.35;k16=2.3; % Hormigón armado

e17=0.02;k17=0.034; % XPS Expandido con dióxido de carbono

e18=0.001;k18=0.5; % Polietileno alta densidad

e19=0.05;k19=1.45; % Gres porcelánico

U_suelo=1/(Rses+(e15/k15)+(e16/k16)+(e17/k17)+(e18/k18)+(e19/k19)+Rsis);

%U_TECHO

Rset=0.04; % Resistencia Exterior de conveccion TECHO
```

```

Rsit=0.10; % Resistencia Interior de conveccion TECHO

e20=0.09;k20=1.3; % Teja ceramica

e21=0.0033;k21=0.029; % Lamina asfaltica

e22=0.02;k22=0.67; % Mortero de cemento

e23=0.9;k23=0.52; % Ladrillo hueco

e24=0.06;k24=0.033; % EPS poliestireno expandido

e25=0.3;k25=1.15; % Hormigon con aridos ligeros

e26=0.015;k26=0.3; % Enlucido de yeso

U_techo1=1/(Rset+(e20/k20)+(e21/k21)+(e22/k22)+(e23/k23)+(e24/k24)+(e25/k25)+(e26/k26)
+Rsit);

e27=0.05;k27=0.120; % Baldosa cerámica

e28=0.025;k28=0.67; % Mortero de cemento M-5

e29=0.06;k29=0.033; % EPS Poliestireno expandido

e30=0.3;k30=2.3; % Hormigon armado

e31=0.015;k31=0.3; % Enlucido de yeso

U_techo2=1/(Rset+(e27/k27)+(e28/k28)+(e29/k29)+(e30/k30)+(e31/k31)+Rsit);

%U_VENTANAS

e32=0.06;k32=0.55; % Vidrio

e33=0.012;k33=0.027; % Cámara de aire

```

```

e34=e32;k34=k32;           % Vidrio

U_ventanas=1/(Rsem+(e32/k32)+(e33/k33)+(e34/k34)+Rsim);

%U_PUERTAS

e35=0.075;k35=0.163;      % Madera de pino

e36=0.07;k36=160;        % Aluminio

e37=0.002;k37=17;        % Acero inoxidable

Req=((1/(e36/k36)+(e33/k33)+(e36/k36))+(1/(e32/k32)+(e33/k33)+(e34/k34)))^-1; % puerta
patio y terraza

U_puerta2=1/(Rsem+(e35/k35)+Rsim);

U_puertas1=1/(Rsem+Req+Rsim);

U_puerta3=1/(Rsem+(e37/k37)+Rsim);

```

8.1.4 Calefacción

```

% Carga Muro

AU_muro1ext=U_muro1*A_muro1ext;

AU_muro1colin=U_muro1*A_muro1colin;

AU_muro2colin=U_muro2*A_muro2colin;

AU_muro2supNo=U_muro2*A_muro2supNo;

AU_muro3=U_muro3*A_muro3;

```

```

% Carga Muro 1

% Exterior

for i=1:1:8760

if i<ini_ver || i>fin_ver

    Q_muroext(i) = U_muro1*A_muroext*(T_inv-T_dry(i));

    if Q_muroext(i) < 0

        Q_muroext (i) = 0;

    end

else

    Q_muroext (i) = 0;

end

end

% Casa Colindante

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        T_colin(i)=(T_dry(i)+T_inv)/2;

        Q_muro1colin(i) = U_muro1*A_muro1colin*(T_inv-T_colin(i));

        if Q_muro1colin(i) < 0

            Q_muro1colin (i) = 0;

        end

    else

```

```
        Q_muro1colin (i) = 0;

    end

end

% Carga Muro 2

% Casa Colindante

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        T_colin(i)=(T_dry(i)+T_inv)/2;

        Q_muro2colin(i) = U_muro2*A_muro2colin*(T_inv-T_colin(i));

        if Q_muro2colin(i) < 0

            Q_muro2colin (i) = 0;

        end

    else

        Q_muro2colin (i) = 0;

    end

end

% Superficie No Climatizada

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        T_supNo(i)=(T_dry(i)+T_inv)/2;
```

```

Q_muro2supNo(i) = U_muro2*A_muro2supNo*(T_inv-T_supNo(i));

    if Q_muro2supNo(i) < 0

        Q_muro2supNo (i) = 0;

    end

    else

        Q_muro2supNo(i) = 0;

    end

end

% Carga Muro 3

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_muro3(i) = U_muro3*A_muro3*(T_inv-T_dry(i));

        if Q_muro3(i) < 0

            Q_muro3 (i) = 0;

        end

    else

        Q_muro3 (i) = 0;

    end

end

end

Q_muro=Q_muro1ext+Q_muro1colin+Q_muro2colin+Q_muro2supNo+Q_muro3;

```

```
muro=0;

for i=1:1:8760

    muro=muro+Q_muro(i);

end

figure (1);

plot (Q_muro,'r');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN EL MURO (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Carta Techo

AU_techo1=U_techo1*A_techo1;

AU_techo2ext=U_techo2*A_techo2ext;

AU_techosupNo=U_techo2*A_techo2supNo;

% Techo 1

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_techo1(i) = U_techo1*A_techo1*(T_inv-T_dry(i));
```

```

    if Q_techo1(i) < 0

        Q_techo1 (i) = 0;

    end

    else

        Q_techo1 (i) = 0;

    end

end

end

% Techo 2

% Exterior

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_techo2ext(i) = U_techo2*A_techo2ext*(T_inv-T_dry(i));

        if Q_techo2ext(i) < 0

            Q_techo2ext (i) = 0;

        end

        else

            Q_techo2ext (i) = 0;

        end

    end

end

end

% Superficie No Climatizada

```

```
for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        T_supNo(i)=(T_dry(i)+T_inv)/2;

        Q_techo2supNo(i) = U_techo2*A_techo2supNo*(T_inv-T_supNo(i));

        if Q_techo2supNo(i) < 0

            Q_techo2supNo (i) = 0;

        end

        else

            Q_techo2supNo (i) = 0;

        end

    end

end

Q_techo=Q_techo1+Q_techo2ext+Q_techo2supNo;

figure (2);

plot (Q_techo,'r');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN EL TECHO (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on
```

```
% Carga Suelo
```

```
AU_suelo=U_suelo*A_suelo;
```

```
for i=1:1:8760
```

```
    if i<ini_ver || i>fin_ver
```

```
        Q_suelo(i)=U_suelo*A_suelo*(T_inv-T_sueloinv);
```

```
        if Q_suelo(i) < 0
```

```
            Q_suelo (i) = 0;
```

```
        end
```

```
    else
```

```
        Q_suelo (i) = 0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
% Casga Ventanas
```

```
AU_ventanas=U_ventanas*A_ventanas;
```

```
for i=1:1:8760
```

```
    if i<ini_ver || i>fin_ver
```

```
        Q_ventanas(i) = U_ventanas*A_ventanas*(T_inv-T_dry(i));
```

```
        if Q_ventanas(i) < 0
```

```
            Q_ventanas (i) = 0;
```

```
        end
```

```
        else

            Q_ventanas (i) = 0;

        end

    end

end

figure (3);

plot (Q_ventanas,'r');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN VENTANAS (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

%Carga Puertas

AU_puertas1=U_puertas1*A_puertas1;

AU_puertas2=U_puerta2*A_puerta2;

% Puerta 1

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_puertas1(i) = U_puertas1*A_puertas1*(T_inv-T_dry(i));
```

```

    if Q_puertas1(i) < 0

        Q_puertas1 (i) = 0;

    end

else

    Q_puertas1 (i) = 0;

    end

end

% Puerta 2

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_puerta2(i) = U_puerta2*A_puerta2*(T_inv-T_dry(i));

        if Q_puerta2(i) < 0

            Q_puerta2 (i) = 0;

            end

        else

            Q_puerta2 (i) = 0;

            end

        end

    end

    Q_puertas=Q_puertas1+Q_puerta2;

    figure (4);

```

```
plot (Q_puertas,'r');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN PUERTAS (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Calor por Transmisión

Q_transmision=Q_muro+Q_techo+Q_suelo+Q_ventanas+Q_puertas;

tras=0;

for i=1:1:8760

    tras=tras+Q_transmision(i);

end

figure (5);

plot (Q_transmision,'r');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on
```

```

% Cálculo de Carga por Ventilación e Infiltraciones

% Carga Sensible de Ventilación

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_vensen(i) = rho_a*V_ven*c_p*(T_inv-T_dry(i));

        if Q_vensen(i) < 0

            Q_vensen (i) = 0;

        end

    else

        Q_vensen (i) = 0;

    end

end

% Carga Latente de Ventilación

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_venlat(i) = rho_a*V_ven*h_lv*(w_inv-(w_amb(i)*10^(-3)));

        if Q_venlat(i) < 0

            Q_venlat (i) = 0;

        end

    else

```

```
        Q_venlat (i) = 0;

    end

end

Q_ventilacion=Q_vensen+Q_venlat;

ven=0;

for i=1:1:8760

    ven=ven+Q_ventilacion(i);

end

figure (6);

plot (Q_ventilacion,'r');

grid on;

title ('CARGA TOTAL DE VENTILACIÓN (CALEFACCIÓN)');

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Carga Sensible de Infiltración

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_infsen(i) = rho_a*V_inf*c_p*(T_inv-T_dry(i));

        if Q_infsen(i) < 0
```

```

        Q_infsen (i) = 0;

    end

else

    Q_infsen (i) = 0;

end

end

% Carga latente de infiltración

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_inflat(i) = rho_a*V_inf*h_lv*(w_inv-(w_amb(i)*10^(-3)));

        if Q_inflat(i) < 0

            Q_inflat (i) = 0;

        end

    else

        Q_inflat (i) = 0;

    end

end

end

Q_infiltracion=Q_infsen+Q_inflat;

figure (7);

plot (Q_infiltracion,'r');

grid on;

```

```
title ('CARGA TOTAL DE INFILTRACIÓN (CALEFACCIÓN)');

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

Q_interc = Q_vensen + Q_venlat + Q_infsen + Q_inflat;

figure (8);

plot (Q_interc, 'r');

grid on

title ('CARGA INTERCAMBIO DE AIRE (CALEFACCIÓN)')

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Cálculo de Cargas Radiación (Ganancia)

Rad_directa=Rad_global-Rad_difusa;

for i=1:1:8760

    Rad_reflejada(i)=Rad_global(i)*0.2;

end
```

```

% Calcular factor de orientación

deg=pi/180;

phi=38.23*deg;

beta=90*deg;

% NORTE

for i=1:1:8760

    Q_RadNORTE(i)=Rad_directa(i)+Rad_reflejada(i);

end

figure (9)

plot(Q_RadNORTE,'r');

axis([0 8760 0 900]);

grid on;

title ('CARGA TÉRMICA RADIACIÓN NORTE')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Radiación Solar [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% SUR

F_s1=0.67; % FACTOR SOMBRA

```

```

F_s2=0.67;

F_s3=0.74;

FM1=0.082;

FM2=0.09;

FM3=0.170;

g_p=0.8;

U_m=2.1;

alpha_m=0.9;

F_correccion1=F_s1*((1-FM1)*g_p+FM1*0.04*U_m*alpha_m);

F_correccion2=F_s2*((1-FM2)*g_p+FM2*0.04*U_m*alpha_m);

F_correccion3=F_s2*((1-FM3)*g_p+FM3*0.04*U_m*alpha_m);

A1=1.44;

A2=1.944;

A3=5.568;

    % Cálculo Rb SUR

for i=1:1:8760

    n(i)=floor (i/24) + 1; %Cociente

    h(i)=rem(i,24); % resto

    delta(i)=23.45*sin(360*(284+n(i))/365*deg)*deg;

    omega(i)=(-180+15*h(i))*deg;

    alpha(i)=asin(sin(phi)*sin(delta(i)) + cos(phi)*cos(delta(i))*cos(omega(i)));

    omega_s(i)=- acos(-tan(phi)*tan(delta(i)));

    omega_h(i)=-omega_s(i);

```

```

R_b(i)=(cos(phi-beta)*cos(delta(i))*cos(omega(i))+sin(phi-
beta)*sin(delta(i)))/(cos(phi)*cos(delta(i))*cos(omega(i))+sin(phi)*sin(delta(i)));

if (omega(i) - 1)< omega_s(i) || (omega(i) + 1)> omega_h(i)

    R_b(i)=0;

end

end

for i=1:1:8760

    I_T(i)=Rad_directa(i)*R_b(i)+Rad_difusa(i)*((1+cos(beta))/2)+Rad_reflejada(i)*((1-
cos(beta))/2);

    Q_rad1(i)=F_correccion1*A1*I_T(i);

    Q_rad2(i)=F_correccion2*A2*I_T(i);

    Q_rad3(i)=F_correccion3*A3*I_T(i);

end

Q_RadSUR=Q_rad1+Q_rad2+Q_rad3;

figure (10)

plot(Q_RadSUR, 'r');

grid on;

title ('CARGA TÉRMICA RADIACIÓN SUR')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Radiación Solar [W]');

legend('Carga térmica');

```

```
hold on

for i=1:1:8760

    if i<ini_ver || i>fin_ver

        Q_radiacionC(i)=Q_RadSUR(i)+Q_RadNORTE(i);

        if Q_radiacionC(i) < 0

            Q_radiacionC (i) = 0;

        end

    else

        Q_radiacionC (i) = 0;

    end

end

figure (11)

plot(Q_radiacionC,'r');

grid on;

title ('CARGA TÉRMICA RADIACIÓN (Calefacción)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Radiación Solar [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

E_RadiacionC=0;

for i=1:1:8760

    E_RadiacionC=E_RadiacionC+Q_radiacionC(i);
```

```

end

% Calefacción total

Q_calefaccion=Q_transmision+Q_interc-Q_radiacionC;

figure (12);

plot (Q_calefaccion,'r');

grid on;

title ('CARGA TOTAL DE CALEFACCIÓN');

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

```

8.1.5 Refrigeración

```

% Cálculo de Carga por Transmisión

% Carga Muro

% Muro 1

% Exterior

```

```
for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_murolextR(i) = U_muro1*A_murolext*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_murolextR(i) < 0

            Q_murolextR (i) = 0;

        end

    else

        Q_murolextR (i) = 0;

    end

end

% Casa Colindante

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        T_colinR(i)=(T_dry(i)+T_ver)/2;

        Q_muro1colinR(i) = U_muro1*A_muro1colin*(T_colinR(i)-T_ver);

        if Q_muro1colinR(i) < 0

            Q_muro1colinR (i) = 0;

        end

    else

        Q_muro1colinR (i) = 0;

    end

end

end
```

```

% Muro 2

% Casa Colindante

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        T_colinR(i)=(T_dry(i)+T_ver)/2;

        Q_muro2colinR(i) = U_muro2*A_muro2colin*(T_colinR(i)-T_ver);

        if Q_muro2colinR(i) < 0

            Q_muro2colinR (i) = 0;

        end

    else

        Q_muro2colinR (i) = 0;

    end

end

% Superficie No Climatizada

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        T_supNoR(i)=(T_dry(i)+T_ver)/2;

        Q_muro2supNoR(i) = U_muro2*A_muro2supNo*(T_supNoR(i)-T_ver);

        if Q_muro2supNoR(i) < 0

            Q_muro2supNoR (i) = 0;

```

```
        end

        else

            Q_muro2supNoR(i) = 0;

        end

    end

end

% Muro 3

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_muro3R(i) = U_muro3*A_muro3*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_muro3R(i) < 0

            Q_muro3R (i) = 0;

        end

    else

        Q_muro3R (i) = 0;

    end

end

end

% Casrga Muro

Q_muroR=Q_muro1extR+Q_muro1colinR+Q_muro2colinR+Q_muro2supNoR+Q_muro3R;

figure (13);

plot (Q_muroR, 'b');
```

```

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN EL MURO (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Carga Techo

% Techo 1

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_techo1R(i) = U_techo1*A_techo1*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_techo1R(i) < 0

            Q_techo1R (i) = 0;

        end

    else

        Q_techo1R (i) = 0;

    end

end

% Techo 2

% Exterior

```

```
for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_techo2extR(i) = U_techo2*A_techo2ext*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_techo2extR(i) < 0

            Q_techo2extR (i) = 0;

        end

    else

        Q_techo2extR (i) = 0;

    end

end

% Superficie No Climatizada

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        T_supNoR(i)=(T_dry(i)+T_ver)/2;

        Q_techo2supNoR(i) = U_techo2*A_techo2supNo*(T_supNoR(i)-T_ver);

        if Q_techo2supNoR(i) < 0

            Q_techo2supNoR (i) = 0;

        end

    else

        Q_techo2supNoR (i) = 0;

    end

end

end
```

```

Q_techoR=Q_techo1R+Q_techo2extR+Q_techo2supNoR;

figure (14);

plot (Q_techoR,'b');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN EL TECHO (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Carga Ventanas

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_ventanasR(i) = U_ventanas*A_ventanas*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_ventanasR(i) < 0

            Q_ventanasR (i) = 0;

        end

    else

        Q_ventanasR (i) = 0;

    end

end
end

```

```
figure (15);

plot (Q_ventanasR, 'b');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN VENTANAS (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Carga Puertas

% Puerta 1

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_puertas1R(i) = U_puertas1*A_puertas1*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_puertas1R(i) < 0

            Q_puertas1R (i) = 0;

        end

    else

        Q_puertas1R (i) = 0;

    end

end

end
```

```

% Puerta 2

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_puerta2R(i) = U_puerta2*A_puerta2*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_puerta2R(i) < 0

            Q_puerta2R (i) = 0;

        end

    else

        Q_puerta2R (i) = 0;

    end

end

Q_puertasR=Q_puertas1R+Q_puerta2R;

figure (16);

plot (Q_puertasR, 'b');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN EN PUERTAS (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

```

```
Q_transmisionR=Q_muroR+Q_techoR+Q_ventanasR+Q_puertasR;

figure (17);

plot (Q_transmisionR,'b');

grid on;

title ('CARGA TRANSMISIÓN (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

%Cálculo de Carga por Ventilación e Infiltraciones

% Carga Sensible de Ventilación

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_vensenR(i) = rho_a*V_ven*c_p*(T_dry(i)-T_ver);

        if Q_vensenR(i) < 0

            Q_vensenR (i) = 0;

        end

    else

        Q_vensenR (i) = 0;
```

```

end

end

%Carga Latente de Ventilación

for i=1:1:8760

    if i>ini_ver & i<fin_ver

        Q_venlatR(i) = rho_a*V_ven*h_lv*((w_amb(i)*10^(-3))-w_ver);

        if Q_venlatR(i) < 0

            Q_venlatR (i) = 0;

        end

    else

        Q_venlatR (i) = 0;

    end

end

end

Q_ventilacionR=Q_vensenR+Q_venlatR;

figure (18);

plot (Q_ventilacionR,'b');

grid on;

title ('CARGA TOTAL VENTILACIÓN (REFRIGERACIÓN)');

```

```
xlabel ('Hora del año');  
ylabel ('Carga térmica [W]');  
legend('Carga térmica');  
hold on  
  
% Carga Sensible de Infiltración  
  
for i=1:1:8760  
    if i>ini_ver & i<fin_ver  
        Q_infsenR(i) = rho_a*V_inf*c_p*(T_dry(i)-T_ver);  
        if Q_infsenR(i) < 0  
            Q_infsenR (i) = 0;  
        end  
    else  
        Q_infsenR (i) = 0;  
    end  
end  
  
% Carga Latente de Infiltración  
  
for i=1:1:8760  
    if i>ini_ver & i<fin_ver  
        Q_inflatR(i) = rho_a*V_inf*h_lv*((w_amb(i)*10^(-3))-w_ver);  
        if Q_inflatR(i) < 0
```

```

        Q_inflatR (i) = 0;

    end

    else

        Q_inflatR (i) = 0;

    end

end

Q_infiltracionR=Q_infsenR+Q_inflatR;

figure (19);

plot (Q_infiltracionR,'b');

grid on;

title ('CARGA TOTAL INFILTRACIÓN (REFRIGERACIÓN)');

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

Q_intercR = Q_vensenR + Q_venlatR + Q_infsenR + Q_inflatR;

figure (20);

plot (Q_intercR,'b');

grid on;

title ('CARGA INTERCAMBIO DE AIRE (REFRIGERACIÓN)')

```

```
xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

% Cálculo de Carga Interna

% Cargas debidas a los Ocupantes

Q_ocsen=60; %W/per

Q_oclat=70; %W/per

Q_ocupacion=(Q_ocsen+Q_oclat)*9*0.75;

% Cargas debias a la Iluminación

f=0.5; %factor de uso de iluminación

I_zc=10; %W/m2

I_resto=20; %W/m2

A_zc=13.31+26+17.73+6.87+15.26;

A_resto=17.3+5.4+5.6+8.64+16.84+18.78+10.68+7.5;

Q_ilum=f*I_zc*A_zc+f*I_resto+A_resto;

% Cargas debidas a los Equipos Eléctricos
```

```

Q_nevera=300;f1=(24/24);

Q_tv=200;f2=(8/24);

Q_vitro=1000;f3=(4/24);

Q_horno=1500;f4=(4/24);

Q_ord=250;f5=(12/24);

Q_equipos=Q_nevera*f1*2+Q_tv*f2*4+Q_vitro*f3+Q_horno*f4+Q_ord*f5;

for i=1:1:8760

if i>ini_ver & i<fin_ver

    Q_interna(i)=Q_ocupacion+Q_illum+Q_equipos;

    if Q_interna(i) < 0

        Q_interna (i) = 0;

    end

else

    Q_interna (i) = 0;

end

end

% Cálculo de Cargas Radiación

for i=1:1:8760

if i>ini_ver & i<fin_ver

```

```
Q_radiacionR(i)=Q_RadSUR(i)+Q_RadNORTE(i);

if Q_radiacionR(i) < 0

    Q_radiacionR (i) = 0;

end

else

    Q_radiacionR (i) = 0;

end

end

figure (21)

plot(Q_radiacionR,'b');

grid on;

title ('CARGA TÉRMICA RADIACIÓN (REFRIGERACIÓN)')

xlabel ('Hora del año (hr)');

ylabel ('Radiación Solar [W]');

legend('Carga térmica');

hold on

Q_refrigeracion=Q_transmisionR+Q_radiacionR+Q_interna+Q_intercR;

figure (22);

plot (Q_refrigeracion,'b');

grid on;

axis([0 8760 2782 12000]);
```

```

title ('CARGA TÉRMICA TOTAL REFRIGERACIÓN')

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

legend('Carga térmica');

hold on;

figure (23);

plot (Q_refrigeracion,'b');

hold on

plot (Q_calefaccion,'r');

grid on;

%axis([0 8760 2782 12000]);

title ('CARGA TÉRMICA TOTAL ANUAL')

xlabel ('Hora del año');

ylabel ('Carga térmica [W]');

E_calefaccion=0;

for i=1:1:8760

    E_calefaccion=E_calefaccion+Q_calefaccion(i);

End

E_refrigeracion=0;

for i=1:1:8760

    E_refrigeracion=E_refrigeracion+Q_refrigeracion(i);

```

```
end

Eref=E_refrigeracion

Ecal=E_calefaccion

E_total=E_calefaccion+E_refrigeracion

MAX_CAL=max(max(Q_calefaccion))

MAX_REF=max(max(Q_refrigeracion))

E_RadC=E_RadiacionC
```