



universidad
de león



Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Fin de Grado

Estudio de un sistema de climatización con aerotermia y generación fotovoltaica para autoconsumo en una vivienda unifamiliar

Autora: Verónica González Alonso

Tutora: Ana María Díez Suárez

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial
GRADO EN INGENIERIA ELECTRICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNA: Verónica González Alonso

TUTORA: Ana María Díez Suárez

COTUTOR: Florencio Jesús Cembranos Nistal

TÍTULO: Estudio de un sistema de climatización con aerotermia y generación fotovoltaica para autoconsumo en una vivienda unifamiliar

CONVOCATORIA: JULIO

RESUMEN:

En el panorama mundial actual, se ha observado un creciente interés en el uso de fuentes de energía renovable como una solución a los desafíos ambientales, energéticos y económicos que se presentan. A su vez, el consumo energético en viviendas es responsable de un porcentaje significativo del consumo total de carburantes en nuestro país. En este contexto, las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia son una opción prometedora para reemplazar al gas natural en viviendas residenciales. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y el análisis de datos relevantes, se ha proporcionado una visión integral de los beneficios y desafíos asociados con estos sistemas.

Los resultados del estudio sugieren que la integración de la aerotermia y la fotovoltaica es una opción viable y ofrece beneficios potenciales en términos de reducción de costos y emisiones. Además, se presentan recomendaciones para implementar esta tecnología en proyectos futuros, enfatizando la necesidad de investigar y mejorar la eficiencia y rentabilidad de estas tecnologías.

Los resultados obtenidos se resumen en la instalación de 10 placas solares fotovoltaicas, una potencia instalada de 5 KW, una bomba de calor de 8KW y un acumulador de agua caliente sanitaria de 193L. El coste total de la instalación es de 20.505,10 €

La amortización económica de una instalación de estas características estaría entre 19 y 21 años, ya que depende tanto de la potencia instalada como del uso que se haga de la energía. Por lo que, tras la amortización de la inversión inicial, el ahorro en la factura eléctrica es muy notable. Además, existen líneas de ayuda y beneficios fiscales que ayudan a amortizar aún más rápido la instalación.

ABSTRACT:

Palabras clave:

Espacio habitable: Espacio acondicionado formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo energético.

Superficie útil: Espacio interior habitable utilizado para llevar a cabo actividades específicas delimitado por el perímetro definido por la cara interior de los cerramientos de un edificio.

Clima de referencia: Clima normalizado que define los parámetros climáticos (temperatura, radiación solar, humedad) representativos de una zona climática concreta para el cálculo de la demanda energética.

Carga interna: Conjunto de solicitaciones generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de las fuentes internas (ocupantes, equipos eléctricos, iluminación, etc.). Se expresa en W/m^2 .

Perfiles de uso: Descripción horaria de las cargas internas en un año tipo.

Periodo de utilización: Tiempo característico de utilización de un espacio habitable o del edificio. A efectos de la definición de perfiles de uso se establecen periodos de utilización tipo de 8h, 12h, 16h y 24h. Para edificios de uso residencial privado se establece un periodo de utilización de 24.

Temperatura de consigna: Temperatura o rango de temperaturas consideradas en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

Condiciones operacionales: Conjunto de temperaturas de consigna definidas para un espacio habitable acondicionado. Está compuesto por un conjunto de temperaturas de consigna, que definen la temperatura de activación de los equipos de calefacción (consigna baja) y de refrigeración (consigna alta).

Número de horas fuera de consigna: Número de horas a lo largo del año en el que cualquiera de los espacios habitables acondicionados del edificio, o en su caso, parte del edificio, se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a $1^{\circ}C$, definido en sus condiciones operacionales.

Coefficiente U o Transmitancia térmica: Transferencia térmica a través de una pared por conducción, convección y radiación. Cuanto más bajo sea el coeficiente U más difícil será transmitir el flujo de calor entre el interior y exterior, por tanto, más capacidad aislante tendrá.

Energía final: Energía suministrada a los sistemas de los edificios para su uso y consumo. Este suministro puede provenir de diferentes fuentes, como combustibles fósiles (por ejemplo, gas natural) o de la generación de electricidad in situ. Estas fuentes de energía se conocen como vectores energéticos. Es importante tener en cuenta que la cantidad de energía final medida en el punto de consumo de un edificio o parcela puede ser menor que la energía inicialmente extraída de la naturaleza, que se conoce como energía primaria. Esto se debe a las pérdidas que ocurren en los procesos intermedios de transformación, transporte y distribución de la energía.

Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiación solar global: Suma de todos los tipos de radiación.

Radiación solar global media diaria anual: es la energía procedente del sol que llega a una determinada superficie, tomando el valor anual como suma de valores medios diarios.

A.C.S: Agua caliente sanitaria.

Firma del alumno:	VºBº Tutor/es:

1	INTRODUCCIÓN	11
2	CONTEXTO ENERGÉTICO EUROPEO Y EN ESPAÑA	12
3	ESTADO DEL ARTE.....	14
4	OBJETIVOS	16
5	METODOLOGÍA	18
6	NORMATIVA	20
7	CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS BOMBAS DE CALOR AIRE-AGUA	23
7.1	FUNCIONAMIENTO.....	24
7.2	RENDIMIENTO Y EFICIENCIA	27
7.3	CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES AEROTERMIA	29
8	DISPOSITIVOS EMISORES	31
9	CONCEPTOS BÁSICOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	35
9.1	TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	35
9.2	MODALIDADES DE AUTOCONSUMO	36
9.3	COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	37
10	APLICACIÓN DEL DB-HE DE AHORRO DE ENERGÍA DEL CTE	38
11	DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.....	47
11.1	LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	48
11.2	ORIENTACIÓN.....	49
11.3	SITUACIÓN Y ZONA CLIMÁTICA	51
11.4	DATOS DE RADIACIÓN SOLAR.....	52
12	CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE3X	53
12.1	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS COMPONENTES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA	54
12.2	ANÁLISIS DE OBSTRUCCIONES SOLARES REMOTAS EXISTENTES EN EL ENTORNO.....	65
13	PARÁMETROS DE CÁLCULO DE CLIMATIZACIÓN	72
13.1	SOLICITACIONES EXTERIORES	73
13.2	SOLICITACIONES INTERIORES	75
14	ANÁLISIS DE LAS CARGAS TÉRMICAS EN LA VIVIENDA.....	79
14.1	CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN.....	81
14.2	CARGAS TERMICAS DE REFRIGERACIÓN	86
15	DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA.....	92
16	ANÁLISIS DE CONSUMOS ELÉCTRICOS DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON AEROTERMIA.....	95
16.1	CONSUMO ELÉCTRICO DOMÉSTICO Y PREVISIÓN DE LAS CARGAS	96
16.2	CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA ACS.....	98
16.3	CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA CLIMATIZACIÓN	101
16.4	CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL DE LA VIVIENDA	103
17	ANÁLISIS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ÓPTIMO	104

17.1	PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	106
17.2	DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	110
17.3	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	116
18	ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN	117
18.1	CONSUMO ACTUAL DE LA VIVIENDA.....	117
18.2	CONSUMO FUTURO DE LA VIVIENDA	118
18.3	AMORTIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	119
19	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
20	BIBLIOGRAFÍA.....	123
21	ANEXOS.....	125
21.1	ANEXO I: CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS	125
21.2	ANEXO II: CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE3X.....	130
21.3	ANEXO III: PRESUPUESTO	134
21.4	ANEXO IV: CATÁLOGOS	138

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 7.2 Diagrama P-h del ciclo de compresión simple etapa. Fuente: (López Romero, 2021)	25
Ilustración 7.3 Diagrama P-h del ciclo de compresión de doble etapa. Fuente: (López Romero, 2021)	26
Ilustración 7.4 Sistema monobloc. (Fuente: Gasfriocalor).....	29
Ilustración 7.5 Sistema bibloc. (Fuente: Gasfriocalor).....	30
Ilustración 8.1 Suelo radiante.....	31
Ilustración 8.2 Techo radiante.....	32
Ilustración 8.3 Ventiloaductor o fan- coil	32
Ilustración 8.4 Radiadores de baja temperatura	33
Ilustración 8.5 Radiadores convencionales	33
Ilustración 8.6 Micro ventiladores	34
Ilustración 9.1 Esquema de conexión a red de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo. Fuente: (IDAE y ENERAGEN, 2023).....	35
Ilustración 11.1 Fachada de la vivienda. Fuente: Google maps.	47
Ilustración 11.2 Plano de la planta acondicionada de la vivienda (Fuente propia)	47
Ilustración 11.3 Emplazamiento parcela. (Fuente: Catastro)	48
Ilustración 11.4 Orientaciones de las Fachadas Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía CTE	49
Ilustración 12.1 Composición del muro de fachada. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X).....	55
Ilustración 12.2 Composición de la cubierta. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)	55
Ilustración 12.3 Composición del muro de medianería. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X).....	56
Ilustración 12.4 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (falso techo habitaciones). (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X).....	56
Ilustración 12.5 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (suelo cocina y baños). (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)	57
Ilustración 12.6 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (suelo salón y habitaciones). (Fase de introducción componentes de la envolvente térmica en CE3X)	57
Ilustración 12.7 Edificios circundantes que proyectan sombras sobre la vivienda	65
Ilustración 12.8 Sombra de edificio circundante sobre la vivienda.....	66
Ilustración 12.9 Plano exportado de Google Earth a Autocad para el cálculo de los ángulos de inclinación y elevación reales	67
Ilustración 12.10 Patrón de obstáculos remotos de la vivienda. (Creación perfil de sombras en CE3X)	68
Ilustración 12.11 Patrón de obstáculos remotos de la vivienda (Creación perfil de sombras en CE3X)	70
Ilustración 14.1 Diagrama psicrométrico para las condiciones de temperatura establecidas....	88
Ilustración 15.1 Bomba de calor Genia Air Max 8. Fuente: Saunier Duval.....	93
Ilustración 17.1 Ubicación de los módulos fotovoltaicos	105
Ilustración 17.2 Representación gráfica de la Inclinación y acimut de un módulo fotovoltaico	107
Ilustración 17.3 Gráfica de irradiancia solar	107
Ilustración 17.4 Irradiación solar mensual en Av. San Andrés nº20 en el año 2020, con el ángulo de inclinación, 25°, y con el ángulo óptimo para esa ubicación, 37°	108
Ilustración 17.5 Panel Solar Vertex.....	112
Ilustración 17.6 Inversor solar Sofar 3.6KTLM- Monofásico	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 10.2 Contribución solar mínima en %.....	41
Tabla 10.3 Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS por bombas de calor en función de las fuentes energéticas y la zona climática	43
Tabla 10.4 Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación y la temperatura de ensayo del COP	43
Tabla 10.5 COP nominal mínimo de las bombas de calor aerotérmicas en la zona climática E para consideración renovable a diferentes temperaturas de condensación.....	44
Tabla 10.6 Factores de emisión de CO ₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.....	45
Tabla 10.7 Comparación de consumos de energía final, primaria no renovable y emisiones de CO ₂ en diferentes instalaciones para la misma demanda de ACS	46
Tabla 11.1 Superficie útil de los espacios acondicionados de la vivienda.....	48
Tabla 11.2 Orientación de las fachadas de la vivienda	49
Tabla 11.3 Temperatura media mensual en León en 2020.(Fuente: PVGIS).....	51
Tabla 12.1 Transmitancia térmica de los muros de fachada U (W/m ² K) por defecto. (Fuente: IDAE).....	54
Tabla 12.2 Transmitancia térmica de los cerramientos que componen la envolvente térmica de la vivienda calculada a través de la creación de cerramientos en CE3X.....	58
Tabla 12.3 Porcentaje de huecos en las fachadas de la vivienda.....	60
Tabla 12.4 Transmitancia térmica de los huecos (W/m ² ·K) del edificio de referencia en función de la zona climática de invierno.....	60
Tabla 12.5 Transmitancia térmica del hueco en función del material del vidrio y del marco para un porcentaje de marco del 30%. (IDAE, 2019)	61
Tabla 12.6 Factor solar de diferentes tipos de vidrio (g ⊥).....	62
Tabla 12.7 Absortividad del marco (α)	63
Tabla 12.8 Factor de sombra para obstáculos de fachada (Fs): Retranqueo	63
Tabla 12.9 Cálculo de los ángulos de inclinación y azimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al sur	68
Tabla 12.10 Coordenadas de inclinación y acimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al Sur.....	69
Tabla 12.11 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo. (IDAE, 2011).....	69
Tabla 12.12 Pérdidas por sombras sobre la cubierta Sur	69
Tabla 12.13 Cálculo de los ángulos de inclinación y azimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al Suroeste.....	70
Tabla 12.14 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo. (IDAE, 2011).....	70
Tabla 12.15 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo. (IDAE, 2011).....	71
Tabla 12.14 Pérdidas por sombras sobre la cubierta Suroeste	71
Tabla 13.1 Condiciones climáticas exteriores de proyecto para la provincia de León. (IDAE, 2010)	73

Tabla 13.2 Temperatura operativa y humedad relativa.....	75
Tabla 13.3 Condiciones operacionales de espacios acondicionados en uso residencial privado 77	
Tabla 13.4 Perfil de uso de espacios en uso residencial privado.....	77
Tabla 13.5 Perfil de uso de ACS de espacios en uso residencial privado.....	78
Tabla 14.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.	82
Tabla 14.2 Caudal de admisión en los locales secos.....	83
Tabla 14.3 Caudal de extracción en los locales húmedos	83
Tabla 14.4 Caudal de admisión equilibrado en los locales secos.....	84
Tabla 14.5 Máximas aportaciones solares R(W/m ²) para diferentes latitudes y orientaciones	87
Tabla 14.6 Datos psicrométricos del aire con las condiciones de temperatura establecidas.....	89
Tabla 14.7 Emisiones de calor sensible y latente de las personas en función de su actividad Fuente: UNE-EN ISO 8996 y Alberto Viti Corsi.....	89
Tabla 14.8 Potencia máxima de calefacción y refrigeración calculadas en el Anexo I.....	91
Tabla 15.1 Características de la bomba de calor en función de las temperaturas seleccionadas (Fuente: ficha técnica).....	94
Tabla 15.2 Indicadores de eficiencia de la bomba de calor Genia Air Max (Fuente: ficha técnica)	94
Tabla 16.1 Previsión de cargas con aerotermia y consumo doméstico en la vivienda.....	96
Tabla 16.2 Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado	98
Tabla 16.3 Demanda diaria y mensual de ACS en la vivienda (L/mes).....	98
Tabla 16.4 Demanda diaria y mensual de ACS en la vivienda (KWh).....	99
Tabla 16.5 Cálculo del consumo de calefacción por el método de los Grados día	102
Tabla 16.6 Consumo eléctrico total de la vivienda	103
Tabla 17.1 Pérdidas máximas admitidas para la ubicación de módulos fotovoltaicos por orientación e inclinación y sombras.	106
Tabla 17.2 Pérdidas por orientación e inclinación y sombras	109
Tabla 17.3 Irradiación global solar mensual y HSP con una inclinación de los módulos de 25°, para la ubicación seleccionada. (Fuente: PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial) 110	
Tabla 17.4 Estimación del número de módulos necesarios en cada mes en función de la demanda mensual y las horas de sol pico para la inclinación de 25°	111
Tabla 17.5 Características técnicas del módulo fotovoltaico (valores para condiciones estándar STC: irradiancia de 1000W/m ² y temperatura de la célula 25°).....	112
Tabla 17.6 Características técnicas del módulo fotovoltaico	112
Tabla 17.7 Características técnicas del inversor	114
Tabla 17.8 Resultados de la simulación de la producción anual fotovoltaica. (Fuente: PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial).....	116
Tabla 17.9 Producción de energía mensual del sistema FV fijo	116
Tabla 18.1 Consumo de ACS y calefacción con caldera de gas (antes de la intervención)....	117
Tabla 18.2 Estimación de la producción de excedentes fotovoltaicos (valores negativos) y energía comprada a la red (valores positivos).....	118

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a un creciente interés en el uso de tecnologías renovables en el sector energético residencial. Las energías renovables, como la solar, la eólica y la hidráulica, han experimentado avances significativos en términos de eficiencia y reducción de costos, lo que ha permitido que más personas adopten sistemas de generación de energía limpia en sus hogares. En este contexto, la aerotermia y la energía solar fotovoltaica destacan como dos tecnologías renovables ampliamente utilizadas en el ámbito residencial.

La aerotermia es una tecnología que aprovecha la energía térmica presente en el aire para proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios. Estos sistemas, basados en bombas de calor, ofrecen una eficiencia notablemente superior a otros equipos convencionales, lo que contribuye a mejorar la eficiencia energética global de los hogares. Por otro lado, la energía solar fotovoltaica permite convertir la radiación solar en electricidad de manera directa, gracias a la instalación de paneles solares en los tejados o terrenos cercanos. Esta tecnología ha experimentado avances significativos en los últimos años, lo que ha llevado a una mayor eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad y a una reducción notable de los costos de instalación.

La combinación de la aerotermia y la energía solar fotovoltaica ofrece una solución completa y sostenible para la generación y el consumo de energía en los hogares. Al aprovechar la energía térmica del aire y la radiación solar, se logra una mayor autonomía energética y se reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables. Además, la sincronización entre la producción solar y las necesidades de calefacción o refrigeración puede optimizarse, maximizando así el uso de energía limpia y minimizando los excedentes energéticos.

En este trabajo de fin de grado, se ha realizado un estudio exhaustivo sobre la aerotermia y la energía solar fotovoltaica en una vivienda unifamiliar, analizando sus beneficios, eficiencia y viabilidad económica. Se presentarán los resultados de este estudio y se discutirán las implicaciones de la implementación de estas tecnologías renovables en el contexto energético actual. Además, se plantearán recomendaciones para futuros proyectos, enfocados en mejorar la eficiencia y rentabilidad de estas tecnologías, y se resaltarán las políticas y regulaciones energéticas europeas y en España que respaldan la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

2 CONTEXTO ENERGÉTICO EUROPEO Y EN ESPAÑA

En los últimos años, la aerotermia y la fotovoltaica han ganado protagonismo como soluciones eficientes y sostenibles en el sector energético europeo y español. Estas tecnologías se enmarcan en un contexto histórico marcado por la búsqueda de alternativas a los combustibles fósiles y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La aerotermia, como sistema de climatización y producción de agua caliente sanitaria, ha experimentado un crecimiento significativo en Europa y España en los últimos años. Este avance se ha visto impulsado por los esfuerzos de los gobiernos y las instituciones para promover la eficiencia energética en los edificios.

Por su parte, la energía fotovoltaica ha presenciado una revolución en las últimas décadas. Gracias a los avances tecnológicos y la reducción de los costos, la instalación de paneles solares fotovoltaicos se ha vuelto más accesible y rentable. La energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad, permitiendo generar energía limpia y renovable. Esta tecnología se ha convertido en una de las principales fuentes de energía renovable en Europa y España, impulsada por políticas de apoyo y la concienciación sobre la importancia de la transición hacia un sistema energético más sostenible.

En el contexto europeo, la Unión Europea ha establecido objetivos ambiciosos para la reducción de emisiones y el aumento del uso de energías renovables. El Pacto Verde Europeo, presentado en 2019, también conocido como Green Deal, tiene como objetivo lograr la neutralidad climática para 2050 y transformar el sistema energético hacia fuentes limpias y renovables. La aerotermia y la energía fotovoltaica se consideran tecnologías clave en esta transición, ya que contribuyen a la descarbonización de los sectores de climatización y generación de electricidad.

En España, la promoción de las energías renovables ha sido una prioridad en los últimos años. El país cuenta con un excelente potencial solar y eólico, lo que ha impulsado especialmente el crecimiento de la energía fotovoltaica y eólica. Además, se han implementado políticas y regulaciones que fomentan la instalación de sistemas de energías renovables en los edificios, como la aerotermia, mediante incentivos y ayudas económicas. Estas medidas buscan no solo reducir la dependencia de los combustibles fósiles, sino también fomentar la creación de empleo y promover la innovación en el sector energético.

En resumen, la aerotermia y la fotovoltaica se encuentran en un contexto energético europeo y español marcado por la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero,

mejorar la eficiencia energética y promover la transición hacia un sistema energético más sostenible. Estas tecnologías desempeñan un papel fundamental en la consecución de estos objetivos, proporcionando soluciones limpias y eficientes para la climatización de edificios y la generación de electricidad.

3 ESTADO DEL ARTE

En el estado del arte, se observa una clara tendencia hacia la incorporación de sistemas de energía renovable en los edificios, tanto en construcciones nuevas como en proyectos de rehabilitación. Esto se refleja en la normativa vigente, como el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en España, que establece la necesidad de cubrir parte de las necesidades energéticas térmicas mediante sistemas de aprovechamiento de energía renovable.

A nivel europeo, el Marco Estratégico de Energía y Clima establece una hoja de ruta para la transición energética, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover las energías renovables y la eficiencia energética. Este marco está compuesto por documentos clave como la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 y la Estrategia de Transición Justa. Estas medidas estructurales analizan los desafíos y oportunidades en diferentes sectores y tecnologías, proporcionando acciones concretas para promover la transición energética.

España también cuenta con una Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 90% para el año 2050. Además, se han desarrollado hojas de ruta específicas para el fomento del autoconsumo energético, la gestión sostenible de materias primas minerales, el almacenamiento energético y la planificación de la red de transporte de energía eléctrica.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España, presentado en respuesta a la pandemia del COVID-19, busca impulsar la recuperación económica y promover la transformación hacia un modelo más sostenible y digital. Este plan incluye una agenda de inversiones y reformas estructurales, con el objetivo de avanzar hacia una economía más verde, digital, cohesionada y equitativa.

En el contexto de la energía solar fotovoltaica, se destaca su evolución tecnológica, que ha llevado a una reducción significativa de los costos y un aumento en la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad. Esto ha contribuido a su creciente adopción en el sector energético.

En resumen, el estado del arte muestra una clara orientación hacia la incorporación de sistemas de energía renovable en los edificios, como la aerotermia y la energía solar fotovoltaica. Esto se refleja en la normativa y estrategias energéticas a nivel europeo y español, que buscan promover la transición hacia un modelo energético más sostenible y

reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Los avances tecnológicos y la reducción de costos han contribuido al crecimiento y desarrollo de estas tecnologías en el contexto actual.

4 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es diseñar e integrar de manera eficiente un sistema de generación térmico y eléctrico para aplicaciones residenciales, centrándose en la implementación de una instalación híbrida que combine tecnología fotovoltaica y una bomba de calor aire-agua. El propósito es satisfacer de forma integrada y sostenible la demanda energética de una vivienda unifamiliar, abarcando tanto la demanda eléctrica como la térmica.

En este proyecto, se persigue un objetivo ecológico al maximizar el autoconsumo de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Esto tiene como resultado una reducción en la dependencia de fuentes convencionales de energía y una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al aprovechar las horas de mayor producción eléctrica renovable, se busca optimizar el funcionamiento de la bomba de calor, minimizando su consumo de energía y aumentando su eficiencia en la climatización de la vivienda.

El propósito principal del proyecto es garantizar la producción de electricidad suficiente para cubrir la demanda durante la mayor cantidad de meses. Se busca evitar la necesidad de utilizar energía de la red eléctrica externa. Además, se pretende minimizar la generación de excedentes durante los meses de alta captación de energía solar. Debido a la elección de un sistema de autoconsumo específico, se prioriza evitar la generación excesiva de energía, ya que solo se podrá compensar hasta el límite máximo de energía consumida de la red en el proceso de compensación.

Asimismo, se busca alcanzar un objetivo económico al reducir la inversión necesaria para la puesta en marcha de la instalación y lograr ahorros significativos en la factura energética a largo plazo. Para lograrlo, se realiza un diseño adecuado del sistema, teniendo en cuenta las características del edificio, la demanda energética y los patrones de consumo, con el fin de obtener un equilibrio óptimo entre el rendimiento y la rentabilidad.

Además, este trabajo proporciona recomendaciones prácticas y técnicas para la implementación exitosa de instalaciones híbridas en viviendas unifamiliares. Estas recomendaciones abarcan aspectos clave como el diseño del sistema, la selección de equipos y tecnologías apropiadas, y la optimización del funcionamiento general. Con esto, se busca facilitar y guiar a propietarios de viviendas interesados en adoptar soluciones energéticas sostenibles y eficientes.

En resumen, este estudio tiene como objetivo avanzar en el conocimiento científico y técnico

sobre la viabilidad y las ventajas de la integración de la aerotermia y la fotovoltaica en el ámbito residencial. Además, busca proporcionar información relevante y recomendaciones prácticas para la implementación exitosa de estos sistemas, promoviendo así el uso responsable de los recursos energéticos, fomentando la autosuficiencia energética y contribuyendo a la transición hacia una sociedad más sostenible.

5 METODOLOGÍA

En el presente estudio, se llevará a cabo una metodología exhaustiva para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica y aerotérmica en una vivienda unifamiliar. El objetivo principal es estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas del edificio y evaluar las prestaciones de las máquinas en condiciones de trabajo específicas. A continuación, se describen los pasos clave de la metodología:

- **Recopilación de datos:** Se recopilará información detallada sobre el edificio, incluyendo su geometría, materiales de construcción, aislamiento, características de las ventanas, sistemas de calefacción y refrigeración, y cualquier otro dato relevante. Además, se obtendrán datos climáticos históricos para la ubicación del edificio, como temperaturas exteriores, humedad relativa y radiación solar.
- **Análisis de la demanda energética:** Se realizará un estudio detallado de los consumos eléctricos y térmicos de la vivienda en diferentes momentos del año, considerando los patrones de uso de los equipos y dispositivos que demandan energía. También se tendrán en cuenta las características del clima y las condiciones de aislamiento térmico del edificio para determinar la demanda energética de calefacción y refrigeración.
- **Cálculo de la potencia necesaria:** Una vez conocido el consumo eléctrico, se determinará la potencia necesaria de la instalación fotovoltaica y aerotérmica. Paralelo, se utilizarán programas de cálculo especializados que toman en cuenta factores como la ubicación geográfica, la inclinación del techo, la orientación de la vivienda, entre otros.
- **Selección de los equipos:** En función de la potencia necesaria, se seleccionarán los paneles solares y la bomba de calor adecuados para la vivienda. Es importante elegir equipos de calidad y eficientes para garantizar un rendimiento óptimo y una larga vida útil.
- **Diseño de la instalación:** Una vez seleccionados los equipos, se realizará el diseño de la instalación teniendo en cuenta la ubicación de los paneles solares y la bomba de calor, así como la disposición de los conductos y las tuberías. Se buscará garantizar una instalación eficiente y segura.
- **Cálculo de la rentabilidad:** Se realizará un análisis de la rentabilidad de la instalación, considerando el costo de los equipos, la energía generada, el ahorro en la factura de energía eléctrica, entre otros factores. Se tendrá en cuenta la vida útil de los equipos y el retorno de la inversión a largo plazo.

Además de los pasos mencionados anteriormente, en el proceso de dimensionamiento de una

instalación fotovoltaica y aerotérmica en una vivienda unifamiliar, se realiza la certificación energética de la vivienda. Esto implica evaluar su eficiencia energética y asignarle una etiqueta energética que indica su nivel de eficiencia. Esta certificación proporciona información valiosa para identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas sobre eficiencia energética y el dimensionamiento de los sistemas renovables.

En conclusión, la metodología propuesta permitirá dimensionar adecuadamente una instalación fotovoltaica y aerotérmica en una vivienda unifamiliar, teniendo en cuenta las características del edificio, la demanda energética y los criterios de eficiencia y rentabilidad.

6 NORMATIVA

- **Directiva 2009/28/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- **Directiva 2010/31/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- **Directiva 2012/27/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE.
- **Directiva (UE) 2018/2001** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- **Directiva (UE) 2018/844** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- **Ley 54/1997**, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. es una legislación que establece las normas para la generación, transporte, distribución y venta de energía eléctrica, tanto a nivel nacional como internacional. También regula la gestión económica y técnica del sistema eléctrico.
- **Real Decreto 842/2002**, del 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, sustituyendo al anterior de 1973.
- **Real Decreto 314/2006**, del 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, encargado de legislar la normativa del ahorro energético en el sector residencial.
- **Real Decreto 1027/2007**, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- **Real Decreto 1565/2010**, del 19 de noviembre por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- **Real Decreto-Ley 9/2013**, que establece el régimen jurídico de la producción de energía

eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos.

- **Real Decreto 235/2013**, que establece las condiciones técnicas y de seguridad en instalaciones de climatización y producción de agua caliente sanitaria mediante energías renovables.
- **Orden FOM/1635/2013**, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, establece que las instalaciones de autoconsumo conectadas en baja tensión se ejecutarán de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas complementarias (ITC-BT)
- **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
- **Real Decreto-ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, por el que se elimina el famoso peaje de respaldo.
- **Real Decreto 732/2019**, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- **Real Decreto 1183/2020**, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
- **Decreto-ley 4/2020**, de 18 de junio, de impulso y simplificación de la actividad administrativa para el fomento de la reactivación productiva en Castilla y León.
- **Ley 7/2021**, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.
- **Real Decreto-Ley 19/2021 y Real Decreto 853/2021** destinados a impulsar la actividad de rehabilitación edificatoria
- **Real Decreto 178/2021**, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

- **Real Decreto 390/2021**, del 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- **Real Decreto 477/2021**, del 29 de junio, para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial
- **Real Decreto-ley 29/2021**, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables.
- **Real Decreto 450/2022**, de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación de 2006, es la última modificación del reglamento aprobada y publicada en el BOE.
- **Real Decreto-Ley/2022**, de 1 de agosto, de medidas de sostenibilidad económica en el ámbito del transporte, en materia de becas y ayudas al estudio, así como medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural.

7 CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS BOMBAS DE CALOR AIRE-AGUA

7.1 FUNCIONAMIENTO

La bomba de calor que se utilizará en este estudio tiene dos funciones principales: proporcionar calefacción a través de un sistema de radiadores convencionales y calentar agua para uso doméstico.

En este tipo de bombas se utiliza el aire del entorno como una fuente de energía para transferirla a un circuito de agua o refrigerante obteniendo una alta eficiencia. La potencia de la bomba dependerá principalmente del tipo de compresor utilizado.

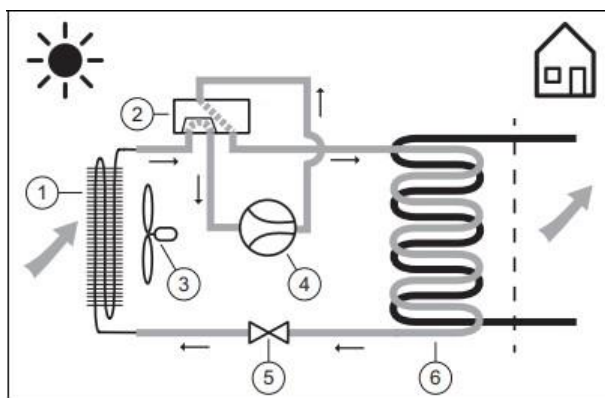


Ilustración 7.1 Esquema de una bomba de calor aire-agua en modo calefacción.
Fuente: (Saunier Duval, 2022)

Nota: 1Evaporador, 2Válvula de inversión de 4 vías, 3 Ventilador, 4 Compresor, 5Válvula de expansión, 6Condensador

El ciclo de la bomba de calor consta de cuatro procesos:

- **Compresión:** El fluido refrigerante llega en estado gaseoso al compresor, aumentando su presión y su temperatura, y, por tanto, su entalpía (cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno) de forma que sea posible el cambio de estado de vapor a líquido con cesión de calor.
- **Condensación:** El condensador es un intercambiador de calor. El fluido refrigerante caliente se enfría en el condensador, pasando de estado gaseoso a líquido al ceder calor al ambiente circundante.
- **Expansión:** El fluido a presión se somete a una reducción de presión isoentálpica mediante una válvula de expansión, lo que provoca una disminución de temperatura del fluido antes de entrar al evaporador.

- **Evaporación:** El fluido refrigerante se evapora en este otro intercambiador absorbiendo calor de la fuente fría y reiniciando el ciclo al convertirse nuevamente en gas en el compresor.

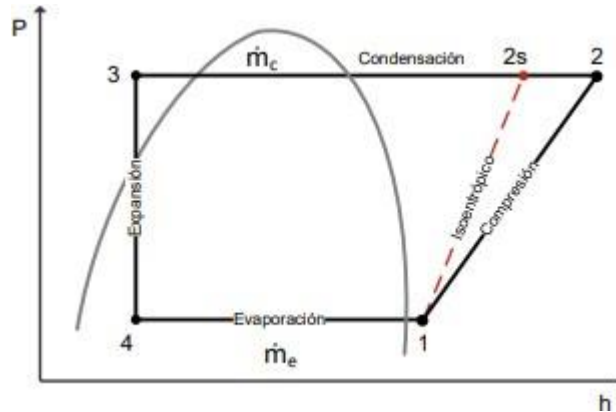


Ilustración 7.1 Diagrama P-h del ciclo de compresión simple etapa. Fuente: (López Romero, 2021)

En la actualidad las bombas de calor utilizan la tecnología “*inverter*” basada en la incorporación de un sistema de variación de frecuencia en el motor del compresor. De esta manera, el compresor puede funcionar a una potencia más alta o baja según las demandas del local. Cuando el compresor trabaja a potencias más bajas, el caudal del refrigerante suministrado será menor. Este método de control de frecuencia reduce el desgaste del compresor, ya que se reduce la cantidad de veces que se detiene y se pone en funcionamiento en comparación con el sistema tradicional.

No obstante, cuando se opera con temperaturas de evaporación bajas (en climas fríos) y temperaturas de condensación altas (para la producción de ACS a alta temperatura), el rendimiento de las bombas de calor de una sola etapa se ve afectado negativamente. En estas condiciones, el compresor funciona a altas relaciones de presión, lo que resulta en una disminución de su eficiencia. Como resultado, tanto el coeficiente de rendimiento (COP) como la capacidad de calefacción de la bomba de calor se reducen.

Para superar las limitaciones del ciclo de compresión de una sola etapa existe la solución de compresión de doble etapa con inyección de vapor.

Se utilizan dos etapas de compresión, una de alta presión y otra de baja presión, con una inyección de vapor entre ellas. Al inyectar vapor, el refrigerante reduce su temperatura sin perder presión, lo que implica que el compresor requiere menos energía para comprimir este fluido en la segunda etapa.

Como resultado, se logra una mayor eficiencia en estos ciclos mejorando la capacidad calorífica y el COP de las bombas que trabajan en climas fríos.

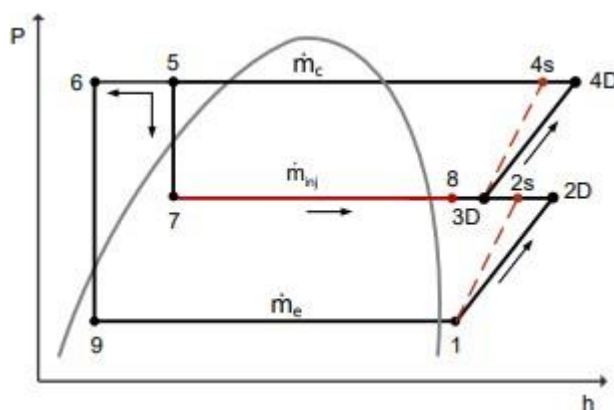


Ilustración 7.2 Diagrama P-h del ciclo de compresión de doble etapa.
Fuente: (López Romero, 2021)

Los compresores utilizados en este sistema son del tipo scroll de alta eficiencia y velocidad variable, controlados por un DC inverter. Estos compresores están diseñados para mejorar la eficiencia del ciclo refrigerante en condiciones de temperatura ambiente muy baja.

Mientras que una aerotermia convencional suele tener un rango de temperatura de suministro de agua de hasta unos 55°C-60°C, una aerotermia de alta temperatura puede suministrar agua caliente a temperaturas de hasta 80°C-85°C, lo que la hace más adecuada para sistemas de calefacción de alta temperatura, como radiadores convencionales.

Además, este tipo de aerotermia trabaja con gases refrigerantes con temperaturas críticas altas, como el R290 y R407C, que mejoran la capacidad de la bomba para generar calor a temperaturas más elevadas. Una ventaja de estos refrigerantes es su bajo PCA (Potencial Calentamiento de la Atmósfera), que reduce el impacto ambiental con respecto a los refrigerantes convencionales como el R32 o R410A.

7.2 RENDIMIENTO Y EFICIENCIA

Cabe destacar que la bomba de calor es el equipo con el mejor aprovechamiento sobre la energía primaria en comparación con otros sistemas de calefacción. La eficiencia de una bomba de calor se establece mediante 3 indicadores:

-COP o Coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción. Es el cociente entre la potencia térmica instantánea proporcionada y la potencia eléctrica instantánea absorbida por la bomba a una temperatura de impulsión determinada, a una temperatura exterior específica y a la parcialización de potencia indicada por el fabricante.

$$\text{COP} = \frac{\text{Potencia calorífica aportada (kW)}}{\text{Potencia eléctrica absorbida (kW)}} \quad (7.1)$$

Cuando el sistema funciona en modo de refrigeración, se utiliza el valor EER (Efficiency Energy Ratio) para medir el rendimiento.

-SCOP o Coeficiente de rendimiento estacional. Es el cociente entre la energía total aportada y la total consumida. Se calcula para la demanda de calefacción anual de referencia, determinada en unas condiciones climáticas específicas. Se calcula dividiéndola demanda anual de calefacción de referencia entre el consumo anual de electricidad para calefacción. Por tanto, a diferencia del COP, el SCOP se basa en el uso “real” del equipoya que permite medir el consumo a diferentes cargas parciales.

$$\text{SCOP} = \frac{\text{Demanda anual de calefacción (kWh)}}{\text{Consumo anual de energía (kWh)}} \quad (7.2)$$

-Eta-s, η_s o Coeficiente de rendimiento estacional de energía primaria. Rendimiento estacional corregido referido a la energía primaria consumida, en lugar de la energía final, en tanto por ciento.

El rendimiento estacional Eta-s es altamente preciso y riguroso al evaluar la eficiencia energética de distintos sistemas de calefacción. Su enfoque se basa en el uso de correcciones para la energía primaria y considera el impacto de la energía renovable en la red eléctrica al

comparar rendimientos. Esto lo convierte en la herramienta más precisa para identificar el equipo con la mejor eficiencia energética entre todas las tecnologías de calefacción disponibles.

En el sector, este criterio es ampliamente adoptado, y una muestra de ello es que Eurovent Certita Certification (ECC), un organismo acreditado de certificación ha reemplazado sus referencias para la calificación energética de los equipos. Anteriormente se basaban en los coeficientes COP y EER, pero ahora se basan en los valores de $\eta_{s,h}$ y $\eta_{s,c}$ (SCOP y SEER), en línea con la legislación europea de Ecodiseño.

7.3 CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES AEROTERMIA

-Sistema monoblock: Una bomba de calor monobloc tiene todos los componentes esenciales, como el compresor, el condensador, el evaporador y la válvula de expansión, contenidos en una sola unidad ubicada en el exterior del edificio. Esta unidad se conecta al sistema de calefacción o refrigeración interno mediante tuberías o conductos.

La característica principal de esta configuración es que las dos unidades principales del sistema se instalan dentro del módulo exterior, tanto el compresor como el dispositivo hidráulico. Además, se instalará un depósito de ACS en el interior de la vivienda. La ventaja frente a las bibloc es su menor tamaño y coste. Por lo tanto, será la elegida en la mayoría de las viviendas unifamiliares estándar.

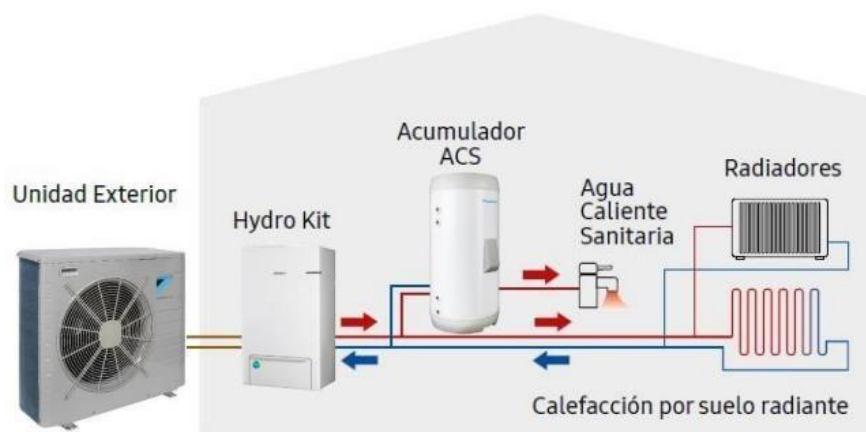


Ilustración 7.3 Sistema monobloc. (Fuente: Gasfriocalor)

-Sistema biblock: Una bomba de calor bibloc consta de dos unidades separadas: una unidad exterior y una unidad interior. La unidad exterior contiene el compresor y el condensador, mientras que la unidad interior alberga el evaporador y la válvula de expansión. Estas dos unidades están conectadas por medio de tuberías a través de las cuales se transfieren el refrigerante y el calor. Las bombas de calor bibloc permiten una mayor flexibilidad en términos de ubicación y ofrecen un mayor rendimiento energético, ya que las pérdidas de calor en el proceso de transferencia son menores debido a la proximidad de las unidades. Además, se están incorporando sistemas de almacenamiento de agua caliente sanitaria (ACS) dentro del propio hydro kit, fusionando la bomba de calor y el acumulador, lo que posibilita la climatización completa de una vivienda con un único equipo.



Ilustración 7.4 Sistema bibloc. (Fuente: Gasfriocalor)

8 DISPOSITIVOS EMISORES

Los emisores térmicos son los encargados de distribuir y transferir el calor generado por la bomba de calor hacia el ambiente en el interior de la vivienda.

La adaptabilidad de la bomba de calor para funcionar con una variedad de emisores térmicos permite su implementación en diferentes configuraciones, sin embargo, la selección adecuada de un emisor térmico específico determinará la eficiencia global del sistema y su capacidad para lograr una transferencia de calor óptima.

En este apartado, exploraremos las distintas opciones de emisores térmicos disponibles, analizando sus características, ventajas y desventajas, así como su compatibilidad con la bomba de calor. Al comprender mejor las opciones disponibles y sus implicaciones energéticas, estaremos en condiciones de tomar decisiones informadas para optimizar la climatización de nuestra vivienda y promover el ahorro energético.

- **Suelo radiante**



Ilustración 0.1 Suelo radiante

El suelo radiante destaca como el emisor de calor más adecuado para su uso en conjunto con una bomba de calor debido a que opera a temperaturas de 30-35°C, lo cual resulta en un rendimiento energético elevado. Además, en verano es capaz de enfriar el ambiente haciendo circular agua más fría por las tuberías del suelo (suelo refrescante).

El suelo radiante brinda una distribución más uniforme de calor o frío a través de la radiación. Esto se debe a que el sistema de tuberías se extiende por toda la superficie de la habitación. Al elevarse el calor desde el suelo y estar más equitativamente distribuido, se experimenta una sensación de confort considerablemente mayor en comparación con otros dispositivos emisores.

Además, reduce la circulación de polvo y alérgenos, ahorra espacio al estar instalado debajo del suelo y requiere poco mantenimiento.

En regiones con alta humedad, la mejor opción para el enfriamiento es utilizar fan-coils en lugar de suelos radiantes refrescantes. Esto se debe a que, en áreas húmedas, los suelos

radiantes refrescantes, al emitir frío, pueden producir condensación y dar lugar a la acumulación de charcos de agua.

- **Techo radiante**



Ilustración 0.2 Techo radiante

El sistema de climatización por techo radiante consiste en la instalación de tuberías de agua caliente o fría en el falso techo.

La instalación es más económica que el suelo radiante e ideal para rehabilitaciones ya que no requiere obras tan grandes. Sin embargo, en modo calefacción, este sistema no distribuye el calor de manera óptima en techos muy altos y puede generar acumulación de calor en el techo ya que el aire caliente tiende a ascender. En cuanto a confort, lo óptimo sería calefacción por suelo radiante y refrigeración por techo radiante.

- **Ventiloconductores**



Ilustración 0.3 Ventiloconductor o fan- coil

Los fan-coils son capaces de proporcionar rápidamente la temperatura deseada en una habitación debido a su funcionamiento basado en la transferencia de temperatura agua-aire. Esto los hace ideales para situaciones en las que se requiere una climatización rápida y eficiente.

Al proporcionar un control individualizado, es posible evitar el calentamiento o enfriamiento innecesario de habitaciones desocupadas, lo que ayuda a reducir el consumo de energía.

Además, la combinación de fan-coils con otros emisores puede proporcionar flexibilidad, control selectivo, climatización rápida y mejor confort térmico en una instalación.

- **Radiadores de baja temperatura**



Ilustración 0.4 Radiadores de baja temperatura

Los radiadores de baja temperatura se diferencian de los radiadores convencionales en que están diseñados para operar a temperaturas más bajas, típicamente entre 35°C y 55°C. Esto tiene varios beneficios, ya que no solo reduce el consumo de energía, sino que también mejora la eficiencia en el intercambio de calor. Al operar a temperaturas más bajas, la superficie del radiador no se calienta excesivamente, lo que minimiza la radiación directa de calor y favorece la transmisión de calor principalmente a través de la convección.

La utilización de radiadores de baja temperatura en sistemas de aerotermia puede generar ahorros significativos en la instalación. Aunque los radiadores en sí pueden tener un costo más elevado, la bomba de aerotermia suele ser relativamente económica. La notable eficacia de estos sistemas permite recuperar la inversión a lo largo del tiempo

- **Radiadores convencionales de aluminio**



Ilustración 0.5 Radiadores convencionales

Los radiadores convencionales de aluminio funcionan a través de la convección natural, lo que resulta en flujos de aire caliente y frío en la habitación y, por consiguiente, en la formación inevitable de áreas con temperaturas más bajas y otras más altas.

Esta alternativa resulta sumamente atractiva para los hogares que ya cuentan con un sistema

de calefacción basado en radiadores tradicionales y desean reemplazar su caldera por una bomba de calor. Si se busca evitar obras y aprovechar al máximo los radiadores existentes, es recomendable optar por la tecnología de aerotermia de alta temperatura. Esta elección se justifica debido a que los radiadores convencionales funcionan de manera óptima con agua calentada a temperaturas entre 70 y 80 °C, mientras que los sistemas aerotérmicos están diseñados para suministrar agua a temperaturas más bajas. Por consiguiente, es conveniente adquirir un sistema especializado de alta temperatura con el fin de elevar aún más la temperatura del agua y garantizar un rendimiento óptimo en la calefacción del hogar. Un radiador eléctrico produce 1 kilovatio (kW) de calor por cada kilovatio (kW) de electricidad que consume. A pesar de tener una "eficiencia" del 100%, dista mucho de los modernos sistemas de climatización/aerotermia en términos de eficiencia de emisión de calor.

- **Micro ventiladores múltiples**



Ilustración 0.6 Micro ventiladores

La adaptación de la tecnología aerotérmica a los radiadores convencionales puede implicar agregar un ventilador en la parte inferior del radiador lo que transforma en una especie de fan-coil.

Los ventiladores aumentan el flujo de aire a través del radiador, impulsan el aire caliente hacia el techo, obligando al aire más frío a descender. Esta adaptación permite trabajar con radiadores convencionales a bajas temperaturas de forma más eficiente. Sin el ventilador, la convección es limitada a bajas temperaturas y puede que no se consiga el confort adecuado en la estancia.

Además, en modo refrigeración, gracias a estos ventiladores podría hacerse circular agua fría a través de ellos y proporcionar aire acondicionado evitando condensaciones.

Luego, la eficiencia de la instalación vendrá definida en función del generador de calor, su ciclo de funcionamiento y el salto térmico y caudal al que tenga que hacer frente.

9 CONCEPTOS BÁSICOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

9.1 TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

En general, existen tres tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- **Instalaciones Aisladas de Red:** Son sistemas independientes que no están conectados a la red eléctrica. Utilizan paneles solares y baterías para almacenar la energía generada y cubrir las necesidades energéticas. Generalmente se instalan en áreas rurales, sistemas de telecomunicaciones, iluminación pública, señalización, entre otros.
- **Instalaciones conectadas a red:** En estas instalaciones toda la energía que se produce se inyecta a la red. Utilizan paneles solares, un inversor de red y un contador de energía para medir la electricidad que se envía a la red.
- **Instalaciones de Autoconsumo conectadas a red:** Estas instalaciones también están conectadas a la red eléctrica, pero su objetivo principal es cubrir el consumo de energía de la vivienda o edificio. Utilizan paneles solares y un inversor para aprovechar la energía solar y reducir la dependencia de la red eléctrica.

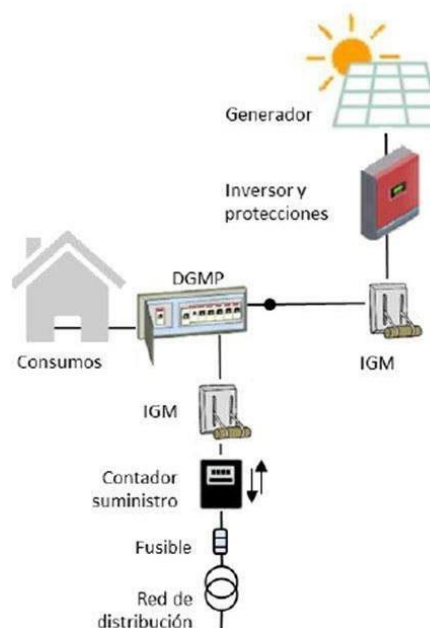


Ilustración 9.1 Esquema de conexión a red de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo. Fuente: (IDAE y ENERAGEN, 2023)

9.2 MODALIDADES DE AUTOCONSUMO

- **Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes:** Se instala un mecanismo antivertido para evitar la inyección de energía excedentaria a la red de transporte o distribución.
- **Modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes:** Permite el autoconsumo y la inyección de la energía excedentaria a la red de distribución eléctrica. En esta modalidad, el productor puede vender la energía excedentaria o acogerse al mecanismo de compensación simplificado.
 - Sistema de compensación simplificado: En esta modalidad, la energía vertida a la red se descuenta del consumo total de electricidad, y solo se paga el saldo neto resultante. No se realiza una venta directa de la electricidad vertida.
Después de que termine el periodo de facturación, el cual no puede exceder un mes, se lleva a cabo la compensación entre la energía que se inyecta a la red y la energía que se consume de la red. Sin embargo, la cantidad máxima que se puede compensar será igual al costo de la energía adquirida de la red, es decir, la factura que se emite bajo el sistema de compensación no puede ser negativa.
 - Sistema de compensación con venta de excedentes: En esta modalidad, el excedente de electricidad generada y vertida a la red se vende a un precio determinado. El precio de venta de esta electricidad puede variar según el contrato y el tipo de instalación. En general, los precios de venta de electricidad para el autoconsumo en España bajo el sistema de compensación con excedentes suelen rondar los 0,05 a 0,10 euros por kWh.

La posibilidad de incorporar baterías y guardar la energía en vez de enviarla directamente a la red está ganando popularidad de manera creciente. No obstante, las baterías aumentan los gastos de instalación y prolongan el período necesario para recuperar la inversión.

9.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

- **Módulo fotovoltaico:** Están compuestos por células solares que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.
- **Inversor:** Es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna a 230V de valor eficaz y una frecuencia de 50Hz. Los inversores cuentan con un seguidor del punto de máxima potencia (MPP), que permite operar a los paneles en la zona de la curva característica de los paneles donde entregan la máxima potencia.
- **Baterías (opcional):** Almacenan el exceso de electricidad generada durante el día para utilizarla durante la noche o en momentos de baja producción solar. En instalaciones con baterías se necesitará un regulador para controlar la carga y descarga de las mismas y asegurar que los paneles trabajen en su punto de máxima potencia.
- **Medidor bidireccional:** Es un dispositivo que registra la cantidad de electricidad que se produce y se consume en la instalación. Permite controlar el flujo de energía y realizar un seguimiento preciso de la generación y el consumo.
- **Cableado y protecciones:** Incluye cables eléctricos, conectores y dispositivos de protección, como fusibles o interruptores de circuito, que aseguran un funcionamiento seguro de la instalación.
- **Sistema de monitorización:** Supervisa y controla la instalación, proporcionando información sobre la producción de energía, el rendimiento de los paneles solares y otros parámetros relevantes.

10 APLICACIÓN DEL DB-HE DE AHORRO DE ENERGÍA DEL CTE

Los edificios de nueva construcción o viviendas existentes que se sometan a reformas ya sea por la sustitución de sus instalaciones térmicas o la rehabilitación de su envolvente térmica deben cumplir las especificaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Esta normativa se divide en dos partes: una que detalla las exigencias básicas y otra que se compone de los Documentos Básicos (DB). Esta última parte está compuesta por seis secciones que indican las normas para cumplir el requisito básico de ahorro de energía.

Los Documentos Básicos son herramientas que establecen las condiciones de construcción de viviendas de nueva edificación y de intervenciones en viviendas existentes.

En particular, el DB-HE define lo que se considera un "edificio de consumo de energía casi nulo". Este término se refiere a un edificio, ya sea nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en el Documento Básico "DB HE Ahorro de Energía" en lo referente a la limitación del consumo energético en el caso de construcciones nuevas. La Guía de Aplicación del DBHE-2019 (Versión 2022) define los edificios de consumo de energía casi nulo como aquellos que poseen una eficiencia energética muy alta, es decir, edificios con un consumo muy reducido de energía que se abastece en gran medida mediante fuentes renovables.

Actualmente, la condición de ser un edificio de consumo de energía casi nulo solo se aplica a los edificios nuevos, mientras que para los edificios existentes es opcional. No obstante, el nuevo DB-HE plantea a los edificios existentes a los que es de aplicación, requisitos que buscan mejorar significativamente la eficiencia de estos y contribuir a la descarbonización del parque edificatorio, aunque no se alcance el nivel de un edificio de consumo de energía casi nulo.

-SECCIÓN HE-0 LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

La primera sección, HE 0, tiene como objetivo la limitación del consumo energético a través de dos valores, el consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,nren}$) y el consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$), en función de la zona climática de invierno, de su ubicación, del uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, del alcance de la intervención. Cuantificar la energía usada en términos de energía primaria permite evaluar los recursos energéticos utilizados por el edificio y su carácter renovable o no renovable.

Este documento básico refleja que la reducción del consumo de energía está condicionada por la capacidad de minimizar la demanda energética de la vivienda, así como incrementar la eficiencia de los sistemas. Por este motivo, es crucial abordar tanto el enfoque pasivo de la estructura arquitectónica para disminuir su necesidad energética, como la elección y

diseño adecuado de los sistemas que maximicen su eficiencia, además de aprovechar las fuentes de energía más idóneas en cada situación específica.

El cumplimiento del valor límite del consumo de energía primaria es un objetivo complicado de cumplir en reformas de las instalaciones térmicas, debido a que para poder alcanzarlo requiere entrar en medidas de rehabilitación para mejorar aislamientos, sombreamientos, etc. Esta sección se aplica a intervenciones en edificios existentes, en los casos de reformas en las que se renueven de forma conjunta las instalaciones de generación térmica y más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio, por lo que no se aplicará en este estudio, pero se tendrá en cuenta para posibles reformas.

-SECCIÓN HE-1 CONDICIONES PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

La sección HE1 impone la obligación de que los edificios de nueva construcción demanden poca energía para satisfacer los servicios de climatización, estableciendo unas exigencias mínimas que deben cumplir los componentes de la envolvente térmica de la vivienda.

Esta sección se puede aplicar también a viviendas existentes que experimenten la intervención simultánea en los sistemas de generación térmica y una reforma menor o mayor al 25% de la envolvente térmica. El CTE establece una discriminación entre las intervenciones globales, que obligan a cumplir unos mínimos individuales para cada elemento y globales del edificio, y las intervenciones puntuales que exigen exclusivamente el cumplimiento de los elementos sobre los que se interviene.

El procedimiento consiste en limitar la demanda energética de los edificios, de una manera indirecta, mediante el establecimiento de determinados valores límite de los parámetros de transmitancia térmica U , el coeficiente global de transmisión a través de la envolvente térmica (K) y del factor solar modificado (F) de los componentes de la envolvente térmica.

Tabla 10.1 Valores límite de transmitancia térmica en función de la zona climática, Ulim [W/m²K].

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			

Estas transmitancias límite aseguran una calidad mínima de la envolvente y su valor se ha visto reducido tras cada modificación del Código técnico de la edificación.

-SECCIÓN HE-2 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

Con el fin de asegurar los estándares de confort, higiene y calidad del aire en un edificio, es fundamental que cuente con sistemas de climatización que cumplan con las exigencias establecidas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Este reglamento tiene como objetivo principal garantizar el bienestar, la higiene, la eficiencia energética y la seguridad en las instalaciones térmicas.

Para cumplir con la sección tercera del CTE, es necesario acudir a las disposiciones establecidas en dicho reglamento, las cuales buscan asegurar el confort y la calidad del aire en los edificios. Estas normas se aplican tanto a las instalaciones térmicas en edificios nuevos como a las renovaciones de instalaciones en edificios existentes.

-SECCIÓN HE-4 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Es necesario resaltar que, en el caso particular de las bombas de calor, conforme se establece la Directiva de Energías Renovables (2009/28/CE), no toda la energía generada por ellas puede considerarse como energía renovable ya que necesitan para su funcionamiento de un aporte exterior de energía eléctrica. Conforme a lo establecido en el Anejo VII de dicha Directiva, la energía procedente de fuentes renovables (E_{RES}) se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente.

$$E_{RES} = Q_{usable} \times \left(1 - \frac{1}{SCOP}\right) \quad (10.1)$$

La sección HE-4 establece la exigencia de satisfacer una parte de las necesidades de ACS mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables.

El objetivo es comprobar que “la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables cubre al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS o el 60% cuando

la demanda sea inferior a 5000 L/día”, como refleja la Sección HE 4 del Documento Básico HE Ahorro de energía

Tabla 10.2 Contribución solar mínima en %.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

La contribución solar mínima, en la zona climática III, es del 70%. Como refleja el documento, sólo se considera la aportación renovable de la energía con origen in situ y en las proximidades del edificio. En este proyecto, además, se tomará como aportación renovable la contribución solar de las placas fotovoltaicas.

La contribución renovable para la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) se determina siguiendo un proceso de cálculo que se puede resumir en los siguientes pasos.

En primer lugar, es necesario determinar qué parte de la demanda total de ACS es satisfecha por cada sistema de generación. Esto implica analizar cuánta energía proviene de fuentes renovables en comparación con fuentes no renovables.

Luego, se obtiene el consumo de energía final para cada sistema, desglosado por vector energético. Esto se realiza considerando el rendimiento de cada sistema, es decir, la relación entre la demanda y el consumo de energía para cada vector específico.

A continuación, se calcula qué fracción de la energía final consumida por cada sistema proviene de fuentes renovables. Este cálculo se realiza utilizando la relación entre los factores de paso a energía primaria renovable y total. Estos factores de paso representan la proporción de energía primaria renovable y total.

Después, se convierte la energía final de origen renovable a demanda "de origen renovable" utilizando, nuevamente, el rendimiento de cada sistema en relación con cada vector energético utilizado.

A continuación, se suman todas las contribuciones renovables a la demanda de ACS, considerando los resultados obtenidos para cada sistema.

Finalmente, se calcula el porcentaje que representa esta demanda "renovable" en relación con la demanda total de ACS.

$$E_{RES} = 2298,11 \times \left(1 - \frac{1}{3,05}\right) = 1688,53KWh \quad (10.2)$$

$$\text{Contribución renovable} = \frac{1688,53}{2298,11} \times 100 = 73,41\% \quad (10.3)$$

Por otra parte, es posible obtener el valor SPF (Factor de rendimiento estacional) a partir del COP nominal, indicado por el fabricante, utilizando los factores de corrección correspondientes a la zona climática y la temperatura a la que se debe realizar la condensación, a través del procedimiento detallado en el documento Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

“El SPF es el factor de rendimiento medio estacional estimativo, que se refiere al coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo' (SCOP net), en el caso de las bombas de calor accionadas eléctricamente”. (IDAE, 2014)

Tabla 10.3 Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS por bombas de calor en función de las fuentes energéticas y la zona climática

Fuente Energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Tabla 10.4 Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación y la temperatura de ensayo del COP

Tª de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Si el SPF (SCOPnet) de la bomba de calor es superior a 2,5 en las condiciones de funcionamiento, se considera una fuente energética renovable. Además, según el Real Decreto 1124/2021, solo serán subvencionables las que superen dicho valor.

De esta forma, se han calculado los COP nominal mínimo que deberían de tener las bombas de calor aerotérmicas en León, en función de la temperatura de impulsión del agua, para la consideración de bomba de calor renovable.

$$SPF = COP\ nom \times FP \times FC \quad (10.4)$$

$$COP\ nom\ mín \geq \frac{2,5}{0,75 \times FC} \quad (10.5)$$

Tabla 10.5 COP nominal mínimo de las bombas de calor aerotérmicas en la zona climática E para consideración renovable a diferentes temperaturas de condensación

Ta de condensación	FC	COPnom mín
35	1	3,3
40	0,87	3,83
45	0,77	4,33
50	0,68	4,9
55	0,61	5,46
60	0,55	6,06

La Directiva Europea 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo impulsa el uso de energía renovable, justificando así la sustitución de las instalaciones térmicas y la instalación de sistemas fotovoltaicos. Esta directiva considera renovable la energía capturada por las bombas de calor aerotérmicas, geotérmicas e hidrotérmicas, siempre y cuando la producción final de energía supere el consumo de energía primaria necesario para impulsar la bomba de calor.

Además, la Orden FOM/1635/2013 actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía" del Código Técnico de la Edificación, estableciendo la obligación de incorporar sistemas de paneles solares térmicos en edificios nuevos, en aquellos que se reformen integralmente o cambien de uso, y en aquellos con una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 litros por día.

Sin embargo, el Código Técnico de la Edificación (CTE), en su documento HE-4, permite reemplazar parcial o totalmente la contribución mínima de energía solar para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas con otras fuentes de energía renovable, ya sea a través de instalaciones en el edificio o mediante conexión a una red de climatización urbana.

Para sustituir las instalaciones térmicas por una bomba de calor, se deben cumplir dos requisitos. Primero, la bomba de calor debe considerarse renovable, lo cual se determina si su SCOPnet (SPF) es igual o superior a 2,5. Segundo, las emisiones de CO₂ y el consumo de energía primaria no renovable debido a la bomba de calor y sus equipos auxiliares deben ser iguales o inferiores a los que se obtendrían mediante la instalación solar térmica mínima requerida según el CTE HE-4 y el sistema de referencia (caldera de gas natural con rendimiento estacional 0,92) como apoyo auxiliar.

Los factores de paso de energía final a energía primaria no renovable y a emisiones de CO₂ son necesarios para evaluar y comparar el impacto ambiental de diferentes sistemas energéticos. El factor de paso de energía final a energía primaria no renovable refleja la

eficiencia global del sistema energético, considerando todas las etapas de producción, transformación y distribución de la energía. Por otro lado, el factor de paso de energía final a emisiones de CO₂ está relacionado con la intensidad de emisiones de CO₂ asociada al consumo de diferentes fuentes de energía.

Tabla 10.6 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

FUENTE DE ENERGÍA	FACTORES DE PASO DE ENERGÍA FINAL	
	A Energía Primaria No Renovable (kWh _{EPNR} /kWh _{EF})	A Emisiones de CO ₂ (kg _{CO2} /kWh _{EF})
Electricidad convencional peninsular	1,954	0,331
Gas Natural	1,190	0,252

En la tabla proporcionada se comparan los consumos de energía final, energía primaria no renovable y emisiones de CO₂ para diferentes escenarios. Se muestra el caso inicial con una caldera de gas natural, el caso base del CTE HE-4 con instalación solar térmica, el caso individual con bomba de calor, y finalmente, el caso de estudio que contempla la instalación de placas fotovoltaicas y una bomba de calor.

Tabla 10.7 Comparación de consumos de energía final, primaria no renovable y emisiones de CO2 en diferentes instalaciones para la misma demanda de ACS

	CALDERA GAS NATURAL	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA GAS NATURAL	BOMBA DE CALOR	PLACAS FOTOVOLTAICAS Y BOMBA DE CALOR
Demanda ACS (KWh)	2298,1	2298,1	2298,1	2298,1
Demanda ACS cubierta paneles solares (%)	0	50	0	70
Eficiencia estacional equipo	0,92	0,92	3,05	3,05
Fuente de energía	Gas natural	Gas natural	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (KWh)	2497,95	1248,97	753,5	527,435
Consumo energía primaria no renovable (KWh)	2972,55	1486,27	1472,3	1030,6
Emisiones CO2 (KgCO2)	629,5	315	249,4	174,6

11 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

El edificio consta de dos plantas, una en nivel subterráneo y otra en nivel elevado, y se destina principalmente a uso residencial. Se encuentra situado en un área urbana, con una planta irregular pero dentro de la alineación oficial, según se muestra en la imagen.



Ilustración 11.1 Fachada de la vivienda. Fuente: Google maps.

La vivienda fue construida en el año 1947 y reformada en el año 2005. Cada planta de la vivienda tiene una superficie útil de 118 m². En la planta superior se encuentra la zona habitable, mientras que en la planta inferior se ubican la caldera de gas, un garaje y un despacho, los cuales no requieren climatización. A continuación, se encuentra el plano general de la vivienda, donde se pueden apreciar los distintos espacios que requieren climatización y sus correspondientes superficies.

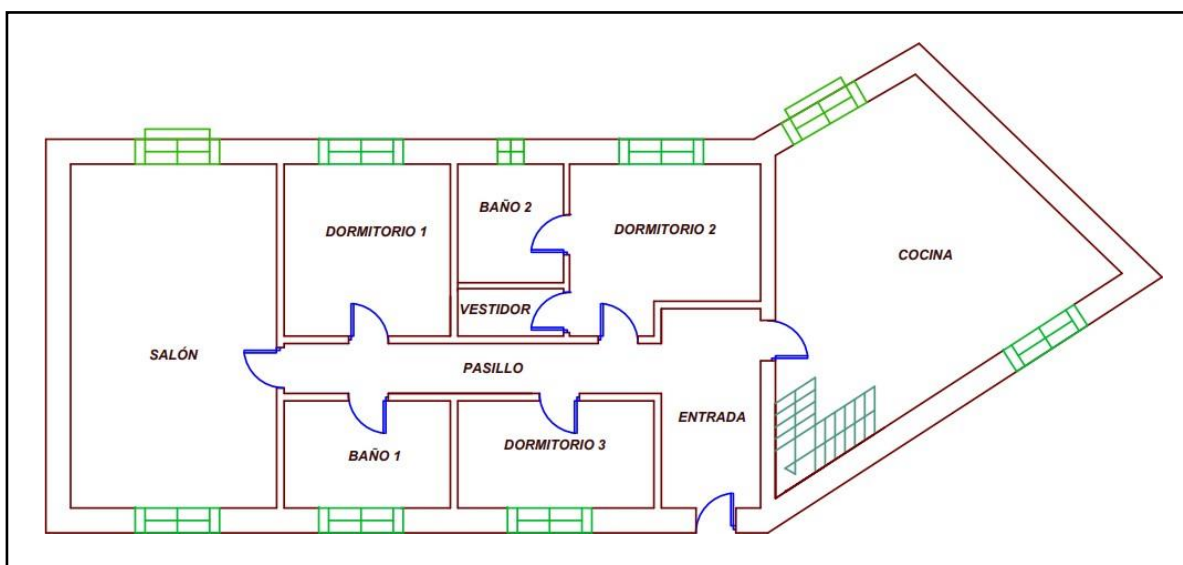


Ilustración 11.2 Plano de la planta acondicionada de la vivienda (Fuente propia)

Tabla 11.1 Superficie útil de los espacios acondicionados de la vivienda

Espacio	Superficie útil (m2)
Cocina	32,74
Salón	24,84
Dormitorio 1	11,88
Dormitorio 2	12,84
Dormitorio 3	9,89
Baño 1	7,59
Baño 2	4,25
Vestidor	1,9
Pasillo	7,6
Entrada	4,44
TOTAL	118

11.1 LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La página web del catastro es una herramienta útil para acceder a información detallada sobre propiedades inmobiliarias. Mediante el uso de las coordenadas exactas de una vivienda, es posible obtener información sobre su emplazamiento y otras características relevantes. En el caso de la propiedad objeto de estudio, la referencia catastral es 7601725TN8270S0001KH. Al analizar el plano de emplazamiento, se puede observar que el edificio está ubicado en una parcela privada y cuenta con una superficie gráfica de 399 metros cuadrados.



Ilustración 11.3 Emplazamiento parcela. (Fuente: Catastro)

11.2 ORIENTACIÓN

La orientación es un factor crucial a tener en cuenta al diseñar una vivienda. En el caso particular de esta vivienda, se presentan cinco fachadas que se encuentran en contacto con el aire exterior, mientras que la fachada orientada al oeste está adosada a la vivienda colindante. La orientación de cada fachada se puede identificar mediante el uso del ángulo " α ", el cual se forma entre el punto cardinal Norte geográfico y la línea perpendicular exterior de la pared. Este ángulo se mide en sentido de las agujas del reloj.

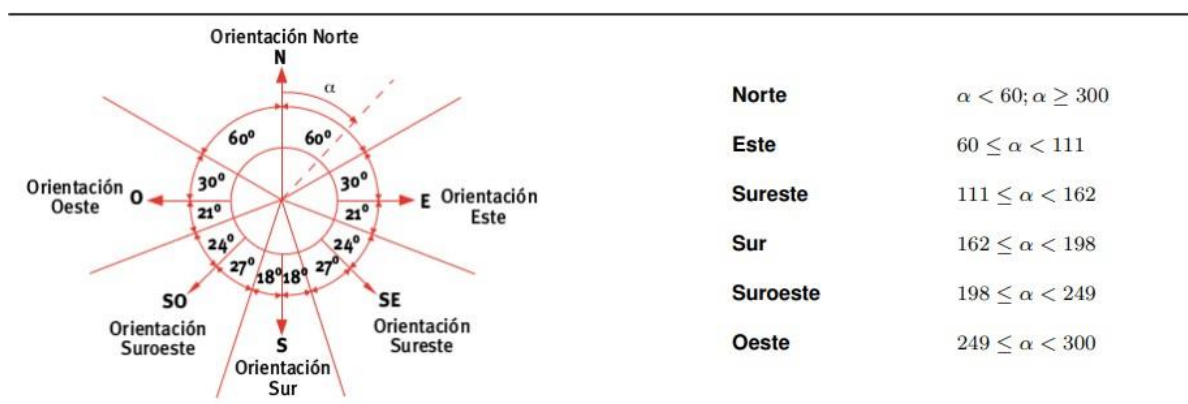


Ilustración 11.4 Orientaciones de las Fachadas Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía CTE

Tabla 11.2 Orientación de las fachadas de la vivienda

MURO	Orientación	α
1	N	356,63°
2	N	27,1°
3	O	296,18°
4	SO	207,1°
5	S	177,36°
6	E	90°

En este contexto, las fachadas se distribuyen de la siguiente manera: la fachada principal (entrada) se encuentra orientada al sur, la fachada trasera hacia el norte, la fachada lateral hacia el este y, finalmente, la fachada medianera se sitúa en dirección oeste.

Es importante destacar que las fachadas mencionadas hacen referencia a los cerramientos exteriores que tienen una inclinación superior a 60° con respecto a la horizontal. Estas

fachadas se agrupan en seis orientaciones distintas, las cuales están determinadas por los sectores angulares contenidos en la figura.

Al considerar la orientación de una vivienda, se pueden tomar decisiones estratégicas en cuanto a la ubicación de las habitaciones y la distribución de los espacios interiores. Una correcta orientación puede aprovechar al máximo la luz natural y la ventilación, lo cual contribuye tanto al confort como a la eficiencia energética de la vivienda

11.3 SITUACIÓN Y ZONA CLIMÁTICA

Se establece la zona climática y el clima de referencia en el que está situada la vivienda, lo que permite definir las solicitudes exteriores de temperatura y la radiación solar. Con una altura sobre el nivel del mar de 838 m, la zona climática, en León, conforme al Anejo B del CTE DB HE, es E1 y el clima es tipo III. Las coordenadas geográficas de la vivienda son:

- Latitud: 42.6020545°
- Longitud: 5.592955,17°

León presenta una combinación de características climáticas mediterráneas y continentales, lo que se traduce en un clima templado con variaciones en las precipitaciones a lo largo del año. Los inviernos en León son fríos, con temperaturas que pueden descender por debajo de cero grados Celsius, mientras que las nevadas son poco frecuentes. La primavera se caracteriza por un clima suave y agradable, con temperaturas entre los 10 y los 20°C, mientras que los veranos son calurosos y secos, sobre todo durante el día, con temperaturas entre los 21 y 37°C.

Una de las particularidades que destaca en este clima es su amplitud térmica que se define como la diferencia de temperaturas entre punto más cálido del día y el más frío de la noche. Esta oscilación térmica se aprecia también con la diferencia de temperatura anual ya que los veranos son muy calurosos y los inviernos muy fríos.

Tabla 11.3 Temperatura media mensual en León en 2020.(Fuente: PVGIS)

Month	2020
Enero	3.8
Febrero	6.7
Marzo	7.4
Abril	10.5
Mayo	15.3
Junio	16.1
Julio	22.4
Agosto	19.9
Septiembre	16.8
Octubre	10.1
Noviembre	7.8
Diciembre	3.9

11.4 DATOS DE RADIACIÓN SOLAR

En este apartado se definen los parámetros más importantes para el diseño y dimensionado de la instalación fotovoltaica, las Horas de Sol Pico y la irradiación.

Las "Horas de Sol Pico" (HSP) se definen como el número de horas durante las cuales se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Esta medida representa la máxima capacidad de conversión de energía solar en electricidad que un panel fotovoltaico puede alcanzar en condiciones óptimas. Las HSP son un indicador clave para evaluar la disponibilidad del recurso solar en una ubicación determinada.

Por otro lado, la "irradiancia" se refiere a la intensidad de la iluminación solar que llega a la superficie, y se mide en unidades de potencia instantánea (W/m^2).

La "irradiación", por su parte, es la cantidad total de irradiancia recibida durante un período de tiempo determinado (Wh/m^2). La irradiación proporciona una visión más completa de la energía solar disponible en un lugar específico a lo largo de un periodo de tiempo dado.

El mapa de la radiación solar en España se divide en cinco zonas según la incidencia del sol en la superficie.

Es importante destacar que estos datos de radiación solar se basan en la radiación global media diaria anual y pueden variar dentro de cada zona climática en función de la ubicación geográfica precisa y otros factores locales. Se requiere un análisis específico de cada sitio para obtener una evaluación precisa del recurso solar disponible y así optimizar el diseño y dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas.

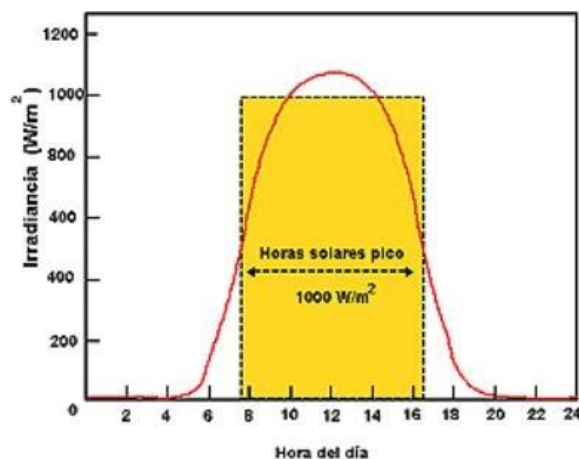


Ilustración 11.5 Irradiancia a lo largo de un día. (Fuente: Internet)

12 CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE3X

La certificación energética de edificios existentes es importante porque los edificios son responsables de una gran parte del consumo de energía en muchos países y su eficiencia energética puede mejorarse significativamente mediante la adopción de medidas relativamente sencillas.

El Real Decreto 390/2021 establece que “el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios” se aplicará a edificios o partes de edificios en los que se realicen determinadas reformas o ampliaciones”. Estas reformas incluyen la sustitución de las instalaciones de generación térmica.

La certificación energética se basa en una inspección física del edificio, que incluye la evaluación de aspectos como el aislamiento térmico, la ventilación, la calefacción, la iluminación y el uso de energías renovables. A partir de esta inspección, se emite un informe que detalla las características del edificio y su nivel de eficiencia energética, junto con una serie de recomendaciones para mejorarla.

El siguiente ejemplo describe el proceso de certificación energética de la vivienda unifamiliar mediante el Procedimiento simplificado de Certificación Energética de Edificios Existentes para CE3X a través de la herramienta de software desarrollada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana de España.

La calificación energética de un edificio se determina de manera simplificada al compararla información proporcionada por el usuario con una extensa base de datos que contiene numerosos resultados de experimentos realizados en CE3X.

El procedimiento se empleará para calcular las demandas energéticas de la vivienda, sus emisiones asociadas y su calificación energética final y producir un informe y una etiqueta de eficiencia energética.

12.1 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS COMPONENTES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

El método CE3X ofrece diferentes opciones para ingresar los datos, según el nivel de conocimiento sobre las características térmicas del edificio y sus instalaciones. Estas opciones incluyen: utilizar valores por defecto, estimar valores aproximados o utilizar valores conocidos o justificados.

Si no existiese información detallada sobre las características constructivas de la envolvente térmica de la vivienda se utilizarían los valores límite establecidos por la normativa vigente en el año de construcción de esta, en este caso, la NBE CT-79 o Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios. Esta normativa, sin carácter obligatorio, es la primera norma española que exigió aislamiento térmico estableciendo unos requisitos mínimos de eficiencia energética y confort térmico que debían cumplir los edificios.

Además, en caso de no contar con información específica, el Ministerio de Fomento, en colaboración con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, junto con el IDAE, proporcionan una serie de datos acerca de la tipología de construcción en España, tomando en consideración la época en que se llevaron a cabo las edificaciones y la zona climática correspondiente. Estos datos se encuentran disponibles en el "Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X. 004(2). 2012".

Las características exigibles a los cerramientos y particiones interiores son las expresadas mediante su transmitancia térmica o, en componentes que no se describen adecuadamente a través de dicho parámetro, su resistencia térmica R ($K \cdot m^2/W$).

Tabla 12.1 Transmitancia térmica de los muros de fachada U (W/m^2K) por defecto. (Fuente: IDAE)

Banda cronológica	A (anterior 1981)	B (1981-2007)				C (a partir de 2008)				
		V y W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
Zona climática										
U (W/m^2K)	3,00	1,80	1,60	1,40	1,40	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57
masa/ m^2 (kg/m^2)	168	200				200				

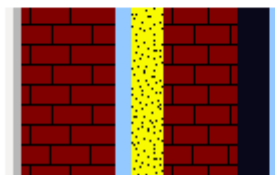
Para obtener resultados precisos sobre la eficiencia energética de la vivienda es necesario contar con información detallada sobre las características específicas de los cerramientos.

Para lograrlo, se utiliza la introducción de valores conocidos mediante la creación de los cerramientos a través de las diferentes capas que los componen, aprovechando las librerías disponibles en CE3X. Al crear un cerramiento en el programa, se obtiene el valor final de transmitancia térmica de dicho cerramiento.

El Catálogo de elementos constructivos del CTE, proporciona datos relevantes sobre las propiedades térmicas de los diferentes elementos utilizados en la construcción de cerramientos. Al tener en cuenta las características reales de los materiales y componentes del cerramiento, se logra una evaluación más fiel de su rendimiento térmico.

- **Cerramientos en contacto con el aire exterior:**

Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	Cp (J/kgK)
Mortero de cemento ...	Morteros	0.01	0.01	1	1525	1000
1/2 pie LP métrico o c...	Fábricas de ladrillo	0.172	0.115	0.667	1140	1000
Cámara de aire ligera...	Cámaras de aire	0.085	-	-	-	-
MW Lana mineral [0.0...	Aislantes	0.8	0.04	0.05	40	1000
Tabicón de LH doble ...	Fábricas de ladrillo	0.208	0.09	0.432	930	1000
Espuma de poliuretano...	Sellantes	0.8	0.04	0.05	70	1500

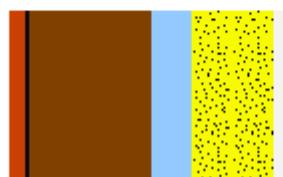


$R_1 + \dots + R_n$
2.26 m2K/W

Ilustración 12.1 Composición del muro de fachada. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)

- **Cubierta**

Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	Cp (J/kgK)
Teja cerámica-porcelana	Cerámicos	0.015	0.02	1.3	2300	840
Betún fieltro o lámina	Bituminosos	0.026	0.006	0.23	1100	1000
Conífera de peso med...	Maderas	1.0	0.15	0.15	480	1600
Cámara de aire ligera...	Cámaras de aire	0.08	-	-	-	-
EPS Poliestireno Expa...	Aislantes	2.174	0.1	0.046	30	1000
Placa de yeso laminad...	Yesos	0.06	0.015	0.25	825	1000

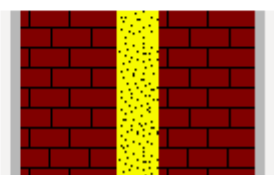


$R_1 + \dots + R_n$
3.36 m2K/W

Ilustración 12.2 Composición de la cubierta. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)

- **Medianera**

Material	Grupo	R (m ² K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)
Enlucido de yeso 100...	Enlucidos	0.018	0.01	0.57	1150	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.01	0.01	1	1525	1000
Tabicón de LH doble ...	Fábricas de ladrillo	0.208	0.09	0.432	930	1000
MW Lana mineral [0.0...	Aislantes	0.988	0.04	0.0405	40	1000
Tabicón de LH doble ...	Fábricas de ladrillo	0.208	0.09	0.432	930	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.012	0.01	0.8	1525	1000
Enlucido de yeso d < ...	Enlucidos	0.025	0.01	0.4	900	1000

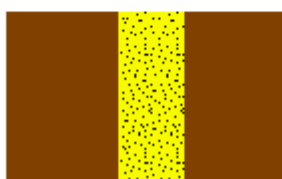


$R_1 + \dots + R_n$
1.47 m²K/W

Ilustración 12.3 Composición del muro de medianería. (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)

- **Particiones interiores en contacto con espacios no habitables**

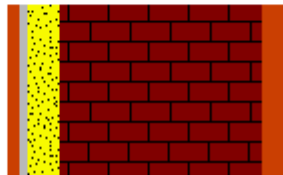
Material	Grupo	R (m ² K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)
Tablero contrachapad...	Maderas	0.476	0.1	0.21	675	1600
Panel de vidrio celular...	Aislantes	1.2	0.06	0.05	125	1000
Tablero contrachapad...	Maderas	0.818	0.09	0.11	300	1600



$R_1 + \dots + R_n$
2.49 m²K/W

Ilustración 12.4 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (falso techo habitaciones). (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)

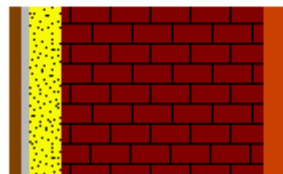
Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	C_p (J/kgK)
Plaqueta o baldosa ce...	Cerámicos	0.015	0.015	1	2000	800
Mortero de cemento ...	Morteros	0.018	0.01	0.55	1125	1000
EPS Poliestireno Expa...	Aislantes	1.379	0.04	0.029	30	1000
FU Entrevigado cerá...	Forjados unidireccion...	0.275	0.25	0.908	1220	1000
Gres calcáreo 2000 <...	Cerámicos	0.016	0.03	1.9	2350	1000



$R_1 + \dots + R_n$
1.7 m2K/W

Ilustración 12.5 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (suelo cocina y baños). (Fase de introducción de los componentes de la envolvente térmica en CE3X)

Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	C_p (J/kgK)
Tablero contrachapad...	Maderas	0.115	0.015	0.13	400	1600
Mortero de cemento ...	Morteros	0.018	0.01	0.55	1125	1000
EPS Poliestireno Expa...	Aislantes	1.379	0.04	0.029	30	1000
FU Entrevigado cerá...	Forjados unidireccion...	0.275	0.25	0.908	1220	1000
Gres calcáreo 2000 <...	Cerámicos	0.016	0.03	1.9	2350	1000



$R_1 + \dots + R_n$
1.8 m2K/W

Ilustración 12.6 Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (suelo salón y habitaciones). (Fase de introducción componentes de la envolvente térmica en CE3X)

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (12.1)$$

siendo, e el espesor de la capa en metros y λ la conductividad térmica del material que compone la capa.

La transmitancia térmica U (W/m² K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_1 + \dots + R_n} = \frac{1}{R_t} \quad (12.2)$$

siendo, R_t la resistencia térmica total del componente constructivo [m² K/ W].

Tabla 12.2 Transmitancia térmica de los cerramientos que componen la envolvente térmica de la vivienda calculada a través de la creación de cerramientos en CE3X

	Transmitancia térmica, U(W/m ² K)
Muro de fachada	0,44
Cubierta	0,29
Medianera	0,68
PI en contacto con espacio NH superior	0,40
PI en contacto con espacio NH inferior (suelo cocina y baños)	0,59
PI en contacto con espacio NH inferior (suelo salón y habitaciones)	0,50

Características de los huecos de la envolvente térmica

Para los huecos en el proyecto, como ventanas, puertas o lucernarios, se requiere utilizar valores conocidos que sean respaldados por cálculos según las pautas del Apéndice E del DB-HE1 del CTE en la sección E.1.4 de huecos y lucernarios. Estos valores se obtienen a partir de las características térmicas proporcionadas por los fabricantes de las ventanas, pruebas u otros métodos que brinden información real sobre el rendimiento térmico del elemento.

En este programa, se elige la opción de valores conocidos porque se conoce la composición las ventanas, puertas y lucernarios y, por lo tanto, se puede justificar el valor introducido. Se requiere conocer y establecer la transmitancia térmica U (W/m²K) y el

factor solar g (adimensional) del vidrio.

Cuando se introducen nuevos marcos, es necesario conocer la transmitancia térmica U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) y la absorción del marco (adimensional). Este último valor está relacionado con el color del marco.

Las ventanas utilizadas en este proyecto tienen características específicas que contribuyen a su rendimiento térmico y aislamiento. Se utiliza un marco metálico con rotura de puente térmico (RPT) que incluye elementos separadores de baja conductividad térmica. Estos separadores ayudan a reducir la transferencia de energía a través de la estructura, mejorando su rendimiento térmico. Los valores aceptados de transmitancia térmica para este tipo de ventanas varían desde 4 hasta $2,5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, según el ancho de los elementos separadores que forman la rotura de puente térmico.

Además, se utiliza una unidad de vidrio aislante (UVA), también conocida como doble acristalamiento o vidrio de cámara. Esta unidad consta de dos o más láminas de vidrio separadas por espaciadores herméticos en todo su perímetro. Al tener una cámara de aire inmóvil y seco entre los paneles de vidrio, se limita el intercambio de calor por convección y conducción debido a la baja conductividad térmica del aire. Esto resulta en un alto nivel de aislamiento térmico, lo que se refleja en una reducción significativa de la transmitancia térmica ($U = 3,3 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ para una composición básica de 4-6-4).

El primer paso para calcular la transmitancia térmica de los espacios de ventana es consultar las "Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios (abril 2019)" donde se define la transmitancia térmica de los huecos según la zona climática, la orientación y el porcentaje de huecos.

Según el documento anterior, la opción simplificada de la limitación de la demanda energética de los edificios está justificada si se cumple que el porcentaje de huecos en fachadas es igual o menor al 60% de la fachada, y los lucernarios de cubierta representan un área menor o igual al 5% de dicha cubierta. Como podemos ver a continuación, el uso de la opción simplificada se justifica ya que el porcentaje de huecos en la fachada es $<60\%$.

Tabla 12.3 Porcentaje de huecos en las fachadas de la vivienda

Nº Muro	Orientación del muro	l(m)	h(m)	Superficie muro(m2)	Número de huecos	Superficie de huecos(m2)	Porcentaje de huecos (%)
1	NORTE	3,6	3,85	13,86	1	3,7	26,7
2	NORTE	12,3	3,85	47,35	4	8,56	18,07
4	SUROESTE	12,4	3,85	47,74	4	8,09	16,94
5	SUR	7,4	3,85	28,49	2	2,66	9,33
6	ESTE	6,35	3,85	24,45	0	0	0
Total				161,89		23,01	14,21%

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla siguiente en función de la zona climática en la que se ubique la edificación.

Con un 14,21% de huecos sobre fachada se acude a la segunda fila de la columna de la derecha, donde vienen expresados los valores de transmitancia térmica límite en función de la zona climática y de la orientación del hueco. Conforme a la siguiente tabla, el valor límite de transmitancia térmica para huecos de ventana en la localidad de estudio es 3,1 W/m·K.

Tabla 12.4 Transmitancia térmica de los huecos (W/m²·K) del edificio de referencia en función de la zona climática de invierno.

% de huecos	D			E		
	N/NE/NO	E/O	S/SE/SO	N/NE/NO	E/O	S/SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,1	3,1	3,1
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,1	3,1	3,1
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	2,6	3,0	3,1
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	2,2	2,7	3,1
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	2,0	2,4	3,1
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	1,9	2,3	3,0

La cantidad de calor que se transmite a través del hueco se relaciona directamente con las características de los materiales utilizados y el porcentaje de los marcos y vidrios en el área total del hueco. Por lo tanto, el IDAE propone la siguiente tabla para calcular la transmitancia térmica del hueco.

Tabla 12.5 Transmitancia térmica del hueco en función del material del vidrio y del marco para un porcentaje de marco del 30%. (IDAE, 2019)

Transmitancia térmica del hueco (W/m ² ·K)					
Vidrio (70%)		Marco (30%)			
		Metálico U=5,7	Metálico RPT ⁸ U=3,0	Madera ⁹ U=1,5	PVC ¹⁰ U=1,3
Monolítico 4mm	U=5,7	5,7	4,9	4,4	4,4
4-6-4	U=3,3	4,1	3,4	2,9	2,9
4-16-4	U=2,7	3,8	3,1	2,6	2,6
4-6-4 bajo emisivo ¹¹	U=2,4	3,5	2,9	2,3	2,3
4-16-4 bajo emisivo ¹¹	U=1,3	2,7	2,1	1,6	1,5

La transmitancia térmica de los huecos se determina con la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \times U_{Hv} + FM \times U_{Hm} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \quad (12.3)$$

$$U_H = (1 - 0,3) \times 2,7 + 0,3 \times 3 = 3,1 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \quad (12.4)$$

- $U_{H,v}$ transmitancia térmica de la parte semitransparente
- $U_{H,m}$ transmitancia térmica del marco de la ventana, lucernario, o puerta
- FM fracción del hueco ocupada por el marco

Cuando se consideran elementos de sombreado exterior, como retranqueos, es necesario aplicar un factor corrector o factor de sombra según lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Este factor de sombra representa la medida global de la cantidad de calor que ingresa a través del acristalamiento cuando el sol incide sobre él.

Desde la perspectiva del aislamiento térmico, es fundamental tener en cuenta las principales características del acristalamiento. Estas características son su coeficiente U, también conocido como transmitancia térmica (expresado en W/m²·K), y su factor solar(g). El factor solar (g) del acristalamiento representa la relación entre la energía solar incidente y la energía total que ingresa en un local.

Factor de sombra del hueco, Fs. (Dispositivos de protección solar)

El factor solar modificado en el hueco se determinará según el apartado E.2 del Apéndice E del DB HE1 del CTE en función de los factores descritos en el apartado anterior y del factor de sombra del hueco o lucernario F_s . Dicho factor se determina en función del tipo de las características geométricas de los dispositivos de sombra, recogidos en las tablas E.10 a la E.15 del apartado E.2 del Apéndice E del DB HE1, o bien, mediante los patrones de sombra.

El factor solar modificado en el hueco FH o en el lucernario FL se determinará utilizando la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [(1 - FM) \times g_+ + FM \times 0,04 \times U_m \times \alpha] \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \quad (12.5)$$

F es el factor solar modificado del hueco

F_s el factor de sombra del hueco o lucernario original obtenido de las tablas en función del dispositivo de sombra.

FM la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas

g el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario

U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/ m² K];

α la absorptividad del marco obtenida de la tabla en función de su color.

Al utilizar esta expresión, se puede obtener una evaluación más precisa del factor solar modificado en presencia de elementos de sombreado exterior, lo que permite un mejor diseño y control del aislamiento térmico en los edificios.

Tabla 12.6 Factor solar de diferentes tipos de vidrio (g_{\perp})

Tipo	g_{\perp}
Vidrio sencillo	0,85
Vidrio doble	0,75
Vidrio doble bajo emisivo	0,67
Vidrio triple	0,7
Vidrio triple bajo emisivo	0,5
Doble ventana	0,75

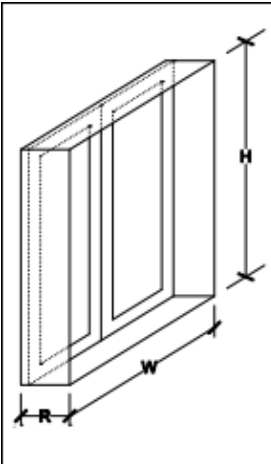
Tabla 12.7 Absortividad del marco (α)

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Se va a analizar la ventana tipo de la vivienda cuyas medidas son 1,4m de altura y 1,5m de ancho, en un hueco cuyo retranqueo es de 27cm, como se indica a continuación. No valoraremos las cargas por las ventanas orientadas al norte ya que solo reciben radiación difusa.

Para este ejemplo $R/W = 0,18$, por tanto, la columna a seleccionar será la segunda. Asimismo, $R/H = 0,19$, lo que indica que podemos seleccionar la segunda fila. Por tanto, el factor de sombra podría ser: 0,67 si la orientación es SUR, 0,74 si la orientación es SURESTE / SUROESTE y 0,82 si la orientación es ESTE / OESTE.

Tabla 12.8 Factor de sombra para obstáculos de fachada (F_s): Retranqueo



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

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Sustituimos cada valor y obtenemos el factor solar modificado del hueco que se introducirá en CE3X.

$$FH = 0,67 \cdot [(1-0,3) \cdot 0,72 + 0,3 \cdot 0,04 \cdot 3 \cdot 0,88] = 0,37 \text{ (SUR)} \quad (12.6)$$

$$FH = 0,41 \text{ (SE/SO)} \quad (12.7)$$

$$FH = 0,45 \text{ (E/O)} \quad (12.8)$$

12.2 ANÁLISIS DE OBSTRUCCIONES SOLARES REMOTAS EXISTENTES EN EL ENTORNO

Para llevar a cabo un análisis de sombras, el primer paso consiste en identificar los principales obstáculos en el entorno que afectan a la superficie de estudio. En este caso, la vivienda se encuentra en una ubicación cercana a dos edificios que proyectan sombras especialmente perjudiciales en las cubiertas orientadas al sur y suroeste, así como en las fachadas.



Ilustración 12.7 Edificios circundantes que proyectan sombras sobre la vivienda

Estas sombras generarán ciertas pérdidas de energía causadas en primer lugar por la reducción de la captación de la radiación solar y, además, por los posibles efectos de “mismatching” que puedan surgir. Para poder evaluar con precisión los diversos tipos de sombra y sus impactos en los paneles solares, se recomienda llevar a cabo un análisis de sombras en el lugar de la instalación. Este análisis se encuentra descrito en el Anexo 3 de las Especificaciones Técnicas para las Instalaciones conectadas a la red.

El procedimiento implica comparar el perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. A través de esta comparación, se utilizarán unas tablas de referencia incluidas en el documento, las cuales permitirán calcular las pérdidas de rendimiento ocasionadas por la sombra en el sistema fotovoltaico.



Ilustración 12.8 Sombra de edificio circundante sobre la vivienda

Aquellas áreas en las que se proyectan sombras debido a la presencia de otras estructuras se podrán vincular tanto a huecos como a cerramientos opacos mediante la asignación de un patrón de obstáculo remoto. Este patrón se establecerá en la sección de Patrones de sombra del programa CE3 X.

A continuación, se han localizado los principales obstáculos que afectan a la superficie, empleando coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal).

Se ha llevado a cabo el análisis para la cubierta orientada al sur y para la cubierta suroeste, con el fin de determinar las pérdidas por radiación en ambas orientaciones y así seleccionar la ubicación más adecuada para los paneles solares fotovoltaicos.

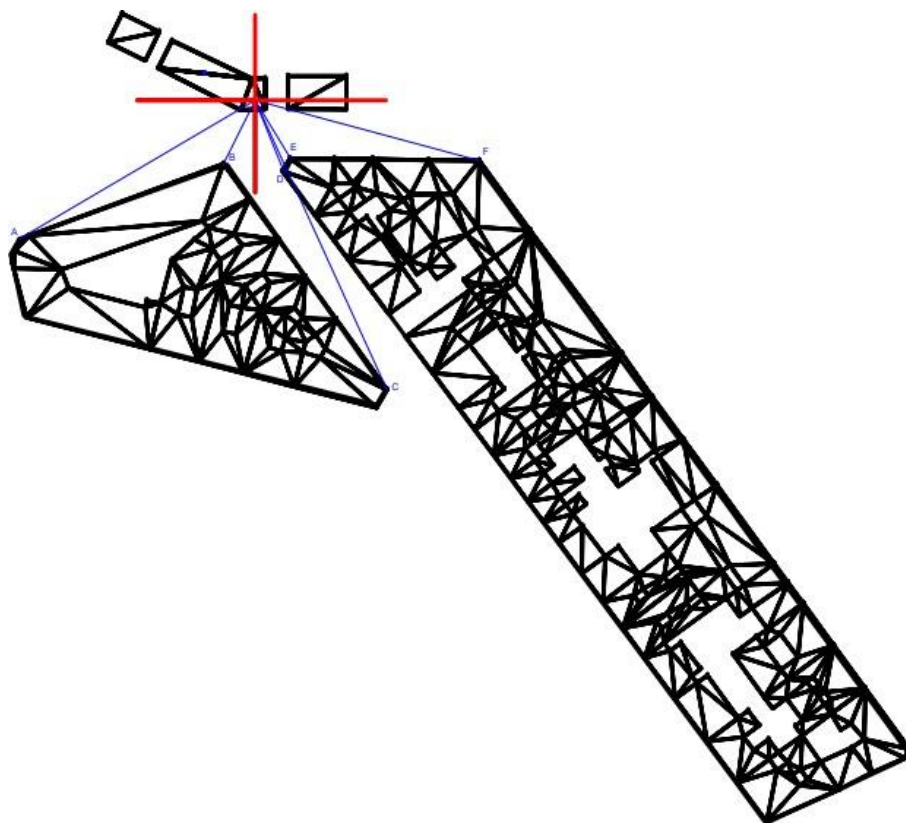


Ilustración 12.9 Plano exportado de Google Earth a Autocad para el cálculo de los ángulos de inclinación y elevación reales

Tabla 12.9 Cálculo de los ángulos de inclinación y azimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al sur

	Punto	H	L	H/L	β	α
Edificio remoto 1	A	20,1	79	0,25443	14,27	59,56°
	B	20,1	20,4	0,98529	44,58	26,53°
	C	20,1	92	0,21848	12,32	-24,64°
Edificio remoto2	D	12,5	22,8	0,54825	28,73	-22,84°
	E	12,5	20,2	0,61881	31,75	-32,10°
	F	12,5	67,1	0,18629	10,55	-74,95°

A continuación, se representa el perfil de obstáculos en el diagrama de trayectorias del sol a lo largo del año para determinar las porciones ocultas.

Cada una de estas áreas representa el desplazamiento del Sol a lo largo del año y, por lo tanto, tiene una contribución particular a la radiación solar global que llega a una superficie determinada. Por lo tanto, cuando un obstáculo cubre una de estas áreas, se produce una pérdida de radiación solar. En caso de ocultación parcial se utilizarán fracciones respecto al total de la porción.

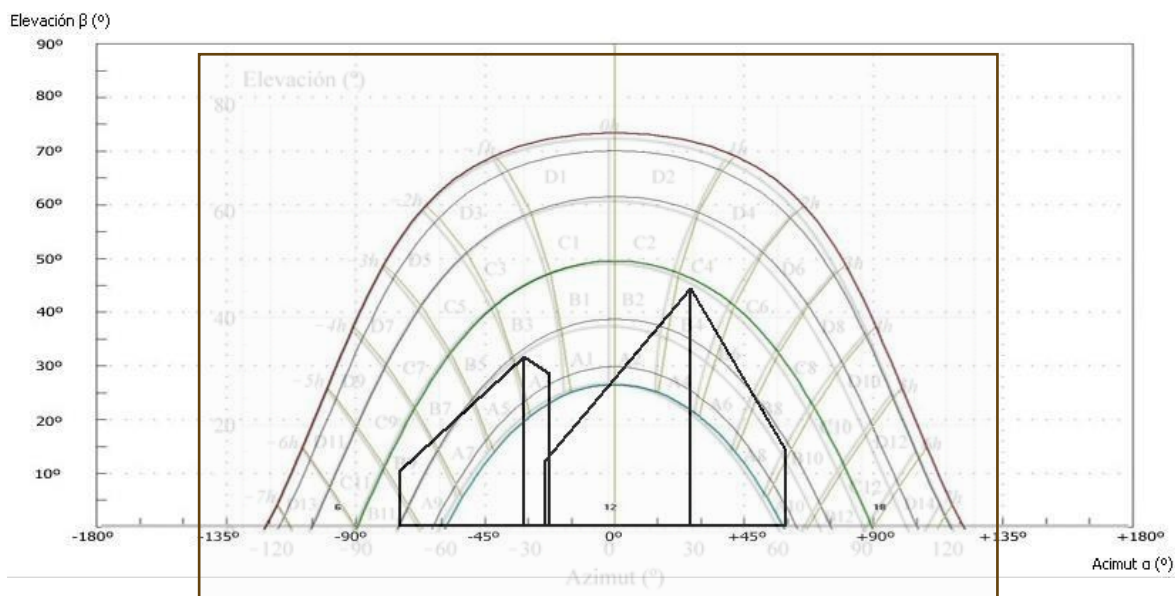


Ilustración 12.10 Patrón de obstáculos remotos de la vivienda. (Creación perfil de sombras en CE3X)

Tabla 12.10 Coordenadas de inclinación y acimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al Sur

$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$	$\alpha 3$	$\beta 3$	$\alpha 4$	$\beta 4$
59.56	14.27	26.53	44.58	26.53	0.0	59.56	0.0
26.53	44.58	-24.64	12.32	-24.64	0.0	26.53	0.0
-22.84	28.73	-32.1	31.75	-32.1	0.0	-22.84	0.0
-32.1	31.75	-74.95	10.55	-74.95	0.0	-32.1	0.0

Tabla 12.11 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo. (IDAE, 2011)

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla 12.12 Pérdidas por sombras sobre la cubierta Sur

Casilla	%sombra	%irradiación solar global anual	%pérdidas
A9	1	0,13	0,13
A7	1	1	1
A5	1	1,84	1,84
A3	0,45	2,7	1,215
B9	0,5	0,4	0,2
A2	0,5	3,17	1,585
A4	1	2,7	2,7
A6	1	1,79	1,79
A8	1	0,98	0,98
A10	0,45	0,11	0,0495
B4	0,7	1,89	1,323
B6	0,3	1,51	0,453
B8	0,05	0,99	0,0495
			13,315%

Las pérdidas de radiación solar en una superficie debido a sombras circundantes se calculan como un porcentaje de la radiación solar global que alcanzaría la misma superficie en ausencia de obstáculos. A continuación, se aplica el mismo procedimiento para la cubierta Suroeste.

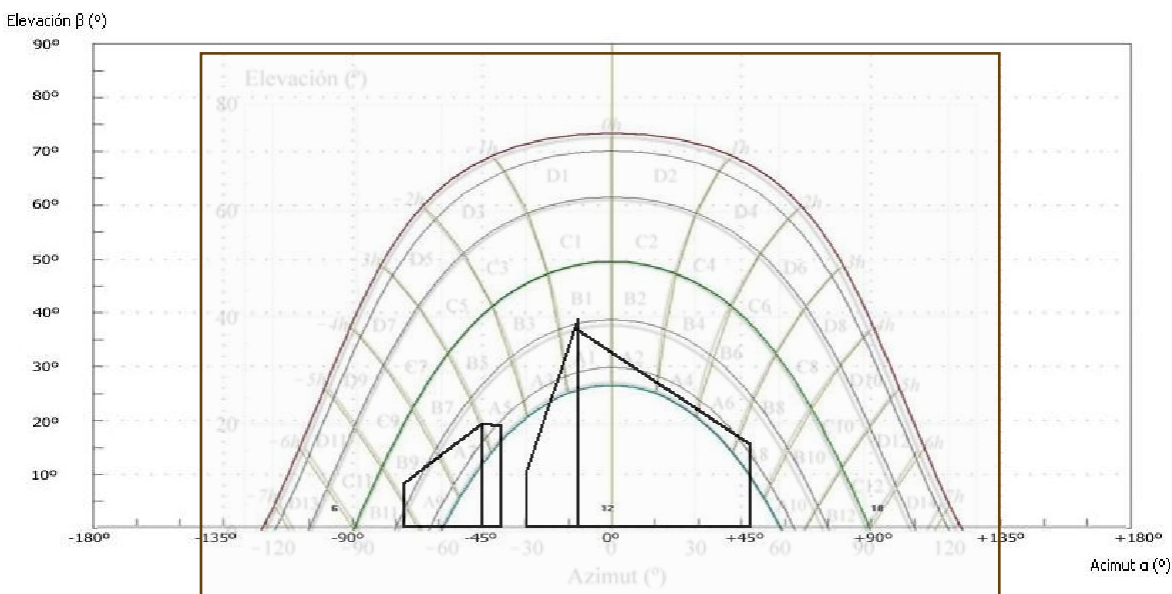


Ilustración 12.11 Patrón de obstáculos remotos de la vivienda (Creación perfil de sombras en CE3X)

Tabla 12.13 Cálculo de los ángulos de inclinación y acimut de los edificios remotos con respecto a la cubierta orientada al Suroeste

	Punto	H	L	H/L	β	α
Edificio remoto 1	A	20,1	79	0,28033	15,66	48,14
	B	20,1	20,4	0,75281	36,97	-12,24
	C	20,1	92	0,19016	10,77	-30,1
Edificio remoto2	D	12,5	22,8	0,34435	19,00	-38,68
	E	12,5	20,2	0,35817	19,71	-45,21
	F	12,5	67,1	0,14988	8,52	-72,38

Tabla 12.14 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo. (IDAE, 2011)

$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$	$\alpha 3$	$\beta 3$	$\alpha 4$	$\beta 4$
48.14	15.66	-12.24	36.97	-12.24	0.0	48.14	0.0
-12.24	38.97	-30.1	10.77	-30.1	0.0	-12.24	0.0
-38.68	19.0	-45.21	19.71	-45.21	0.0	-38.68	0.0
-45.21	19.71	-72.38	8.52	-72.38	0.0	-45.21	0.0

Tabla 12.15 Tabla de referencia del porcentaje de irradiación solar global anual perdido si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.
(IDAE, 2011)

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla 12.16 Pérdidas por sombras sobre la cubierta Suroeste

Casilla	%sombra	%irradiación solar global anual	%pérdidas
A9	0,95	0,02	0,019
A7	0,8	0,54	0,432
A5	0,05	1,32	0,066
B9	0,1	0,1	0,01
A3	0,1	2,24	0,224
A1	0,85	2,89	2,4565
A2	0,7	3,16	2,212
A4	0,05	2,93	0,1465
A6	0,1	2,14	0,214
A8	0,05	1,33	0,0665
			5,8465%

Los resultados demuestran que, aunque normalmente se obtiene la mayor captación de energía solar orientando los paneles hacia el Sur, en el hemisferio Norte, en este caso en particular, la vivienda se encuentra frente a dos edificios que afectan la radiación en esa orientación. Como se explicará en la sección sobre el análisis del sistema fotovoltaico, se instalarán paneles en la cubierta orientada al Suroeste debido a que estos obstáculos generan pérdidas menores, como se ha comprobado en este apartado.

13 PARÁMETROS DE CÁLCULO DE CLIMATIZACIÓN

Los parámetros de diseño de un sistema de climatización son fundamentales para garantizar que el sistema pueda proporcionar la energía necesaria durante todo el año, incluso en situaciones climáticas extremas. Estos parámetros varían según la ubicación del edificio y son fundamentales para garantizar un ambiente interior confortable y adecuado en la vivienda.

Al diseñar un sistema de climatización, es esencial contar con datos precisos sobre las condiciones meteorológicas exteriores, los perfiles de uso del edificio y las condiciones operativas. Las condiciones climáticas externas, como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la velocidad del viento influyen directamente en la carga térmica del edificio y determinan los requisitos de calefacción y refrigeración.

En lugares con temperaturas extremadamente frías, se requerirá un sistema de calefacción más potente para mantener el interior a una temperatura confortable. Por otro lado, en áreas con altas temperaturas, se dará más énfasis a la refrigeración y al control de la humedad en el interior del edificio. La humedad relativa también es relevante, ya que puede influir en el confort y la calidad del aire interior.

Además, las condiciones operativas, como la temperatura interior deseada, las tolerancias de confort y las restricciones de eficiencia energética, también influyen en el diseño del sistema de climatización. Estos parámetros son determinantes para seleccionar los equipos adecuados y establecer estrategias de control que garanticen un rendimiento óptimo y un consumo energético eficiente.

13.1 SOLICITACIONES EXTERIORES

El Documento básico de Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación define las solicitudes exteriores como “*acciones exteriores al edificio que tienen efecto sobre el comportamiento térmico del mismo*”.

A efectos de cálculo, se define una zona climática, para la que se especifica un clima de referencia, que define las solicitudes exteriores en términos de temperatura y radiación solar.

La zona climática de cada localidad, así como su clima de referencia, se determina a partir de los valores tabulados recogidos en el Anejo B del documento, o de documentos reconocidos elaborados por las Comunidades Autónomas.

Por otro lado, para determinar las condiciones exteriores de temperatura y humedad en proyectos de climatización, se utiliza la tabla extraída de la "Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto" elaborada por el IDAE en 2010.

Tabla 13.1 Condiciones climáticas exteriores de proyecto para la provincia de León. (IDAE, 2010)

Provincia	Estación					Indicativo	
León	León (Virgen del Camino)					2661	
UBICACIÓN: AEROPUERTO			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
916	42°35'20"	5°38'58"W	81.545	14.604	10.953		
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoín (%)	OMA (°C)		
-12,4	-5,0	-3,8	11,2	89,2	36,8		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
36,2	31,8	19,1	30,0	18,7	28,4	18,3	16,9
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)							
TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)		
19,6	19,6	19,0	19,0	18,4	18,4		
VALORES MEDIOS MENSUALES							
Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² día)	TTERR (°C)
Enero	2,9	4,5	350	492	0		
Febrero	4,4	6,5	280	409	0		
Marzo	7,4	9,5	226	364	0		
Abril	8,9	11,2	175	303	2		
Mayo	13,0	15,1	109	229	12		
Junio	18,2	20,8	34	107	52		
Julio	19,6	22,1	19	76	67		
Agosto	19,5	22,0	19	79	62		
Septiembre	16,3	18,9	45	132	25		
Octubre	11,5	13,4	120	250	2		
Noviembre	6,1	8,2	246	383	0		
Diciembre	3,3	5,3	334	476	0		

Es importante destacar que existen variables fundamentales para cada temporada. Durante el verano, se consideran la temperatura seca, TS₁, y temperatura húmeda coincidentes, THC₁, mientras que en invierno se toman en cuenta la temperatura seca, TS₉₉, y la humedad relativa coincidentes, HUM_{coin}. La elección de estas variables se hará en base a un nivel de percentil, que se utiliza para determinar los valores que se cumplen en un cierto porcentaje de horas.

En el caso de Ts_{99,6}, se nos proporciona una temperatura de -5 °C para un nivel percentil de 99,6%. Esto indica que durante el 99,6% de las horas del invierno, la temperatura exterior es superior a -5 °C, lo que significa que solo queda un 0,4% de las horas del invierno en las que las temperaturas podrían ser inferiores.

Lo que supone que, durante 35 horas al año, la temperatura podría alcanzar valores inferiores de incluso -12°C. Sin embargo, no sería lógico diseñar la instalación a una temperatura que se dará unos pocos minutos al año. La selección de esta temperatura dependerá del grado de cobertura que deseemos proporcionar a la instalación.

En el cálculo de la temperatura exterior de diseño se consideran los valores que se cumplen en el 99% de las horas de los meses más fríos, en León, - 3,8°C. Este será el dato de temperatura que tomaremos para elegir la temperatura exterior de los cerramientos.

En condiciones de refrigeración se observa el dato de TS (0,4%), que significa que sólo un 0,4% de las horas de verano la temperatura exterior en León es superior a 31,8°C.

La Guía de condiciones climáticas también ofrece datos medios mensuales para el cálculo del consumo energético de la instalación, como la temperatura seca media mensual, la temperatura seca media en las horas de sol y los Grados día de calefacción, que es un indicador que relaciona la temperatura media con una cierta temperatura de confort para calefacción.

13.2 SOLICITACIONES INTERIORES

El objetivo de las instalaciones de climatización es mantener unas condiciones de bienestar en la zona ocupada por las personas. En los sistemas convencionales por condiciones de bienestar se entienden unos valores de temperatura seca, humedad relativa, calidad de aire y nivel de ruido adecuado a las actividades que se realicen y a la cantidad de ropa que se utilice.

Se consideran solicitudes interiores a las cargas térmicas generadas en el interior de la vivienda debidas a los aportes de energía de los ocupantes, de los equipos y de la iluminación.

En este contexto, es importante comprender las diferencias entre los criterios de confort, los perfiles de uso y las condiciones operacionales normativas, ya que estos factores influyen en el cálculo de las cargas térmicas internas.

“El método de Fanger, en la actualidad uno de los más extendidos para la estimación del confort térmico, calcula dos índices denominados Voto medio estimado (PMV-predicted mean vote) y Porcentaje de personas insatisfechas (PPD-predicted percentage dissatisfied), que indican la sensación térmica media de un entorno y el porcentaje de personas que se sentirán inconfortables en un ambiente determinado”.
(Diego-Mas, 2015)

Los valores de la temperatura operativa y de la humedad relativa de los locales a calefactar se fija de acuerdo con el Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, donde se exige el cumplimiento de los siguientes valores.

Tabla 13.2 Temperatura operativa y humedad relativa.

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Para el dimensionamiento de los sistemas de calefacción, se empleará una temperatura de

cálculo de las condiciones interiores de 21°C. Para los sistemas de refrigeración la temperatura de cálculo será de 25°C.

Según el RITE, estos valores son para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno y un PPD menor al 10% asumiendo un nivel de velocidad de aire bajo ($<0,1$ m/s).

Sin embargo, la elección de la temperatura interior siempre debe ser evaluada por el profesional en instalaciones térmicas y respaldada por el cliente, buscando un equilibrio entre ahorro energético, confort y costos.

Por otro lado, también los consumos energéticos de un edificio están ligados a perfiles de uso y condiciones operacionales oficiales. Esto es debido a que la normativa en materia de evaluación energética de edificios ha de realizar las evaluaciones en las mismas condiciones para todos los edificios para poder compararlos y exigir unos requisitos mínimos de eficiencia.

Es por eso por lo que la normativa establece perfiles de uso y condiciones operacionales estándar que se aplican a los edificios según su uso específico.

Las condiciones operacionales que se definen para un espacio habitable acondicionado incluyen tanto las temperaturas de consigna como la distribución horaria del consumo de agua caliente sanitaria (ACS).

En primer lugar, las temperaturas de consigna definen los límites superiores e inferiores de la temperatura deseada en el espacio habitable. La temperatura de consigna alta activa los equipos de refrigeración, mientras que la temperatura de consigna baja activa los equipos de calefacción. Estas temperaturas son determinadas teniendo en cuenta las necesidades de confort y las restricciones energéticas. Un equilibrio adecuado entre ambas temperaturas permite mantener un ambiente confortable sin consumir excesiva energía.

Tabla 13.3 Condiciones operacionales de espacios acondicionados en uso residencial privado

		Horario (semana tipo)			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
Temperatura de consigna Alta (°C)	Enero a Mayo	-	-	-	-
	Junio a Septiembre	27	-	25	27
	Octubre a Diciembre	-	-	-	-
Temperatura de consigna Baja (°C)	Enero a Mayo	17	20	20	17
	Junio a Septiembre	-	-	-	-
	Octubre a Diciembre	17	20	20	17

Actualmente, los perfiles de uso establecen rangos de temperatura diarios para viviendas que oscilan entre los 17 y 20°C durante el invierno, y los 25 a 27°C durante el verano, con períodos de oscilación libre. Estos perfiles buscan modelar o establecer un patrón de uso y confort dado que los usuarios no tienen los sistemas de climatización activados todo el tiempo ni ocupan el edificio continuamente.

Las solicitudes interiores de la vivienda se caracterizan mediante un perfil de uso que establece una descripción horaria de las cargas internas para cada tipo de espacio. Las cargas dependen de la ocupación de la vivienda y la ocupación del día de la semana. Los espacios del modelo térmico tendrán asociado un perfil de uso descrito en la tabla b del Anejo D del DBHE.

Tabla 13.4 Perfil de uso de espacios en uso residencial privado

Carga interna W/m ²		Horario (semana tipo)					
		0:00 - 6:59	7:00 - 14:59	15:00 - 17:59	18:00 - 18:59	19:00 - 22:59	23:00 - 23:59
Ocupación (sensible)	L	2,15	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
	S y F	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación (latente)	L	1,36	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
	S y F	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación	L, S y F	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20
Equipos	L, S y F	0,44	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20

L: día laboral, S: sábado, F: domingo y festivo.

Con esta distribución, se puede añadir que el nivel de carga interna media del uso residencial es constante puesto que el perfil residencial es único y está dentro del nivel bajo (en torno a los 4 W/m²).

Los espacios con carga interna baja son espacios en los que se disipa poco calor.

Además, al tratarse de una vivienda de uso habitual, el régimen de uso será continuo, con producción de calefacción en invierno y A.C.S durante todo el año.

El número de horas fuera de consigna, comprobamos que se limita al 4% del tiempo total de ocupación, según el apartado 4.1 Procedimiento de cálculo, del DB HE0.

En uso residencial el 4% del tiempo total de ocupación se corresponden con 350 h.

Tabla 13.5 Perfil de uso de ACS de espacios en uso residencial privado

Hora	%	Hora	%	Hora	%	Hora	%
0h	1	6h	3	12h	5	18h	5
1h	0	7h	10	13h	5	19h	7
2h	0	8h	7	14h	4	20h	6
3h	0	9h	7	15h	3	21h	6
4h	0	10h	6	16h	4	22h	5
5h	1	11h	6	17h	4	23h	5

El % se refiere al tanto por ciento respecto a la demanda diaria de ACS.

14 ANÁLISIS DE LAS CARGAS TÉRMICAS EN LA VIVIENDA

La correcta comprensión y evaluación de las cargas térmicas en una vivienda es fundamental para dimensionar adecuadamente un sistema de climatización. En este sentido, es importante destacar que las cargas térmicas pueden ser tanto pérdidas como ganancias de calor. Las cargas térmicas de pérdidas representan la energía que fluye hacia el exterior, lo que implica una mayor demanda de calefacción para contrarrestar estas pérdidas y mantener una temperatura confortable en el interior de la vivienda. Por otro lado, las cargas térmicas de ganancias suponen un aporte de energía al ambiente interno, lo que implica un mayor requerimiento de refrigeración en épocas calurosas.

Para dimensionar correctamente un equipo de climatización es necesario distinguir entre el cálculo de la demanda energética horaria de la vivienda y el cálculo de las cargas térmicas. La carga térmica es la máxima potencia demandada por la vivienda y sirve para dimensionar la unidad terminal y calcular la potencia del generador. La demanda energética, por su parte, es la cantidad de energía que se necesita para compensar las condiciones exigidas por el edificio en términos de bienestar e higiene, y se calculará posteriormente.

Las cargas que se originan por una diferencia de temperatura en el aire o por radiación térmica se llaman cargas térmicas sensibles, mientras que aquellas que se originan por una variación de la humedad absoluta en el ambiente se denominan cargas térmicas latentes. Es importante considerar que no todas las cargas se presentan al mismo tiempo.

Al calcular las cargas térmicas, es fundamental tener en cuenta la simultaneidad de las cargas. Esto implica evaluar los hábitos del cliente y determinar las cargas que ocurren al mismo tiempo y su valor. Si no se considera este aspecto, el sistema de climatización calculado puede ser más grande de lo necesario, lo que implica costos adicionales en su adquisición y consumo energético.

Para abordar este problema, se utilizan programas de simulación horaria como CYPE y DMLEC en los cálculos de proyectos técnicos reales. Estos programas permiten dimensionar los sistemas de climatización teniendo en cuenta la evolución de las cargas térmicas hora a hora.

Además, existen otros métodos para calcular las cargas térmicas, como el método del balance térmico, el método de las funciones de transferencia, el método ASHRAE y el método Carrier. Estos métodos ofrecen diferentes niveles de precisión en los cálculos. Es importante destacar que un cálculo preciso de las cargas térmicas puede contribuir a

reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico en el interior de la vivienda.

En resumen, el cálculo de las cargas térmicas en una vivienda requiere considerar tanto las pérdidas como las ganancias de calor, evaluar la simultaneidad de las cargas y utilizar herramientas de simulación para obtener resultados precisos.

En cuanto a las condiciones exteriores de diseño, se ha seleccionado la temperatura más desfavorable, utilizando el mes de enero como referencia para calefacción y el mes de julio para refrigeración. Durante el resto del año, cuando la temperatura es más moderada, la carga calorífica o frigorífica es menor, lo que resulta en un rendimiento mayor del sistema.

En primer lugar, se elige si los cálculos se van a realizar para climatización o calefacción y se introducen los datos correspondientes a la localización de la vivienda, la altura sobre el nivel del mar y la estación meteorológica de referencia. También el mes en el que se va a calcular la calefacción y la refrigeración y finalmente la hora de cálculo en la cual van a aparecer los datos, aunque los cálculos son en 24 horas. En este primer caso se evaluarán las cargas de refrigeración a la hora de máxima demanda que son las 15h. En cuanto a los datos de zona se deben especificar los datos de superficie y de zona, la aplicación y la calidad de aire interior de acuerdo con el RITE.

Para el cálculo de las cargas de calefacción se sigue el mismo procedimiento que el de cargas por refrigeración, siendo la hora de máxima demanda de calefacción las 7h.

14.1 CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN

El cálculo de las necesidades de calefacción en el sistema de climatización tiene en cuenta dos cargas térmicas principales: la carga térmica por transmisión de calor a través de los cerramientos y la carga térmica por enfriamiento debido a la ventilación e infiltración de aire.

Cargas por transmisión de calor a través de muros y cerramientos (Qt): Estas cargas ocurren debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de un edificio. Los materiales conductores permiten que el calor pase de un lado al otro. En invierno, esta carga es desfavorable porque la temperatura exterior es más baja que la deseada en el interior, lo que resulta en la pérdida de calor a través de los muros y cerramientos.

Se calcula teniendo en cuenta las características de los materiales de construcción, el espesor de los cerramientos, los coeficientes de conductividad térmica de los materiales y las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de los espacios.

La fórmula para el cálculo de la carga por transmisión térmica ($Q_{\text{Transmisión}}$) se puede resumir de la siguiente manera:

$$Q_{\text{Transmisión}} = \sum U_i \cdot A_i \cdot C_o \cdot C_1 \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (14.1)$$

Donde:

U_i : transmitancia térmica del cerramiento "i" ($W/m^2 \cdot K$)

A_i : superficie del cerramiento "i" en contacto con el exterior (m^2)

T_{int} : temperatura interior de la vivienda en invierno ($21^\circ C$)

T_{ext} : temperatura del ambiente exterior en invierno ($-3,8^\circ C$)

C_o : coeficiente de orientación del cerramiento

C_1 : coeficiente de intermitencia que considera las paradas programadas del sistema de calefacción

El coeficiente de orientación (C_o) se aplica como un porcentaje de incremento sobre la carga térmica, donde los cerramientos orientados al Norte tienen mayor pérdida de calor que los orientados al Sur o al Este/Oeste.

El coeficiente de intermitencia (C_1) es un porcentaje de incremento que representa el efecto de las paradas programadas del sistema de calefacción, considerando la inercia

térmica y la demora para alcanzar la temperatura deseada. Se suele utilizar un valor de 1,10.

Cargas por ventilación de aire del exterior (Q_v): Esta carga térmica se refiere a la cantidad de calor que se pierde debido a la entrada de aire frío en la vivienda a través de la ventilación y la infiltración. La ventilación es el proceso de introducir aire fresco en el interior de los espacios, mientras que la infiltración se refiere a la entrada no controlada de aire a través de fisuras, grietas o aberturas en los cerramientos. Se tiene en cuenta la cantidad de aire que entra, la temperatura del aire exterior y las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior.

Las viviendas deben contar con aberturas de admisión y extracción en diferentes áreas para evitar la propagación de contaminantes. Se debe garantizar un flujo mínimo de aire tanto en la admisión como en la extracción. Estos flujos han de igualarse para mantener un equilibrio en el sistema de ventilación y asegurar un caudal total mínimo. Los locales secos, como los dormitorios y el salón, actúan como puntos de entrada de aire fresco, mientras que los locales húmedos, como el baño y la cocina, funcionan como puntos de salida.

El objetivo es eliminar la humedad, el dióxido de carbono y otros contaminantes generados por la actividad humana y los materiales de construcción. Se recomienda seguir el Documento HS3 del CTE y utilizar una tasa de renovación de aire calculada a partir de los caudales equilibrados en lugar de la tasa estándar.

Tabla 14.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	<i>Locales secos</i> ⁽¹⁾ ⁽²⁾			<i>Locales húmedos</i> ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

De acuerdo con la tabla, en una vivienda con tres o más dormitorios, se requerirá un caudal mínimo de 8l/s por cada uno de los espacios húmedos presentes, y en total, un mínimo de 33l/s. Esto implica que, si la suma de los caudales extraídos es mayor que el mínimo establecido, se utilizará dicha suma, pero si es menor, se considerará el caudal mínimo en total establecido por el HS3.

Tabla 14.2 Caudal de admisión en los locales secos

<i>Salón</i>	<i>10</i>
<i>Dormitorio principal</i>	<i>8</i>
<i>Dormitorio 2</i>	<i>4</i>
<i>Dormitorio 3</i>	<i>4</i>
<i>Total</i>	<i>26 l/s</i>

Tabla 14.3 Caudal de extracción en los locales húmedos

<i>Cocina</i>	<i>8</i>
<i>Baño 1</i>	<i>8</i>
<i>Baño 2</i>	<i>8</i>
<i>Total</i>	<i>24 l/s</i>

Al comparar los flujos de aire de entrada y salida, se concluye que es necesario aumentar el valor de uno de los dos flujos en la habitación, ya que ninguno alcanza el mínimo requerido. Se debe suministrar un flujo adicional de aire de 7l/s en la entrada para igualar el flujo mínimo de extracción. Este aire de entrada se añadirá al salón, ya que normalmente es el espacio que puede albergar a más personas y donde pueden generarse más cargas térmicas contaminantes en un momento dado. En el vestíbulo, no se han tenido en cuenta las pérdidas debidas a la ventilación, al no introducir aire externo.

Por último, la siguiente tabla muestra el flujo total equilibrado de ventilación para la vivienda de estudio.

Tabla 14.4 Caudal de admisión equilibrado en los locales secos

<i>Salón</i>	<i>17</i>
<i>Dormitorio principal</i>	<i>8</i>
<i>Dormitorio 2</i>	<i>4</i>
<i>Dormitorio 3</i>	<i>4</i>
<i>Total</i>	<i>33l/s</i>

$$\begin{aligned} \text{Tasa de renovación de aire} &= 33 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} * 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} * \frac{1}{454,3} \text{ren} \\ &= 0.26 \frac{\text{ren}}{\text{h}} \end{aligned} \quad (14.2)$$

Normalmente, en viviendas existentes se suele adoptar una tasa de renovación de aire de 0,63 ren/h.

La fórmula para el cálculo de la carga por ventilación ($Q_{\text{Ventilación}}$) se puede resumir de la siguiente manera:

$$Q_{\text{Ventilación}} = \sum V \cdot \rho_a \cdot C_{p,\text{aire}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (14.3)$$

- V =Volumen del aire de renovación (m³/h).
- ρ_a =Peso específico del aire: 1,2 Kg/m³.
- $C_{p,\text{aire}}$ =Calor específico del aire: 0,244 Kcal/(Kg.°C).
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (21°C)

- Text es la temperatura del ambiente exterior en invierno (-3°C)

Estas dos cargas térmicas se suman para determinar la carga térmica total de calefacción necesaria para mantener una temperatura confortable en los espacios.

14.2 CARGAS TERMICAS DE REFRIGERACIÓN

En la época de demanda de frío se prevé la existencia de cargas térmicas sensibles debidas a las diferencias de temperatura y a la radiación térmica, y cargas latentes debidas a la aportación de humedad al aire. Estas cargas son responsables de la cantidad de enfriamiento y deshumidificación requerida para mantener un ambiente cómodo.

En el período de refrigeración no sólo se tendrán en cuenta los aportes de calor por transmisión y ventilación, además de estas cargas térmicas, se tendrán en cuenta la carga térmica por radiación y la denominada carga interna, derivada del uso del edificio.

Cargas debidas a la radiación solar que entra por las ventanas (Qrs): Esta carga solo se aplica a elementos translúcidos, ya que la radiación solar ya se tiene en cuenta en otros cálculos para elementos opacos. Se calcula la cantidad de calor que entra a través del vidrio por transmisión y convección, considerando la orientación, latitud y elementos de sombra del vidrio, así como el factor solar del vidrio.

El hueco puede ser considerado como uno de los elementos más débiles desde el punto de vista del aislamiento térmico permitiendo grandes fugas de calor en régimen de invierno y un exceso de aportes solares en régimen de verano que son necesarios compensar con gastos energéticos bien en calefacción y refrigeración a fin de mantener los niveles de confort adecuados.

La radiación solar puede pasar a través del vidrio, lo que puede resultar en un exceso de calor en verano y pérdida de calor en invierno.

Los huecos realizan una aportación importante a la carga térmica de un recinto, por ello, la definición de las características de las ventanas y puertas debe ajustarse adecuadamente para permitir la introducción de parámetros predefinidos y valores proporcionados por los fabricantes, de acuerdo con la normativa aplicable.

Para calcular la radiación solar que pasa a través de las ventanas y lucenarios, usaremos la fórmula siguiente:

$$Qrs = R \times S \times F \quad (14.4)$$

Siendo:

R = Valor unitario de radiación [w/m²].

S = Superficie de la ventana [m²].

f = Factor corrector de atenuación por persiana, cortinas o toldos.

Tabla 14.5 Máximas aportaciones solares R(W/m2) para diferentes latitudes y orientaciones

Latitud Norte	Mes	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.
		Máximas aportaciones solares R (W / m2)								
30°	Junio	63	437	506	283	66	283	506	437	786
	Julio y Mayo	50	412	515	314	94	314	515	412	774
	Agosto y Abril	34	339	519	405	197	405	519	339	739
	Sept.y Marzo	28	283	496	478	329	478	496	283	666
	Oct. y Febrero	24	122	425	513	456	513	425	122	563
	Nov. y Enero	22	50	364	509	500	509	364	50	456
	Diciembre	19	37	329	509	513	509	329	37	412
40°	Junio	53	418	509	349	169	349	509	418	745
	Julio y Mayo	46	399	515	393	217	393	515	399	732
	Agosto y Abril	34	320	509	458	320	459	509	320	673
	Sept.y Marzo	28	182	469	509	440	509	469	182	575
	Oct. y Febrero	22	109	383	513	509	513	383	109	405
	Nov. y Enero	15	37	314	491	522	491	314	37	324
	Diciembre	15	31	270	465	519	465	270	31	267

En cuanto a los coeficientes de corrección f, los que se aplican habitualmente son el de marco metálico (f = 1,17) y el factor solar del vidrio, que los fabricantes indican en sus fichas técnicas como g. En caso de que queramos aplicar dos coeficientes de corrección, deberemos multiplicarlos.

Carga sensible por ventilación: En verano, la carga de calor puede ingresar al edificio a través de la ventilación si el aire exterior es más caliente que el interior. Se calcula como en invierno, solo varían las temperaturas.

$$Q_v = V \cdot 0,29 \cdot \Delta T \quad (14.5)$$

- V=Volumen del aire de renovación (m³/h).
- 0,29 es el producto de la densidad estándar del aire (1,2 Kg/m³) por el calor específico del aire: 0,244 Kcal/(Kg.°C).
- Tint es la temperatura interior de la vivienda en verano (25°C)
- Text es la temperatura del ambiente exterior en verano (28,3°C)

Carga latente por ventilación: Si no hay ventilación forzada, se estima un número de renovaciones de aire por hora en el edificio. Si hay ventilación forzada, se desprecian las infiltraciones de aire y solo se considera el caudal de ventilación.

$$Q_v = V \cdot 0,63 \cdot \Delta W \quad (14.6)$$

- Q_v es el valor de la carga térmica por ventilación o infiltración (W)
- V es el valor del caudal de aire de ventilación (m³ /h)
- 0,63 es el producto de la densidad estándar del aire (1,2 kg/m³) por el calor latente de vaporización del agua (0,52 Wh/g)
- ΔW es el valor de la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior y el interior.

El ábaco psicrométrico es una herramienta gráfica utilizada en el diseño de sistemas de climatización, para analizar y representar las propiedades termodinámicas del aire húmedo.

Para utilizar el diagrama psicrométrico, es necesario ubicar los puntos correspondientes a las condiciones exteriores e interiores del proyecto, utilizando la temperatura exterior a la hora considerada. Una vez situados los puntos se obtienen las humedades absolutas en g/Kg del exterior y del interior.

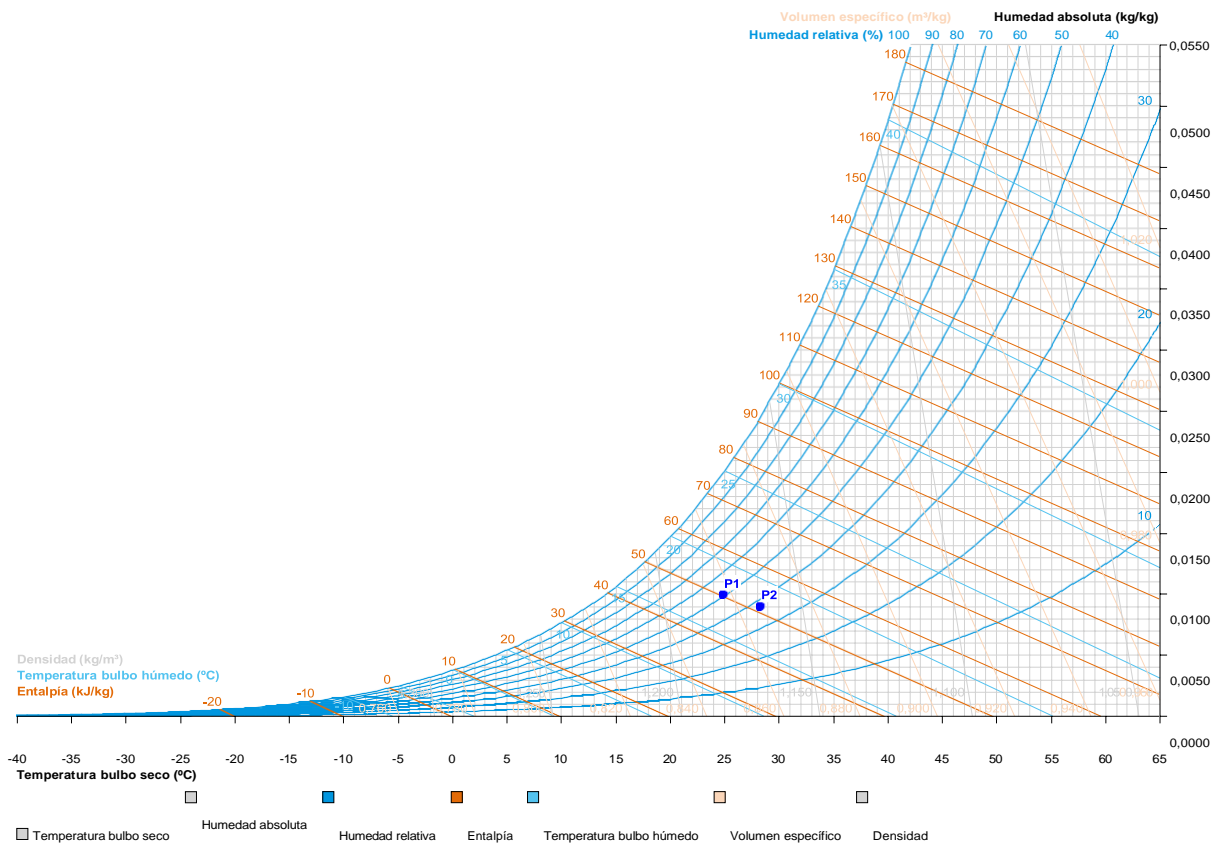


Ilustración 14.1 Diagrama psicrométrico para las condiciones de temperatura establecidas

Tabla 14.6 Datos psicrométricos del aire con las condiciones de temperatura establecidas

P1		P2	
Temperatura bulbo seco	25,0°C	Temperatura bulbo seco	28,4°C
Temperatura bulbo húmedo	17,9°C	Temperatura bulbo húmedo	18,3°C
Punto de rocío	13,9°C	Punto de rocío	12,5°C
Humedad relativa	50,0%	Humedad relativa	37,3%
Humedad absoluta	0,0099kg/kg	Humedad absoluta	0,0090kg/kg
Entalpía	50,3kJ/kg	Entalpía	51,5kJ/kg
Densidad	1,177kg/m ³	Densidad	1,164kg/m ³
Volumen específico	0,858m ³ /kg	Volumen específico	0,867m ³ /kg
Presión	101325,0Pa	Presión	101325,0Pa
Caudal	150,0l/s	Caudal	150,0l/s

Además de estas cargas externas, también se consideran las siguientes cargas internas:

Cargas internas debidas a los ocupantes: Estas cargas se deben al calor emitido por las personas dentro del edificio durante sus actividades diarias. Se tiene en cuenta la cantidad de calor emitido por persona según su actividad y ropa, y se multiplica por el número de ocupantes previstos en el espacio.

Esta carga se determinará multiplicando una valoración del calor sensible emitido por la persona tipo por el número de ocupantes previstos para el local, la cantidad de calor emitido por persona se tiene de una tabla.

Tabla 14.7 Emisiones de calor sensible y latente de las personas en función de su actividad Fuente: UNE-EN ISO 8996 y Alberto Viti Corsi

Actividad metabólica	sensible	latente	
ACTIVIDAD	W	W	met
durmiendo	50	25	0,76
tumbado	55	30	0,86
sentado, sin trabajar	65	35	1,0
de pie, relajado	75	55	1,3
paseando	75	70	1,5
andando			
a 1,6 km/h	50	110	1,6
a 3,2 km/h	80	130	2,1
a 4,8 km/h	110	180	2,9
a 6,4 km/h	150	270	4,2
bailando moderadamente	90	160	2,5
atlética en gimnasio (hombres)	210	315	5,0
deporte de equipo masculino (valor medio)	290	430	6,9
trabajos:			
muy ligero, sentado	70	45	1,2
moderado (en oficinas; valor medio)	75	55	1,3
sedentario (restaurante, incluidas comidas)	80	80	-
ligera de pie (industria ligera, de compras etc.)	70	90	1,6
media de pie (trabajos domésticos, tiendas etc.)	80	120	2,0
manual	80	140	2,1
ligero (en fábrica; sólo hombres)	110	185	2,8
pesado (en fábrica; sólo hombres)	170	255	4,0
muy pesado (en fábrica; sólo hombres)	185	285	4,5

$$Q_o = Q \cdot N \quad (14.7)$$

- Q_o es el valor de la carga térmica por ocupación de la vivienda (W)
- Q corresponde a una valoración del calor latente emitido por una persona en función de su grado de actividad (W/ocupante)
- N es el valor del número de ocupantes de la vivienda

Cargas internas debidas a la iluminación: Se considera el calor generado por la iluminación artificial en el edificio. Se calcula en base a ratios, considerando que la potencia de la lámpara se convierte en calor sensible.

En el caso de lámparas de descarga, se incrementará el valor obtenido en un 25% para tener en cuenta el cebador y el balasto. Se considera que el 125% se convierte en calor.

$$Q_i = 1,25 \cdot W \quad (14.8)$$

- Q_i es el valor de la carga térmica por iluminación de la vivienda (W)
- W es el valor de potencia de las lámparas (W)

Cargas internas debidas a las máquinas y equipos eléctricos: Se considera que la potencia de las máquinas y equipos eléctricos se convierte en calor sensible en su totalidad.

Carga térmica sensible por las máquinas presentes en la vivienda (Q_m)

$$Q_m = (1 - \eta) \cdot W \quad (14.9)$$

- Q_m es el valor de la carga térmica por maquinaria (W)
- η es el valor de rendimiento de la máquina. En el caso de dispositivos electrónicos puede considerarse cero, sin embargo, en motores, transformadores y maquinaria en general habrá que determinarlo a partir de la documentación del equipo.
- W es el valor de potencia de la maquinaria (W).

Se considera que los equipos y electrodomésticos no funcionarán todos a la vez, por lo que se aplicará un coeficiente de simultaneidad del 0,75.

El cálculo de las cargas térmicas de la vivienda se encuentra en el Anexo I de este documento. Se han obtenido los siguientes resultados que se emplearán para dimensionar los sistemas de climatización.

Tabla 14.8 Potencia máxima de calefacción y refrigeración calculadas en el Anexo I

Carga de calefacción	8,5 KW
Carga de refrigeración	10 KW

15 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA

En primer lugar, como ya se ha visto, es fundamental dimensionar los equipos de aerotermia para abastecer la carga máxima puntual que pueda requerir el edificio en cuestión. Esto implica considerar tanto la demanda de calefacción como la de refrigeración.

La aerotermia es un sistema de climatización que se ve afectado por las fluctuaciones de temperatura en el entorno. En lugares donde el clima es extremadamente frío y las temperaturas exteriores suelen estar por debajo de cero, las bombas de calor aerotérmicas convencionales no alcanzan su máximo rendimiento. Esto se debe a la disminución del coeficiente de rendimiento (COP) y la capacidad térmica disponible.

Es fundamental tener en cuenta esta situación al dimensionar la potencia del equipo, especialmente si se espera utilizarlo en condiciones climáticas adversas. Calcular de manera precisa la potencia necesaria garantiza que el sistema funcione correctamente incluso en situaciones extremas.

En nuestra situación específica, hemos determinado que se requiere una potencia de 8,5 kW para climatizar la vivienda. Por lo tanto, es necesario instalar una bomba de calor con una potencia nominal superior para asegurar que podamos satisfacer la demanda térmica de la vivienda, incluso en los días más fríos del año.

Es importante destacar que es posible lograr condiciones de confort utilizando un equipo con una potencia inferior a la calculada, siempre y cuando se utilice de manera adecuada y se evite que la vivienda se enfríe en exceso. Sin embargo, esta solución implicará un mayor tiempo de funcionamiento y, por consiguiente, un aumento en el consumo de energía. Si el usuario es consciente de las limitaciones y utiliza el sistema de manera adecuada, podría ser suficiente para cubrir sus necesidades.

El sistema de aerotermia seleccionado es Genia Air Max 8 de Saunier Duval se elige este modelo ya que la capacidad calorífica de la bomba de calor para uso con radiadores a 55°C es 7,60KW y al sumarle una resistencia de 2,5KW que está en el acumulador será superior a la carga por calefacción que tiene la vivienda (10,1 KW > 8,5KW).

Esto quiere decir que el equipo entregará 10,1 kW en condiciones nominales de trabajo. Estas condiciones nominales se especifican en el catálogo y son una temperatura exterior de -7°C y una temperatura de preparación del agua de 55°C.

Sin embargo, es crucial comprender que la potencia entregada por el equipo puede variar considerablemente en condiciones distintas a las nominales.

Además, es importante tener en cuenta que cuanto más alta sea la temperatura de impulsión menor será la potencia entregada y en consecuencia peor será el rendimiento obtenido. Esto significa que tendremos un mayor consumo eléctrico.

Para determinar la potencia de la bomba de calor a instalar se parte de la carga térmica del edificio. Para ello se analizarán las curvas de potencia de distintos modelos de bombas de calor y se elegirán aquellas que mejor se ajusten a cada caso. En el anexo 1 se incluyen las curvas de potencia y COP del modelo seleccionado.



Ilustración 15.1 Bomba de calor Genia Air Max 8. Fuente: Saunier Duval

En esta tabla de características podemos observar la potencia suministrada, COP, y consumo para diversas condiciones de trabajo:

Tabla 15.1 Características de la bomba de calor en función de las temperaturas seleccionadas (Fuente: ficha técnica)

Modelo	HA 8-6 O 230V B3
Potencia nominal máxima	3,50KW
Corriente asignada máxima	15A
Tipo de refrigerante	R290
Potencia de calefacción(A7/W55)	7,60KW
COP(A7/W55)	2,90
Potencia absorbida efectiva(A7/W55)	2,62KW
Consumo de corriente(A7/W55)	11,70A
Potencia de refrigeración(A35/W7)	7,20KW
EER(A35/W7)	2,70
Potencia absorbida efectiva	2,67KW
Consumo de corriente	11,90A

Tabla 15.2 Indicadores de eficiencia de la bomba de calor Genia Air Max (Fuente: ficha técnica)

COP ACS (A2)	3,77
COP calefacción (A7/W55)	2,93
EER refrigeración(A35/W7)	3,46
SCOP calefacción (W55)	3,05
SEER (A35/W7)	4,42

16 ANÁLISIS DE CONSUMOS ELÉCTRICOS DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON AEROTERMIA

Calcular una estimación precisa o comprender el consumo de energía proyectado en una vivienda conlleva beneficios significativos en términos de ahorros en la instalación, ya que permite llevar a cabo un dimensionamiento cuidadoso y evitar excesos innecesarios. Al contar con información fiable sobre el consumo esperado, es posible realizar un análisis detallado que garantice un dimensionamiento óptimo de todos los componentes involucrados en la instalación eléctrica de la vivienda.

Al conocer las características técnicas de la máquina, su rendimiento específico para cada uso y estimar las diversas demandas de la vivienda, es posible determinar el consumo eléctrico que tendrá la vivienda mediante la expresión:

$$\text{Consumo eléctrico} = \frac{\text{Demanda energética}}{COP} \quad (16.1)$$

16.1 CONSUMO ELÉCTRICO DOMÉSTICO Y PREVISIÓN DE LAS CARGAS

Cuando se instala un sistema de aerotermia, generalmente se requiere un aumento en la potencia contratada de electricidad. Esto resulta en un incremento del pago mensual debido al término fijo de potencia (alrededor de 40€ por kW/año). Sin embargo, existe una solución para evitar esta dificultad, que consiste en evitar la simultaneidad de consumos en un mismo periodo.

La siguiente tabla muestra la previsión de cargas y la estimación del consumo eléctrico en cualquier mes y día del año, ya que el consumo doméstico se considera un consumo contante de 24 horas. Se detallan los principales dispositivos eléctricos y electrodomésticos que generan consumo en la vivienda y se clasifican según la continuidad y magnitud del consumo, lo que nos proporcionará una aproximación del consumo de electrodomésticos e iluminación de la vivienda unifamiliar.

Tabla 16.1 Previsión de cargas con aerotermia y consumo doméstico en la vivienda

Receptor	Potencia nominal (W)	Nº receptores	Potencia instalada (W)	Horas de funcionamiento diario	Días funcionamiento mensual	Consumo diario (Wh/día)	Consumo mensual (Wh/mes)
Vitrocerámica	1200	1	1200	0,25	25	300	7500
Horno	1200	1	1200	0,25	10	300	3000
Microondas	1000	1	1000	0,25	25	250	6250
Lavavajillas	1200	1	1200	0,5	15	600	9000
Lavadora	1500	1	1500	0,5	6	750	4500
Frigorífico	300	1	300	3	25	900	22500
TV	150	1	150	2	25	300	7500
Bombillas LED	6,9,10	18	1200	4	31	4800	148800
Bomba de calor	3500	1	3500	-	-	-	-
	Potencia instalada=		11250	Consumo diario x (1,2**) =		9840	
Potencia prevista = P. instalada x (0,5*) =			5625		Consumo mensual =		209050

Nota: *Coeficiente de simultaneidad **Coeficiente de seguridad

La potencia contratada a la empresa suministradora no será de 5,625KW porque, aunque sea un coeficiente que se suele aplicar, no creemos que se utilicen simultáneamente el 50% de los electrodomésticos en ningún momento del año y la bomba tampoco estará permanentemente a plena carga.

Teóricamente, según la ITC-BT-25 del RBT, la potencia a prever se corresponderá con la capacidad máxima de la instalación, pero a efectos prácticos, podemos suponer una simultaneidad del 40% de los receptores lo que resultaría en 4500W. La potencia contratada será de 5 KW, lo cual proporcionará una capacidad suficiente para cubrir las necesidades de la instalación sin exceder su demanda máxima estimada.

16.2 CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA ACS

En primer lugar, se calculará la demanda térmica de ACS según el documento del CTE DB HE Ahorro de Energía. En este documento, la demanda depende principalmente del número de habitantes de la vivienda. La demanda diaria total de ACS se calcula en su Anexo F, considerando una demanda de referencia de 28 litros por persona y día a una temperatura de 60°C. Sin embargo, en el caso de estudio se busca trabajar con una temperatura menor para mantenerla durante el mayor tiempo posible, ya que así el sistema requerirá menos energía. El anejo también define la ocupación mínima de referencia en función del número de habitaciones, como se ilustra a continuación.

Tabla 16.2 Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

La demanda diaria de ACS se estimará, por tanto, para 4 personas a 55°C.

$$Demanda\ ACS\ por\ persona = \frac{60 \times 28}{55} = 30,54\ L/pers \times día \quad (16.2)$$

$$Demanda\ ACS\ total = 4 \times 30,54 = 122,16\ L/día \quad (16.3)$$

Tabla 16.3 Demanda diaria y mensual de ACS en la vivienda (L/mes)

MES	Demanda diaria (L/día)	Nº días de uso	Demanda mensual ACS (L/mes)
ENERO	122,16	31	3786,96
FEBRERO	122,16	28	3420,48
MARZO	122,16	31	3786,96
ABRIL	122,16	30	3664,8
MAYO	122,16	31	3786,96
JUNIO	122,16	30	3664,8
JULIO	122,16	31	3786,96
AGOSTO	122,16	31	3786,96
SEPTIEMBRE	122,16	30	3664,8
OCTUBRE	122,16	31	3786,96
NOVIEMBRE	122,16	30	3664,8
DICIEMBRE	122,16	31	3786,96

La energía térmica mensual necesaria para calentar el volumen estimado será:

$$Q = V \times Cp \times \rho \times (T_{uso} - T_{red}) \quad (16.4)$$

- V es el volumen de ACS demandado cada mes
- ρ es la densidad del agua, [1 kg/L]
- cp es el valor del calor específico del agua, [4,18 kJ/kg°C]
- T_{uso} es la temperatura de funcionamiento [55°C]
- T_{red} es el valor de la temperatura a la que se suministra el agua en León

Tabla 16.4 Demanda diaria y mensual de ACS en la vivienda (KWh)

Mes	Demanda mensual ACS (L/mes)	T ^a impulsión ACS (°C)	T ^a agua fría (°C)	ΔT (°C)	Demanda térmica mensual (kJh/mes)	Demanda térmica mensual (kWh/mes)	Demanda térmica diaria (kWh/día)
Enero	3786,96	55	6	49	775645,15	215,46	6,950
Febrero	3420,48	55	6	49	700582,71	194,61	6,950
Marzo	3786,96	55	8	47	743986,16	206,66	6,667
Abril	3664,8	55	9	46	704667,74	195,74	6,525
Mayo	3786,96	55	12	43	680668,19	189,07	6,099
Junio	3664,8	55	14	41	628073,42	174,46	5,815
Julio	3786,96	55	16	39	617350,22	171,49	5,532
Agosto	3786,96	55	16	39	617350,22	171,49	5,532
Septiembre	3664,8	55	15	40	612754,56	170,21	5,674
Octubre	3786,96	55	11	44	696497,68	193,47	6,241
Noviembre	3664,8	55	8	47	719986,61	200,00	6,667
Diciembre	3786,96	55	6	49	775645,15	215,46	6,950

Para la producción de ACS es recomendable tomar un volumen del depósito de acumulación cercano a la carga de consumo diaria. En este caso la capacidad del depósito es la que marca el fabricante en el catálogo.

A continuación, se calcula la potencia térmica necesaria que debe tener la bomba para calentar el depósito.

$$P = \frac{V \times Cp \times \rho \times (T_{uso} - T_{red})}{t} \quad (16.5)$$

Donde:

- V es el volumen del depósito de ACS, [193L]
- C_p es el calor específico del agua, [4,18 kJ/kg°C]
- ρ es la densidad del agua, [997 kg/m³]
- T_{uso} es la temperatura de impulsión del agua, [55°C]
- T_{red} es el valor de la temperatura a la que se suministra el agua en diciembre [6°C]
- t es el tiempo que tarda en calentarse el depósito de acumulación, [7500s]

La potencia máxima necesaria para calentar el depósito de 193L, será de **5,25 kW**.

El consumo eléctrico de ACS se obtiene como el cociente entre la energía térmica demandada y el rendimiento estacional de la bomba para ACS.

De este modo, podemos decir el consumo eléctrico medio diario que tiene la bomba en ACS es de **1,8 kWh**, ya que sabemos que el COP para ACS es de **3,77**.

16.3 CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA CLIMATIZACIÓN

La capacidad máxima de calefacción depende de la temperatura mínima de cálculo, mientras que el consumo está relacionado con los grados-día. Los grados-día se utilizan para evaluar las necesidades de energía de un edificio en períodos mensuales o anuales. Representan la suma de los grados centígrados por debajo de una temperatura determinada a lo largo de un período de tiempo. Cuanto mayor sea el número de grados día, más severo será el clima. Este método es aplicable a la calefacción y puede proporcionar una estimación rápida del consumo. Se utilizará la siguiente expresión.

$$\text{Consumo de calefacción} = \frac{Q \times GD \times 24h}{SCOP \times (T_{base} - T_{mín})} \quad (16.6)$$

Por tanto, los datos a conocer son:

- La **carga térmica máxima, Q**, es la potencia de calefacción de diseño [8KW].
- Los **Grados día** es un dato que procede de la Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto del IDAE.
- El **SCOP** es el rendimiento medio estacional para calefacción a 55°C, [3,05].
- La **Temperatura base** es la temperatura que se ha utilizado para recopilar los grados día, [15°C]. (En España se considera que por debajo de 15° es necesaria la calefacción).
- La **Temperatura mínima exterior** del lugar esta temperatura mínima es la que hemos utilizado para calcular las cargas térmicas, [3,8°C].

Tabla 16.5 Cálculo del consumo de calefacción por el método de los Grados día

Mes	GD_15 (°c)	Demanda energía térmica (kWh)	Consumo eléctrico mensual (KWh)	Días	Consumo eléctrico diario (KWh/día)
Enero	350	3574,47	1171,96	31	37,81
Febrero	280	2859,57	937,57	28	33,48
Marzo	226	2308,09	756,75	31	24,41
Abril	175	1787,23	585,98	30	19,53
Mayo	0	0,00	0,00	31	0,00
Junio	0	0,00	0,00	30	0,00
Julio	0	0,00	0,00	31	0,00
Agosto	0	0,00	0,00	31	0,00
Septiembre	45	459,57	150,68	30	5,02
Octubre	120	1225,53	401,81	31	12,96
Noviembre	246	2512,34	823,72	30	27,46
Diciembre	334	3411,06	1118,38	31	36,08
Total=	1776	18137,87	5946,84		

16.4 CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL DE LA VIVIENDA

Tabla 16.6 Consumo eléctrico total de la vivienda

MES	Consumo calefacción diario (KWh)	Consumo ACS diario (KWh)	Consumo doméstico diario (KWh)	Consumo diario total (KWh)
Enero	37,81	1,844	9,84	49,494
Febrero	33,48	1,84	9,84	45,16
Marzo	24,41	1,76	9,84	36,01
Abril	19,53	1,73	9,84	31,1
Mayo	0	1,62	9,84	11,46
Junio	0	1,54	9,84	11,38
Julio	0	1,46	9,84	11,3
Agosto	0	1,46	9,84	11,3
Septiembre	5,02	1,5	9,84	16,36
Octubre	12,96	1,65	9,84	24,45
Noviembre	27,46	1,76	9,84	39,06
Diciembre	36,08	1,84	9,84	47,76

17 ANÁLISIS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ÓPTIMO

En este apartado se consideran ciertos factores previos a la instalación del campo solar fotovoltaico, como su ubicación, orientación e inclinación. El estudio de sombras sobre la cubierta se ha realizado en el apartado de certificación energética y será tenido en cuenta para una adecuada integración arquitectónica de los módulos fotovoltaicos.

El emplazamiento seleccionado para el campo solar fotovoltaico se ha elegido estratégicamente con el objetivo de maximizar la captación de energía solar tomándose medidas para minimizar las pérdidas.

Los paneles solares se dimensionarán considerando diversos factores y se ajustarán a las características de la vivienda y las necesidades de consumo eléctrico.

En primer lugar, podemos observar que tanto la orientación como la disposición de cubiertas en la vivienda nos indica una gran facilidad de implementación para una pequeña instalación solar fotovoltaica, ya que la vivienda posee una cubierta específica orientada prácticamente al sur e inclinada unos 20°.

Se utilizará una estructura coplanar para anclar los paneles directamente a la cubierta, cumpliendo con las condiciones de orientación y estética del proyecto.

El dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica ha tenido en cuenta diversos factores que influyen en la cantidad de energía generada por los paneles solares. Estos factores son cruciales para determinar la eficiencia y capacidad del sistema de autoconsumo solar. Algunos de los factores considerados en este proyecto son:

- **Potencia:** Se ha evaluado la potencia de los módulos solares, que indica la cantidad de electricidad que pueden generar a partir de la energía solar. Esta característica es fundamental para determinar la capacidad de producción energética del sistema.
- **Calidad:** La calidad de los paneles solares también se ha tenido en cuenta, ya que afecta al precio, rendimiento, durabilidad y periodo de amortización del sistema de autoconsumo solar. Se han seleccionado paneles de alta calidad para garantizar una mayor eficiencia y vida útil del sistema.
- **Ángulo de inclinación:** Se ha considerado el ángulo de inclinación de los paneles solares para maximizar su rendimiento al aprovechar al máximo la radiación solar incidente. Se ha buscado el ángulo óptimo que permita una mayor captación de energía solar.
- **Situación geográfica:** La situación geográfica del emplazamiento también ha sido evaluada, ya que influye en las horas de sol pico en la localidad. Esto permite determinar la cantidad de radiación solar disponible y ajustar la capacidad de

generación del sistema en función de las condiciones locales.

Para calcular el número de módulos necesarios, se han tenido en cuenta otros factores adicionales, como:

- Dimensiones del tejado: Se ha considerado la superficie disponible en el tejado de la vivienda para determinar el área ocupada por el campo fotovoltaico. Esto permite calcular la cantidad de paneles solares que pueden ser instalados.
- Consumo eléctrico: Se ha tenido en cuenta el consumo eléctrico diario de la vivienda para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria. Esto ayuda a dimensionar el sistema de manera adecuada para cubrir la demanda energética del hogar.
- Distribución horaria del consumo: La distribución del consumo eléctrico a lo largo del día también ha sido considerada. Esto permite estimar la cantidad de energía que se puede autoconsumir en diferentes momentos y ajustar la capacidad de generación del sistema en consecuencia.



Ilustración 17.1 Ubicación de los módulos fotovoltaicos

17.1 PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

En España, se recomienda que las placas solares fotovoltaicas estén orientadas hacia el sur, considerando que el país se encuentra en el hemisferio Norte. Sin embargo, en algunas ocasiones, debido a las características de la cubierta, como la presencia de sombras por obstáculos remotos o la falta de espacio, puede obtenerse mejor producción de energía con otra orientación. Por lo tanto, el análisis se adaptará a las particularidades de la cubierta en cuestión.

Si las placas no pueden orientarse hacia el sur, es necesario realizar un análisis más detallado del consumo para maximizar la producción del sistema. Por ejemplo, si el consumo máximo ocurre en las primeras horas de la mañana, se recomienda orientar los paneles hacia el Este, considerando que el sol sale de ese punto. Del mismo modo, si el consumo máximo se da por la tarde, una orientación hacia el Oeste sería favorable.

En la vivienda de estudio, existe la posibilidad de instalar los módulos fotovoltaicos en dos orientaciones:

- Cubierta Sur: $\beta=25^\circ$, $\beta_{\text{ópt}}=37^\circ$ y $\alpha=-3^\circ$
- Cubierta Suroeste: $\beta=25^\circ$, $\beta_{\text{ópt}}=37^\circ$ y $\alpha=-26^\circ$

Como se establece en el Pliego de condiciones técnicas del IDAE, la orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla I.

Tabla 17.1 Pérdidas máximas admitidas para la ubicación de módulos fotovoltaicos por orientación e inclinación y sombras.

Tabla I

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- El ángulo de inclinación es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.
- El ángulo de acimut es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal

de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Su valor es 0° para módulos orientados al sur, -90° para la orientación este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

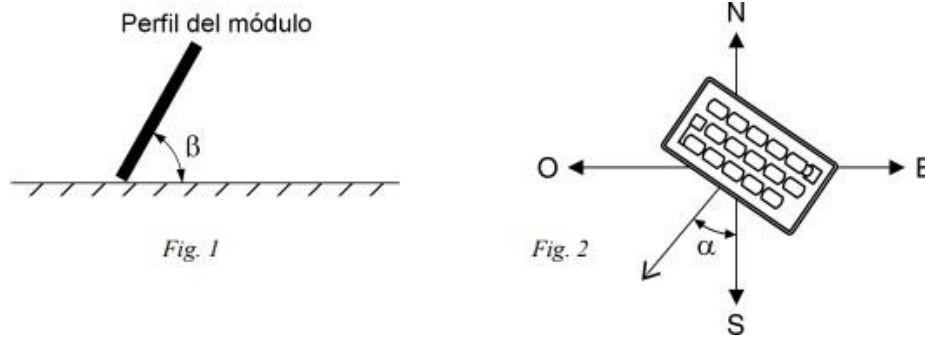


Ilustración 17.2 Representación gráfica de la Inclinación y acimut de un módulo fotovoltaico

Hay que buscar la inclinación de los módulos que maximice la radiación media anual que reciben. Sin embargo, en ciertas latitudes y condiciones climáticas, un rango de inclinación entre 10° y 20° puede ser lo suficientemente amplio como para proporcionar un rendimiento aceptable sin la necesidad de ajustar la inclinación exacta de los paneles solares.

El siguiente gráfico muestra, para un ángulo de acimut concreto, las distintas fracciones de aprovechamiento solar en función del ángulo de inclinación seleccionado.

Como puede observarse, existe un margen en el que desviaciones de hasta 45° respecto al sur geográfico no afectan significativamente al rendimiento de la instalación.

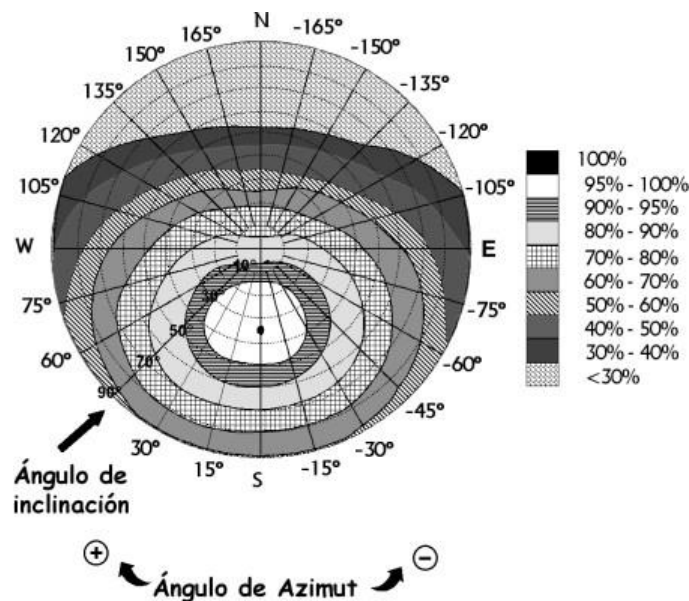


Ilustración 17.3 Gráfica de irradiancia solar

El punto negro que se observa en el meridiano representa el ángulo de inclinación óptimo. Es decir, si la orientación de los paneles fuera exactamente sur, el ángulo de inclinación tendría un valor de 37° con el que se obtendría supuestamente el máximo aprovechamiento solar, es decir, el 100% de la radiación solar incidente.

Sin embargo, se comprueba gráficamente que, para un azimut de 26° , hay un rango de ángulos de inclinación aceptables en el que no se ve afectado significativamente el rendimiento de la instalación fotovoltaica.

Esta evidencia también nos muestra que es posible ahorrar en estructuras de elevación al instalar los paneles en una estructura coplanar en el tejado. Esta configuración no solo reduce los costos de instalación, sino que también permite una integración más estética y armoniosa con el entorno. La solución puede ser instalar una placa más, que siempre es más rentable que una estructura de elevación.

El ángulo de inclinación de las placas fotovoltaicas será la suma de la inclinación del tejado, 17° , más el soporte coplanar donde va la placa, 8° , que suma un total de 25° de inclinación de los módulos, lo que indica que las pérdidas estarán entre el 0 y el 5%.

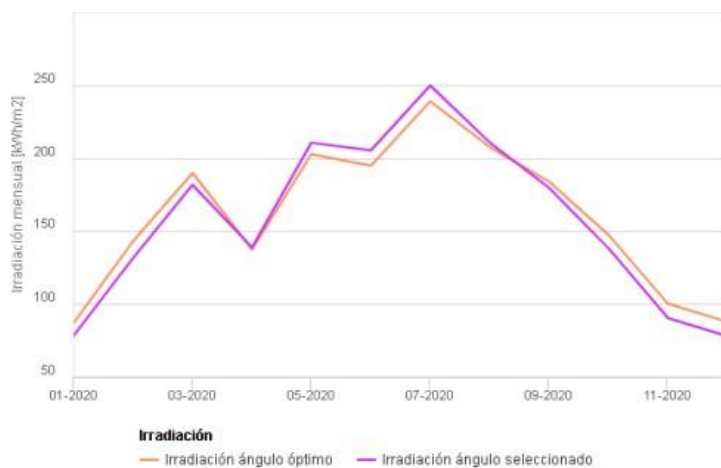


Ilustración 17.4 Irradiación solar mensual en Av. San Andrés n°20 en el año 2020, con el ángulo de inclinación, 25° , y con el ángulo óptimo para esa ubicación, 37°

Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE “se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo con las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima” y se corregirá para la latitud de $42,6^\circ\text{N}$.

Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima, 60° y 7° , respectivamente.

Corrigiendo estos valores para la latitud de León se obtiene:

$$\text{Inclinación máxima corregida} = 60^\circ - (41^\circ - 42,6^\circ) = 62,6^\circ \quad (17.1)$$

$$\text{Inclinación mínima corregida} = 7^\circ - (41^\circ - 42,6^\circ) = 9,6^\circ \quad (17.2)$$

Las pérdidas por orientación e inclinación se calculan con la siguiente expresión:

$$\% \text{Pérdidas (OI)} = 100 \times [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{óptimo}} + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad (17.3)$$

Tabla 17.2 Pérdidas por orientación e inclinación y sombras

SUPERPOSICIÓN	Cubierta SUROESTE	Cubierta SUR	Pérdidas permitidas
% Pérdidas (OI)	2,414%	0,07%	<20%
% Pérdidas (sombras)	5,846%	13,315%	<15%
% Pérdidas (OI+ sombras)	8,26%	13,38%	<30%

Durante el proceso de certificación energética, se determinó que las pérdidas debidas a sombras generadas por edificios remotos en el entorno alcanzaron un valor del 5,85% en la cubierta Suroeste y 13,315% en la cubierta Sur. Sumando estos resultados con las pérdidas por orientación e inclinación, se obtienen en ambos casos, unas pérdidas inferiores a los límites permitidos. Es decir, que existe la posibilidad de instalar los módulos en un tejado u otro. No obstante, debido a las significativas pérdidas por sombras en el tejado Sur, la producción fotovoltaica se reduciría aproximadamente en 200 KWh al año. Por consiguiente, se ha decidido instalar los módulos fotovoltaicos en el tejado Suroeste, ya que presenta menores pérdidas y proporcionará una mayor cantidad de energía por la tarde, en caso de que el consumo sea más elevado en ese momento.

Es esencial considerar esta información al diseñar y planificar la instalación, con el objetivo de maximizar la eficiencia y producción energética del sistema.

17.2 DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico puede variar según los enfoques utilizados y la experiencia de los instaladores. No existe un procedimiento universalmente aceptado en la comunidad fotovoltaica en la actualidad. Sin embargo, uno de los métodos simplificados comúnmente utilizados se basa en el cálculo de la carga media diaria (consumo de electricidad) y la irradiación solar promedio mensual.

Este método es denominado por el IDAE como el método del mes crítico, ya que los valores se calculan para el mes de peor irradiación y mayor consumo en la vivienda. Según esta metodología, se obtiene el número de paneles necesarios para cubrir la demanda en el mes más desfavorable, lo que garantizará la cobertura durante el resto del año.

Se pueden conocer, por medio de PVGIS, herramienta interactiva de la comisión europea, los valores de irradiación global en una ubicación seleccionada.

Tabla 17.3 Irradiación global solar mensual y HSP con una inclinación de los módulos de 25°, para la ubicación seleccionada. (Fuente: PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial)

	Irradiación mensual a 25° (kWh/m2)	HSP (horas/día)
Enero	78,47	2,53
Febrero	131,45	4,69
Marzo	181,58	5,86
Abril	138,74	4,62
Mayo	210,47	6,79
Junio	205,25	6,84
Julio	249,59	8,05
Agosto	210,62	6,79
Septiembre	179,47	5,98
Octubre	138,11	4,46
Noviembre	90,29	3,01
Diciembre	77,92	2,51
Total	1891,96	62,15

$$Energía\ de\ un\ panel = P_{mpp} \times HSP \times pérdidas\ panel \quad (17.4)$$

$$Potencia\ demandada = \frac{consumo\ promedio\ diario(kWh/día)}{Energía\ de\ un\ panel(KWh/día)} \quad (17.5)$$

Esta fórmula nos arroja resultados muy dispares dependiendo del mes estudiado, como se observa en la siguiente tabla, ya que los consumos son muy variables a lo largo del año y además no existen resultados reales al ser una instalación totalmente nueva.

Tabla 17.4 Estimación del número de módulos necesarios en cada mes en función de la demanda mensual y las horas de sol pico para la inclinación de 25°

MES	Consumo eléctrico calefacción diario(KWh)	Consumo eléctrico ACS diario(KWh)	Consumo eléctrico doméstico diario(KWh)	Consumo total diario(KWh)	HSP	Nºpaneles
Enero	37,81	1,844	9,84	49,494	2,53	48
febrero	33,48	1,84	9,84	45,16	4,69	24
Marzo	24,41	1,76	9,84	36,01	5,86	15
Abril	19,53	1,73	9,84	31,1	4,62	16
Mayo	0	1,62	9,84	11,46	6,79	4
Junio	0	1,54	9,84	11,38	6,84	4
Julio	0	1,46	9,84	11,3	8,05	3
Agosto	0	1,46	9,84	11,3	6,79	4
Septiembre	5,02	1,5	9,84	16,36	5,98	7
Octubre	12,96	1,65	9,84	24,45	4,46	13
Noviembre	27,46	1,76	9,84	39,06	3,01	32
Diciembre	36,08	1,84	9,84	47,76	2,51	47

Al tener el mayor consumo en los meses de menor producción, será difícil, o más bien, muy costoso poder cubrir todo el consumo previsto, ya que haría falta incurrir en un número muy elevado de paneles. Además, no se podría acceder a la subvención de fondos europeos, ya que la producción total anual superaría lo permitido para poder solicitarla.

Para no tener que realizar una instalación muy sobredimensionada, se ha valorado otro método de cálculo de la instalación y la compensación de excedentes.

Con el fin de evitar una instalación excesivamente sobredimensionada, se ha considerado un enfoque alternativo para calcular la instalación. En lugar de buscar un número exacto de paneles, se dimensionará la instalación de manera que la producción anual de electricidad pueda cubrir la demanda máxima, minimizando la necesidad de comprar energía a la red y evitando excedentes excesivos.

Se ha determinado que realizar una inversión inicial menor permitirá una amortización más rápida. Por ejemplo, al comparar la instalación de 8 paneles con la de 10 paneles, se obtiene

un ahorro de 802 euros en la inversión inicial al optar por 8 paneles. Sin embargo, la amortización de esta inversión tomaría 22 años. Por otro lado, con 10 paneles, la amortización se lograría en solo 18 años.

Si se instalaran 12 paneles, la amortización también sería de 18 años, por lo tanto, 10 paneles es la opción óptima para alcanzar un equilibrio en términos de inversión y recuperación.

Se ha elegido el siguiente modelo de panel partido por sus características y competitividad en el precio.

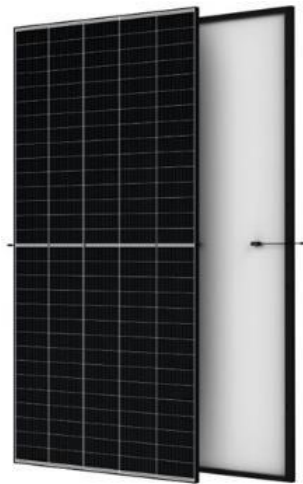


Ilustración 17.5 Panel Solar Vertex

Tabla 17.5 Características técnicas del módulo fotovoltaico (valores para condiciones estándar STC: irradiancia de 1000W/m² y temperatura de la célula 25°)

Tabla 17.6 Características técnicas del módulo fotovoltaico

Modelo	TSM-DE18M(II)
Potencia máxima de salida (P _{máx})	510W
Voltaje en circuito abierto (V _{oc})	52,1V
Voltaje a máxima potencia (V _{MPP})	43,2V
Intensidad máxima en cortocircuito (I _{SC})	12,42A
Intensidad a máxima potencia (I _{MPP})	11,81A
Voltaje nominal (V)	24V
Eficiencia del módulo	21,2%
Tolerancia de la potencia de salida	±5W

Contar con un panel solar de mayor potencia permite instalar una mayor potencia en un espacio reducido, pero es importante considerar las compatibilidades y tensiones de los equipos conectados al panel.

El panel solar utiliza tecnología PERC, con una capa reflectante entre el silicio y el aluminio para mejorar la captación de energía y reducir el calentamiento de las células fotovoltaicas, lo que aumenta el rendimiento. Está compuesto por 150 células distribuidas en 5 columnas y 30 filas. En un panel convencional, la distribución de células se divide en 3 grupos, mientras que en este caso son 5. Si se produce una sombra parcial, el grupo de células que experimenta una disminución en su rendimiento ocupa un área menor del panel en comparación con uno convencional, donde notaríamos una mayor disminución en la producción.

La potencia pico de la instalación fotovoltaica se calcula con la siguiente expresión:

$$Potencia\ instalada = N^{\circ}módulos \cdot Potencia\ pico\ módulo = 10 * 510 = 5100\ Wp \quad (17.6)$$

El siguiente paso en el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica es la elección del inversor, que realiza una tarea imprescindible: convertir la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna a 230V en monofásica y a 50 Hz para el consumo en la vivienda.

En sistemas fotovoltaicos conectados a red, los inversores se conectan directamente a los paneles solares en corriente continua y al cuadro eléctrico de la vivienda, en corriente alterna. Los inversores cuentan con un seguidor del punto de máxima potencia (MPP), que permite operar a los paneles en la zona de la curva característica de los paneles donde entregan la máxima potencia.

En este tipo de instalaciones, el inversor debe asegurarse de que los paneles solares operen en su punto de máxima potencia en todo momento, lo cual depende de la cantidad de radiación solar recibida por los paneles y la temperatura a la que se encuentren. Para lograr esto, el inversor ajusta constantemente la tensión y la corriente de los paneles de manera que su producto sea siempre máximo.

Al seleccionar un inversor para este tipo de instalaciones, es importante tener en cuenta las siguientes características técnicas:

- Monofásico o trifásico: Para potencias inferiores a 5 kW, generalmente se utiliza un inversor monofásico, mientras que para potencias más altas se emplea un inversor trifásico.
- Potencia del inversor: El inversor debe tener una potencia que se encuentre entre el 80% y el 90% de la potencia máxima del generador fotovoltaico. Esto significa que el inversor debe ser capaz de suministrar entre el 80% y el 90% de la potencia aportada por el generador.

En caso de que en algún momento la potencia generada supere este porcentaje, el inversor la limitará a la potencia máxima permitida por él. Sin embargo, esto rara vez ocurre, ya que los paneles solares experimentan pérdidas debido a la suciedad, las variaciones de temperatura, el envejecimiento, entre otros factores.



Ilustración 17.6 Inversor solar Sofar 3.6KTLM- Monofásico

Tabla 17.7 Características técnicas del inversor

Modelo	SOFAR 3.6KTLM-G3
Potencia de entrada fotovoltaica (P _{máx})	5400W _p
Potencia nominal (P _{nom})	3680W
Tensión mínima de funcionamiento (V _{mp.mín})	80V
Tensión máxima de funcionamiento (V _{mp.máx})	600V
Tensión máxima soportada (V _{máx})	600V
Intensidad máxima admisible (I _{máx.adm})	11A
Intensidad de cortocircuito (I _{cc máx.adm})	15A
Rendimiento máximo	98,2%

Seguindo esta especificación, se selecciona el Inversor SofarSolar 3.6KTLM-G3. En su ficha técnica se observa que el inversor puede admitir una potencia máxima de 5400W proveniente del generador, lo que es adecuado para el dimensionamiento de los paneles realizado ya que $5400W_p/410W_p=10$ paneles.

La potencia del generador fotovoltaico debe ser mayor que la potencia nominal del inversor, generalmente en un rango de entre el 10% y el 30%. Esto se debe a que, durante muchos momentos, el generador estará operando con niveles de radiación inferiores a los considerados en las condiciones estándar de medida (STC), que son de 1000W/m² de irradiancia, AM 1.5G de distribución espectral y 25°C. Esta precaución se toma para evitar que el inversor funcione constantemente en condiciones de baja potencia de salida y bajo

rendimiento, lo cual no es recomendable.

Si se desea tener la opción de aumentar la cantidad de paneles instalados en el futuro, se puede optar por seleccionar un inversor cuya potencia nominal sea ligeramente mayor que la potencia máxima de los paneles. No obstante, es importante tener en cuenta que esto podría afectar el rendimiento general del sistema.

El rendimiento es la característica más importante de un inversor y se refiere a la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del dispositivo. Se busca que el rendimiento sea mayor al 90% a plena carga, lo cual es común en la mayoría de los inversores disponibles en el mercado. Esta medida se conoce como "eficiencia al rendimiento" y es esencial para evaluar la calidad del inversor.

17.3 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La herramienta PVGIS, desarrollada por la Unión Europea, permite extraer los datos de la previsión de la producción fotovoltaica en cualquier zona de Europa. Para ello, se han introducido la ubicación, la potencia fotovoltaica instalada, la inclinación del tejado, el azimut y las pérdidas en el programa.

Tabla 17.8 Resultados de la simulación de la producción anual fotovoltaica. (Fuente: PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial)

Latitud/Longitud:	42.602,-5.590	Ángulo de inclinación:	25 °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	26 °
Base de datos:	PVGIS-SARAH2	Producción anual FV:	7861.15 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	1919.57 kWh/m ²
FV instalado:	5.1 kWp	Variación interanual:	206.06 kWh
Pérdidas sistema:	8.26 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.9 %
		Efectos espectrales:	0.58 %
		Temperatura y baja irradiancia:	-10.37 %
		Pérdidas totales:	-19.7 %

Tabla 17.9 Producción de energía mensual del sistema FV fijo

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	383.5	86.2	66.7
Febrero	517.1	118.3	65.9
Marzo	683.1	159.5	84.7
Abril	728.4	175.7	66.9
Mayo	828.4	204.8	71.8
Junio	841.6	213.7	40.1
Julio	918.9	237.7	32.9
Agosto	866.9	223.7	37.4
Septiembre	736.8	185.0	37.2
Octubre	567.3	135.8	63.6
Noviembre	416.9	95.3	75.0
Diciembre	372.2	83.8	51.4

18 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

18.1 CONSUMO ACTUAL DE LA VIVIENDA

El consumo de ACS ha sido calculado para una temperatura de impulsión del agua de 60°C y los valores de los consumos de calefacción, que se observan en la tabla, corresponden con el mes de facturación del consumo, que se han obtenido de las facturas del año 2022 de la vivienda.

Tabla 18.1 Consumo de ACS y calefacción con caldera de gas (antes de la intervención)

MES	QACS(kWh)	Qcalefacción(KWh)	Qelectricidad(KWh)
Enero	217,95	0	251,00
Febrero	196,85	10289	172,00
Marzo	209,87	0	218,00
Abril	199,20	6287	196,00
Mayo	193,73	0	154,00
Junio	179,67	0	128,00
Julio	177,59	2481	103,00
Agosto	177,59	758	141,00
Septiembre	175,76	0	123,00
Octubre	197,77	205	116,00
Noviembre	203,10	0	233,00
Diciembre	217,95	3155	244,00
Total	2347,02	23175	2079,00

$$\text{Consumo de gas} = 25522,02 \text{KWh} \times 0,045857 \text{€/KWh} = 1170,36 \text{€} \quad (18.1)$$

$$\text{Consumo electricidad} = 2079 \text{ KWh} \times 0,16 \text{€/KWh} = 332,64 \text{€} \quad (18.2)$$

$$\text{Gasto anual total} = 1503 \text{€} \quad (18.3)$$

18.2 CONSUMO FUTURO DE LA VIVIENDA

Tabla 18.2 Estimación de la producción de excedentes fotovoltaicos (valores negativos) y energía comprada a la red (valores positivos)

MES	Consumo eléctrico calefacción(KWh)	Consumo eléctrico ACS(KWh)	Consumo eléctrico doméstico(KWh)	Consumo total mensual(KWh)	Producción fotovoltaica(KWh)	Consumido-productivo(KWh)
Enero	1171,95	57,15	209,05	1438,15	383,5	1054,7
Febrero	937,56	51,62	209,05	1198,23	517,1	681,1
Marzo	756,75	54,818	209,05	1020,618	683,1	337,5
Abril	585,97	51,921	209,05	846,941	728,4	118,5
Mayo	0	50,152	209,05	259,202	828,4	-569,2
Junio	0	46,277	209,05	255,327	841,6	-586,3
Julio	0	45,487	209,05	254,537	918,9	-664,4
Agosto	0	45,487	209,05	254,537	866,9	-612,4
Septiembre	150,68	45,148	209,05	404,878	736,8	-331,9
Octubre	401,81	51,319	209,05	662,179	567,3	94,9
Noviembre	823,71	53,049	209,05	1085,809	416,9	668,9
Diciembre	1118,38	57,15	209,05	1384,58	372,2	1012,4
Total=	5946,81	609,578	2508,6	9064,988	7861,1	-2764,1
						3968,0

$$\text{Compra electricidad} = 3968 \text{ KWh} \times 0,16\text{€/KWh} = 634,88 \text{ €} \quad (18.4)$$

$$\text{Venta excedentes} = 2764,1 \text{ KWh} \times 0,10\text{€/KWh} = 276,41\text{€} \quad (18.5)$$

$$\text{Electricidad facturada} = 358,47 \text{ €} \quad (18.6)$$

18.3 AMORTIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Evaluar la viabilidad económica de la instalación implica verificar si es factible recuperar la inversión inicial antes de que la instalación alcance el final de su vida útil. Para ello, se puede calcular el costo anual de cada instalación multiplicando la potencia antes y después de la instalación por el precio de cada tipo de energía utilizada.

$$\text{Ahorro anual} = 1503 - 358,47 = 1144,53 \text{ €} \quad (18.7)$$

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{20505,10\text{€}}{1144,53\text{€}} = 17,92 \text{ años} \quad (18.8)$$

En base a la inversión inicial de 20.505,10 € y un ahorro anual de 1144,53 €, se estima que la instalación de aerotermia y fotovoltaica alcanzará su punto de amortización en aproximadamente 18 años.

19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos son altamente comparables a los obtenidos mediante métodos complejos de simulación, lo que indica que este enfoque es válido como una estimación inicial al calcular el tamaño de las instalaciones.

La demanda de cada componente varía significativamente a lo largo del tiempo, y está influenciada por las condiciones ambientales o la zona climática, el tipo de edificio y sus características térmicas, así como el uso y el control establecido. Además, es importante considerar el concepto de inercia térmica, es decir, la rapidez con la que cualquier cambio en las condiciones ambientales, el uso o el control afecta a las condiciones térmicas interiores de la zona y, por lo tanto, a su demanda energética. La inercia térmica nunca puede ser ignorada, lo que implica la necesidad de recurrir a la simulación térmica para obtener una estimación confiable de la demanda real. En otras palabras, no es posible utilizar métodos estacionarios para determinar de manera precisa el consumo energético del edificio, especialmente en casos de refrigeración o cuando las condiciones ambientales oscilan alrededor de la temperatura objetivo de la instalación.

Por otro lado, los equipos varían su rendimiento (EER, COP, potencia útil, etc.) en función de las condiciones ambientales y la proporción de carga que deben compensar en un momento dado (carga parcial) en relación a sus capacidades nominales. Por lo tanto, un enfoque estacionario basado en rendimientos estacionales solo puede proporcionar una aproximación del consumo real. Estas razones han llevado a la legislación española a establecer procedimientos de simulación energética de edificios e instalaciones para la certificación energética, y han generado un mayor interés en comprender en profundidad los fundamentos de las simulaciones térmicas.

Una vez presentadas las limitaciones que exigen los edificios de viviendas hoy en día, puede surgir la pregunta de cuáles son las tecnologías óptimas para satisfacer la demanda energética de una vivienda. Lo cierto es que no hay una tipología de sistema idónea para una vivienda, sino que, en función de diversos factores como el aislamiento, la zona climática, el tamaño y la humedad, será más eficiente emplear un equipo u otro. Sin embargo, analizando una casuística lo más generalista posible, la solución óptima estimada, principalmente por ser válida para cualquier climatología y por ser capaz de dar servicio a todas las necesidades (ACS, calefacción y refrigeración), probablemente sea la bomba de calor aerotérmica. La solución tradicional de caldera y sistema solar térmico sigue siendo válida, no obstante, la aparición de nuevas tecnologías de climatización y ACS con mayores eficiencias le están quitando protagonismo debido a esta diferencia de rendimientos.

La combinación de paneles solares y aerotermia es una buena forma de ahorrar, ya que la

energía que necesita la aerotermia la recibe de la tecnología solar, haciendo el sistema renovable. De esta manera se puede reducir el uso de la red eléctrica y, por tanto, el gasto en la factura de la luz.

Por otro lado, se ha señalado que la principal desventaja de la aerotermia es que su eficiencia depende del aire, que es un medio cambiante con fluctuaciones de temperatura que pueden variar el rendimiento del sistema. Además, en situaciones extremas, es posible que el sistema no proporcione suficiente energía a la vivienda y se requieran elementos de apoyo, como resistencias, para aportar el calor faltante.

Sin embargo, es un error afirmar que las bombas de calor aerotérmicas no pueden proporcionar la capacidad de calefacción necesaria en invierno, incluso cuando el aire es muy frío. Técnicamente, pueden utilizar el contenido energético del aire a temperaturas tan bajas como $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y generar temperaturas de flujo superiores a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. La clave para maximizar la eficiencia de la aerotermia es determinar la demanda de calefacción y el uso de la bomba de calor al dimensionar la capacidad de calefacción.

Con relación a la regulación y tributación de las facturas eléctricas, se evidencia la necesidad de un cambio para favorecer el autoconsumo doméstico. La alta cuantía de la parte fija de las facturas eléctricas reduce la rentabilidad de las instalaciones, lo que impacta en el ahorro real que podrían obtener los hogares. Se requiere una revisión de la regulación para incentivar y facilitar la implementación de sistemas de autoconsumo.

Además, es fundamental reflexionar sobre las medidas y acciones que podrían haberse tomado para evitar o minimizar los efectos de la crisis energética actual y para lograr una transición energética efectiva y sostenible en la Unión Europea. Los objetivos ambiciosos en la protección del clima, la seguridad del suministro, la autonomía energética y la resiliencia del sistema europeo de energía se han vuelto más realistas y necesarios en el contexto actual.

En cuanto a la compensación de energía, se destaca su importancia en la administración y dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas. La posibilidad de recuperar la energía enviada a la red en momentos en los que no se está consumiendo puede ser determinante para la elección del tipo de compensación (horaria, mensual o anual) y para optimizar el uso de la energía generada.

Por último, se destaca que el precio de la energía eléctrica en el mediodía tiende a ser bajo debido a la abundancia de producción fotovoltaica en esas horas. Esto implica que el ahorro por autoconsumo directo puede ser limitado, y la compensación de excedentes tiende a ser mínima, ya que el precio de la energía en el mercado eléctrico en el mediodía tiende a ser bajo o incluso cero. Esto plantea desafíos para las grandes plantas de producción fotovoltaica

y venta de energía, que pueden ver reducida su rentabilidad en el futuro debido a la sobreoferta de energía en esas horas.

20 BIBLIOGRAFÍA

-Diego-Mas, J.A., 2015. Evaluación del confort térmico con el método de Fanger. Disponible en: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>

-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2020. Bienestar térmico de un espacio climatizado. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_BIENESTAR_TERMICO_EN_UN_ESPACIO_CLIMATIZADO_2_articulo_ASV_3725727c.pdf

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía (ENERAGEN), 2023. Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo, Madrid. Disponible en: <https://www.idae.es/>

- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), 2010. Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto. Disponible en: <https://www.idae.es/>

-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. Disponible en: <https://www.idae.es/>

-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2014. Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios. Disponible en: <https://www.idae.es/>

López Romero, B.A, 2021. Comparación de bombas de calor con ciclo de compresión simple etapa y ciclo de compresión con inyección de vapor para producción de agua caliente sanitaria. Tesis doctoral. Riobamba. Escuela superior politécnica de Chimborazo.

MIYABI y el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), 2016. Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3X. 004(1). Disponible en: http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual_usuario%20CE3X_05.pdf

EFINOVATIC y el Centro nacional de energías renovables (CENER), 2015. Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3X. 004(3). Disponible en: http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual_usuario%20CE3X_05.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020. Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios. Disponible en: <https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Documents/propuesta-doc-reconocido-condiciones-tecnicas/Condiciones-tecnicas-evaluacion-eficiencia-energetica.pdf>

DB-HE Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2008. Catálogo de Elementos del CTE. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/Programas/CatalogoElementosConstructivos.html>

La energía a del presente y del futuro: Bomba de Calor Ambiente con apoyo de Energía Solar Fotovoltaica. Confederación nacional instaladores (CNI)

Determinación SCOP para BC ACS_BIT 01-2018. (21/03/2018)

Plan +Seguridad energética 2022. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD)

Gobierno (2022). (Versión V2.3.0.6) CE3X. [Programa de ordenador]. Disponible en: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>

Comisión europea (2022) PVGIS (Versión 5.2). [Programa de ordenador]. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

Daikin (Versión 3.0). Psychrometric Diagram Viewer [Programa de ordenador]. Disponible en: https://www.daikin.es/es_es/customers/software-downloads/daikin-psychrometrics-diagram-viewer.html

21 ANEXOS

21.1 ANEXO I: CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS

CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN POR TRANSMISIÓN

		Co	Ci	S(m2)	U (W/m2K)	ΔT	Potencia(W/h)
Salón	Muro de medianería	1,05	1,1	29,67	0	24,8	0,00
	Muro n.1	1,15	1,1	15,48	0,41	24,8	199,11
	Ventana	1	1,1	2,1	2,96	24,8	169,57
	Muro s.1	1	1,1	15,48	0,41	24,8	173,14
	Balcón	1,15	1,1	3,7	2,96	24,8	343,59
	Suelo madera	1	1,1	24,84	0,5	12,4	169,41
	Total						

Dormitorio 1	Muro n.1	1,15	1,1	11,22	0,41	24,8	144,32
	P.I. (bajo cubierta)	1,15	1,1	11,88	0,51	24,8	190,08
	Ventana n.1	1,15	1,1	2,1	2,96	24,8	195,01
	suelo madera	1,15	1,1	11,88	0,5	12,4	93,17
	Total						

Dormitorio 2	Muro n.2	1,15	1,1	12,58	0,41	24,8	161,81
	P.I. (bajo cubierta)	1,15	1,1	12,84	0,51	24,8	205,44
	Ventana n.1	1,15	1,1	2,1	2,96	24,8	195,01
	Suelo madera		1,1	12,84	0,5	12,4	87,57
	Total						

Dormitorio 3	Muro s.3	1	1,1	14,62	0,41	24,8	163,52
	Ventana	1	1,1	2,1	2,96	24,8	169,57
	suelo madera		1,1	9,89	0,5	12,4	67,45
	Total						

Baño 1	Muro n.1	1	1,1	11,22	0,41	24,8	125,49
	ventana s1	1	1,1	2,1	2,96	24,8	169,57
	suelo cerámica	1	1,1	7,59	0,5	12,4	51,76
	Total						

Baño 2	Muro s.2	1,15	1,1	5,78	0,41	24,8	74,35
	ventana s2	1,15	1,1	0,66	2,96	24,8	61,29
	suelo cerámica	1	1,1	4,25	0,5	12,4	28,99
	Total						164,62

Entrada	Muro s.e	1	1,1	4,08	0,41	24,8	45,63
	Puerta	1	1,1	1,79	5,7	24,8	278,34
	suelo cerámica	1	1,1	4,44	0,5	12,4	30,28
	Total						354,25

Cocina	Muro 1	1,15	1,1	15,48	0,41	24,8	199,11
	Muro 6	1,1	1,1	27,3	0,41	24,8	335,88
	Muro 5	1	1,1	31,82	0,41	24,8	355,90
	ventana	1	1,1	2,1	2,96	24,8	169,57
	Balcón	1,15	1,1	3,7	2,96	24,8	343,59
	suelo cerámica	1	1,1	32,74	0,5	12,4	223,29
	Total						1627,34

Cubierta	Total			150	0,29	24,8	1078,80
----------	--------------	--	--	-----	------	------	----------------

Q transmisión	6299,60 W/h
----------------------	--------------------

CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN POR VENTILACIÓN

	V espacio(m3)	Nº ren/h	Volumen del aire de renovación (m³/h)	pa(Kg/m3)	Cp (Kcal/(Kg .ºC)	ΔT	Qv(Kcal/h)	Qv (W/h)
Salón	106,81	0,63	67,29	1,2	0,244	24,8	488,62	568,27
Dormitorio 1	40,4	0,63	25,45	1,2	0,244	24,8	184,82	214,94
Dormitorio 2	43,65	0,63	27,50	1,2	0,244	24,8	199,69	232,23
Dormitorio 3	33,62	0,63	21,18	1,2	0,244	24,8	153,80	178,87
Baño 1	25,81	0,63	16,26	1,2	0,244	24,8	118,07	137,32
Baño 2	14,45	0,63	9,10	1,2	0,244	24,8	66,10	76,88
Cocina	140,78	0,63	88,69	1,2	0,244	24,8	644,03	749,00

Q ventilación	2157,52 W/h
----------------------	--------------------

$$\Sigma Q_{calefacción} = Q_{transmisión} + Q_{ventilación} = 8,5 \text{ KW}$$

CARGAS TÉRMICAS DE REFRIGERACIÓN POR TRANSMISIÓN

		Co	Ci	Sup(m2)	U (W/M2k)	ΔT	Potencia(W/h)
Salón	Muro medianera	1,05	1,1	29,67	0	3,3	0
	Muro n.1	1,15	1,1	15,48	0,41	3,3	26,49
	Ventana	1	1,1	2,1	2,96	3,3	22,56
	Muro s.1	1	1,1	15,48	0,41	3,3	23,03
	Balcón	1,15	1,1	3,7	2,96	3,3	45,71
	suelo madera	1	1,1	24,84	0,5	3,3	45,08
	Total						162,90

Dormitorio 1	Muro n.1	1,15	1,1	11,22	0,41	3,3	19,20
	P.I. (bajo cubierta)	1,15	1,1	11,88	0,51	3,3	25,29
	Ventana n.1	1,15	1,1	2,1	2,96	3,3	25,95
	suelo madera	1	1,1	11,88	0,5	3,3	21,56
	Total						92,01

Dormitorio 2	Muro n.2	1,15	1,1	12,58	0,41	3,3	21,53
	P.I. (bajo cubierta)	1,15	1,1	12,84	0,51	3,3	27,34
	Ventana n.1	1,15	1,1	2,1	2,96	3,3	25,95
	suelo madera		1,1	12,84	0,5	3,3	23,30
	Total						98,12

Dormitorio 3	Muro s.3	1	1,1	14,62	0,41	3,3	21,76
	Ventana	1	1,1	2,1	2,96	3,3	22,56
	suelo madera	1	1,1	9,89	0,5	3,3	17,95
	Total						62,27

Baño 1	Muro n.1	1	1,1	11,22	0,41	3,3	16,70
	ventana s1	1	1,1	2,1	2,96	3,3	22,56
	suelo cerámica	1	1,1	7,59	0,5	3,3	13,78
	Total						53,04

Baño 2	Muro s.2	1,15	1,1	5,78	0,41	3,3	9,89
	ventana s2	1,15	1,1	0,66	2,96	3,3	8,16
	suelo cerámica	1	1,1	4,25	0,5	3,3	7,71
	Total						25,76

Entrada	Muro s.e	1	1,1	4,08	0,41	3,3	6,07
	Puerta	1	1,1	1,79	5,7	3,3	37,04
	suelo cerámica	1	1,1	4,44	0,5	3,3	8,06
	Total						51,17

Cocina	Muro 1	1,15	1,1	15,48	0,41	3,3	26,49
	Muro 6	1,1	1,1	27,3	0,41	3,3	44,69
	Muro 5	1	1,1	31,82	0,41	3,3	47,36
	ventana	1	1,1	2,1	2,96	3,3	22,56
	Balcón	1,15	1,1	3,7	2,96	3,3	45,72
	suelo cerámica		1,1	32,74	0,5	3,3	59,42
	Total						246,25

Cubierta	Total			150	0,29	3,3	143,55
----------	--------------	--	--	-----	------	-----	---------------

Q transmisión	935,07W/h
----------------------	------------------

	V espacio(m3)	Nº ren/h	Volumen del aire de renovación (m3/h).	pa(Kg/m3)	Cp (Kcal/(Kg. °C)	ΔT	Qv(Kcal/h)	Qv (W/h)
Salón	106,81	0,63	67,2903	1,2	0,244	3,4	66,99	77,91
Dormitorio 1	40,4	0,63	25,452	1,2	0,244	3,4	25,34	29,47
Dormitorio 2	43,65	0,63	27,4995	1,2	0,244	3,4	27,38	31,84
Dormitorio 3	33,62	0,63	21,1806	1,2	0,244	3,4	21,09	24,52
Baño 1	25,81	0,63	16,2603	1,2	0,244	3,4	16,19	18,83
Baño 2	14,45	0,63	9,1035	1,2	0,244	3,4	9,06	10,54
Cocina	140,78	0,63	88,6914	1,2	0,244	3,4	88,29	102,69

Q ventilación sensible	295,78 W/h
-------------------------------	-------------------

	V espacio(m3)	Nº ren/h	Volumen del aire de renovación (m³/h).	pa(Kg/m3)	CLV (Wh/g)	ΔW	Potencia(W/h)
Salón	106,81	0,26	27,77	1,20	0,52	0,90	15,60
Dormitorio 1	40,40	0,26	10,50	1,20	0,52	0,90	5,90
Dormitorio 2	43,65	0,26	11,35	1,20	0,52	0,90	6,37
Dormitorio 3	33,62	0,26	8,74	1,20	0,52	0,90	4,91
Baño 1	25,81	0,26	6,71	1,20	0,52	0,90	3,77
Baño 2	14,45	0,26	3,76	1,20	0,52	0,90	2,11
Cocina	140,78	0,26	36,60	1,20	0,52	0,90	20,56

Q ventilación latente	59,21 W/h
------------------------------	------------------

Nº personas	Calor sensible por persona(W)	Qocupación(W)
4	56	224

Nº personas	Calor latente por persona(W)	Qocupación(W)
4	48	192

	Coef.	Potencia(W)	Q(W)
Iluminación	1,25	1400	1750
Máquinas	0,75	6425	4818

orientación	superficie	Irradiación	Factor solar vidrio	color oscuro	marco metálico	Ganancias por radiación en julio(W/h)
SO	6,3	393	0,75	0,88	1,17	899,72
S	2,1	217	0,75	0,88	1,17	543,15

Q radiación solar	1814,02 W/h
--------------------------	--------------------

$$\Sigma Q_{refrigeración} = Q_{transmisión} + Q_{ventilación} + Q_{internas} + Q_{radiación} = \mathbf{10\ KW}$$

21.2 ANEXO II: CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE3X

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
Muro 1	Fachada	10.15	0.41	Conocidas
Muro 2	Fachada	38.79	0.41	Conocidas
Medianería	Fachada	26.57	0.00	
Muro 4	Fachada	39.65	0.41	Conocidas
Muro 5	Fachada	25.83	0.41	Conocidas
Muro 6	Fachada	24.45	0.41	Conocidas
Cubierta con aire	Cubierta	150.0	0.29	Conocidas
PI bajo cubierta	Partición Interior	36.51	0.45	Estimadas
PI cerámica	Partición Interior	56.52	0.46	Estimadas
PI madera	Partición Interior	61.35	0.43	Estimadas

Huecos y lucenarios

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Balcón 1	Hueco	3.71	2.96	0.64	Conocido	Conocido
Ventanas norte	Hueco	4.2	2.96	0.64	Conocido	Conocido
Balcón 2	Hueco	3.71	2.96	0.64	Conocido	Conocido
Ventana baño	Hueco	0.66	2.96	0.64	Conocido	Conocido
Ventanas sur	Hueco	6.3	2.96	0.43	Conocido	Conocido
Puerta	Hueco	1.79	3.78	0.11	Estimado	Estimado
Ventana SE	Hueco	2.1	2.96	0.64	Conocido	Conocido
Lucenario	Hueco	0.56	2.22	0.51	Estimado	Estimado

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	16.5 B	CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]</i>	B	<i>Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]</i>	A
		15.29		1.23	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones globales [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]</i>	-	<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>	-
		0.00		-	

	kgCO ₂ /m ² año	kgCO ₂ /año
<i>Emisiones CO₂ por consumo eléctrico</i>	16.52	1949.50
<i>Emisiones CO₂ por otros combustibles</i>	0.00	0.00

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

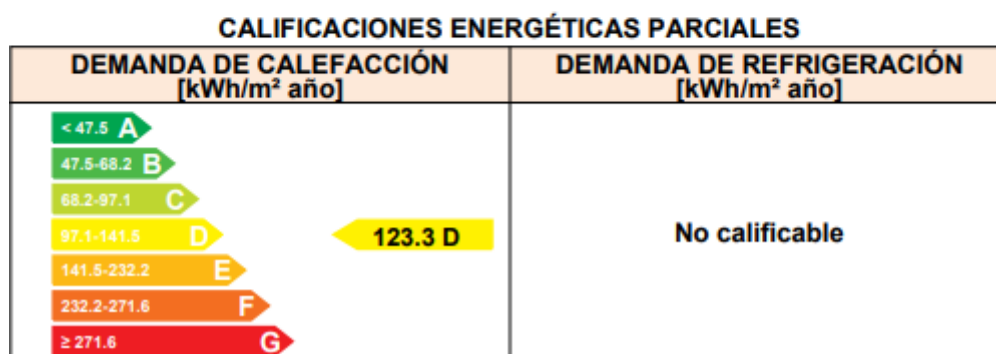
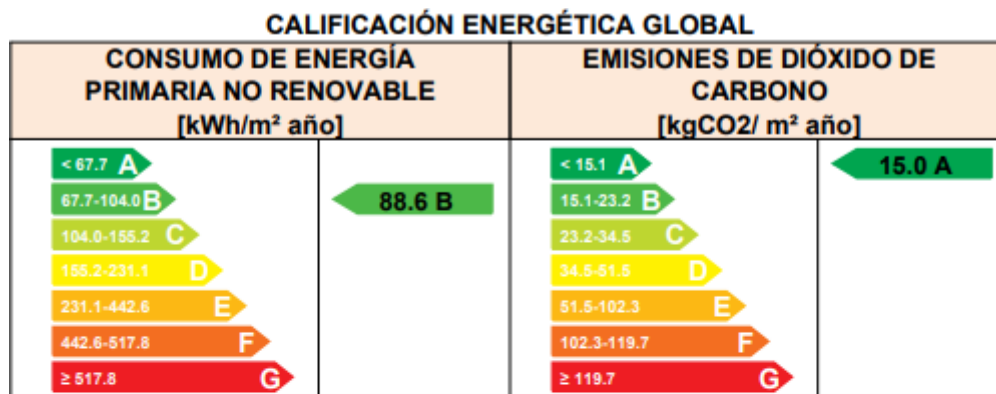
Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	97.5 B	CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Energía primaria calefacción [kWh/m² año]</i>	B	<i>Energía primaria ACS [kWh/m² año]</i>	A
		90.29		7.24	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]</i>		<i>Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]</i>	-	<i>Energía primaria iluminación [kWh/m² año]</i>	-
		0.00		-	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	136.8 D	No calificable	
<i>Demanda de calefacción [kWh/m² año]</i>		<i>Demanda de refrigeración [kWh/m² año]</i>	

4. RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	41.64	9.9%	0.00	100.0%	3.70	0.0%	-	-%	45.34	9.2%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	81.36	B 9.9%	0.00	- 100.0%	7.24	A 0.0%	-	- -%	88.60	B 9.2%
Emisiones de CO ₂ [kgCO ₂ /m ² año]	13.78	A 9.9%	0.00	- 100.0%	1.23	A 0.0%	-	- -%	15.01	A 9.2%
Demanda [kWh/m ² año]	123.25	D 9.9%	0.00	- 100.0%						

Envolvente térmica

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie actual [m ²]	Transmitancia actual [W/m ² K]	Superficie post mejora [m ²]	Transmitancia post mejora [W/m ² K]
Muro 1	Fachada	10.15	0.41	10.15	0.25
Muro 2	Fachada	38.79	0.41	38.79	0.25
Medianería	Fachada	26.57	0.00	26.57	0.00
Muro 4	Fachada	39.65	0.41	39.65	0.25
Muro 5	Fachada	25.83	0.41	25.83	0.25
Muro 6	Fachada	24.45	0.41	24.45	0.25
Cubierta con aire	Cubierta	150.00	0.29	150.00	0.19
PI bajo cubierta	Partición Interior	36.51	0.45	36.51	0.45
PI cerámica	Partición Interior	56.52	0.46	56.52	0.46
PI madera	Partición Interior	61.35	0.43	61.35	0.43

Huecos y lucenarios

Nombre	Tipo	Superficie actual [m ²]	Transmitancia actual del hueco [W/m ² K]	Transmitancia actual del vidrio [W/m ² K]	Superficie post mejora [m ²]	Transmitancia post mejora [W/m ² K]	Transmitancia post mejora del vidrio [W/m ² K]
Balcón 1	Hueco	3.71	2.96	2.70	3.71	2.96	2.70
Ventanas norte	Hueco	4.20	2.96	2.70	4.20	2.96	2.70
Balcón 2	Hueco	3.71	2.96	2.70	3.71	2.96	2.70
Ventana baño	Hueco	0.66	2.96	2.70	0.66	2.96	2.70
Ventanas sur	Hueco	6.30	2.96	2.70	6.30	2.96	2.70
Puerta	Hueco	1.79	3.78	3.30	1.79	3.78	3.30
Ventana SE	Hueco	2.10	2.96	2.70	2.10	2.96	2.70
Lucenario	Hueco	0.56	2.22	2.07	0.56	2.22	2.07

21.3 ANEXO III: PRESUPUESTO

Descripción	Cantidad	Precio	Dto.	Importe
<p>PACK BOMBA DE CALOR AEROTERMIA GENIA AIR MAX 8: (Refrigerante Natural R290)</p> <p>- Pack Genia Air MAX 8 con MiPro Sense inalámbrico (230V)</p> <p>Pack Genia Air Max de Saunier Duval compuesto por: Bomba de calor Inverter DC Genia Air Max 8-6 230V B3. Etiquetado energético 35° A+++ / Etiquetado energético 55° A++. Potencial de calentamiento atmosférico PCA=3 y rendimientos estacionales en zonas cálidas/medias/frías de SCOP: 5,78/4,75/4,05. Con capacidad máxima de calefacción de 7,4 kW a 35°C/30°C de impulsión/retorno en condiciones exteriores de 7°C DB/6°WB y de refrigeración de 7,9 kW a 18°C/23°C de impulsión/retorno en condiciones exteriores de 35°C DB. Con presión sonora a 1m de 40 dBA y potencia sonora s/EN ISO 9614-1 de 56,5 dBA. Con capacidad de acumulación de ACS hasta 70°C trabajando hasta los - 25°C en calefacción y hasta 46°C en refrigeración y volumen de acumulación equivalente a 376 litros de consumo a 40°C. Con bomba de impulsión, vaso de expansión, resistencia modulante. Conexión inalámbrica al control modulante MiPro Sense, incluye control de la humedad relativa. Para una instalación sencilla o para Packs domésticos. Con posibilidad de gestión vía SmartPhone o Tablet mediante App MiPro Sense (imprescindible Milink). Alimentación 4 pilas AA. Protección contra la corrosión C5 según ISO 12944-6, permite instalarse en zona costera o montaña.</p>	1,0	6.580,00		6.580,00
<p>DESACOPLADOR HIDRÁULICO MH 80:</p> <p>- Set Genia MH 80.</p> <p>- Depósito de inercia de acero negro, de 80 litros, con soportación para pared, con capacidad de incorporar resistencia eléctrica de 2,5 kW (opcional), para Sistemas de Aerotermia de la marca Saunier Duval modelo Genia MH 150. Incluye una sonda de temperatura. Incluye la puesta en marcha con las necesarias maniobras y la configuración para el correcto funcionamiento del sistema.</p> <p>- Resistencia eléctrica de apoyo (2,5 kW) sumergida. Exclusiva para Genia MH 80 y 150</p>	1,0	1.080,00		1.080,00

Descripción	Cantidad	Precio	Dto.	Importe
<p>INTERACUMULADOR DE A.C.S. FEW 200 ME: integrada kW - Interacumulador de 193 litros de 2,5 con resistencia monofásica a 230 V para Sistemas Híbridos de la marca Saunier Duval modelo FEW 200 ME de altura 1.340 mm y diámetro 600 mm y 1 sondas de inmersión. - Válvula diversora motorizada para sistema Genia Hybrid Alone. - Grupo de seguridad 10 bar. - Vaso de expansión ACS.</p>	1,0	1.850,00		1.850,00
<p>INSTALACION DE BOMBA DE CALOR: 1 - Bomba circuladora de alta eficiencia Grundfos 25-601 - Filtro de malla. - Tubería y aislamiento térmico. - Llaves de corte y accesorios - Sistema de llenado de la instalación. - Vaso de expansión de calefacción. - Válvula de seguridad 3 bar. - Instalación eléctrica, desde cuadro general. - Protección eléctrica. - Instalación de componentes electrónicos y puesta en marcha. - Mano de obra.</p>		1,0	2.200,00	
				2.200,00

Bruto		Base	%	IVA	%	R.E.	Total
11.710,00		11.710,00	21,00	2.459,10			14.169,10 €

PANEL FOTOVOLTAICO

- Panel Solar LONGI LR5-66HPH HIMO5 PERC; HALF. CUT 505WP, 35MM MARCO INVERSOR

1 - Inversor hibrido GoodWe GW3600D-NS INV. CONEX. A RED 3.600W, MONOFAS., 2 MPPT, DC SWITCH WIFI.

METERIZACIÓN:

- GOODWE – Smart Meter HK1000, smart meter con modulo de comunicaciones Wi-Fi

ESTRUCTURA:

2 - Soporte coplanar continuo para cubierta de teja inclinada.

PROTECCIONES:

- Caja de superficie 2x12.

- Diferencial DX3 2/25/30 A

- Magnet TX3 6KA C 2P 25A

- Supresor protección contra sobretensiones transitorias.

- 4 Fusibles 1000VDC 10X38 GPV 15A

- 4 Portafusibles MODULO HELIO 10 1P 1000VDC

CONECTORES:

- 6 MC4 EVO2 hembra aéreo 4; 6mm²

- 6 MC4 EVO2 macho aéreo 4; 6mm²

CABLE:

- Cable aprox según instalación:
- 50 MTR. PRYSUN 1X6 SN EN50618 RJ
- 50 MTR. PRYSUN 1X6 SN EN50618 NG

Mano de obra.

Legalización de la instalación.

Bruto			Base	%	IVA	%	R.E.	Total
5.487,28			5.487,28	21,00	1.152,32			6.639,60€

21.4 ANEXO IV: CATÁLOGOS

ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

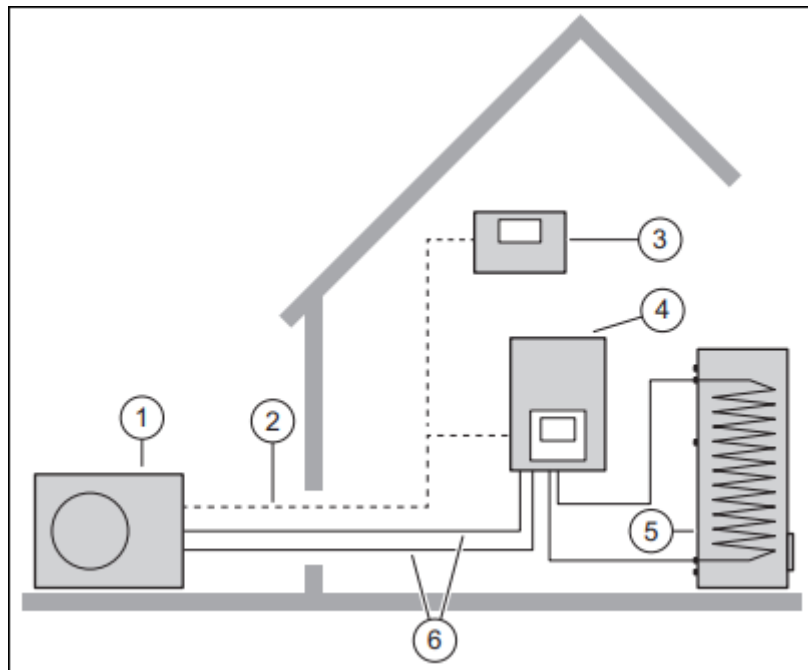
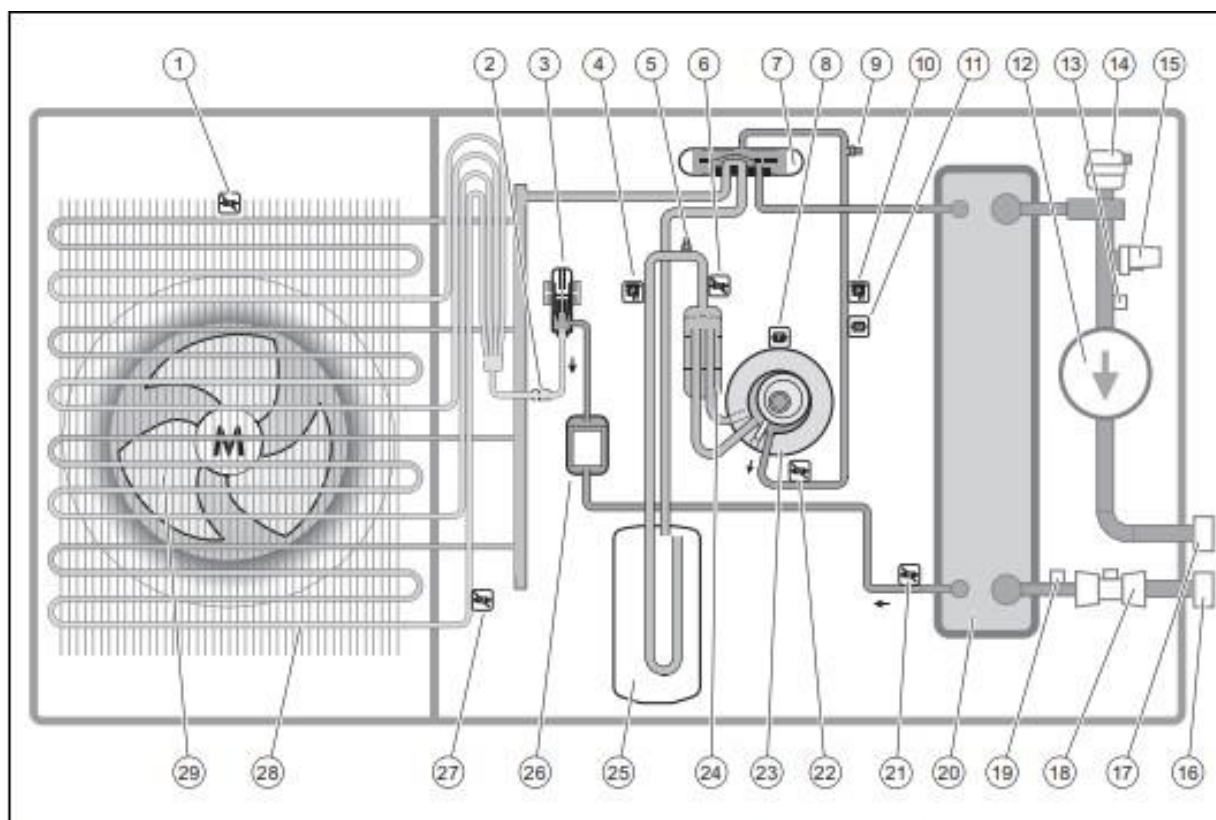


Tabla 1 Componentes de la instalación de climatización con bomba de calor

- 1 Bomba de calor, unidad exterior
- 2 Cable eBUS
- 3 Regulador del sistema (opcional)
- 4 Bomba de calor, unidad interior
- 5 Acumulador de agua caliente sanitaria monovalente
- 6 Circuito de calefacción

BOMBA DE CALOR



1	Sensor de temperatura, en la entrada de aire	15	Sensor de presión, en el circuito de calefacción
2	Filtro	16	Conexión, retorno de calefacción
3	Válvula de expansión electrónica	17	Conexión, ida de calefacción
4	Sensor de presión	18	Sensor de flujo
5	Conexión de mantenimiento, en la zona de baja presión	19	Sensor de temperatura, en el retorno de calefacción
6	Sensor de temperatura, delante del compresor	20	Condensador (intercambiador de calor)
7	Válvula de 4 vías	21	Sensor de temperatura, detrás del condensador
8	Sensor de temperatura, en el compresor	22	Sensor de temperatura, detrás del compresor
9	Conexión de mantenimiento, en la zona de alta presión	23	Compresor
10	Sensor de presión	24	Separador de refrigerante
11	Controlador de presión	25	Colector de refrigerante
12	Bomba de calefacción	26	Filtro/secador
13	Sensor de temperatura, en la ida de calefacción	27	Sensor de temperatura, en el evaporador
14	Purgador rápido, en el circuito de calefacción	28	Evaporador (intercambiador de calor)
		29	Ventilador

ANEXO VI: FICHAS TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

Datos técnicos: generalidades HA 8-6 O 230V

	HA 5-6 O 230V B3	HA 8-6 O 230V B3	HA 15-6 O 230V B3	HA 15-6 O B3
Longitud	1.100 mm	1.100 mm	1.100 mm	1.100 mm
Altura	765 mm	965 mm	1.565 mm	1.565 mm
Profundidad	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Peso, con embalaje	132 kg	150 kg	223 kg	239 kg
Peso, operativo	114 kg	128 kg	194 kg	210 kg
Peso, operativo, lado izquierdo/derecho	38 kg/76 kg	43 kg/85 kg	65 kg/129 kg	70 kg/140 kg
Conexión, circuito de calefacción	G 1 1/4 "	G 1 1/4 "	G 1 1/4"	G 1 1/4"
Tensión asignada	230 V (+10%/-15%), 50 Hz, 1~/N/PE	230 V (+10%/-15%), 50 Hz, 1~/N/PE	230 V (+10%/-15%), 50 Hz, 1~/N/PE	400 V (+10%/-15%), 50 Hz, 3~/N/PE
Potencia nominal, máxima	3,40 kW	3,50 kW	5,40 kW	8,00 kW
Factor de potencia nominal	1,0	1,0	1,0	1,0
Corriente asignada, máxima	14,3 A	15,0 A	23,3 A	15,0 A
Corriente de arranque	14,3 A	15,0 A	23,3 A	15,0 A
Tipo de protección	IP 15 B	IP 15 B	IP 15 B	IP 15 B
Categoría de sobretensión	II	II	II	II
Ventilador, potencia absorbida	40 W	80 W	80 W	80 W
Ventilador, cantidad	1	1	2	2
Ventilador, número de revoluciones, máximo	620 rpm	790 rpm	790 rpm	790 rpm

Datos técnicos: rendimiento, modo calefacción

	HA 5-6 O 230V B3	HA 8-6 O 230V B3	HA 15-6 O 230V B3	HA 15-6 O B3
Potencia, A2/W35	1,90 kW	3,10 kW	5,70 kW	5,70 kW
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A2/W35	3,70	4,10	4,20	4,20
Potencia absorbida, efectiva, A2/W35	0,51 kW	0,76 kW	1,36 kW	1,36 kW
Consumo de corriente, A2/W35	2,60 A	3,70 A	6,70 A	3,00 A
Potencia de calefacción, mínima/máxima, A7/W35	2,10 ... 7,90 kW	3,00 ... 9,00 kW	5,40 ... 15,00 kW	5,40 ... 15,00 kW
Potencia de calefacción, nominal A7/W35	4,20 kW	7,80 kW	14,30 kW	14,30 kW
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A7/W35	4,40	4,40	4,30	4,30
Potencia absorbida, efectiva, A7/W35	0,95 kW	1,77 kW	3,33 kW	3,33 kW
Consumo de corriente, A7/W35	4,50 A	8,00 A	15,10 A	5,60 A
Potencia, A7/W45	3,10 kW	4,20 kW	8,10 kW	8,10 kW
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A7/W45	3,60	3,60	4,10	4,10
Potencia absorbida, efectiva, A7/W45	0,86 kW	1,17 kW	1,98 kW	1,98 kW
Consumo de corriente, A7/W45	4,00 A	5,40 A	9,40 A	3,60 A
Potencia, A7/W55	4,80 kW	7,60 kW	14,20 kW	14,20 kW

	HA 5-6 O 230V B3	HA 8-6 O 230V B3	HA 15-6 O 230V B3	HA 15-6 O B3
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A7/W55	2,80	2,90	2,80	2,80
Potencia absorbida, efectiva, A7/W55	1,71 kW	2,62 kW	5,07 kW	5,07 kW
Consumo de corriente, A7/W55	7,70 A	11,70 A	22,50 A	8,10 A
Potencia de calefacción, A7/W65	4,50 kW	6,30 kW	11,40 kW	11,40 kW
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A7/W65	2,30	2,30	2,30	2,30
Potencia absorbida, efectiva, A7/W65	1,96 kW	2,74 kW	4,96 kW	4,96 kW
Consumo de corriente, A7/W65	9,00 A	12,20 A	22,20 A	7,90 A
Potencia, A-7/W35	4,90 kW	6,50 kW	11,30 kW	11,30 kW
Valor de rendimiento, COP, EN 14511, A-7/W35	2,40	2,50	2,40	2,40
Entrada de alimentación, efectiva, A-7/W35	2,04 kW	2,60 kW	4,71 kW	4,71 kW
Consumo de corriente, A-7/W35	9,30 A	11,60 A	20,90 A	7,60 A

Datos técnicos: rendimiento, modo refrigeración

	HA 5-6 O 230V B3	HA 8-6 O 230V B3	HA 15-6 O 230V B3	HA 15-6 O B3
Rendimiento refrigerante, A35/W18	4,50 kW	6,40 kW	10,80 kW	10,80 kW
Grado de eficiencia energética, EER, EN 14511, A35/W18	4,30	4,20	4,60	4,60
Potencia absorbida, efectiva, A35/W18	1,05 kW	1,52 kW	2,35 kW	2,35 kW
Consumo de corriente, A35/W18	4,90 A	7,00 A	10,90 A	4,20 A
Potencia refrigerante, mínima/máxima, A35/W7	1,80 ... 5,20 kW	2,50 ... 7,20 kW	4,40 ... 12,00 kW	4,40 ... 12,00 kW
Rendimiento refrigerante, A35/W7	5,20 kW	7,20 kW	12,00 kW	12,00 kW
Grado de eficiencia energética, EER, EN 14511, A35/W7	2,60	2,70	2,80	2,80
Potencia absorbida, efectiva, A35/W7	2,00 kW	2,67 kW	4,29 kW	4,29 kW
Consumo de corriente, A35/W7	9,10 A	11,90 A	19,20 A	7,00 A

FEW 200 ME

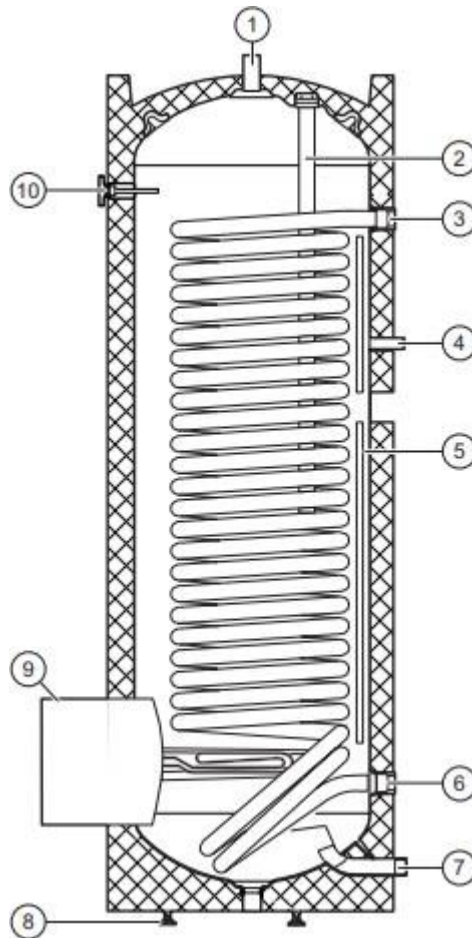


Tabla 2 Acumulador de agua caliente sanitaria

1 Agua caliente

2 Ánodo de protección de magnesio

3 Conexión de la ida de la calefacción

4 Conexión de la tubería de circulación

5 Riel para la sonda de temperatura

6 Conexión del retorno de la calefacción

7 Agua fría

8 Pies regulables

9 Calentador eléctrico integrado

Datos técnicos: peso/dimensiones del acumulador

	FEW 200 ME	FEW 300 ME
Peso en vacío	105 kg	140 kg
Peso (listo para funcionar)	298 kg	414 kg
Peso (incluidos embalaje y aislamiento)	115 kg	150 kg
Altura	1.340 mm	1.797 mm
Profundidad	625 mm	625 mm
Diámetro exterior del acumulador	600 mm	600 mm

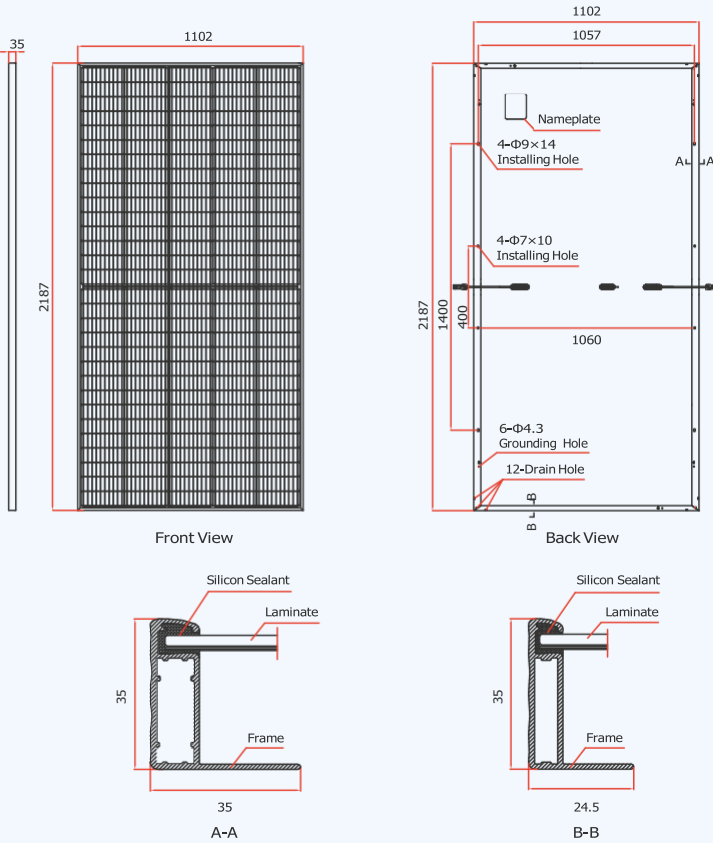
Datos técnicos: conexión hidráulica

	FEW 200 ME	FEW 300 ME
Conexión de circulación	3/4"	3/4"
Ida del circuito de calefacción	1"	1"
Retorno del circuito de calefacción	1"	1"
Conexión de agua fría	1"	1"
Conexión de agua caliente sanitaria	1"	1"
Ánodo de protección de magnesio (posición superior)	5/4"	5/4"
Ánodo de protección de magnesio (posición inferior)	8 mm	8 mm

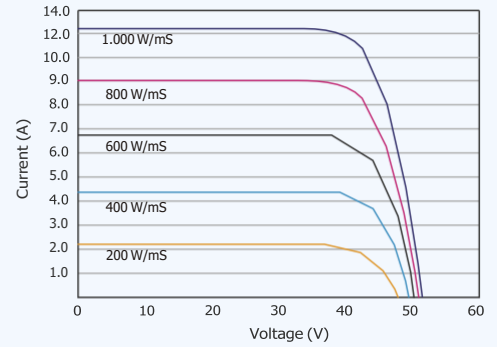
	FEW 200 ME	FEW 300 ME
Volumen total (V)	200 l	300 l
Volumen real	193 l	274 l
Volumen nominal (V _s)	200 l	290 l
Depósito interno	Acero, esmaltado, con 2 ánodos de protección de magnesio	Acero, esmaltado, con 2 ánodos de protección de magnesio
Presión de servicio máx. (P _{máx.})	1 MPa	1 MPa
Volumen de agua caliente sanitaria*	274 l	389 l
Tiempo transcurrido*	9 min	12 min
Rendimiento del agua de calefacción (potencia del intercambiador de calor)*	44,9 kW	54,3 kW
Rendimiento continuo	1.105 l/h	1.336 l/h
Consumo de energía en espera*	75 W	92 W
Consumo de energía en espera*	1800 Wh/24 h	2200 Wh/24 h
Contactos de refrigeración (Cr)	0,2 Wh/24 h·l·K	0,163 Wh/24 h·l·K
Disminución de presión del intercambiador de calor o del compartimento del agua de calefacción	31 mbar	33 mbar
Presión de servicio en el lado del agua potable	1 MPa	1 MPa
Presión de servicio en el lado de la fuente de calor	1 MPa	1 MPa
Presión de servicio máx. del combustible	110 °C	110 °C
Temperatura de servicio	65 °C	65 °C
Temperatura de servicio máx. (T _{máx.})	95 °C	95 °C
Clase IP	IPX4	IPX4
Volumen del intercambiador de calor	11,8 l	17 l
Superficie del intercambiador de calor (S)	1,81 m ²	2,6 m ²

	FEW 200 ME	FEW 300 ME
Material del aislamiento	Poliuretano	Poliuretano
Grosor del aislamiento	50 mm	50 mm
Protección anticorrosión en el acumulador	Ánodo de magnesio	Ánodo de magnesio
Protección anticorrosión del calentador eléctrico integrado	Ánodo de magnesio	Ánodo de magnesio
Ánodo de protección de magnesio del acumulador (longitud x diámetro)	480 mm x 33 mm	700 mm x 33 mm
Ánodo de protección de magnesio del calentador eléctrico integrado (longitud x diámetro)	390 mm x 22 mm	390 mm x 22 mm
Diámetro de la brida	180 mm	180 mm

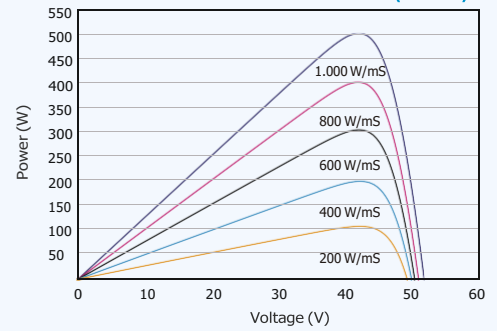
DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)



I-V CURVES OF PV MODULE (500 W)



P-V CURVES OF PV MODULE (500 W)



ELECTRICAL DATA (STC)

	TSM-485	TSM-490	TSM-495	TSM-500	TSM-505	TSM-510
	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency η_m (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: $\pm 3\%$.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

	TSM-485	TSM-490	TSM-495	TSM-500	TSM-505	TSM-510
	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08	DE18M.08
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	150 cells
Module Dimensions	2187 x 1102 x 35 mm
Weight	26.5 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA
Backsheet	White
Frame	35mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0 mmS, Portrait: 280/280 mm, Landscape: 1400/1400 mm
Connector	TS4 / MC4 EVO2*

*Special order only.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43 °C (± 2 K)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34%/K
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.25%/K
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.04%/K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85 °C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

15 Year product workmanship warranty

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces

INVERSOR

Ficha técnica

SOFAR
3KTLM-G3SOFAR
3.6KTLM-G3SOFAR
4KTLM-G3SOFAR
4.6KTLM-G3SOFAR
5KTLM-G3SOFAR
5KTLM-G3-ASOFAR
6KTLM-G3

Entrada (DC)							
Máx. potencia de entrada recomendada del FV (Wp)	4500	5400	6000	7000	7500	7500	9000
Máx. potencia por MPPT (W)	3500			3750		4500	
Número de MPPT	2						
Entradas en DC	1 por MPPT						
Máx. tensión de entrada (V)	600						
Tensión de arranque (V)	90						
Tensión de entrada nominal (V)	380						
Rango de tensión de operación del MPPT (V)	80 – 550						
Rango de tensión MPP (V)	200 – 500			210 – 500		260 – 500	
Máx. intensidad por MPPT (A)	15 / 15						
Máx. intensidad de cortocircuito (A) por MPPT (A)	22.5 / 22.5						
Salida (AC)							
Potencia nominal (W)	3000	3680	4000	4600	5000		6000
Máx. potencia en AC (VA)	3300	3680	4400	4600	5500	5000	6000
Máx. intensidad de salida (A)	15	16	20	23	25	21.7	29
Tensión nominal de la red	L / N / PE, 230 Vac						
Rango de tensión de la red	180 – 276 Vac (según la normativa local)						
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz						
Rango de frecuencia de la red	45 – 55 Hz / 55 – 65 Hz (según la normativa local)						
Rango de potencia activa ajustable	0 – 100%						
THDi	< 3%						
Factor de potencia	1 por defecto (ajustable +/-0.8)						
Rendimiento							
Eficiencia Máx.	98.2%			98.4%			
Eficiencia Europea	97.3%			97.5%			
Protecciones							
Protección contra polaridad inversa en DC	Si						
Interruptor de DC	Opcional						
Protección de seguridad	Anti-isla, RCMU, monitoreo de fallas a tierra						
Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS)	MOV: estándar de tipo III						
Comunicación							
Modo de comunicación estándar	RS485 / WiFi / Bluetooth, opcional: Ethernet						
Datos generales							
Rango de temperatura ambiente	-30°C – 60°C						
Consumo nocturno (W)	<1						
Topología	Sin transformador						
Grado de protección	IP65						
Humedad de operación relativa	0 – 100%						
Máx. altitud de operación	4000 m						
Ruido	<25 dB						
Peso (kg)	9.2			10			
Refrigeración	Natural						
Dimensiones (mm)	349*344*164						
Pantalla	Pantalla LCD						
Garantía	10 años, opcional: hasta 20 años						
Normativa							
CEM	EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12						
Normas de seguridad	IEC 62109-1 / 2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 61683, IEC 60068 (1,2,14,30)						
Estándares de red	VDE-AR-N 4105, VDE V 0126-1-1, V 0124-100, CEI 0-21, G98 / G99, C10 / 11, EN 50549, RD 1699						