



Universidad
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Especialidad Tecnologías Energéticas

PROYECTO FIN DE CARRERA

**SIMULACIÓN DE LA DEMANDA
ENERGÉTICA DE
CLIMATIZACIÓN PARA UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Autor: Carlos Manuel Blázquez Sánchez-Romate

Tutor: Antonio Soria Verdugo

(Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos)

Leganés, Febrero 2017

Agradecimientos

A mi tutor, Antonio, por ayudarme siempre que lo he necesitado.

A mis amigos, Iván y Nerea por su apoyo, amistad y cariño.

A mi mejor amiga y compañera de carrera Shihan, por demostrarme que la amistad no entiende de fronteras, por ayudarme a superarme a mí mismo y por llevarme de la mano, literalmente, a descubrir su hermoso país de origen, el cual siempre me ha fascinado, China.

A mis padres y mi hermana, porque independientemente de cómo, cuándo, dónde y por qué, siempre me ayudan a superar mis retos, sin esperar nada a cambio. Porque son mi fuente de Energía.

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo simular el consumo de energía útil de climatización de una vivienda unifamiliar española. Para ello se realiza una simulación anual, hora a hora, de las cargas térmicas tanto para el periodo de calefacción como para el de refrigeración; los resultados se representarán gráficamente. Se evidenciará numéricamente el exceso de gasto energético al alejarnos de las condiciones óptimas de confort. Asimismo, se aprovecharán los resultados para comparar el gasto energético de dos sistemas de climatización para ambos periodos, esto es, dos calderas para el periodo de calefacción y dos máquinas de compresión mecánica para el periodo de refrigeración.

Para la realización del proyecto se ha utilizado el software matemático Mathcad, dónde partiendo de una hoja de trabajo en blanco, se han introducido las características de la vivienda y las ecuaciones físicas que rigen los procesos de transmisión de calor entre el interior y el exterior de la misma. Para definir las condiciones de diseño de climatización así como para obtener parámetros y valores válidos para limitar la demanda energética se ha acudido a los documentos RITE y CTE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios y Código Técnico de la Edificación respectivamente). La vivienda objeto de estudio está situada en Cáceres, Extremadura.

Índice

Primer capítulo: Introducción.....	10
1.1 Situación energética en España.....	11
1.2 Cambio climático: Acuerdo de París.....	12
1.3 Justificación.....	14
1.4 Introducción a la Transferencia de Calor.....	15
1.4.1 Conducción.....	15
1.4.2 Convección.....	17
1.4.3 Radiación.....	18
1.5 Introducción a la Psicrometría.....	21
1.5.1 El aire húmedo.....	21
1.5.2 Humedad absoluta y humedad relativa.....	21
1.6 La radiación solar.....	23
1.6.1 Radiación extraterrestre y radiación sobre la superficie terrestre.....	23
1.6.2 Dirección de la radiación.....	24
Segundo capítulo: Cargas Térmicas.....	28
2.1 Definición y tipos.....	29
2.2 Condicionantes de diseño.....	29
2.2.1 Condicionantes del ambiente térmico interior.....	29
2.2.2 El ambiente exterior.....	31
2.3 Clasificación y metodología del cálculo de cargas.....	34
2.4 Cálculo de cargas.....	36
2.4.1 Carga de transmisión.....	36
2.4.2 Carga debida a ventilación.....	44
2.4.3 Carga debida a infiltraciones.....	49
2.4.4 Carga por radiación solar.....	49
2.4.5 Carga interna.....	54

Tercer capítulo: Resultados.....	58
3.1 Carga de transmisión.....	59
3.2 Carga debida a ventilación.....	62
3.3 Carga debida a infiltraciones.....	63
3.4 Carga térmica total.....	65
3.5 Análisis de sensibilidad del consumo frente a la temperatura de confort.....	67
Cuarto capítulo: Comparación equipos.....	69
4.1 Equipos para calefacción.....	70
4.1.1 Caldera estanca convencional.....	72
4.1.2 Caldera de condensación.....	73
4.1.3 Conclusiones comparativa equipos para calefacción.....	75
4.2 Equipos para refrigeración.....	76
4.2.1 Equipo Daikin.....	77
4.2.2 Equipo Mitsubishi.....	79
4.2.3 Conclusiones comparativa equipos para refrigeración.....	80
Quinto capítulo: Conclusiones.....	81
Bibliografía.....	84
Anexos.....	86
Anexo I: Propiedades del aire y agua y localización del edificio.....	87
Anexo II: Equipos de calefacción (Especificaciones técnicas).....	88
Anexo III: Equipos de refrigeración (Especificaciones técnicas).....	91

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Transferencia de calor por conducción unidimensional.....	16
Ilustración 2. Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.....	18
Ilustración 3. Intercambio de calor entre una superficie, un gas y sus alrededores.....	20
Ilustración 4. Influencia de las estaciones del año sobre la energía solar recibida en la superficie de la Tierra.....	25
Ilustración 5. Ángulos cenital y azimutal solar, ángulo de una superficie respecto a la horizontal y desviación de la misma respecto al sur.....	27
Ilustración 6. Diagrama de cargas a calcular en función del periodo.....	35
Ilustración 7. Flujo de calor a través de una placa plana en contacto con dos fluidos a distinta temperatura.....	38
Ilustración 8. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W	40
Ilustración 9. Extracto de la tabla de zonas climáticas en España.....	42
Ilustración 10. Valores límite de los parámetros característicos medios.....	43
Ilustración 11. Rendimiento convencional VS rendimiento condensación.....	71

Índice de gráficos

Gráfico 1. Temperatura exterior.....	32
Gráfico 2. Humedad relativa exterior.....	33
Gráfico 3. Irradiancia Global para un día tipo en Mayo.....	50
Gráfico 4. Irradiancia Global para un día tipo en Junio.....	51
Gráfico 5. Irradiancia Global para un día tipo en Julio.....	51
Gráfico 6. Irradiancia Global para un día tipo en Agosto.....	52
Gráfico 7. Irradiancia Global para un día tipo en Septiembre.....	52
Gráfico 8. Carga térmica a través de la cubierta.....	59
Gráfico 9. Carga térmica a través del muro.....	60
Gráfico 10. Carga térmica a través de ventanas.....	61
Gráfico 11. Carga térmica a través de puertas.....	61
Gráfico 12. Carga térmica sensible de ventilación.....	62
Gráfico 13. Carga térmica latente de ventilación.	63
Gráfico 14. Carga térmica sensible por infiltraciones.....	64
Gráfico 15. Carga térmica latente por infiltraciones.....	65
Gráfico 16. Carga térmica total.....	66
Gráfico 17. Sensibilidad de las condiciones de confort interiores en invierno....	67
Gráfico 18. Sensibilidad de las condiciones de confort interiores en verano.....	68
Gráfico 19. Consumo caldera convencional.....	73
Gráfico 20. Consumo caldera condensación.....	74
Gráfico 21. Consumo equipo Daikin.....	77
Gráfico 22. Consumo equipo Mitsubishi.....	79

Índice de tablas

Tabla 1. Condiciones interiores de diseño.....	30
Tabla 2. Criterios de ventilación.....	31
Tabla 3. Área de los cerramientos.....	37
Tabla 4. Características de la cubierta.....	40
Tabla 5. Características del muro.....	41
Tabla 6. Características del suelo.....	41
Tabla 7. Caudales de ventilación mínimos.....	46
Tabla 8. Superficies acristaladas.....	53
Tabla 9. Factores de corrección.....	53
Tabla 10. Potencia de iluminación.....	55
Tabla 11. Intervalos de funcionamiento de la iluminación.....	56
Tabla 12. Equipos y potencias asociadas.....	57
Tabla 13. Intervalo funcionamiento de los equipos.....	57
Tabla 14. Comparativa consumos y emisiones calderas.....	75
Tabla 15. Comparativa consumos y emisiones equipos refrigeración.....	80

Primer Capítulo:

Introducción

En este primer capítulo se comentará brevemente la situación energética actual en España y el estado de la lucha contra el cambio climático a nivel mundial. Del mismo modo, se realizará una introducción a los conceptos relativos a los mecanismos de transferencia de calor, psicrometría y radiación solar y sus ecuaciones matemáticas como herramientas básicas que van a posibilitar la realización del estudio que se busca en este proyecto.

1.1 Situación energética actual en España.

Entre los hechos más relevantes de 2015 en España desde un punto de vista energético, hay que destacar el cambio de tendencia respecto a los consumos de energía, siendo crecientes después de descender durante varios años consecutivos. El consumo de energía primaria ha crecido un 4,63% (123.867 ktep de consumo), el de energía final un 1,1% (83.966 ktep) y el de electricidad un 1,8% (248.047 GWh), respecto a 2014. Este cambio de tendencia, junto con un incremento del PIB del 3,2% respecto del año anterior, pone de manifiesto una mejoría en la actividad económica española.

En cuanto a la producción de energía primaria, en 2015 se produjeron 33.306 ktep (un 3,5% inferior respecto al 2014), con un grado de autoabastecimiento del 26,9%, lo cual evidencia una de las características del sistema energético español, su elevado grado de dependencia. Menos de un tercio de la energía primaria que se consume está producida en el propio país; comparativamente con los países de la UE 28, España ocupa el octavo lugar, siendo por tanto uno de los países con mayor grado de dependencia energética exterior.

Atendiendo a la generación eléctrica, las energías renovables mantienen un papel destacado en el conjunto de la generación peninsular pero su participación desciende al 36,9 % (42,8% en 2014). Este retroceso se debe fundamentalmente al descenso de las producciones hidráulica y eólica respecto a 2014 del 27,5% y 5,8% respectivamente. Por ello, las energías no renovables peninsulares han aumentado su participación hasta el 63,1% (57,2% en 2014), con incrementos notables de la producción con ciclo combinado (un 18,7%) y con carbón (un 23,8%) respecto al año anterior.

Por tecnologías, la producción de electricidad peninsular durante 2015 se generó en un 21,8% a partir de centrales nucleares (22,0% en 2014), el 20,3% con carbón (16,5% en 2014), el 19,0% con eólica (20,3% en 2014), el 11,0% con hidráulica (15,5% en 2014) y el restante 27,9% se repartió entre los ciclos combinados (10,1%), cogeneración (10,1%), solar (5,1%) y otras (residuos y otras renovables 2,6%). Las emisiones de CO₂ derivadas de la generación eléctrica en España han aumentado en 2015, debido principalmente a la necesidad de contrarrestar la menor producción hidráulica y eólica con una mayor generación de carbón y ciclo combinado. De este modo, el nivel de emisiones de CO₂ del sector eléctrico español se situó en 2015 en 77,4 millones de toneladas, valor superior en un 15,1% a las emisiones de 2014. Hecho que nos lleva a destacar la importancia que tiene el efecto sobre el cambio climático de las emisiones de CO₂ debidas a la producción de energía a nivel mundial y la necesidad de la consecución de acuerdos a nivel internacional. En este sentido, el acuerdo alcanzado en la Cumbre de París sobre Cambio Climático en

diciembre de 2015 es un importante hito histórico (este acuerdo se detalla en el siguiente punto de la presente memoria).

Por otro lado, el consumo de energía final se divide en tres grandes sectores: industrial, transportes y residencial. Éste último es al que atañe el presente proyecto. El sector residencial es clave en el contexto energético actual, nacional o comunitario, debido a la importancia que reviste sus necesidades energéticas, que en términos de energía final significan el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica. Si bien es cierto que comparativamente con otros sectores presenta menos consumo, el sector residencial en términos relativos es uno de los sectores, junto al sector servicios, que ha experimentado un mayor crecimiento en su consumo. El incremento del número de hogares, el mayor confort requerido por los mismos y el consecuente aumento del equipamiento son los factores que explican la tendencia al alza de los consumos energéticos.

Los significativos impactos debidos a la satisfacción de las necesidades energéticas, de la sociedad en general y del sector residencial en particular, en términos de dependencia energética, seguridad de suministro e impacto ambiental, obligan a una adecuada y fundamentada planificación energética en España a través de distintos planes de acción y dentro del marco de las directrices europeas.

1.2 Cambio climático: Acuerdo de París.

Estudios científicos evidencian que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a las actividades humanas provocan grandes cambios en el clima de la Tierra. Se ha llegado a la conclusión de que los impactos del cambio climático provocados por un incremento superior a 2°C en la temperatura anual media global por encima del nivel pre-industrial pueden ser ampliamente dañinos en los sistemas ecológicos y socioeconómicos del planeta.

El acuerdo alcanzado en la *Cumbre de París sobre Cambio Climático en diciembre de 2015*, que tiene como objetivo la limitación a largo plazo de las emisiones de GEI, de manera que el citado incremento de temperatura no supere el horizonte del año 2100, es un significativo logro a nivel mundial en la lucha contra el cambio climático. Es un acuerdo jurídico vinculante que contiene todos los elementos necesarios para construir una estrategia mundial (195 países

participan en el acuerdo) de lucha contra dicho cambio. Se reconoce así la globalidad de un reto que requiere una actuación conjunta y coordinada.

Este importante hito histórico ha sido fruto de un largo camino. El acuerdo nace del desarrollo del convenio de las Naciones Unidas sobre cambio climático, que se remonta a 1992. El primer paso de la comunidad internacional para hacer frente a la amenaza del cambio climático fue la Convención sobre el Cambio climático de las Naciones Unidas (UNFCCC), que se adoptó en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992 y entró en vigor en 1994. Se instaba a alcanzar un objetivo de estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que pudiese evitar la peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático. La tercera reunión de la Conferencia de las Partes (COP3) adoptó el *Protocolo de Kioto* a la UNFCCC en 1997, en el que los países industrializados de entonces (recogidos en el Anexo I del citado Protocolo) se comprometían a reducir sus emisiones conjuntas de GEI en el periodo 2008-2012 en al menos un 5,2% respecto a los niveles del año 1990. En COP15 (Copenhague, 2009) se alcanzó el Acuerdo de Copenhague, que reconocía el enfoque científico de que el incremento en la temperatura media global debía estar por debajo de 2°C, proporcionando un marco de actuación para una reducción voluntaria de las emisiones de GEI en el horizonte de 2020, aunque no supuso compromisos firmes.

Dos décadas después, el Protocolo de Kioto ha quedado desfasado, fundamentalmente en los anexos, donde se establecía el listado de países desarrollados que estaban obligados a reducir sus emisiones. Hoy día los industrializados de dichos anexos representan en torno al 35% de las emisiones mundiales. China e India, que se encuentran entre las cuatro economías más contaminantes del globo desde 2007, no estaban incluidos entre los Estados que debían realizar los mayores esfuerzos, los cuales han mantenido e incluso reducido sus emisiones en comparación con el año base 1990.

De este modo se llega al *Acuerdo de París (COP 21)* aprobado el 12 de diciembre de 2015 en el marco de la 21 Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, movilizándose para ello a toda la comunidad internacional, administraciones, comunidad científica, sociedad civil y mundo empresarial. Los aspectos más importantes de este acuerdo son:

- Objetivo: Limitar el aumento de temperatura muy por debajo de 2°C respecto a los niveles pre-industriales.
- Senda cualitativa: se tiene que alcanzar la neutralidad climática (balance neto cero de emisiones). No se especifica una senda cuantitativa.
- Contribución de todos los países: Obligación de presentar y comunicar las contribuciones nacionales de reducción de emisiones (Nationally

Determined Contributions, NDC) Cada país establece sus propios objetivos y deberá poner en marcha medidas a nivel nacional. No hay mecanismos de sanción si se incumplen las NDC.

- Ciclos de revisión: mecanismo de revisión automático de 5 años. Cada nueva NDC debe ser más ambiciosa que la anterior.
- Financiación: compromiso por parte de los países desarrollados de alcanzar un fondo de 100.000 millones anuales a partir de 2020. Este fondo se destinará a que los Estados con menos recursos puedan realizar actuaciones contra el cambio climático y puedan crecer económicamente pero con bajas emisiones de CO₂.
- Neutralidad tecnológica: no existe ninguna restricción ni limitación desde el punto de vista tecnológico para que los distintos países puedan utilizar en sus mix de generación la tecnología que consideren adecuada.

Por último destacar que si bien el sector eléctrico es la parte más importante en el contexto de cambio climático, no es la única, siendo fundamental el esfuerzo y compromiso de sectores difusos como el sector de transporte o el residencial.

1.3 Justificación.

A partir de la información anteriormente expuesta sobre generación y consumos de energía y emisión de gases de efecto invernadero, resulta de interés realizar estudios pormenorizados de requerimientos energéticos en el sector residencial. En este caso, a partir de un estudio de la demanda de energía útil anual por climatización de una vivienda unifamiliar se puede cuantificar la cantidad de energía requerida por el hogar y cómo puede afectar a dicha cantidad las características estructurales de la vivienda, su equipamiento, los equipos de climatización seleccionados y las condiciones de confort. Al seleccionar equipos de climatización poco eficientes y/o al establecer condiciones de confort por encima de las recomendadas, pueden ocasionar gastos de energía innecesarios y, por tanto, mayores emisiones de gases contaminantes.

Es por todo esto que, a nivel residencial, es muy importante llevar a cabo un estudio del modelo de carga térmica del edificio antes de instalar un sistema de climatización para procurar ajustar la potencia de dicho sistema a la demanda energética, buscando que éste sea lo más eficiente posible.

1.4 Introducción a la Transferencia de Calor.

Se define la transferencia de calor como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Dicha transferencia se dirige desde el foco de mayor temperatura al foco de menor temperatura. Existen tres tipos de procesos de transferencia o mecanismos.

1.4.1 Conducción.

Este mecanismo requiere de un medio material, entre ambos focos, para poder propagarse. Existe pues un intercambio energético sin necesidad de que exista un flujo de materia.

Este modelo puede cuantificarse a través de la Ley de Fourier, cuya ecuación es la siguiente:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

q_x'' - Flujo de calor (W/m²)

k - Constante de proporcionalidad o conductividad térmica (W/m · K)

$\frac{dT}{dx}$ - Gradiente de temperatura (K/m)

El flujo de calor q_x'' es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección de transferencia, x , por área unitaria perpendicular a dicha dirección. La constante de proporcionalidad, k , o conductividad térmica, es una propiedad de transporte específica del material conductor. Por último, el signo negativo indica que el flujo necesariamente se dirige en la dirección de la temperatura decreciente.

Para el caso particular de conducción unidimensional, en régimen estacionario, a través de una pared plana, de conductividad térmica constante y uniforme y en la que se mantiene una temperatura constante y uniforme en cada una de las caras de la pared, el gradiente de temperaturas se expresa como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

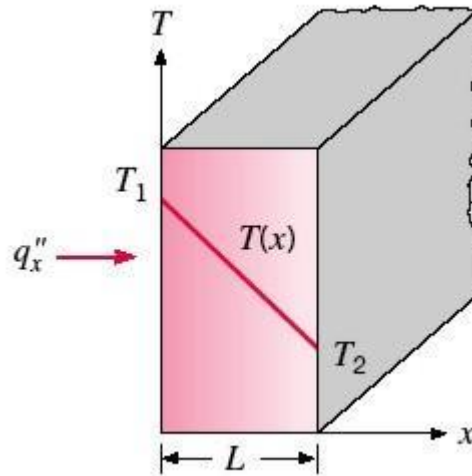


Ilustración 1. Transferencia de calor por conducción unidimensional.

Siendo L el espesor de la pared y $T_1 - T_2$ la diferencia de temperaturas entre la cara de la pared más caliente y la más fría, tal que $T_1 > T_2$.

Por tanto, en este caso el flujo de calor se expresa:

$$q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L}$$

1.4.2 Convección.

Este modo de transferencia de calor se compone de dos mecanismos. Además de la energía transferida debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento macroscópico aleatorio del fluido.

En este Proyecto Fin de Carrera, interesa especialmente la transferencia de calor por convección que ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando éstos tienen diferentes temperaturas.

Este modelo, sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, puede cuantificarse a través de la Ley de enfriamiento de Newton, cuya ecuación es la siguiente:

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

q'' -Flujo de calor (W/m^2)

h - Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m^2K)

T_s -Temperatura de la superficie (K)

T_∞ -Temperatura del fluido (K)

El flujo de calor por convección, q'' , es proporcional a la diferencia de temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_∞ respectivamente. La constante de proporcionalidad, h , se denomina *coeficiente de transferencia de calor por convección*. Éste depende de las condiciones en las capas límite¹, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte.

1. Capa límite: Consecuencia de la interacción fluido superficie. Encontramos dos tipos:

- Capa límite hidrodinámica: es una región en el fluido en la que la velocidad varía de cero en la superficie a un valor finito asociado al flujo.
- Capa límite térmica: aparece cuando las temperaturas de la superficie y el fluido difieren. En este caso, habrá una región en el fluido a través de la cual la temperatura varíe de T_s (junto a la superficie) a T_∞ (junto al flujo exterior a la capa).

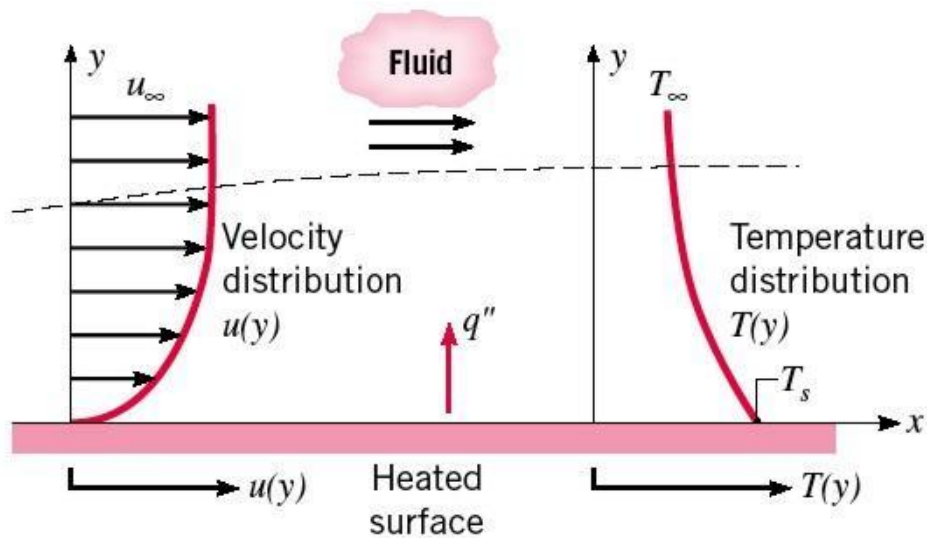


Ilustración 2. Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.

1.4.3 Radiación.

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Si bien en conducción y convección es necesario que exista un medio material para el transporte de la energía, en radiación no es necesario; ésta es transportada por ondas electromagnéticas (las cuales pueden viajar en el vacío).

La radiación puede provenir tanto de sólidos, como líquidos y gases. En nuestro caso centraremos la atención en las superficies sólidas.

La radiación emitida por una superficie se origina a partir de la energía térmica de la materia delimitada por la superficie; la velocidad a la que libera la energía por unidad de área se denomina potencia emisiva superficial, E (W/m^2). Matemáticamente se expresa mediante la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

E_b -Potencia emisiva superficial de un radiador ideal (W/m^2)

σ - Constante de Stefan-Boltzmann (W/m^2K^4)

T_s -Temperatura absoluta de la superficie (K)

La expresión anterior corresponde a la emisión de un radiador ideal o cuerpo negro, donde T_s es la temperatura absoluta de la superficie, y σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$). Un cuerpo real siempre emitirá menos radiación que su correspondiente cuerpo negro. Podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$E = \varepsilon\sigma T_s^4$$

Dónde ε es una propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad. $0 \leq \varepsilon \leq 1$

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores. Análogamente a lo visto anteriormente, la superficie puede absorber toda o parte de la radiación. Se designa la velocidad a la que toda esa radiación incide sobre un área unitaria de la superficie como la irradiación G . Asimismo definimos absorptividad, α , a la propiedad absorptiva de la superficie, la cual nos permite conocer la cantidad de irradiación que absorberá la superficie, incrementando la energía térmica del material. $0 \leq \alpha \leq 1$

$$G_{abs} = \alpha G$$

Si asumimos que la irradiación en los alrededores de la superficie se aproxima con la emisión de un cuerpo negro a temperatura T_{alr} , tenemos:

$$G = \alpha\sigma T_{alr}^4$$

Si, por otro lado, suponemos que la superficie objeto de estudio es una superficie gris ($\alpha = \varepsilon$), podemos expresar la velocidad neta de transferencia de calor por radiación desde la superficie, expresada por unidad de área de superficie, mediante la siguiente expresión:

$$q_{rad}'' = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{alr}^4)$$

La expresión anterior proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana debido a la absorción de radiación.

Puede darse el caso en el que se puede dar simultáneamente transferencia de calor por radiación a los alrededores y por convección a un gas contiguo. Entonces, la velocidad total de transferencia de calor desde la superficie es:

$$q = q_{conv} + q_{rad} = hA(T_s - T_{\infty}) + \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{atr}^4)$$

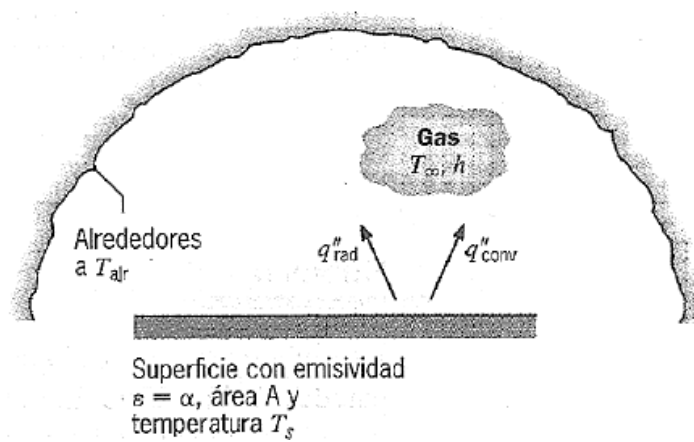


Ilustración 3. Intercambio de calor entre una superficie, un gas y sus alrededores.

En la ilustración podemos ver las condiciones para las que se cumplen la ecuación anterior.

1.5 Introducción a la Psicrometría.

Se define psicrometría como la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano, así como los métodos para controlar las características térmicas del aire húmedo.

1.5.1 El aire húmedo.

El aire de la atmósfera no está seco, contiene una cierta cantidad de humedad, la cual proviene de la evaporación del agua de los océanos, ríos, vapor de agua exhalado por las personas, animales y plantas, etc. Del mismo modo se genera vapor a través del sudor transpirado por la piel. Por ello, en los ambientes cerrados con personas en su interior, el contenido de vapor de agua en el aire va aumentando.

Se define como relación de humedades al cociente entre la masa de vapor de agua y la de aire seco que presenta una cantidad de aire determinada:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

ω -Relación de humedades (*adimensional*)

m_v - Masa de vapor (*kg*)

m_a -Masa de aire seco (*kg*)

1.5.2 Humedad absoluta y humedad relativa.

Llamamos humedad absoluta al contenido de vapor de agua que contiene un kg de aire y se expresa en $\frac{kg\ agua}{kg\ aire}$. El valor de humedad absoluta no es un término constante, sino que va a depender de la temperatura del aire. A mayor temperatura, más cantidad de agua admite.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el aire del ambiente no suele transportar el máximo de agua posible, suele estar más seco. Por ejemplo, si

una cantidad determinada de aire tiene la mitad de agua que puede tener, decimos que tiene una humedad relativa del 50%. Si tiene el máximo de agua, decimos que tiene una humedad relativa del 100% y que está saturado.

Por tanto, se denomina humedad relativa al porcentaje de agua que tiene el aire respecto al máximo que puede tener a esa temperatura.

$$\varphi = \frac{H_{real}}{H_{m\acute{a}xima}} \cdot 100$$

φ -Humedad relativa (%)

H_{real} - Humedad absoluta que contiene el aire (kg agua / kg aire seco)

$H_{m\acute{a}xima}$ -Humedad máxima que puede contener el aire (kg agua / kg aire seco)

Del mismo modo podemos expresar la humedad relativa a partir de un cociente de presiones:

$$\varphi = \frac{P_{pv}}{P_{sat}(T)} \cdot 100$$

φ -Humedad relativa (%)

P_{pv} - Presión parcial de vapor (Pascales)

$P_{sat}(T)$ -Presión parcial de vapor saturado a una temperatura 'T' (Pascales)

La expresión matemática de la presión parcial de vapor saturado es la siguiente:

$$P_{sat} = 2.368745 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(\frac{-5406,1915}{T}\right)$$

En dicha expresión, la temperatura se expresa en grados Kelvin.

1.6 La radiación solar.

A la hora de calcular las necesidades energéticas para climatizar una vivienda, tenemos que estimar la fracción de radiación solar que la baña. Por tanto es de interés comentar algunos conceptos previos respecto a esta fuente de energía.

1.6.1 Radiación extraterrestre y radiación sobre la superficie terrestre.

Se define como constante solar a la energía solar recibida por unidad de tiempo en una superficie de área unidad perpendicular a la dirección de propagación de la radiación y situada fuera de la atmósfera a la distancia media entre la Tierra y el Sol. En la actualidad, se toma como 1367 W/m^2 . Dicha constante, debido a la trayectoria elíptica que describe nuestro planeta en torno al Sol, se corrige mediante la expresión:

$$G_{0n} = 1367 \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right)$$

G_{0n} - Constante solar corregida (W/m^2)

n - Ordinal del día, desde 1° , el 1 de Enero, hasta 365° , el 31 de Diciembre

Sin embargo dicha radiación extraterrestre difiere de la que llega a la superficie terrestre debido a dos procesos que tienen lugar en la atmósfera terrestre:

- Dispersión: debida a la interacción de la luz con moléculas del aire, con el agua y con el polvo en suspensión.
- Absorción: por O_3 en el UV y H_2O y CO_2 en bandas del IR

Por tanto la cantidad neta de radiación que llega a la superficie es menor.

1.6.2 Dirección de la radiación.

Para conocer la posición solar y la radiación que alcanza una superficie cualquiera situada en un punto del planeta, es necesario definir las siguientes variables y coordenadas:

La latitud(Φ): es el arco de meridiano que se extiende desde el ecuador hasta el paralelo local, con lo que aumenta de 0 a 90°. Por convención, se toman valores positivos para el hemisferio norte y negativos para el sur. En la localidad en la que se va a realizar el proyecto, Cáceres, la latitud es de: $\Phi = 39.47$ grados decimales.

La declinación solar(δ): es el ángulo que forman la dirección de los rayos del sol y el ecuador (el eje de la Tierra está inclinado 23,45° respecto a la perpendicular al plano que contiene su órbita alrededor del Sol, dando lugar a las estaciones). Varía sinusoidalmente entre +/- 23.45°. Se define como positiva en el hemisferio norte y negativa en el sur. Se puede estimar aproximadamente con la fórmula de Cooper, en función del ordinal del día 'n'.

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

δ - Declinación solar (°)

n - Ordinal del día, desde 1°, el 1 de Enero, hasta 365°, el 31 de Diciembre

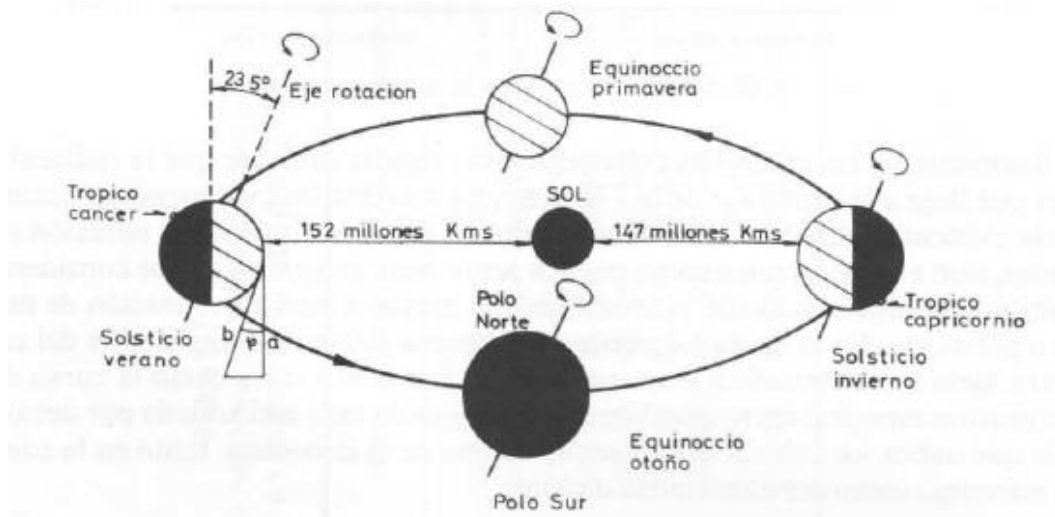


Ilustración 4. Influencia de las estaciones del año sobre la energía solar recibida en la superficie de la Tierra.

El ángulo horario(ω): representa, para una localización, el ángulo definido por dos planos que contengan al eje de la tierra, uno de los cuales pasa por el meridiano local y el otro por el sol.

Cuando el sol está en su cenit es nulo y toma valores negativos antes de dicho instante y positivos después, según la velocidad de rotación de la tierra: 15°/hora.

$$\omega = 15 \cdot (HSL - 12)$$

ω - Ángulo horario (°)

HSL- Hora solar local

Por tanto, a partir de la constante solar corregida y las variables anteriormente definidas (Φ , δ , ω) podemos conocer la radiación solar incidente sobre el exterior de la atmósfera; sin embargo interesa conocer la potencia que incide sobre un plano horizontal o bien sobre un plano que tenga un cierto ángulo respecto a la horizontal (placas solares, ventanas de una casa, etcétera).

En un sistema de coordenadas esféricas con centro en el observador la posición del sol en el cielo está definida por los ángulos cenital (θ_z) y azimutal (γ_s). Son

función del tiempo y del lugar en que se definen, pues se subordinan a los ángulos topocéntricos anteriormente citados.

- El ángulo cenital (θ_z): Es el ángulo complementario de la altura solar. Con la resolución sobre un triángulo esférico, se puede ver que el ángulo zenital varía con el tiempo según la función:

$$\cos \theta_z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

- El azimutal solar (γ_s): Es el recorrido horizontal del Sol. Marca como origen el mediodía, cuando $\omega = 0^\circ$, a las 12 hora solar. La expresión para su cálculo es:

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha_s}$$

- La altura solar (α_s): Es el ángulo complementario del ángulo cenital. Es el ángulo de elevación del Sol sobre el horizonte. Comienza en 0° al amanecer, culmina al mediodía, con el valor $90^\circ - \phi + \delta$ y termina en 0° al atardecer. Se expresa mediante el teorema del seno, su signo es positivo durante el día y negativo para la noche:

$$\sin \alpha_s = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

Si la superficie está inclinada un ángulo (β), consideramos el ángulo de incidencia (θ) respecto a la normal a dicha superficie. En este caso influye también la orientación de la superficie, que se suele dar como desviación respecto a la dirección sur (γ , *positivo hacia el este*).

La ecuación para hallar el ángulo de incidencia es:

$$\theta = \arccos(\sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega)$$

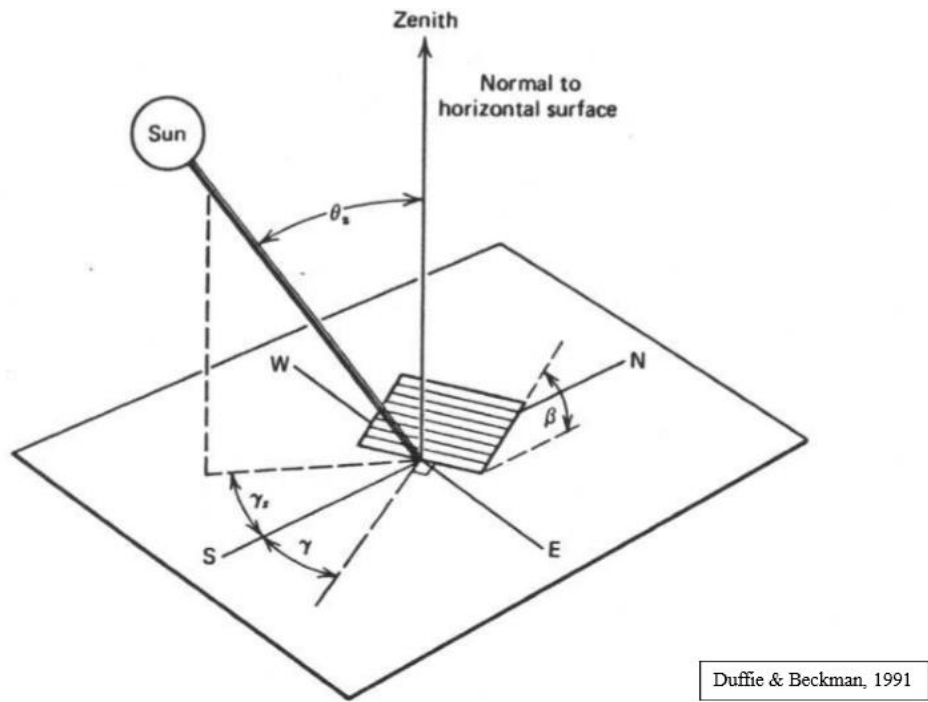


Ilustración 5. Ángulos cenital y azimutal solar, ángulo de una superficie respecto a la horizontal y desviación de la misma respecto al sur.

Con lo que la expresión matemática de la potencia incidente sobre la superficie es:

$$G_0(n, \phi, \omega, \beta, \gamma) = G_{0n}(n) \cdot \cos \theta = G_{0n}(n) \cdot (\sin \delta(n) \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta(n) \cdot \cos \phi \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta + \cos \delta(n) \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta(n) \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta(n) \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega)$$

Segundo Capítulo:

Cargas Térmicas

En este capítulo se define el concepto de carga térmica y se muestra la metodología llevada a cabo para su cálculo en la vivienda según la normativa correspondiente y los condicionantes. Además, en el mismo encontraremos recogidos en tablas datos relativos a las características de los cerramientos y se fijarán las condiciones de confort para los periodos de calefacción y refrigeración.

2.1 Definición y tipos.

La carga térmica es la potencia de refrigeración o calentamiento que requiere un local o vivienda, en un determinado instante, para mantener unas condiciones térmicas interiores dadas.

También entendemos como carga térmica todo fenómeno que tiende a modificar la temperatura y la humedad (o cantidad de vapor existente) en el local.

Tipos de carga térmica:

- Sensibles: aquellas que intentan variar la temperatura seca del aire.
- Latentes: aquellas que intentan variar la relación de humedad (ω) o cantidad de vapor de agua.

A la hora de diseñar una instalación térmica, es imperativo determinar de la manera más exacta posible la potencia térmica (o frigorífica) necesaria para cubrir la demanda motivo de la instalación. Para ello es necesario realizar un cálculo de cargas.

El valor de dichas cargas va a depender de las condiciones de diseño, interiores y exteriores, así como el modelo elegido a la hora de realizar el cálculo. A continuación se detallan estos aspectos.

2.2 Condiciones de diseño.

Estas condiciones se especifican como “condiciones interiores y exteriores de diseño” y están definidas en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)*.

2.2.1 Condicionantes del ambiente térmico interior.

En aplicaciones de aire acondicionado destinadas al confort, las variables que debemos mantener controladas son:

- La temperatura seca
- La humedad relativa
- La calidad del aire interior, mediante una adecuada renovación del aire

- El nivel de ruido
- La velocidad del aire

Para nuestro estudio, necesitamos fijar valores para las tres primeras variables. Buscamos establecer condiciones térmicas interiores de confort para las personas. Estas condiciones están comprendidas dentro de unos límites fijados por el RITE, y se recogen en la siguiente tabla:

Estación	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

Tabla 1. Condiciones interiores de diseño.

Las condiciones de confort constantes que se toman para este proyecto son las siguientes:

En invierno:

- Temperatura interior: **21°C**
- Humedad relativa interior: **40 %**

En verano:

- Temperatura interior: **25°C**
- Humedad relativa interior: **60 %**

Los criterios de ventilación se indican en la norma UNE-CEN/TR 14788 y en el *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, en el correspondiente documento básico *HS Salubridad (HS 3: Calidad del aire interior)*. Algunos valores ahí indicados se muestran en la siguiente tabla:

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

Tabla 2. Criterios de ventilación.

2.2.2 El ambiente exterior.

El ambiente exterior de una localidad viene definido por las siguientes variables:

- Temperatura seca
- Temperatura húmeda
- La velocidad y dirección del viento
- La radiación solar
- La temperatura del suelo

Estas magnitudes no son constantes ni a lo largo del día, ni a lo largo del año. Por lo general, se recurre a la asignación de valores típicos según el mes considerado y la localidad. Para poder realizar la simulación de demanda energética anual debida a climatización necesitamos conocer datos relativos al ambiente exterior de temperatura seca, humedad relativa, radiación solar y temperatura de suelo. Los datos de las dos primeras variables las obtenemos de una base de datos conocidos para la localidad donde se sitúa la vivienda (Cáceres). Dicha colección de datos, extraída de los archivos medios de *EnergyPlus* (*EnergyPlusWeather Data*), contiene 8760 valores de temperatura exterior y 8760 valores de humedad relativa exterior, correspondientes a cada hora del año.

A continuación podemos ver los datos recopilados y que serán introducidos en el programa de simulación:

Temperatura exterior:

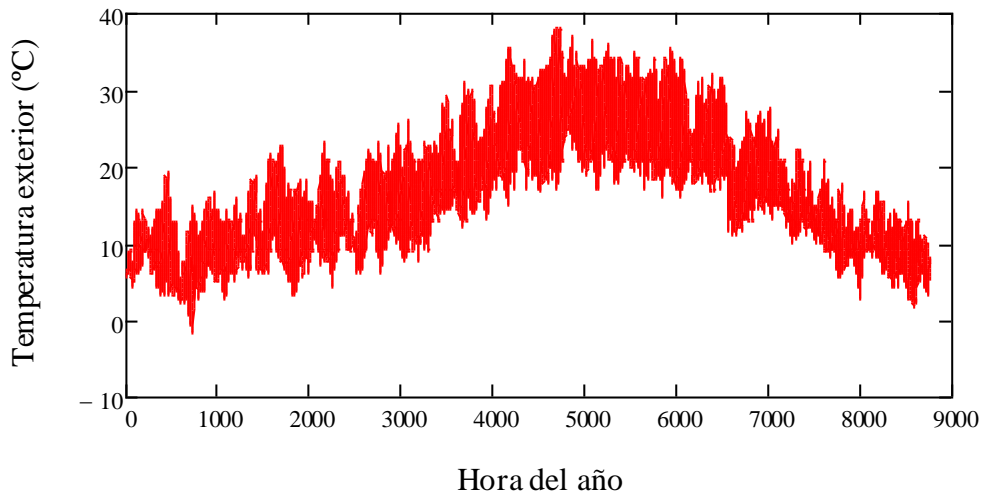


Gráfico 1. Temperatura exterior

En el gráfico de temperatura exterior podemos ver como ésta aumenta gradualmente hasta alcanzar valores máximos aproximadamente en la zona central, a partir de la cual los valores comienzan a decrecer hasta valores cercanos a los de partida. Esta tendencia es lógica, puesto que las horas centrales corresponden a los meses más calurosos del año mientras que las horas de los extremos corresponden a los más fríos. Por ello, se establece como periodo de refrigeración o condiciones de verano del 27 de Mayo hasta el 28 de Septiembre, resultando por tanto el periodo de calefacción o de condiciones de invierno del 1 de Enero al 26 de Mayo y del 29 de Septiembre al 31 de Diciembre.

Humedad relativa exterior:

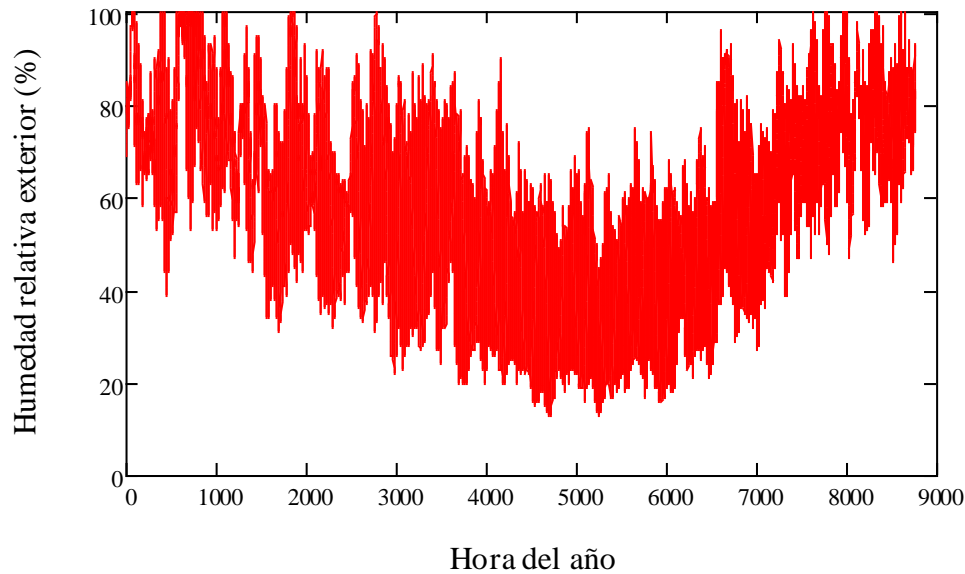


Gráfico 2. Humedad relativa exterior

En el gráfico de humedad relativa exterior podemos observar cómo ésta es mayor en los meses más fríos siendo especialmente baja en los meses centrales del año, que corresponden a la época estival, con valores inferiores a 40% e incluso al 30%.

Los dos gráficos anteriores nos muestran el típico clima extremeño, caracterizado por inviernos lluviosos y frescos frente a veranos calurosos y secos.

Para los datos de radiación solar en la localidad, se ha optado por la asignación de valores típicos según el mes, extraídos de la página web de la Comisión Europea (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>). Los aspectos relativos a la toma y tratamiento de estos datos se detallan en el apartado 2.4.4 *Carga por radiación solar* del presente proyecto.

En cuanto a la temperatura del suelo, en instalaciones de aire acondicionado, éste se considera de forma aproximada siempre a una temperatura inferior a 20°C durante todo el año. Para la localización de la vivienda objeto de estudio, esta temperatura toma valores en torno a 10°C de media. Por tanto tomaremos este valor como temperatura de suelo para todo el año.

2.3 Clasificación y metodología del cálculo de cargas.

Para estudiar la demanda energética por climatización, (así como para poder dimensionar los equipos que van a posibilitar el acondicionamiento del aire interior) es conveniente realizar una clasificación de las cargas en base a su procedencia, pudiendo ser:

- Cargas exteriores
 - Cargas de transmisión a través del muro, suelo, cubierta, ventanas y puertas.
 - Carga debida a la ventilación.
 - Carga por infiltraciones.
 - Carga de radiación solar a través de superficies acristaladas.

- Cargas interiores
 - Ocupantes.
 - Iluminación.
 - Equipos y aparatos.

Es importante recalcar que el tratamiento de dichas cargas va a diferir en función de la época del año en que nos encontremos. Desde el punto de vista de la climatización y a efectos prácticos, consideramos que el año se divide en una época de invierno y otra de verano, esto es, con lo que distinguiremos entre cargas de refrigeración y de calefacción, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Quando nos encontramos en el periodo de verano (refrigeración):

- Como se ha comentado con anterioridad, el suelo se mantiene a una temperatura inferior a 20°C, por lo que pierde calor todo el año. Por tanto en el periodo de verano la carga a través del suelo es considerada una ganancia. (En nuestro caso, $T_{\text{suelo}}=10^{\circ}\text{C}$).

Quando nos encontramos en el periodo de invierno (calefacción):

- La carga por radiación solar, así como la carga interna (personas, iluminación y aparatos) pasan a ser ganancias, luego no se tendrán en cuenta en el cálculo de cargas en este periodo.

De este modo y gracias a la clasificación de cargas y diferenciación por periodos, podemos establecer una metodología de cálculo para cada tipo de carga. En la siguiente ilustración se esquematiza el proceso:

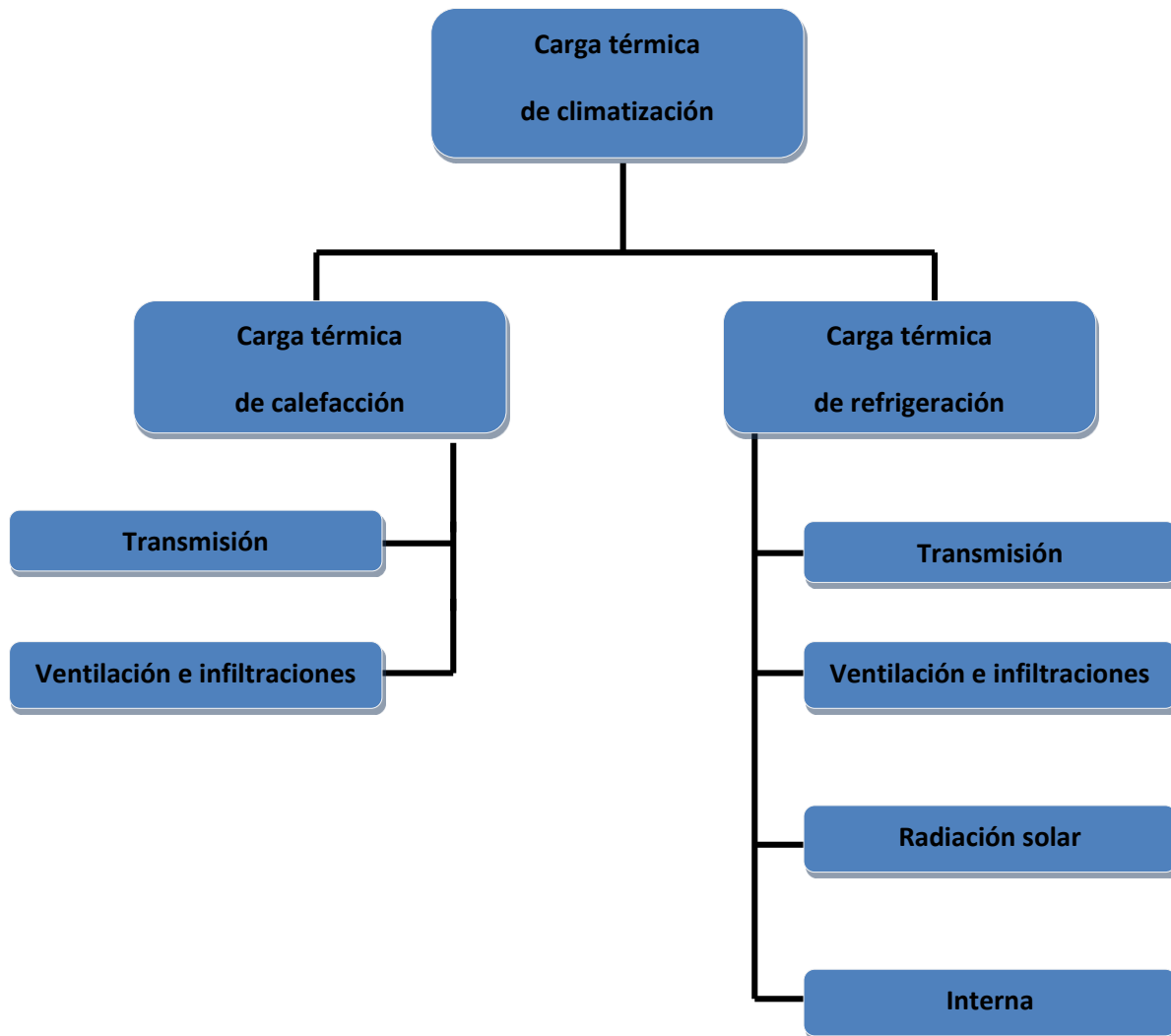


Ilustración 6. Diagrama de cargas a calcular en función del periodo.

2.4 Cálculo de Cargas.

En este apartado y a continuación de lo expuesto en el punto anterior, se definen los tipos de carga y se detalla las ecuaciones utilizadas para poder calcularlas, así como la metodología o pasos a seguir para hallar los parámetros que definen dichas ecuaciones.

2.4.1 Carga de transmisión.

La carga de transmisión es la que tiene lugar a través de los cerramientos, esto es, la cubierta, el muro, el suelo, así como a través de las puertas y ventanas que lindan con el exterior.

Se trata de una carga sensible que se evalúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = A \cdot U \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Q - Carga por transmisión (W)

A - Área del cerramiento (m^2)

U -Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2\text{°C}$)

T_{ext} -Temperatura exterior (°C)

T_{int} -Temperatura interior de confort (°C)

La ecuación anterior se aplica a cada cerramiento, obteniendo la carga por transmisión a través de cada uno de ellos; la carga total por transmisión será la suma de todos los componentes.

Los parámetros que definen la ecuación, esto es, el área y el coeficiente global de transferencia de calor, difieren para cada cerramiento. A continuación se aportan datos relativos a las áreas y se detallará el método de cálculo de los coeficientes globales de transmisión de calor.

Área de los cerramientos

En la siguiente tabla se recogen los datos pertinentes:

Cerramiento	Cubierta	Muro	Suelo	Ventanas	Puertas
Área (m ²)	139,52	92,75	139,52	25,97	3,69

Tabla 3. Área de los cerramientos

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor para cubierta, muro y suelo

Para poder disponer de una fórmula matemática que nos permita calcular el coeficiente global de transferencia para cada uno de los cerramientos pertinentes, vamos a introducir el concepto de *circuito térmico equivalente*, o lo que es lo mismo, aplicar una analogía eléctrica con la ley de Ohm, para los mecanismos de transferencia de calor por convección (ley de Newton) y por conducción (ley de Fourier), éste último aplicado al caso particular descrito en el punto “1.4.1 Conducción”, del presente documento.

Para cada uno de los mecanismos de calor anteriormente citados y aplicando la analogía eléctrica, podemos definir una resistencia térmica:

$$R_k = \frac{L}{kA}$$

$$R_h = \frac{L}{hA}$$

para la conducción y para la convección respectivamente.

Esto facilita el estudio de sistemas de transmisión compuestos (placas multicapa). Así en el caso particular de la pared plana de la ilustración siguiente, en contacto con un fluido caliente por una cara y con otro más frío por la otra,

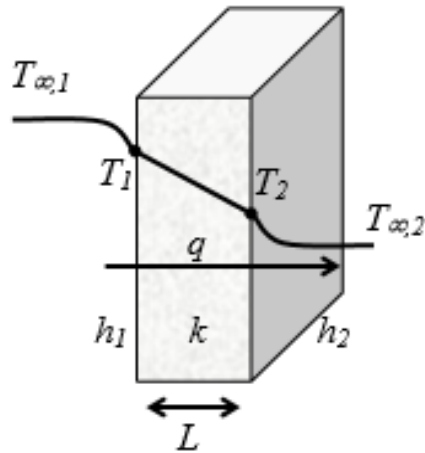


Ilustración 7. Flujo de calor a través de una placa plana en contacto con dos fluidos a distinta temperatura.

tenemos que el flujo de energía térmica q se realiza mediante una combinación de los mecanismos de conducción y convección, pudiéndose expresar la transferencia de calor como:

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_1}{\frac{1}{h_1 A}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{kA}} = \frac{T_2 - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_2 A}}$$

Combinando estas ecuaciones, la transferencia de calor global por unidad de tiempo puede expresarse como:

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{eq}}$$

O bien

$$q = UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,2})$$

Siendo R_{eq} la resistencia térmica equivalente del sistema que, en este caso, es la suma de las resistencias térmicas, ya que se encuentran en serie:

$$R_{eq} = \sum R_i = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A}$$

A partir de las tres últimas expresiones se llega a la conclusión de que el coeficiente global de transferencia de calor, U, para una placa es igual a:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

De manera análoga para paredes, techos y suelos multicapa de una vivienda, podemos deducir que el coeficiente de transferencia se evalúa como:

$$U_{cerramiento} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{\text{Capas}} \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e}}$$

e_i -Espesor de la capa de material 'i' (m)

k_i - Conductividad térmica de la capa i ($W/m^{\circ}C$)

h_i -Coeficiente de convección interior ($W/m^2^{\circ}C$)

h_e -Coeficiente de convección exterior ($W/m^2^{\circ}C$)

Las inversas de los coeficientes de convección se obtienen del Código Técnico de la Edificación, en el documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE/1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente":

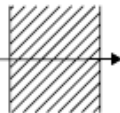
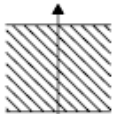

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Ilustración 8. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W .

Obsérvese que para cerramientos horizontales, como la cubierta, las resistencias térmicas superficiales variarán en función del sentido del flujo de calor. Por tanto el coeficiente global de transferencia de calor en este tipo de cerramientos será distinto en el periodo invernal y en el estival. Para el cerramiento del suelo sólo calcularemos un coeficiente de transferencia de calor, pues únicamente estudiamos la carga térmica de transmisión a su través en el periodo invernal.

Por otro lado, para poder hallar la resistencia térmica de cada capa para cada cerramiento, atendemos a las características de espesor y conductividad térmica de los mismos recogidas en las siguientes tablas:

CUBIERTA		
Composición	e (m)	k (W/m K)
Hormigón con áridos	0,05	1,16
Bovedilla de hormigón	0,25	1,39
Poliestireno expandido	0,079	0,04
Yeso	0,02	0,3

Tabla 4. Características de la cubierta.

MURO EXTERIOR		
Composición	e (m)	k (W/m K)
Enfoscado de cemento	0,02	1,14
Ladrillo hueco	0,09	0,52
Poliestireno expandido	0,031	0,04
Ladrillo hueco	0,09	0,52
Yeso	0,02	0,3

Tabla 5. Características del muro.

SUELO		
Composición	e (m)	k (W/m K)
Relleno de arena	0,5	0,5
Encachado de piedra	0,35	1,83
Solera de hormigón	0,45	1,63
Madera	0,07	0,14

Tabla 6. Características del suelo.

Conocidos todos los datos, podemos calcular los valores de los coeficientes de transmisión de calor de la cubierta, muro exterior y suelo, los cuales resultan:

$$U_{cubierta, invierno} = 0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{cubierta, verano} = 0.403 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{muro} = 0.709 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{suelo} = 0.468 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El CTE impone una limitación de demanda energética para los edificios, la cual va a depender del clima de la localidad donde se ubican, con lo que España queda dividida en zonas climáticas. En la siguiente imagen, extraída del CTE Documento Básico HE, Ahorro de Energía, *Sección HE1 Limitación de demanda energética, Apéndice B: Zonas Climáticas*, se recogen las mismas. La zona climática a la que pertenece cualquier localidad va a depender de su capital de provincia y de su altitud (la de la localidad de la vivienda), respecto al nivel del mar (parámetro h en la ilustración inferior).

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1
Albacete	D3	677										h < 450		
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700		
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800		
Ávila	E1	1054												
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450		
Barcelona	C2	1											h < 250	
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250
Burgos	E1	861												
Cáceres	C4	385									h < 600			
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850	
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500		
Ceuta	B3	0						h < 50						
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500		
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200
Cuenca	D2	975												
Gerona/Girona	D2	143											h < 100	
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800		
Guadalajara	D3	708												
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800		
Huesca	D2	432										h < 200		
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750			
León	E1	346												
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100		
Logroño	D2	379											h < 200	
Lugo	D1	412												
Madrid	D3	589										h < 500		

Ilustración 9. Extracto de la tabla de zonas climáticas en España.

La vivienda está situada en Cáceres, luego le corresponde zona climática C4.

Tan sólo resta verificar que estos parámetros no superen el valor límite definido en el CTE. Dicho valor se encuentra recogido en el apartado *Ahorro de energía (DB-HE), sección Limitación de demanda energética (HE1), Apéndice D: Definición del edificio de referencia*, buscamos el valor límite definido para la zona climática C4:

ZONA CLIMÁTICA C4	
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	$F_{Lim}: 0,27$

Ilustración 10. Valores límite de los parámetros característicos medios.

$$\checkmark U_{cubierta, invierno} = 0.41 \text{ W/m}^2 \text{ K} \leq U_{Clim} = 0.41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\checkmark U_{cubierta, verano} = 0.403 \text{ W/m}^2 \text{ K} \leq U_{Clim} = 0.41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\checkmark U_{muro} = 0.709 \text{ W/m}^2 \text{ K} \leq U_{Mlim} = 0.73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\checkmark U_{suelo} = 0.468 \text{ W/m}^2 \text{ K} \leq U_{Slim} = 0.50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor para ventanas y puertas

Las ventanas de la vivienda son de doble acristalamiento Saint-Gobain Glass Climalit Plus de 4 mm de espesor de vidrio y 12 mm de cámara de aire cuyo coeficiente global de transferencia de calor es $1.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ según fabricante.

- La vivienda posee dos puertas exteriores de madera de roble de dimensiones 91 x 203cm y un espesor de 75 mm. La conductividad de la madera de roble es $0,209 \text{ W/m K}$. El coeficiente de transferencia de calor, que será el mismo para cada puerta, puede calcularse según la expresión ya conocida, pero particularizada sólo para la puerta:

$$U_{puertas} = \frac{1}{R_{se} + \frac{e_{puerta}}{k_{madera}} + R_{si}}$$

El valor resultante es:

$$U_{puertas} = 1.89 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.4.2 Carga debida a ventilación.

La carga de ventilación es la derivada de la renovación del aire del interior del edificio, para asegurar la calidad del aire en el interior del local. El aire exterior introducido será compensado con el mismo caudal de aire extraído o expulsado por ventanas y puertas, con el fin de mantener la misma cantidad de aire seco en el interior del local. La cantidad de calor sensible y latente aportado como carga en forma instantánea se obtiene como:

Carga sensible:

$$Q_{sen} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot Cp_{aire} \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Q_{sen} - Carga sensible (W)

V_{vent} - Caudal de ventilación (m^3/s)

ρ_{aire} - Densidad del aire de ventilación (kg/m^3)

Cp_{aire} -Calor específico del aire ($J/kg^{\circ}C$)

T_{ext} - Temperatura exterior ($^{\circ}C$)

T_{int} - Temperatura interior de confort ($^{\circ}C$)

Carga latente:

$$Q_{Lat} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_{ext} - \omega_{int})$$

Q_{Lat} - Carga latente (W)

V_{vent} - Caudal de ventilación (m^3/s)

ρ_{aire} - Densidad del aire de ventilación (kg/m^3)

h_{fg} - Calor latente de cambio de fase del agua (J/kg)

ω_{ext} - Relación de humedad del aire exterior (kg/kg)

ω_{int} - Relación de humedad del aire interior (kg/kg)

La suma de ambas componentes, sensible y latente, nos daría la carga de ventilación total.

Los valores relativos a la densidad y calor específico del aire así como el relativo al calor latente de cambio de fase del agua se encuentran recogidos en el *Anexo I*.

A continuación se detalla cómo se han obtenido el caudal de ventilación total de la casa a partir de los caudales de ventilación de cada local o habitación objeto de estudio. Asimismo, para el caso del cálculo de la carga latente se demuestra cómo podemos llegar a una expresión que relacione la diferencia de relación de humedades exterior e interior con los datos de humedad relativa y temperatura que se disponen de partida para los cálculos.

Caudal de ventilación

Atendiendo a la tabla de criterios de ventilación expuesta en el apartado 2.2.1 *Condicionantes del ambiente térmico interior* del presente documento, calculamos los caudales de ventilación mínimos exigidos para cada estancia. Los valores finales están recogidos en la siguiente tabla:

Local	caudal ventilación (l/s)
Salón	12
Baño1	15
Baño2	15
Cocina	32,76
Dormitorio1	10
Dormitorio2	5
Dormitorio3	5

Tabla 7. Caudales de ventilación mínimos.

Para su cálculo se ha tenido en cuenta la superficie útil de los locales así como el número de personas que residen en la vivienda, que son cuatro en total. Así pues, sumando todas las contribuciones tenemos que el caudal de ventilación total es 94,76 (l/s).

Relación de humedades en función de humedad relativa y temperatura

A la hora de calcular la carga latente, hemos de deducir una expresión que nos permita calcular la relación de humedad ω en función de la temperatura y la humedad relativa, pues son los datos de los que se dispone para realizar los cálculos.

Según la Ley de Dalton, cuando un volumen encierra una mezcla de gases, en nuestro caso dos (vapor de agua y aire seco), ambos tratarán de llenar el volumen total como si el otro gas no existiese. Luego la presión total en dicho volumen será la suma de las presiones parciales:

$$p = p_{pa} + p_{pv}$$

Por tanto aplicando la ley de Dalton al aire atmosférico, tenemos:

$$p_{atm} = p_{pa} + p_{pv}$$

Por otro lado, si consideramos cada gas como ideal, podemos aplicar la Ecuación de Estado de los Gases Ideales a cada uno, obteniendo:

$$\begin{cases} p_{pa} \cdot V = m_a \cdot R_{ga} \cdot T \\ p_{pv} \cdot V = m_v \cdot R_{gv} \cdot T \end{cases} \xrightarrow{\text{divido ambas}} \frac{m_v \cdot R_{gv}}{m_a \cdot R_{ga}} = \frac{p_{pv}}{p_{pa}}$$

Reorganizando la expresión recién obtenida y considerando la Ley de Dalton y la definición de relación de humedad, tenemos que:

$$\begin{cases} \frac{m_v}{m_a} = \frac{R_{ga} p_{pv}}{R_{gv} p_{pa}} \\ p_{pa} = p_{atm} - p_{pv} \xrightarrow{\text{sustituyendo}} \omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{R_{ga}}{R_{gv}} \frac{p_{pv}}{p_{atm} - p_{pv}} \\ \omega = \frac{m_v}{m_a} \end{cases}$$

La constante de cada gas depende de los pesos moleculares de los mismos, esto es:

$$R_{ga} = \frac{\bar{R}}{PM_a}$$

$$R_{gv} = \frac{\bar{R}}{PM_v}$$

Si sustituimos estas expresiones en la expresión anterior tenemos que:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{PM_v}{PM_a} \frac{p_{pv}}{p_{atm} - p_{pv}}$$

Buscamos expresar la relación de humedades en función de la humedad relativa, para ello hacemos uso de la definición matemática vista en el capítulo introductorio de psicrometría:

$$\varphi = \frac{P_{pv}}{P_{sat}(T)}$$

Donde se recuerda que la presión parcial de vapor saturado es función exclusiva de la temperatura:

$$P_{sat} = 2.368745 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(\frac{-5406,1915}{T}\right)$$

Sustituyendo tenemos que:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{PM_v}{PM_a} \frac{\varphi \cdot P_{sat}(T)}{p_{atm} - \varphi \cdot P_{sat}(T)}$$

Puesto que los pesos moleculares son conocidos, podemos calcular la siguiente relación:

$$\begin{aligned} PM_v &= 18 \text{ g/mol} \\ PM_a &= 28,98 \text{ g/mol} \end{aligned} \rightarrow \frac{PM_v}{PM_a} = 0.622$$

Sustituyendo tenemos que:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{\varphi \cdot P_{sat}(T)}{p_{atm} - \varphi \cdot P_{sat}(T)}$$

Finalmente hemos llegado a expresar la relación de humedad en términos de humedad relativa y temperatura.

2.4.3 Carga debida a infiltraciones.

Se trata, como en el caso de la ventilación, de una carga instantánea que aporta tanto calor sensible como calor latente al local. Se evalúa de forma semejante a lo visto para la carga de ventilación, en donde se sustituye el caudal de ventilación por el caudal de aire infiltrado. La dificultad radica justamente en estimar dicho caudal de aire infiltrado. Éste va a depender de la estanqueidad de puertas y ventanas, de la porosidad de las paredes del edificio, su altura, orientación, etc. El aire debido a infiltraciones entra en la instalación por la diferencia de presiones entre el exterior y el interior por efecto del viento y por diferencias de densidades (efecto chimenea).

De acuerdo al DB-HE1, la permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de los cerramientos que limitan los espacios habitables de los edificios con el ambiente exterior se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida en dicho DB-HE1. Así, la permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá unos valores inferiores a los siguientes:

- a) Para las zonas climáticas A y B: $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$
- b) Para las zonas climáticas C, D y E: $27 \text{ m}^3/\text{h m}^2$

La vivienda objeto de estudio está situada en Cáceres (zona C). Luego tenemos un valor límite para acotar el caudal. Sin embargo, en el presente proyecto sólo se van a considerar las infiltraciones a través de puertas y ventanas estimando un caudal de $1,8 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ y $2,5 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ respectivamente, según el manual de aire acondicionado de Carrier, lo cual cumple la limitación anteriormente expuesta.

2.4.4 Carga por radiación solar.

Es la carga sensible derivada de la incidencia sobre superficies internas del edificio de la radiación solar que pasa a través de las superficies acristaladas.

$$Q_{\text{radiación}} = \sum_{or} I_{or} \cdot A_{or} \cdot f_c$$

$Q_{\text{radiación}}$ - Carga térmica (W)

I_{or} - Irradiación sobre una orientación determinada (W/m^2)

A_{or} - Superficie acristalada en una orientación determinada (m^2)

f_c - Factor de corrección (*adimensional*)

Según se ha visto en el apartado introductorio relativo a la radiación solar, la irradiancia es función de la hora, mes y latitud así como de la orientación e inclinación de la superficie que recibe la radiación.

En este estudio se ha optado por hallar valores tipo de irradiancia para cada mes de la época estival (Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre) en función de la orientación (Norte, Sur, Este y Oeste) y replicar los valores para obtener los datos relativos a cada día del mes.

Los datos han sido obtenidos de la página web de la Comisión Europea, donde introduciendo como parámetros fijos la latitud (Cáceres) y la inclinación (90° para las ventanas) se pueden obtener datos de irradiancia global tipo para cada hora según mes y orientación.

A continuación podemos ver los datos recopilados y que serán introducidos en el programa de simulación:

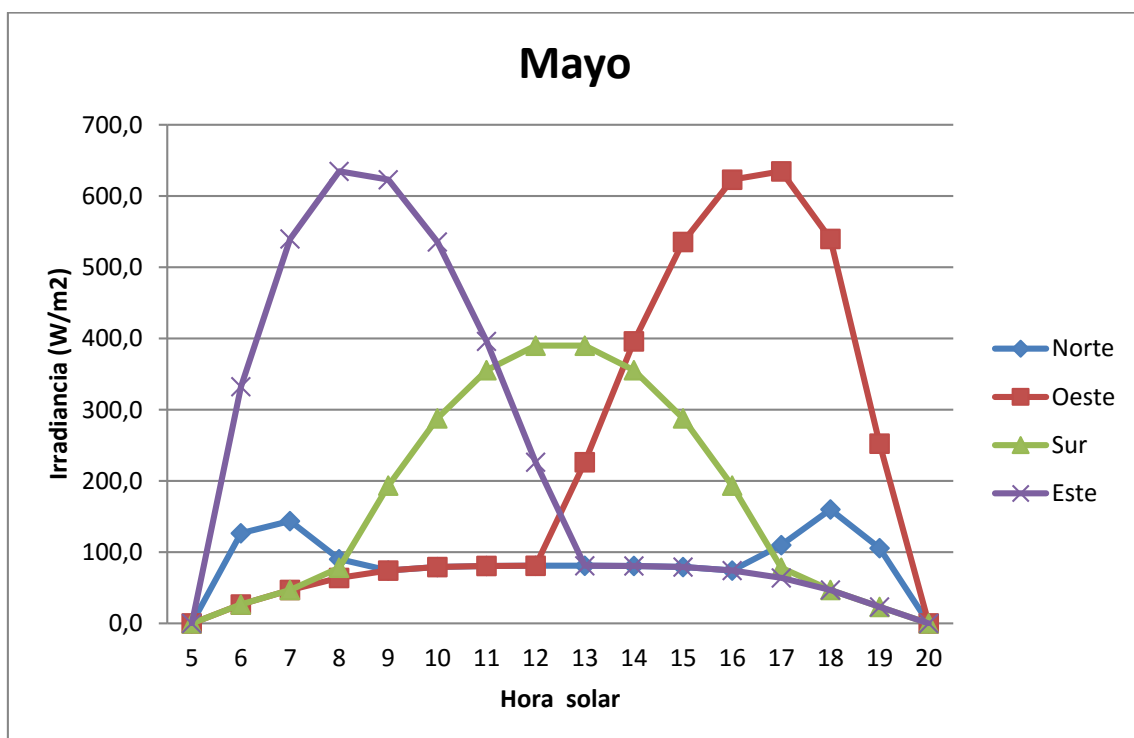


Gráfico 3. Irradiancia Global para un día tipo en Mayo.

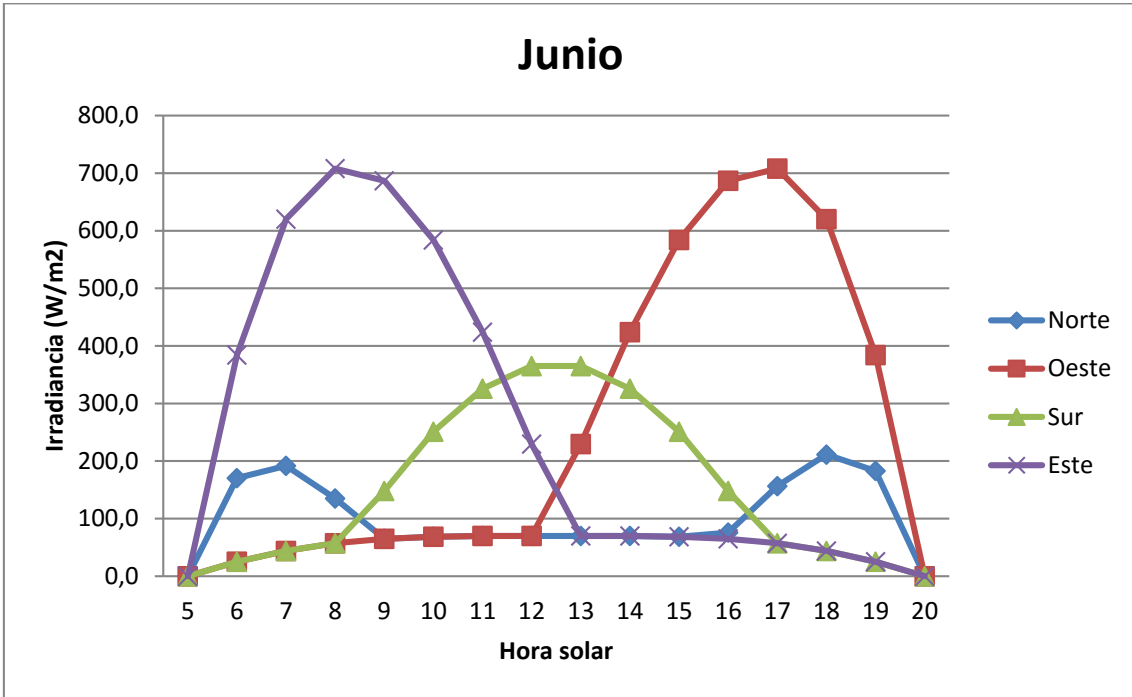


Gráfico 4. Irradiancia Global para un día tipo en Junio.

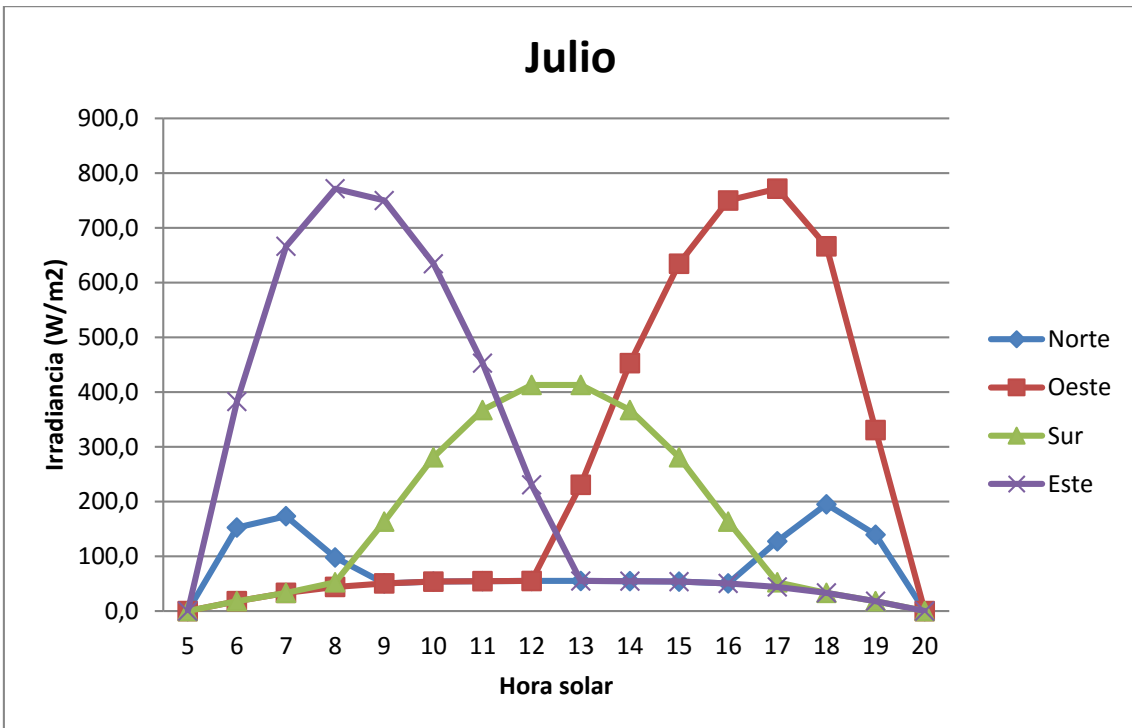


Gráfico 5. Irradiancia Global para un día tipo en Julio.

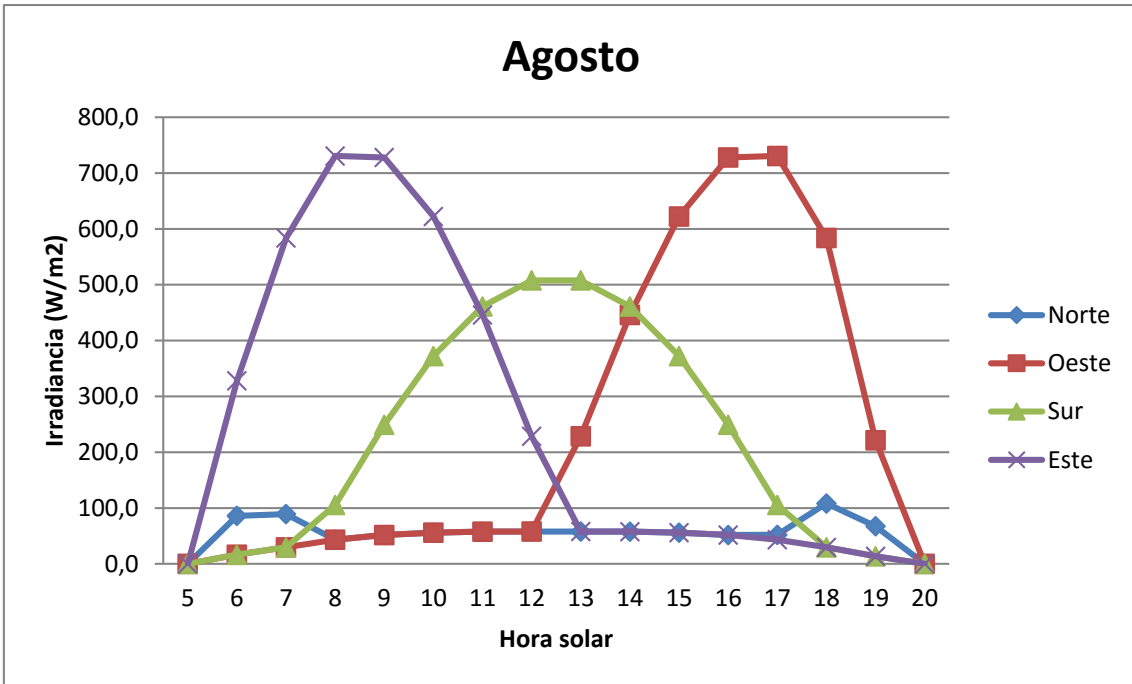


Gráfico 6. Irradiancia Global para un día tipo en Agosto.

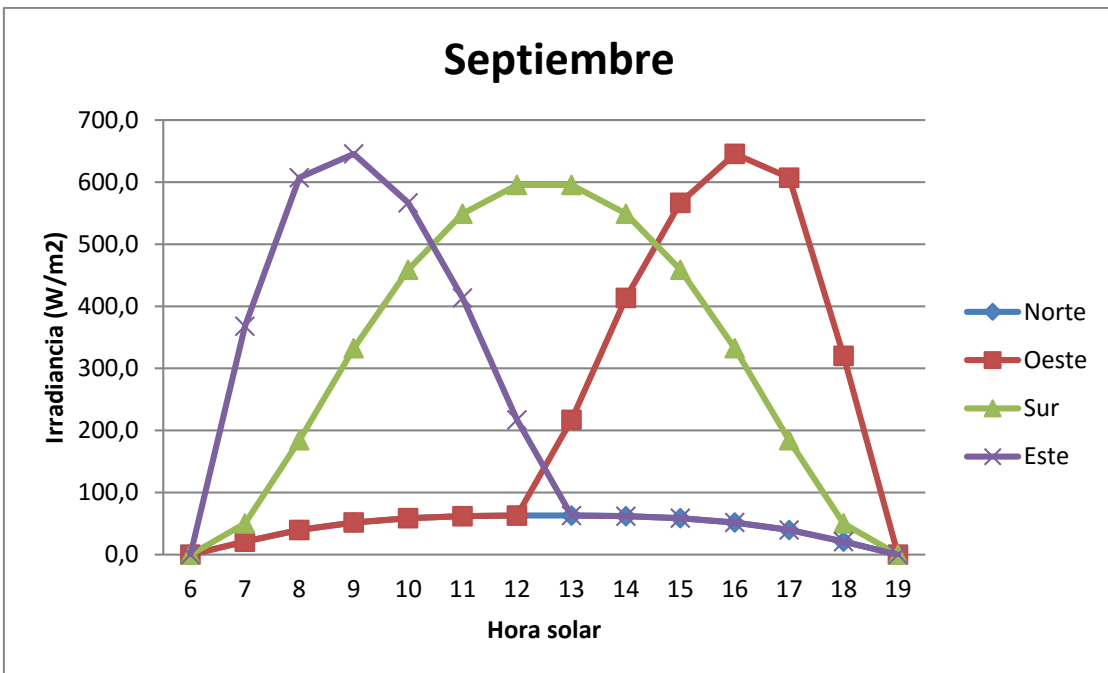


Gráfico 7. Irradiancia Global para un día tipo en Septiembre.

Por otro lado, los datos relativos a las superficies acristaladas, según orientación, de la vivienda se recogen en la siguiente tabla:

Local	Acrystalada S (m ²)	Acrystalada E (m ²)	Acrystalada N (m ²)	Acrystalada O (m ²)
Salón	6	5,67		
Baño1		0,63		
Baño2			0,63	
Cocina				3,36
Dormitorio1		3,28		
Dormitorio2				3,12
Dormitorio3				3,28

Σ Sup. Acríst. Orientación	6	9,58	0,63	9,76
Σ Sup. Acrystalada total	25,97			

Tabla 8. Superficies acristaladas.

Finalmente, hay que tener en cuenta que los valores de carga por radiación deben corregirse por efecto de materiales como toldos, persianas, etc. En la siguiente tabla se recogen los factores de corrección que se han aplicado:

Vidrio doble	0.9
Elementos de sombras exteriores (persianas exteriores)	0.9
Elementos de sombras interiores (cortinas)	0.6

Tabla 9. Factores de corrección.

2.4.5 Carga interna.

En estas cargas se incluyen las aportaciones debidas a los ocupantes, la iluminación y los equipos.

Ocupantes

Los ocupantes aportan carga sensible y carga latente, en función de la actividad que estén desarrollando. Los valores típicos de la carga disipada por una persona (en reposo) son:

$$Q_{sensible} = 70 W$$

$$Q_{latente} = 60 W$$

La carga total aportada será el producto del número de personas en el local por el calor que disipa cada persona. En la vivienda residen 4 personas. Por tanto, la potencia total será:

$$Q_{personas} = 520 W$$

Se estima que los residentes permanecen 13 horas al día en la vivienda (desde las 19:00 hasta las 8:00).

Iluminación

El calor por iluminación es todo calor sensible, pero una parte es carga por radiación y la otra lo es por convección. La vivienda está equipada con bombillas de bajo consumo. En las siguientes tablas podemos ver la distribución de bombillas según los locales así como los intervalos de funcionamiento, necesarios para poder realizar la simulación:

Habitación	Iluminación	Potencia instalada (W)
Salón	4 bombillas de 20 W	110
	3 bombillas de 10 W	
Dormitorio1	2 bombillas de 15 W	50
	2 bombillas de 10 W	
Dormitorio2	1 bombilla de 20 W	30
	1 bombilla de 10 W	
Dormitorio3	1 bombilla de 20 W	30
	1 bombilla de 10 W	
Baño1	2 bombillas de 15 W	60
	3 bombillas de 10 W	
Baño2	1 bombilla de 20 W	50
	2 bombillas de 15 W	
Cocina	4 bombillas de 15 W	100
	2 bombillas de 20 W	
Total		430

Tabla 10. Potencia de iluminación.

Habitación	Iluminación	Funcionamiento (horas/día)	Intervalo
Salón	4 bombillas de 20 W	3	21:00 a 23:59
	3 bombillas de 10 W		
Dormitorio1	2 bombillas de 15 W	2	22:00 a 23:59
	2 bombillas de 10 W		
Dormitorio2	1 bombilla de 20 W	2	22:00 a 23:59
	1 bombilla de 10 W		
Dormitorio3	1 bombilla de 20 W	2	22:00 a 23:59
	1 bombilla de 10 W		
Baño1	2 bombillas de 15 W	2	7:00 a 7:59 y 20:00 a 20:59
	3 bombillas de 10 W		
Baño2	1 bombilla de 20 W	2	7:00 a 7:59 y 20:00 a 20:59
	2 bombillas de 15 W		
Cocina	4 bombillas de 15 W	2	22 a 23:59
	2 bombillas de 20 W		

Tabla 11. Intervalos de funcionamiento de la iluminación.

Equipos

El calor desprendido por los equipos es característico de cada uno.

En las siguientes tablas se recogen los equipos tenidos en cuenta en los cálculos, así como los intervalos de funcionamiento:

Habitación	Aparato	Potencia (W)
Salón	Televisor plasma 42 pulgadas	400
Dormitorio1	Televisor habitación LCD 34 pulgadas	200
Dormitorio2	Ordenador1	90
Dormitorio3	Ordenador2	90
Cocina	Nevera	300
Total		1080

Tabla 12. Equipos y potencias asociadas.

Aparato	Funcionamiento (horas/día)	Intervalo
Televisor plasma 42 pulgadas	6	19:00 a 00:59
Televisor habitación LCD 34 pulgadas	3	22:00 a 00:59
Ordenador1	6	19:00 a 00:59
Ordenador2	6	19:00 a 00:59
Nevera	24	00:00 a 23:59

Tabla 13. Intervalo funcionamiento de los equipos.

Tercer Capítulo:

Resultados

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos de la simulación anual de cargas térmicas y se realizan los análisis pertinentes. En primer lugar se encuentran distintos gráficos en función del tipo de carga con sus comentarios; al final del capítulo encontraremos el gráfico y análisis de la carga térmica total. Para la carga por radiación solar así como para la carga interna no se muestran gráficos individualizados. Asimismo, se mostrará el valor final de los consumos por demanda energética de climatización para cada periodo y se realizará un análisis de sensibilidad de dichos consumos.

3.1 Carga de transmisión.

Se muestran gráficos para cada uno de los cerramientos estudiados, esto es, cubierta, muro, ventanas y puertas. En cuanto al suelo, no se presenta gráfico pues el valor de carga térmica de transmisión tiene un valor constante de 653,01 W durante el periodo de invierno (calefacción). Sin embargo, en el periodo de refrigeración, el suelo no supondrá una carga térmica para el sistema estudiado.

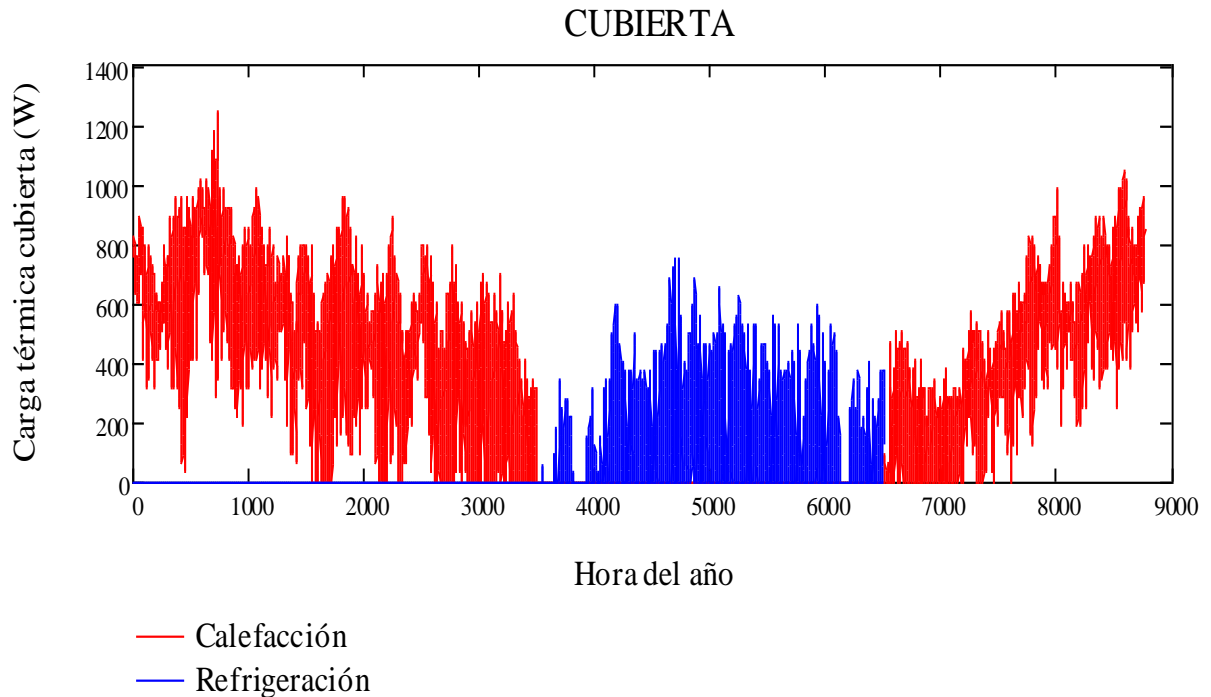


Gráfico 8. Carga térmica a través de la cubierta.

En el gráfico de la carga térmica a través de la cubierta podemos observar que las cargas térmicas por calefacción predominan sobre las de refrigeración, pues el periodo invernal es más amplio. A medida que aumentan el número de horas en el año, el valor de carga térmica disminuye pues el clima se va volviendo más cálido, hasta entrar en periodo de refrigeración. En dicho periodo, los valores de carga térmica se incrementan, según las horas más calurosas de cada día debido al gradual incremento de la temperatura exterior, para después disminuir progresivamente antes de entrar de nuevo en el periodo de calefacción.

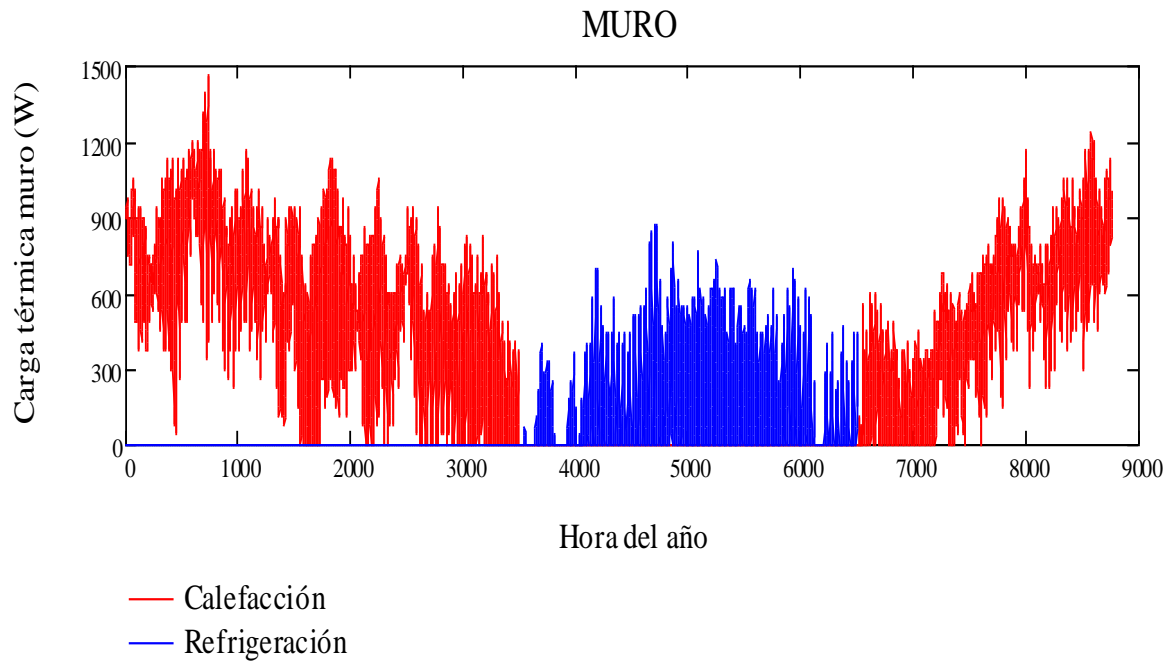


Gráfico 9. Carga térmica a través del muro.

Al visualizar el gráfico de carga térmica en el muro, observamos la similitud estructural respecto del gráfico analizado para la cubierta. Esto es debido a que ambos cerramientos están sometidos a las mismas diferencias de temperatura, interior y exterior, siendo los coeficientes globales de transferencia de calor y áreas de los cerramientos los parámetros que van a variar la amplitud del valor de carga. Así pues y aunque el área de la cubierta ($139,52 \text{ m}^2$) sea mayor que la del muro ($92,75 \text{ m}^2$), el primero presenta un valor menor de coeficiente global de transferencia de calor ($0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ en invierno y $0,403 \text{ W/m}^2\text{K}$ en verano) en comparación con el segundo ($0,709 \text{ W/m}^2\text{K}$ durante todo el año), lo que equivale a decir que el muro está peor aislado, resultando en unos valores de carga térmica superiores para este último.

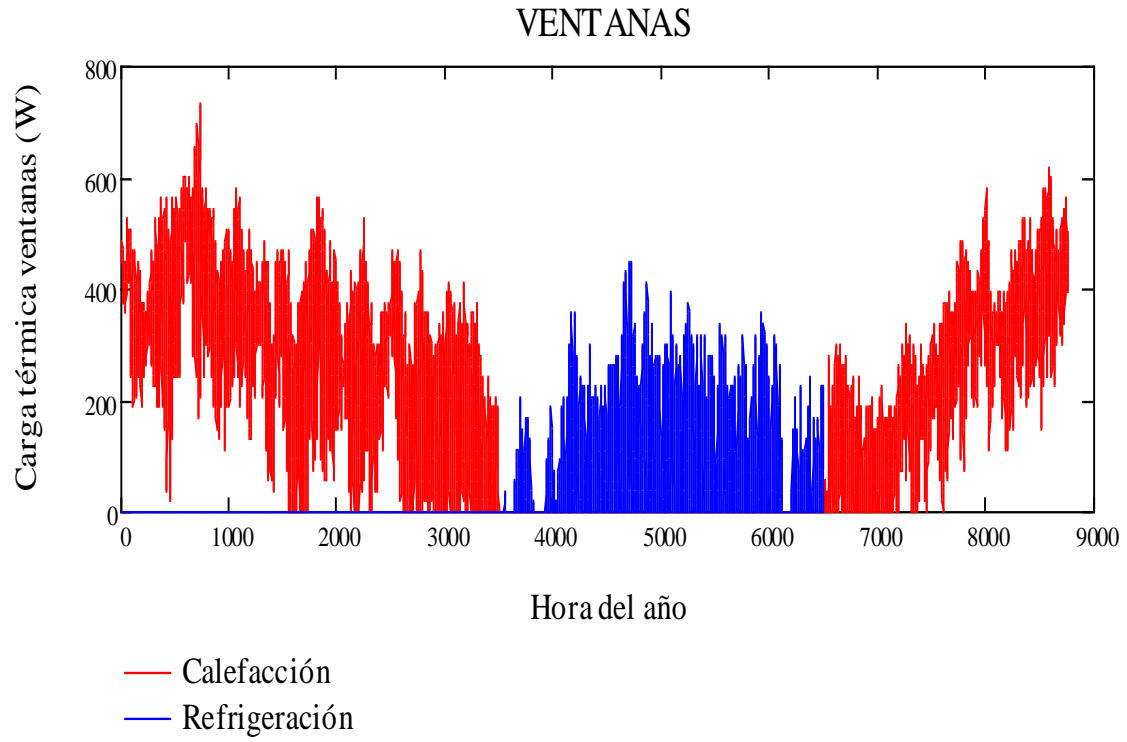


Gráfico 10. Carga térmica a través de ventanas.

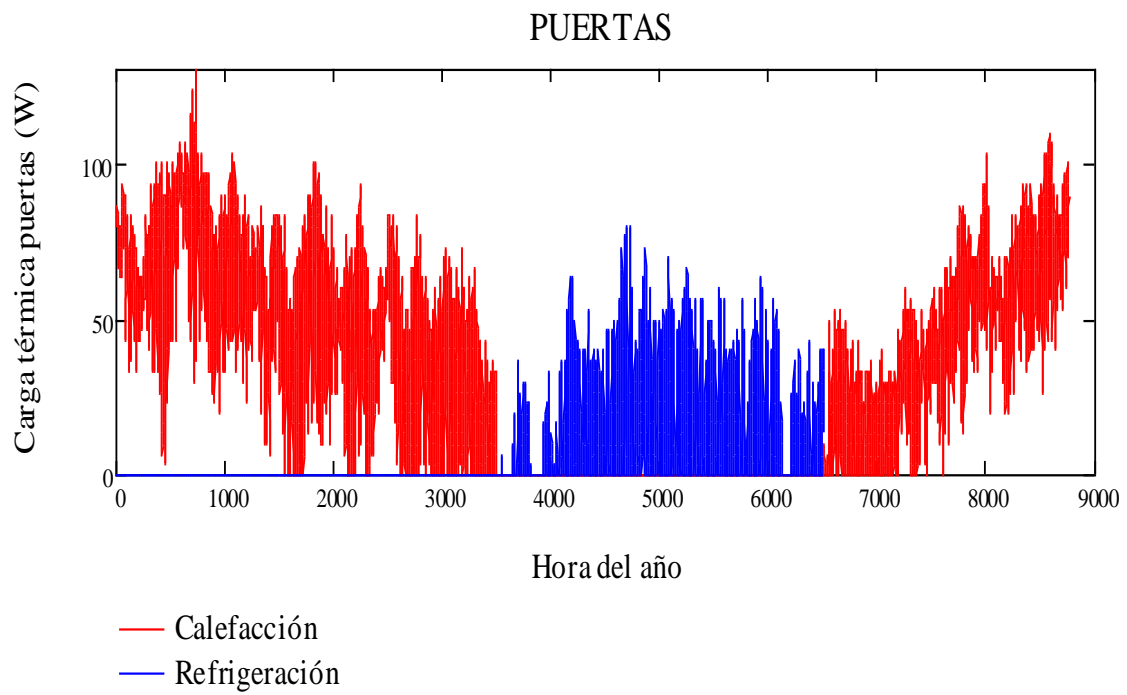


Gráfico 11. Carga térmica a través de puertas.

Las similitudes estructurales en los gráficos de ventanas y puertas se explican de manera análoga a lo comentado anteriormente. Aquí sin embargo influye mucho las menores dimensiones superficiales de estos cerramientos, sobretodo en el caso de las puertas exteriores.

Por tanto, vemos que las cargas por transmisión a través de los diferentes cerramientos comparten la misma estructura a lo largo del año, diferenciándose sólo desde un punto de vista cuantitativo y debido a la diferencia de áreas y coeficientes de transferencia entre dichos cerramientos. Por ejemplo, las pérdidas a través del muro, serán superiores a las pérdidas a través de las ventanas, pues la superficie del muro es mucho mayor.

3.2 Carga debida a ventilación.

Se muestran gráficas para cada tipo de carga, esto es, sensible y latente :

Carga sensible

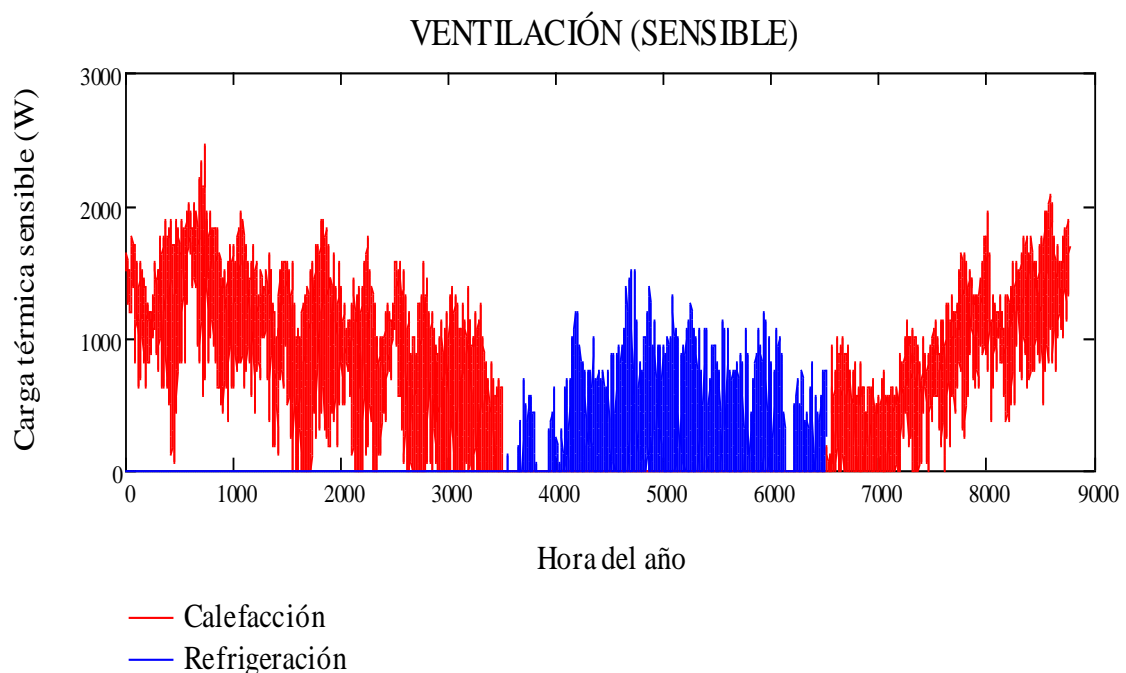


Gráfico 12. Carga térmica sensible de ventilación.

Carga latente

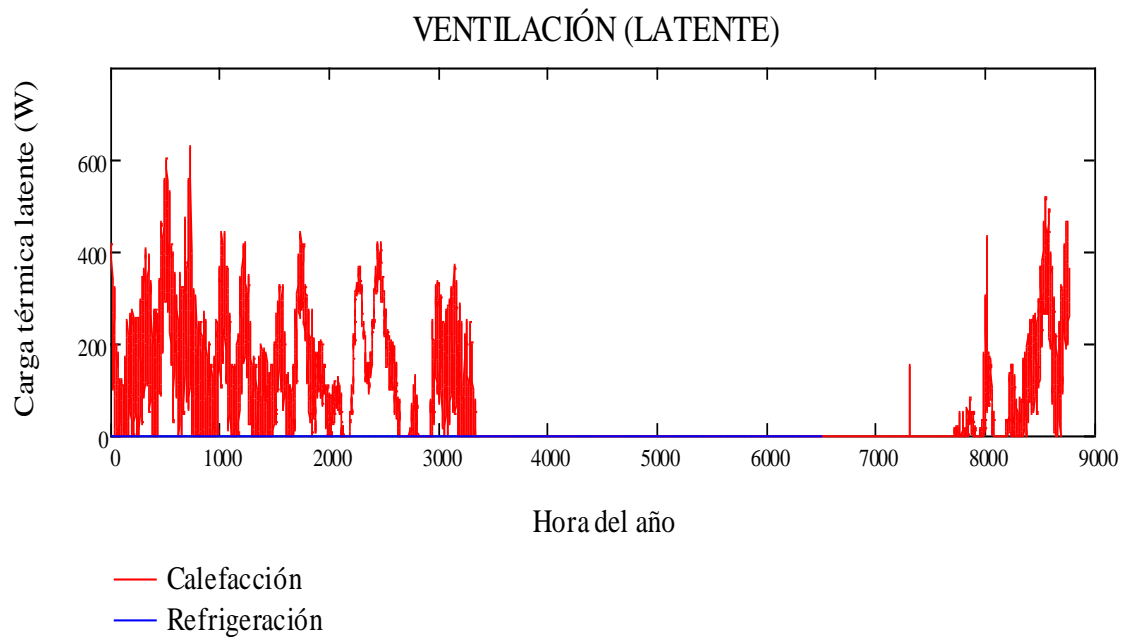


Gráfico 13. Carga térmica latente de ventilación.

La potencia térmica por carga sensible presenta una estructura similar a los gráficos de carga por transmisión como era esperable, puesto que la temperatura del aire de renovación es la temperatura exterior en cada momento.

Por otro lado, en el gráfico de carga latente, se observa la ausencia de carga para el periodo estival. Ello es debido al clima seco característico de Cáceres (Extremadura).

3.3 Carga debida a infiltraciones.

Se muestran gráficas para cada tipo de carga:

Carga sensible

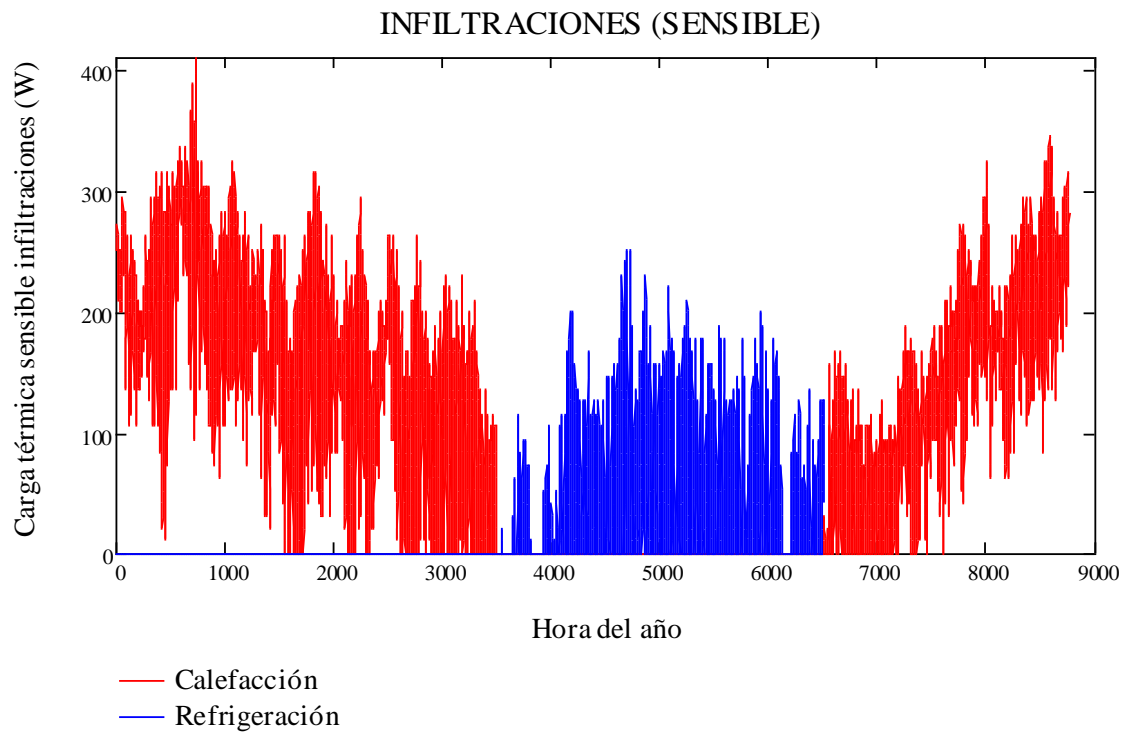


Gráfico 14. Carga térmica sensible por infiltraciones.

Carga latente

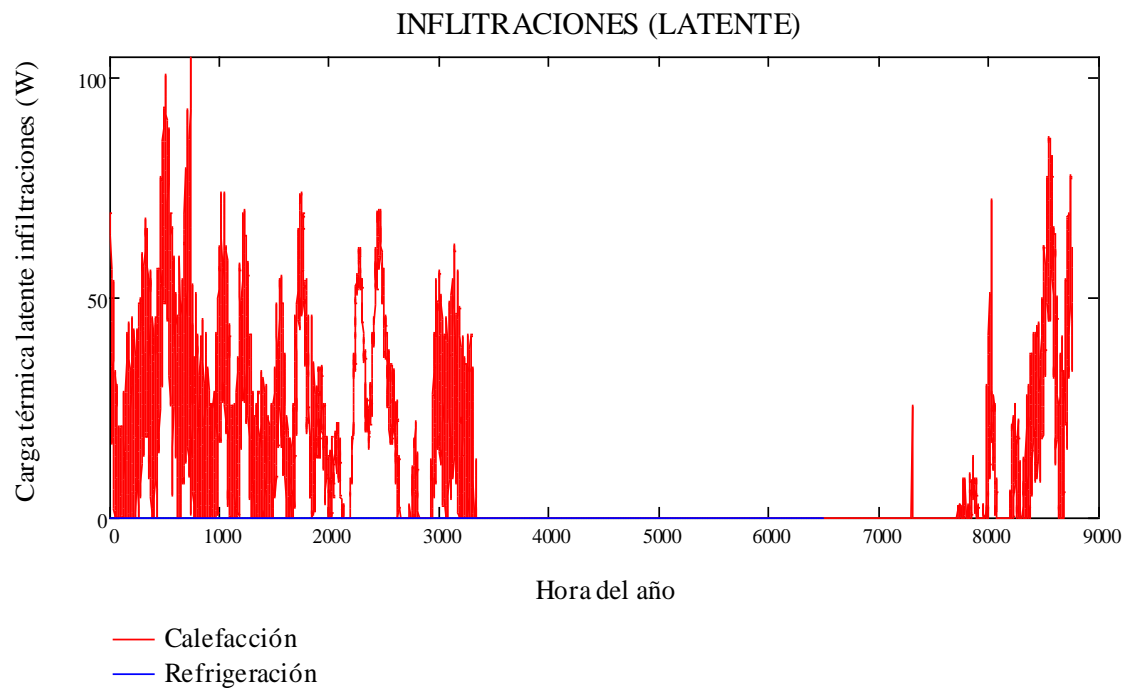


Gráfico 15. Carga térmica latente por infiltraciones.

La estructura y análisis de estos gráficos coinciden con los de ventilación. Tan solo difieren desde un punto de vista cuantitativos, siendo la carga por infiltración de menor valor, puesto que los caudales por infiltración son mucho menores que los de ventilación.

3.4 Carga térmica total.

A continuación se muestra la carga resultante de sumar las cargas mostradas en los gráficos anteriores así como la carga por radiación solar y la carga interna para el periodo estival y la carga por transmisión a través del suelo para el invernol.

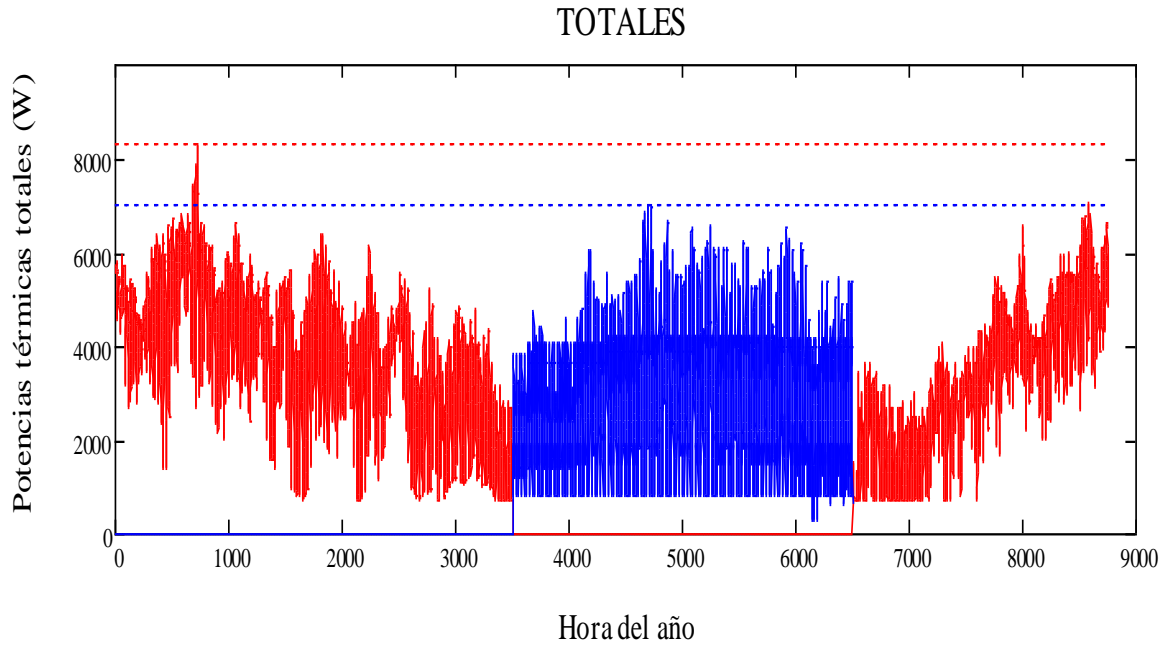


Gráfico 16. Carga térmica total.

En el gráfico podemos ver señalados las cargas térmicas máximas para el periodo de calefacción y refrigeración, cuyos valores son:

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima de calefacción} &= 8,31 \text{ kW} \\ \text{Carga máxima de refrigeración} &= 7,02 \text{ kW} \end{aligned}$$

Gracias al cálculo de estos valores podemos dimensionar la potencia necesaria que deberán tener la caldera a instalar así como el equipo de aire acondicionado. De este modo el equipo climatizador debe garantizar la cobertura de las cargas máximas, tanto en los días más fríos como en los más cálidos.

Por otro lado, con los valores de carga térmica total podemos calcular la energía total que se consumiría por climatizar la casa en ambos periodos:

$$\begin{aligned} \text{Energía total calefacción} &= 20800 \text{ kWh} \\ \text{Energía total refrigeración} &= 8530 \text{ kWh} \end{aligned}$$

3.5 Análisis de sensibilidad del consumo frente a la temperatura de confort.

El consumo energético calculado en el apartado anterior se ha realizado seleccionando unas temperaturas de confort tal que, estando incluidas dentro del intervalo indicado en el RITE, den lugar al mínimo consumo posible, esto es, seleccionando una temperatura de confort lo más elevada posible en verano y lo contrario para el periodo de invierno. Resulta interesante pues comprobar la dependencia del consumo energético con el parámetro de temperatura de confort.

A continuación se presentan dos gráficos, uno para el periodo de calefacción y otro para el de refrigeración, con la energía total consumida en cada periodo como función de la temperatura interior o de confort:

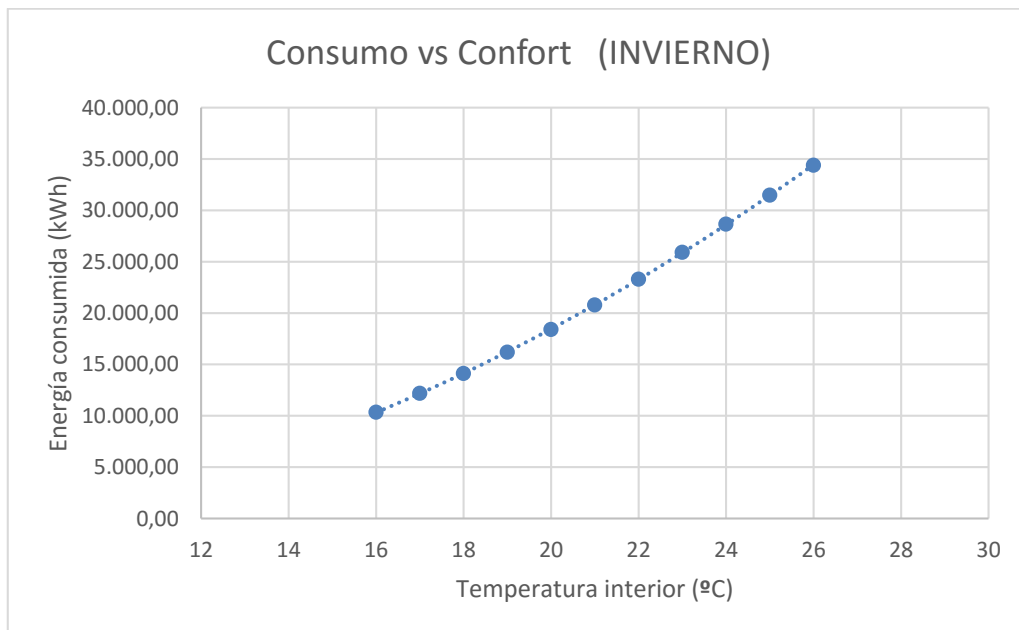


Gráfico 17. Sensibilidad de las condiciones de confort interiores en invierno.

Para el periodo de calefacción, se observa un consumo creciente con la temperatura interior. De este modo, si en lugar de seleccionar 21°C como temperatura de confort en la vivienda, se seleccionan 23°C (límite que indica el RITE), estaremos incrementando el consumo de energía en un 24,5% en este

periodo (pasamos de consumir 20800 kWh a 25900 kWh). Si nos vamos a valores de confort superiores, como 26°C el consumo se dispara. Incrementándose en un 65,4 % respecto a las condiciones del proyecto, 21°C (el consumo pasa a ser de 34400 kWh para calentar el hogar).

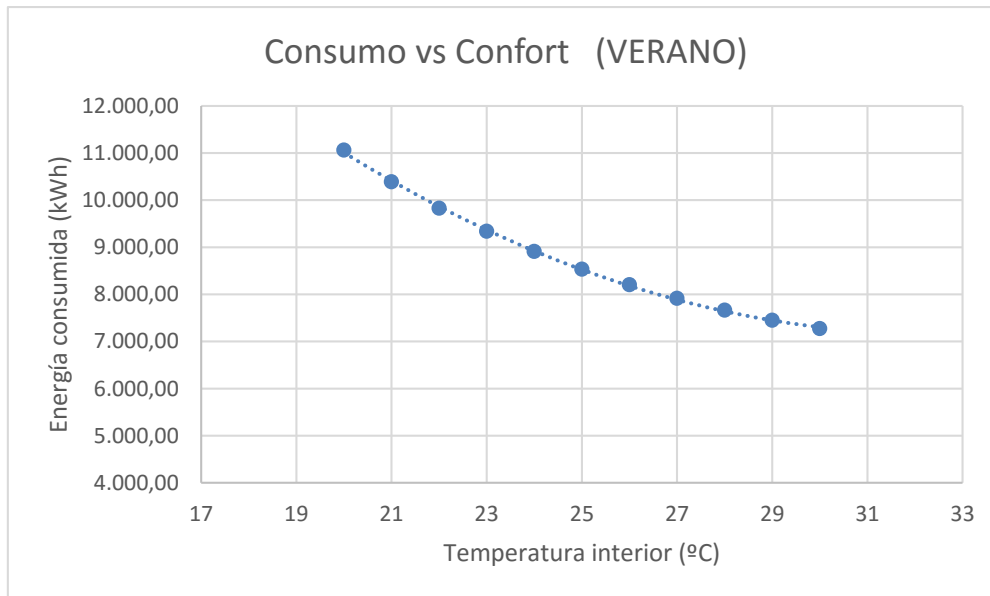


Gráfico 18. Sensibilidad de las condiciones de confort interiores en verano.

En el periodo de refrigeración, se observa como el consumo decrece al aumentar la temperatura de confort, pues las condiciones interiores se van aproximando a las exteriores. Si realizamos un análisis análogo al realizado para el periodo de calefacción, estudiando la variación en el consumo al pasar de una temperatura interior de 25°C a 23°C, el consumo se incrementa en un 9,5% (de 8530 kWh a 9340 kWh) y se incrementaría un 22% (un consumo de 10400 kWh) si se seleccionase una temperatura de 21°C.

La sensibilidad en el periodo de calefacción es mayor debido a que este periodo es más prolongado y la diferencia entre las temperaturas exteriores y de confort son mucho mayores en comparación con el periodo de refrigeración.

Cuarto Capítulo:

Comparación equipos

A continuación se aprovecha los datos obtenidos de la simulación anual de carga térmica para comparar los gastos energéticos y su consecuente generación de gases contaminantes de dos equipos de climatización tanto para el periodo de calefacción (volumen de combustible) como para el de refrigeración (energía eléctrica).

4.1 Equipos para calefacción.

Vamos a comparar el gasto de gas natural de dos calderas, una convencional estanca y otra de condensación, con potencia suficiente para aportar la energía requerida por la vivienda. Las características de dichas calderas se encuentran recogidas en el Anexo II.

Para poder calcular el caudal de combustible que requiere una caldera para abastecer la potencia útil de calefacción, recurrimos a la expresión del rendimiento de una caldera:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{V} \cdot PCI} \cdot 100$$

η - rendimiento (%)

\dot{Q}_u - Potencia útil de calefacción (W)

\dot{V} - Caudal de combustible instantáneo (m^3/s)

PCI – Poder calorífico inferior en base a volumen (J/m^3)

Una diferencia sustancial entre las calderas convencionales y las de condensación, es que las últimas pueden alcanzar rendimientos superiores al 100%. La diferencia es debida al aprovechamiento de la energía del combustible que las alimenta.

La mayoría de los combustibles usuales son compuestos de carbono e hidrógeno, que al arder se combinan con el oxígeno formando dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) respectivamente. El PCI (poder calorífico inferior) es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, sino que se expulsa en forma de vapor. El PCS (poder calorífico superior), en cambio, es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa del combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado; así pues, se contabiliza el calor desprendido en este cambio de fase y, con la misma cantidad de combustible, se genera más calor. Para aprovechar el PCS son necesarias

calderas específicamente diseñadas para ello, son lo que se denomina, calderas de condensación.

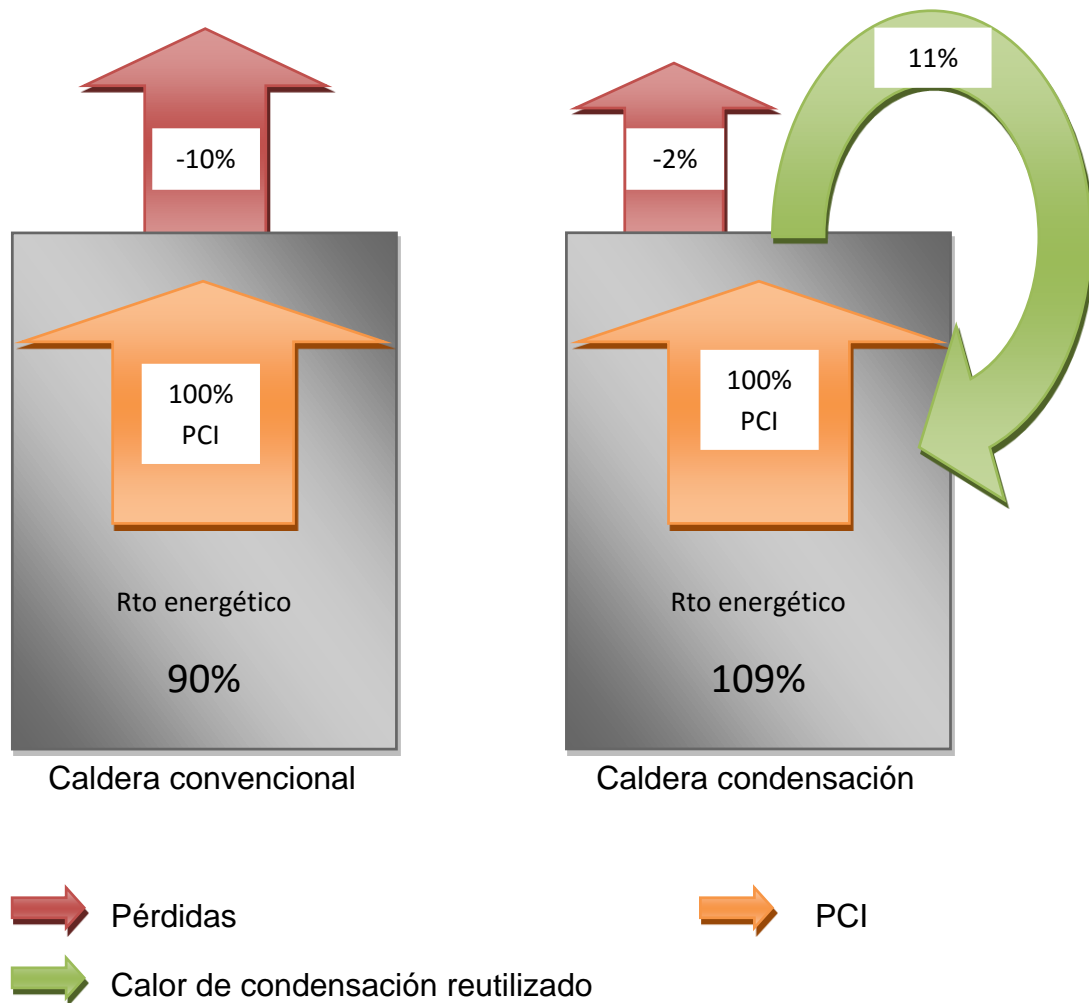


Ilustración 11. Rendimiento convencional VS rendimiento condensación.

Los rendimientos energéticos de las calderas se calculan en base al PCI, es por ello que en las calderas de condensación, al aprovechar la energía de condensación del agua, el rendimiento de la caldera puede rebasar el 100%. Los valores de la ilustración 11 son a modo de ejemplo, los rendimientos pueden variar según los modelos de las calderas.

El PCS del gas natural se expresa normalmente en base a volumen, y es del orden de 42 MJ/Nm^3 , donde la 'N' indica condiciones estándar de presión y temperatura. El PCI de dicho combustible representa aproximadamente el 90% del PCS. Estos valores serán utilizados en el cálculo del gasto de caudal de combustible.

4.1.1 Caldera estanca convencional.

La caldera convencional que vamos a utilizar para los cálculos es una *BerettaCiao* e de 24 kW. Su rendimiento es de 91,8%.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente citadas y reordenando la ecuación del rendimiento, el caudal de gas natural que requiere esta caldera, hora a hora es:

$$\dot{V}_i = \frac{\dot{Q}_i}{\eta_{conv} \cdot PCI_{GN}} \cdot 3600$$

\dot{V}_i - Caudal de combustible para la hora 'i' (m^3/h)

\dot{Q}_i - Potencia útil de calefacción, para la hora 'i' (W)

η_{conv} – rendimiento caldera convencional (*adimensional*)

PCI_{GN} – Poder calorífico inferior del gas natural en base a volumen (J/m^3)

Se multiplica por el factor de conversión de 3600 segundos/hora para pasar de caudal instantáneo a horario. A partir de dicha expresión podemos representar en un gráfico el volumen de combustible consumido durante el periodo de calefacción.

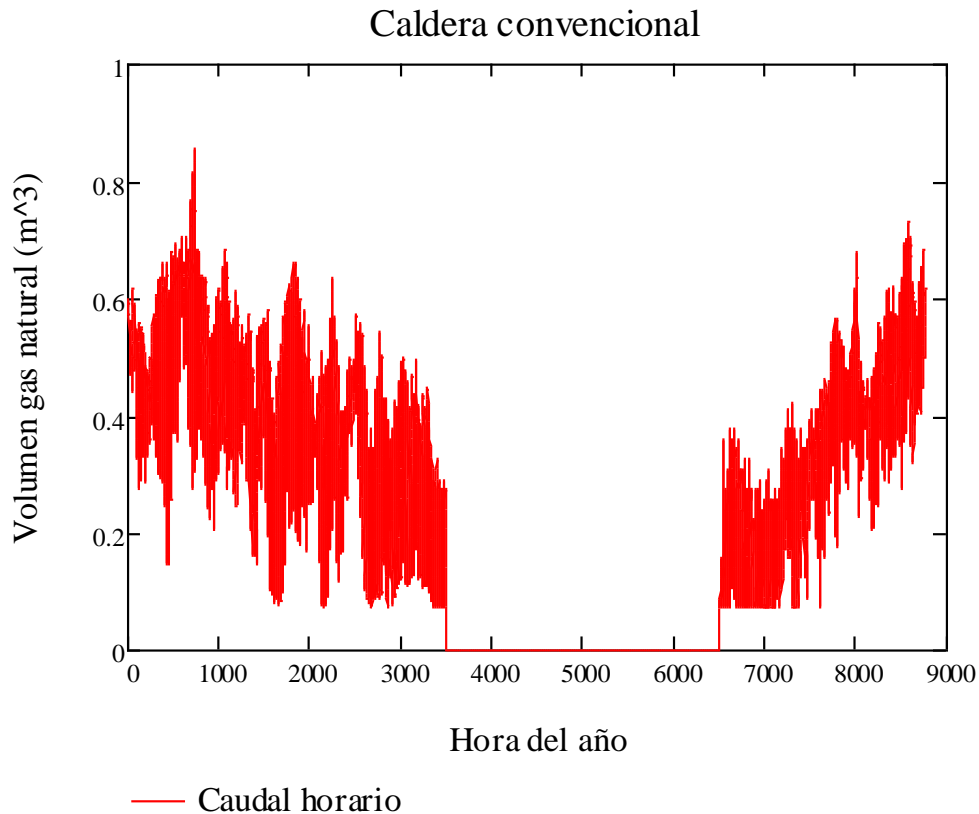


Gráfico 19. Consumo caldera convencional.

Si comparamos este gráfico con el gráfico de carga térmica total, vemos que el gasto de combustible está relacionado con la energía calorífica que demanda el hogar como era de esperar. Las horas más frías del año requerirán un mayor consumo.

A partir de estos datos podemos calcular el volumen total de combustible gastado por la caldera convencional estanca en el periodo de calefacción:

$$\text{Consumo gas natural}_{\text{caldera convencional}} = 2147 \text{ m}^3$$

4.1.2 Caldera de condensación.

La caldera de condensación utilizada para los cálculos es un modelo *ValliantecoTEC plus (sólo calefacción)* de 25kW. Su rendimiento es de 108% La fórmula para obtener el caudal es análoga a la anterior, pero ahora el rendimiento puede superar el 100%.

$$\dot{V}_i = \frac{\dot{Q}_i}{\eta_{cond} \cdot PCI_{GN}} \cdot 3600$$

\dot{V} - Caudal de combustible, para la hora 'i' (m^3/h)

\dot{Q}_i - Potencia útil de calefacción, para la hora 'i' (W)

η_{cond} – rendimiento caldera condensación (*adimensional*)

PCI_{GN} – Poder calorífico inferior del gas natural en base a volumen (J/m^3)

El gráfico con el consumo de gas natural para este tipo de caldera se muestra a continuación

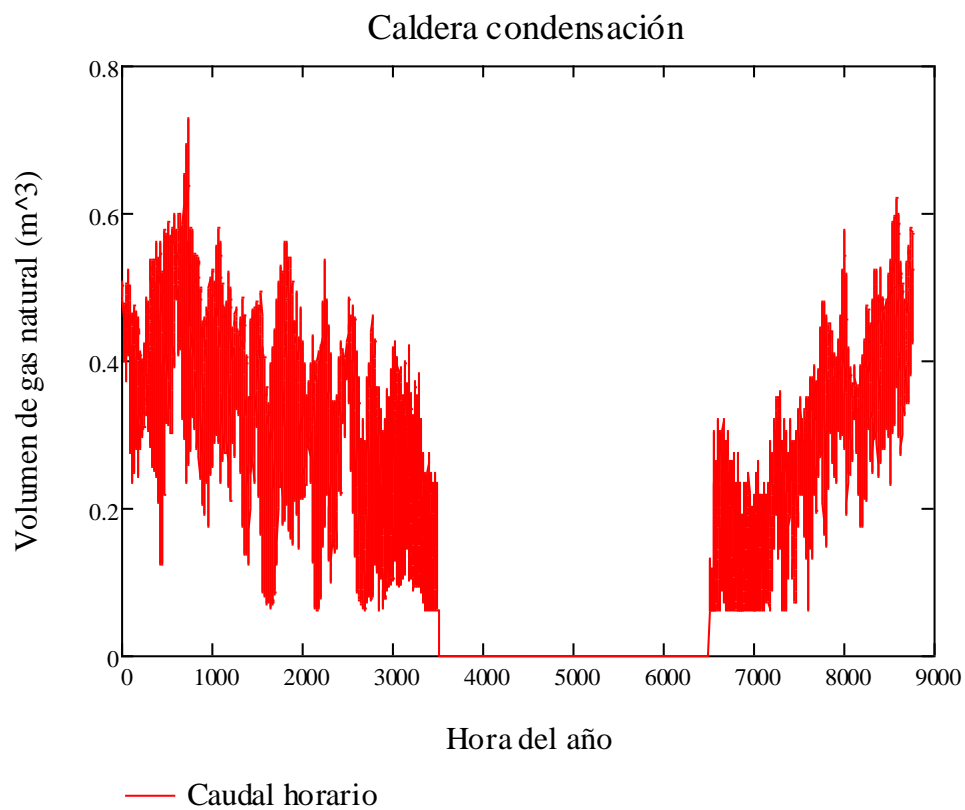


Gráfico 20. Consumo caldera condensación.

Nuevamente el consumo de combustible va a depender de la solicitud de carga térmica en cada hora. A mayor carga, mayor consumo de combustible. Por otro lado, se evidencia un menor consumo para la caldera de condensación en comparación con la habitual, con un consumo total de:

$$\text{Consumo gas natural}_{\text{caldera condensación}} = 1825 \text{ m}^3$$

4.1.3 Conclusiones de la comparativa de equipos para calefacción.

Si tenemos en cuenta que el metro cúbico de este combustible equivale a 11,70 kWh y que el precio de consumo del gas natural es 0,043876 €/kWh (compañía suministradora EDP) podemos calcular el consumo anual para las dos tecnologías estudiadas y compararlas. Asimismo, considerando un factor de emisiones de CO2 de 0,252 kg/kWh también podemos comparar la cantidad de contaminantes generados por cada equipo:

	Volumen gas (m ³)	Equivalencia en kWh	Precio (€)	Emisiones CO2 (kg)
Convencional	2147	25119,9	1.102,17	6.330,21
Condensación	1825	21352,5	936,87	5.380,83

Tabla 14. Comparativa consumos y emisiones calderas.

Los datos de la tabla anterior arrojan un ahorro en consumo y emisiones de un 15% al utilizar una caldera de condensación.

4.2 Equipos para refrigeración.

En este apartado se comparará el consumo de energía eléctrica de dos modelos de máquinas de compresión mecánica que puedan hacer frente a la carga térmica calculada para la vivienda en el periodo de verano. De la misma manera, se realizará una estimación de las emisiones de CO2 en función de los modelos. Las características de ambos se encuentran recogidas en el Anexo III.

Para poder evaluar el consumo de energía de estas máquinas para proporcionar la potencia requerida de refrigeración, nos valdremos del coeficiente de eficiencia energética en el ciclo de refrigeración, que matemáticamente se define como:

$$EER = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{W}_e}$$

EER- Eficiencia energética en el ciclo de refrigeración(*adimensional*)

\dot{Q}_u - Potencia útil de refrigeración (*W*)

\dot{W}_e - Potencia eléctrica consumida en refrigeración(*W*)

El EER, cuyo valor es facilitado por el fabricante, es el cociente entre la potencia útil de refrigeración requerida por la vivienda y la energía eléctrica que demanda el equipo para poder proporcionarla.

Al igual que con la comparativa de calderas, queremos obtener valores horarios de los consumos, por lo que vamos a calcular la energía consumida en cada hora del periodo de refrigeración. Para ello despejamos la variable que nos interesa de la ecuación anterior y en la cual utilizaremos los datos horarios de las potencias térmicas del periodo estival calculados en el Apartado 2 del presente proyecto.

$$E_i = \dot{W}_i \cdot 1 \text{ hr} = \frac{\dot{Q}_i}{EER} \cdot 1 \text{ hr}$$

E_i - Energía eléctrica consumida por el equipo en la hora 'i' (kWh)

\dot{W}_i - Potencia eléctrica consumida por el equipo en la hora 'i' (kW)

\dot{Q}_i - Potencia útil de refrigeración, para la hora 'i' (kW)

EER - Eficiencia energética en el ciclo de refrigeración (adimensional)

4.2.1 Equipo Daikin.

El primer equipo seleccionado para estudiar su consumo es un modelo *Daikin 4MXM80N* con 8kW de capacidad frigorífica nominal, suficientes para abastecer las necesidades de la vivienda. Las características de este modelo están recogidas en el *Anexo III*. A continuación se representan el consumo de electricidad horario requerido por el sistema:

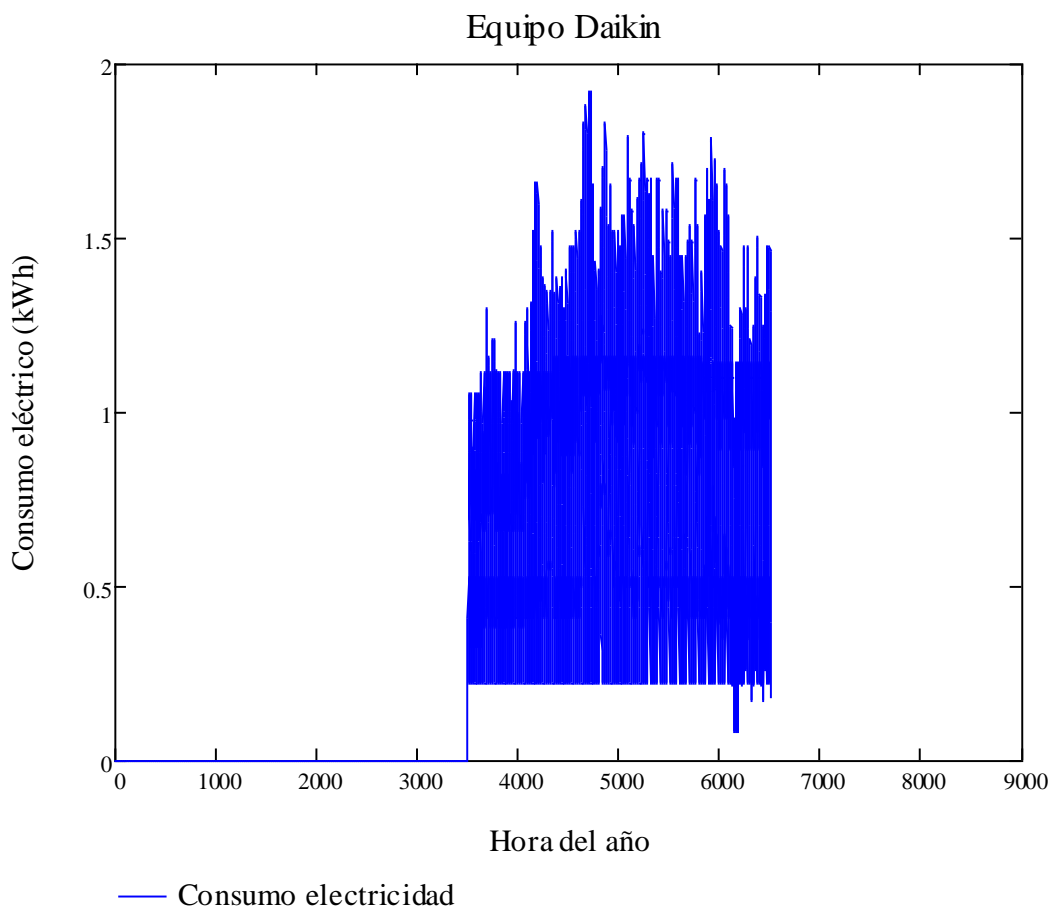


Gráfico 21. Consumo equipo Daikin.

En el gráfico podemos observar como el consumo no va a ser constante a lo largo de todo el periodo estival si no que será más pronunciado cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura exterior de la vivienda y la temperatura de confort. A partir de los datos recabados, se puede hacer un cálculo del consumo eléctrico total en este periodo:

$$\text{Consumo electricidad total}_{\text{equipo Daikin}} = 2338 \text{ kWh}$$

4.2.2 Equipo Mitsubishi

El segundo equipo seleccionado para estudiar el consumo es un modelo *Mitsubishi MXZ-4D83VA* con 8,3kW de capacidad frigorífica nominal, suficientes para abastecer las necesidades de la vivienda. Las características de este modelo están recogidas en el *Anexo III*. A continuación se representan el consumo de electricidad horario requerido por el sistema:

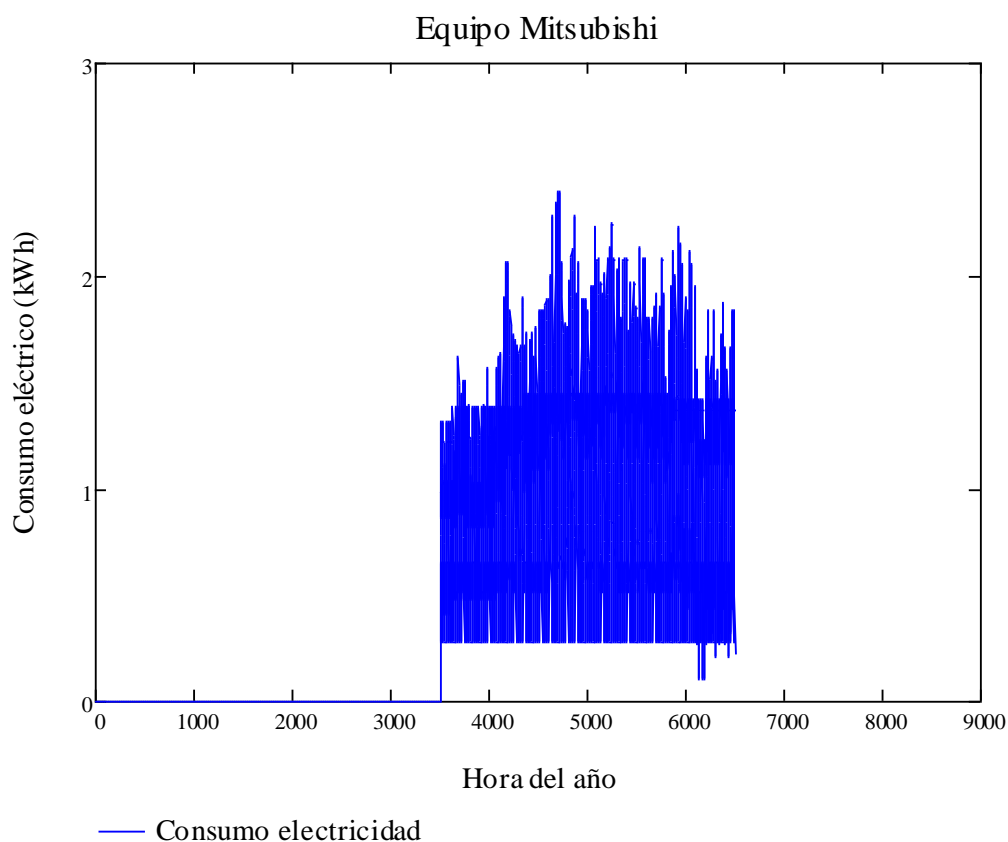


Gráfico 22. Consumo equipo Mitsubishi.

De manera análoga al caso anterior, el equipo necesitará consumir más electricidad durante las horas más calurosas; sin embargo, se observa que este equipo, en comparación con el anterior, va a requerir de un mayor consumo eléctrico para poder aportar la potencia de refrigeración en cada hora exigida por la vivienda. A partir de los datos recabados, se puede hacer un cálculo del consumo eléctrico total de este equipo:

$$\text{Consumo electricidad total}_{\text{equipo Mitsubishi}} = 2912 \text{ kWh}$$

4.2.3 Conclusiones de la comparativa de equipos para refrigeración

Si consideramos un coste de consumo del suministro eléctrico igual a 0,124805 €/kWh (compañía suministradora EDP) y un factor de emisiones de CO2 igual a 0,331 kg CO2/kWh podemos calcular el consumo anual para las dos tecnologías estudiadas así como las emisiones que generan y compararlas:

	kWh electricidad	Precio (€)	Emisiones CO2 (kg)
Daikin	2338	291,79 €	773,88
Mitsubishi	2912	363,43 €	963,87

Tabla 15. Comparativa consumos y emisiones equipos refrigeración.

La comparativa evidencia un exceso de gasto y emisiones del 24,55% al utilizar el modelo Mitsubishi.

La diferencia de consumos entre ambos sistemas estudiados es debida a que el equipo Mitsubishi tiene un EER inferior al modelo de Daikin (2,93 y 3,65 respectivamente).

Quinto capítulo:

CONCLUSIONES

En este apartado se comentan las conclusiones derivadas del presente proyecto.

A partir de estudios de climatización podemos evidenciar cómo las necesidades de confort tienen un impacto en el consumo de energía en la sociedad. Para poder realizar análisis de carga térmica en un edificio, es indispensable la consulta de documentos como el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios así como el Código Técnico de la Edificación. Dichos documentos regulan el consumo de energía de los edificios y ayudan a definir y limitar parámetros para poder realizar los cálculos de los distintos tipos de carga térmica estudiados en este proyecto. También ponen en evidencia la calidad de las barreras estructurales cuya misión es aislar térmicamente lo mejor posible la vivienda. No en vano, hemos comprobado como la cubierta de esta vivienda, incluso ocupando una superficie mucho mayor, está mejor aislada que el muro, luego resulta en un mejor obstáculo para la transferencia de calor.

Resulta muy interesante comprobar cómo el exceso de gasto de energía, y por tanto de generación de gases contaminantes, está también de la mano del consumidor final en su día a día. Por muy bien aislada que esté la vivienda, si las personas que residen en su interior seleccionan condiciones de confort más allá de los valores recomendados, los consumos se disparan de manera innecesaria, con consecuencias para el bolsillo y el medioambiente.

La energía útil de calefacción así como la de refrigeración van a depender de la duración de los periodos correspondientes así como de la severidad de las condiciones exteriores; en nuestro caso, el estudio anual ha demostrado que el periodo de calefacción es más largo y con temperaturas exteriores en general mucho más alejadas de la temperatura de confort interior, resultando en una mayor exigencia de energía en comparación con el periodo de refrigeración. Es por ello que en el estudio de sensibilidad del consumo con respecto a la temperatura de confort, el gasto en calefacción aumentaba considerablemente al alejarnos del punto óptimo de consumo definido de partida (hasta un 65% más si se selecciona una temperatura de 26°C), frente al caso del periodo de refrigeración, menos sensible a las variaciones de temperatura interior, pero no por ello despreciables, observándose incrementos en el consumo de hasta un 22% si los habitantes seleccionan 21°C como temperatura de confort en lugar de 25°C, recomendada y de mínimo consumo dentro de lo estipulado en el RITE.

En cuanto a la comparativa de equipos de climatización, es evidente que el avance tecnológico brinda máquinas más eficientes y por tanto, menos contaminantes. Lo podemos comprobar, en el caso de los equipos de calefacción, en las calderas de condensación; esta tecnología aprovecha el calor latente del vapor de agua de la combustión requiriendo por tanto una menor cantidad de combustible para satisfacer la demanda de aire caliente frente al mayor gasto que requiere la caldera convencional ante las mismas condiciones de demanda. También se ha podido comprobar cómo, frente a dos aparatos pertenecientes a una misma tecnología, como es el caso de las dos máquinas

de compresión mecánica que podrían afrontar la demanda de energía de refrigeración de la vivienda, conviene escoger aquellas con una mayor eficiencia para lograr un mayor ahorro anualmente, desde el punto de vista energético, económico y medioambiental.

Bibliografía

- Prontuario “Energía 2016”. Foro de la Industria Nuclear Española, publicado en junio 2016.
- Informe del Sistema Eléctrico Español 2015, Red Eléctrica de España.
- “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, Proyecto SECH- SPAHOUSTEC, publicado en julio de 2011.
- “Introduction to Heat Transfer” Incropera, Frank P. / DeWitt, David P., 4th edition, Canada 2001.
- “Fundamentos de Termodinámica Técnica” Moran, Michael J./ Shapiro, Howard N., 2^a edición.
- “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)”.
- “Código Técnico de la Edificación (CTE)”.
- Catálogo SGG Climalit, Saint-Gobain Glass España, 2016
- Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, 2009.
- Apuntes de “*Calor y Frío Industrial*”, Universidad Carlos III de Madrid.
- Apuntes de “*Energías Renovables*”, Capítulo Radiación Solar, Universidad Carlos III de Madrid.
- Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España, 2014 - IDAE –
- Guía Técnica de Diseño de centrales de calor eficientes, España, 2010 -IDAE-

Sitios web:

- Comisión Europea: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Energy Plus Weather Data: <https://energyplus.net/weather>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía: <http://www.idae.es/>
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital: <http://www.minetad.gob.es>

ANEXOS

Anexo I: Localización del edificio y propiedades del aire y del agua.

El edificio se encuentra situado en Cáceres capital. Las coordenadas son 39.478, -6.363.

Las propiedades utilizadas para realizar los cálculos de este proyecto han sido:

- Densidad del aire : $\rho_{aire} = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- Calor específico del aire: $Cp_{aire} = 1000 \text{ J/kg K}$
- Calor latente de cambio de fase del agua: $h_{fg} = 2257 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
- Presión atmosférica: $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$

Anexo II: Equipos de calefacción



DATOS TÉCNICOS	u.d.m.	Ciao e 24 C.S.I.
Potencia máxima nominal calefacción / sanitario	kW	25,80
Potencia útil calefacción / sanitario (80°-60°C)	kW	23,94
Potencia mínima útil calefacción / sanitario (80°-60°C)	kW	7,52
Clasificación Directiva Europea 92/42 CEE		***
Rendimiento útil a Potencia nominal máxima	%	92,80
Rendimiento útil con carga parcial 30% (47°C retorno)	%	91,8
Grado de protección eléctrica	IP	X5D
FUNCIONAMIENTO CALEFACCIÓN		
Presión máxima - Temperatura máxima	bar - °C	3 - 90
Presión mínima de funcionamiento	bar	0,25 - 0,45
Bomba: pérdida de carga disponible en instalación	mbar	250
al caudal de	l/h	1000
Capacidad vaso de expansión	l	8
FUNCIONAMIENTO SANITARIO		
Presión máxima - Presión mínima	bar	6 - 0,15
Caudal de agua caliente con Δt 25°C	l/min	13,7
Caudal mínimo de agua sanitaria	l/min	2
Campo de selección de la temperatura agua sanitaria	°C	37 - 60
TUBOS EVACUACIÓN HUMOS Y ASPIRACIÓN AIRE		
Longitud máxima rectilínea - tubos concéntricos \varnothing 60-100	m	4,25
Pérdida de carga por instalación codo adicional 45° C / 90 °C	m	1 / 1,5
Longitud máxima rectilínea - tubos concéntricos \varnothing 80-125	m	12,4
Pérdida de carga por instalación codo adicional 45° C / 90 °C	m	1,35 / 2,2
Longitud máxima rectilínea - tubos separados \varnothing 80	m	16 + 16
Pérdida de carga por instalación codo adicional 45° C / 90 °C	m	1,2 / 1,7
DIMENSIONES, PESO, GAS, COMBUSTIÓN, HOMOLOGACIÓN		
Dimensiones (Alto x Ancho x Fondo)	mm	715 x 405 x 248
Peso	kg	28
Código Producto gas disponible	MTN	20070516
Código Producto gas disponible	GLP	20070521
Clase NOx		3
Homologación CE		0694BT1921

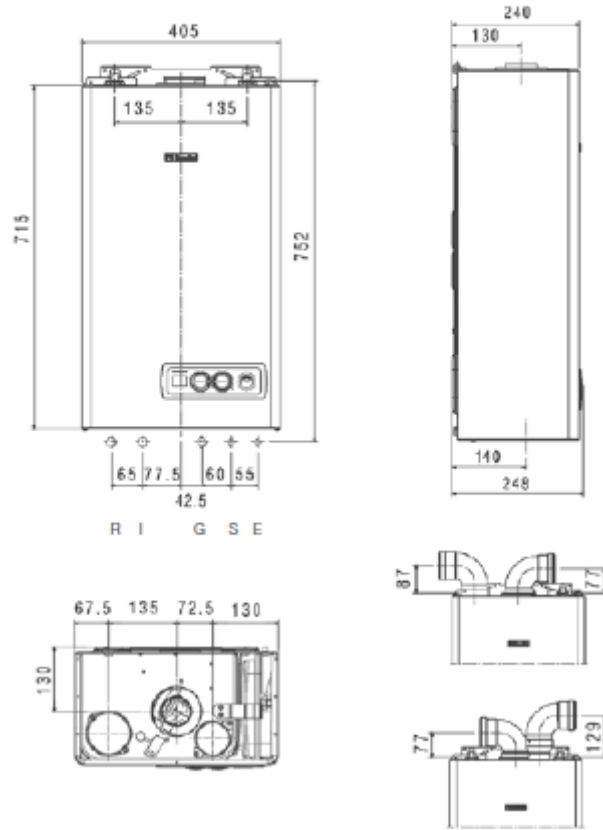
DISEÑOS TÉCNICOS

Leyenda:

CALEFACCIÓN R= Retorno / I= Impulsión

GAS G= GAS

AGUA SANITARIA S= Salida / E= Entrada



Tipo de aparato	Ud.	ecoTEC plus Mixta				ecoTEC plus Sólo calefacción		
		VMW 236/5-5 F	VMW 246/5-5	VMW 306/5-5	VMW 346/5-5	VM 246/5-5	VM 306/5-5	VM 386/5-5
Bomba		Automática 2 velocidades	Modulante Alta eficiencia			Modulante Alta eficiencia		
Sistema de combustión		Neumático	Electrónico aire-gas			Electrónico aire-gas		
Conexiones eléctricas		ProE	ProE			ProE		
Control segunda bomba		Con VR40	Integrado			Integrado		
Sondas para control de ACS		1	2			-		
Rango de potencia útil 80/60°C	kW	5,2-18,5	3,8-20,0	5,8-30,0	5,8-30,0	3,8-20,0	5,8-30,0	6,4-35,0
Rango de potencia útil 60/40°C	kW	5,6-19,1	4,0-20,6	5,6-25,8	6,3-30,9	4,0-20,6	5,6-25,8	6,9-36,1
Rango de potencia útil 50/30°C	kW	5,7-19,9	4,2-21,2	5,7-26,5	6,4-31,8	4,2-21,2	5,7-26,5	7,1-37,1
Rango de potencia útil 40/30°C	kW	5,8-20,0	4,2-21,6	5,8-27,0	6,6-32,4	4,2-21,6	5,8-27,0	7,2-37,8
Rendimiento nominal Q_{min} / Q_{max}	%	98	98	98	98	98	98	98
Rendimiento al 30% de potencia	%	108	108	108	108	108	108	108
Calefacción								
Rango de ajuste de potencias calef.	kW	5-19	4-20	5-25	6-30	4-20	5-25	6-35
Máxima temperatura de ida	°C	85	85	85	85	85	85	85
Rango de ajuste de T° de ida máxima (ajuste de fábrica: 75 °C)	°C	30-80	30-80	30-80	30-80	30-80	30-80	30-80
Presión máxima	bar	3	3	3	3	3	3	3
Volumen del vaso de expansión	L	10	10	10	10	10	10	10
Volumen de agua circulante $\Delta T=20K$	L/h	796	860	1.075	1290	860	1.075	1.505
Presión disponible de la bomba	mbar	250	250	250	250	250	250	250
Agua caliente sanitaria								
Potencia en ACS	kW	23,0	24,0	30,0	34,0	24,0	30,0	38,0
Caudal mínimo	L/min	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	-
Caudal específico $\Delta T=30K$	L/min	11,0	11,5	14,3	16,2	-	-	-
Caudal específico $\Delta T=25K$	L/min	13,2	13,8	17,2	19,4	-	-	-
Presión máxima	bar	10	10	10	10	-	-	-
Presión de conexión	bar	0,35	0,35	0,35	0,35	-	-	-
Rango de temperatura	°C	35-65	35-65	35-65	35-65	40-70	40-70	40-70
Conexiones								
Conexión de gas	mm				15			
Conexión de calefacción	"-mm				$G^{3/4-22}$			
Conexión de ACS	"				$G^{3/4}$			
Conexión de válvula de seguridad	mm				15			
Conexión de desagüe condensados	mm				19			
Conducto de evacuación de humos		60/100 concéntrico, opcional 80/125 (concéntrico) ó 80/80 (excéntrico)						
Conexión de salida de gases	mm	C13, C33, C43, C53, C83, C93, B53P						
Homolog. de la evacuación de gases								
Dimensiones								
Altura	mm	720	720	720	720	720	720	720
Anchura	mm	440	440	440	440	440	440	440
Profundidad	mm	338	338	338	372	338	338	406
Peso de montaje	kg	35	35,5	36,5	39,5	33,5	35,0	41,0
Conexión eléctrica								
Tensión/Frecuencia de alimentación	V/Hz				230/50			
Consumo eléctrico mín./máx.	W	90/105	35/80	35/80	45/95	35/80	35/80	50/115
Consumo eléctrico en stand-by	W	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nivel de protección eléctrica		IPX4D						
Combustión								
Caudal de humos mín. (G31)/máx.	g/s	2,5(3,5)/10,6	1,8(2,4)/11,0	2,5(2,9)/13,8	2,8(4,1)/15,7	1,8(2,4)/15,7	2,5(2,9)/13,8	3,1(4,1)/17,5
Temperatura de humos mín./máx.	°C	40/80	40/70	40/74	40/80	40/70	40/74	40/80
Cantidad aprox. agua condensación en calefacción a 50/30 °C	L/h	1,9	2,0	2,6	3,1	2,0	2,6	3,6
Clase NOx		5						
Homologación	CE	0085CM0321						

Anexo III: Equipos de refrigeración



UNIDADES EXTERIORES MÚLTIPLES				3x1	4x1	4x1	5x1
				3MXM68N* <N!	4MXM68N* <N!	4MXM80N* <N!	5MXM90N* <N!
Capacidad	Refrig.	Nominal	W	6.800	6.800	8.000	9.000
	Calef.			8.600	8.600	8.600	10.000
Consumo	Refrig.	Nominal	W	1.680	1.540	2.190	1.999
	Calef.			1.940	1.790	2.350	1.060
Conexiones de tuberías	Líquido		mm	ø 6,35 x 3	ø 6,35 x 4	ø 6,35 x 4	ø 6,35 x 5
	Gas			ø 9,5 x 1, 12,7 x 2	ø 9,5 x 2, 12,7 x 2	ø 9,5 x 1, 12,7 x 1, 15,4 x 2	ø 9,5 x 2, 12,7 x 1, 15,4 x 2
Refrigerante R-32	kg / TCO ₂ eq / PCA			2,00 / 1,4 / 675	2,00 / 1,4 / 675	2,40 / 1,6 / 675	2,40 / 1,6 / 675
Dimensiones	Alto			734	734	734	734
	Ancho			958	958	958	958
	Fondo			340	340	340	340
Nivel de potencia acústica				61	61	61	64
EER / COP	Refrigeración / Calefacción			4,04 / 4,43	4,41 / 4,80	3,65 / 4,08	4,90 / 5,00
Etiqueta energética	Refrigeración / Calefacción			A / A	A / A	A / A	A / A
SEER / SCOP	Refrigeración / Calefacción			7,57 / 4,24	7,93 / 4,42	7,80 / 4,75	7,77 / 4,66
Etiq. efic. estac.	Refrigeración / Calefacción			A++ / A+	A++ / A+	A++ / A++	A++ / A++
Carga de diseño (Pdesign)	Refrigeración			6,80	6,80	8,00	9,00
	Calefacción (-10°C)			5,30	5,80	6,23	6,46
Ejemplo combinaciones				35 + 35 + 35	20+20+25+25	25+25+35+35	25+25+35+35+35

Unidades Exteriores		2x1			3x1		4x1	
		MXZ-2D33VA	MXZ-2D40VA	MXZ-2D53VA	MXZ-3D54VA	MXZ-3D68VA	MXZ-4D72VA	MXZ-4D83VA
Capacidad	Frío nominal (mín-máx) kW	3,3 (1,1-3,8)	4 (1,1-4,3)	5,3 (1,1-5,6)	5,4 (2,9-6,8)	6,8 (2,9 - 8,4)	7,2 (3,7 - 8,8)	8,3 (3,7 - 9,2)
	Calor nominal (mín-máx) kW	4 (1-4,1)	4,5 (1-4,8)	6,4 (1-7)	7 (2,6-9)	8,6 (2,6 - 10,6)	8,6 (3,4 - 10,7)	9 (3,4 - 11,6)
Consumo Nominal	Frío kW	0,9	0,97	1,54	1,39	2,19	2,25	2,83
	Calor kW	0,96	0,97	1,7	1,59	2,38	2,28	2,42
Coeficiente energético	EER / COP	3,67 / 4,17	4,12 / 4,64	3,44 / 3,76	3,88 / 4,4	3,11 / 3,61	3,2 / 3,77	2,93 / 3,72
	SEER (Clasificación)	5,5 (A)	5,7 (A+)	7,1 (A++)	5,8 (A+)	5,6 (A+)	5,7 (A+)	5,2 (A)
	SCOP (Clasificación)	4,1 (A+)	4,1 (A+)	4,2 (A+)	3,9 (A)	3,9 (A)	3,9 (A)	3,9 (A)
Caudal de aire	m ³ /min	32,90	29,20	32,90	42,1	42,1	42,1	42,1
Nivel sonoro	dB(A)	49,00	49,00	50,00	50,00	50,00	50,00	49,00
Potencia sonora	dB(A)	63,00	63,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00
Dimensiones alto x ancho x fondo	mm	550 x 800(+69) x 285(+59.5)			710 x 840(+30) x 330(+66)		915x900x320(+67)	
Peso	kg	32,00	34,00	37,00	57,00	57,00	58,00	69,00
Tensión / Intensidad Máxima	V / A	230 / 10	230 / 12,2	230 / 12,2	230 / 18	230 / 18	230 / 18	230 / 20,4
Diam. tuberías líquido/gas	mm	6.35x2 / 9.52x2			6.35x3 / 9.52x3		6.35x4 / 12.7x1+9.52x3	
Long. Máx. tubería vert/total	m	10 / 20	15(10)** / 30	15(10)** / 30	15(10)** / 50	15(10)** / 60	15(10)** / 60	15(10)** / 70
Condiciones límite de trabajo	Frío kW	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46
	Calor kW	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24

