



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de edificio NETZero con normativa española, estudio comparativo en distintas zonas climáticas en España

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Pablo García-Berbois León

Director: María Socorro García Cascales

Codirector: Ángel Molina García



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, diciembre de 2020

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Socorro y Ángel su ayuda y atención en cualquier momento necesario durante el desarrollo del TFM, ofreciéndome soluciones en todo momento.

A mis padres, por darme la oportunidad de cursar este Máster para continuar con mi formación, siendo imposible sin ellos.

Índice de contenido

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	10
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE	12
3.1. Antecedentes.....	12
3.2. Definición edificio NETZero.....	15
3.3. Legislación de los edificios	19
3.3.1. Edificios nuevos	19
3.3.2. Edificios existentes	19
3.4. Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)	20
3.5. Fuente renovable aplicable a edificio NETZero	22
3.6. Autoconsumo eléctrico fotovoltaico.	24
3.7. Energía solar fotovoltaica en edificios NETZero. Realidad actual.	25
CAPITULO 4. CASO DE ESTUDIO	28
4.1. Situación geográfica de las viviendas	28
4.2. Distribución de las viviendas.....	29
4.3. Necesidades de ventilación y climatización.....	31
4.3.1. Programa CLIMA.....	32
4.3.2. Cálculo del sistema de ventilación	33
4.3.2.1. Exigencias de calidad térmica del ambiente	33
4.3.2.2. Exigencia de calidad del aire interior	35
a) Planta baja	36
b) Planta primera y segunda.....	37
4.3.3. Demanda de calefacción y refrigeración.....	40
4.3.3.1. Bloque residencial zona A3.....	40
a) Condiciones exteriores.....	40
b) Uso del edificio	42
c) Dimensionado del edificio residencial	44
d) Cargas térmicas.	47
4.3.3.2. Bloque residencial E1.....	52
a) Condiciones exteriores.....	52
b) Uso del edificio	53

c)	Dimensionado del edificio residencial	53
d)	Cargas térmicas	54
4.3.4.	Cálculo de la climatización	58
4.3.4.1.	Volumen de Refrigerante Variable (VRF)	59
4.3.4.2.	Bloque residencial zona A3	61
a)	Unidades Interiores (UI)	61
b)	Unidades Exteriores (UE).....	64
c)	Consumo eléctrico total	67
4.3.4.3.	Bloque residencial zona E1.....	68
a)	Unidades interiores (UI)	68
b)	Unidades Exteriores (UE).....	71
c)	Caldera de biomasa	74
d)	Consumo eléctrico total	86
4.4.	Necesidades de Agua Caliente Sanitaria (ACS).....	87
4.4.1.	Bloque residencial zona A3	89
4.4.2.	Bloque residencial zona E1.....	93
4.5.	Extracciones de locales	94
4.5.1.	Extracción en el garaje.....	95
4.5.2.	Extracción en baños.....	97
4.6.	Iluminación.....	99
4.6.1.	Bloque residencial zona A3.	100
4.6.2.	Bloque residencial zona E1.....	101
4.7.	Consumo energético total	102
4.7.1.	Bloque residencial zona A3.	102
4.7.2.	Bloque residencial zona E1.....	103
CAPÍTULO 5. EDIFICIO NETZERO. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA		105
5.1.	Bloque residencial zona A3.....	106
5.1.1.	Selección del panel solar fotovoltaico.....	106
5.1.2.	Pérdidas de los paneles solares.....	108
5.1.2.1.	Por orientación e inclinación.....	108
5.1.2.2.	Pérdidas por ensuciamiento	111
5.1.2.3.	Pérdidas por temperatura.....	112

5.1.2.4.	Otras pérdidas	113
5.1.3.	Distancia entre paneles solares.....	114
5.1.4.	Energía generada por la instalación.	117
5.2.	Bloque residencial zona E1	123
5.2.1.	Pérdidas de los paneles solares.....	123
5.2.1.1.	Pérdidas por orientación e inclinación.....	123
5.2.1.2.	Pérdidas por ensuciamiento	124
5.2.1.3.	Pérdidas por temperatura.....	125
5.2.1.4.	Otras pérdidas	125
5.2.1.5.	Distancia entre colectores.....	126
5.2.2.	Energía generada por la instalación.	128
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE COSTE. RENTABILIDAD DE LA INSTALACIÓN		134
6.1.	Bloque residencial zona A3.....	136
6.2.	Bloque residencial zona E1	140
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES		144
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA		148
CAPÍTULO 9. ANEXOS		153
9.1.	Planos del edificio y vivienda	153
9.2.	Planos adicionales.....	156
9.3.	Hojas técnicas de las principales unidades instaladas.....	157

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Observando detenidamente los acontecimientos sucedidos años atrás, así como de los recursos empleados a lo largo de la historia datada llegada hasta nuestros días, la civilización humana ha empleado las fuentes de energías no renovables (carbón, petróleo, gas natural...) para satisfacer las necesidades energéticas a través del abastecimiento de estos recursos limitados con consecuencias devastadoras para nuestro planeta.

Actualmente, un crecimiento considerable en su explotación y utilización ha venido directamente asociada con secuelas medioambientales debido a emisiones de gases de efectos invernadero por las fuentes fósiles. Además, resulta conveniente añadir el alto costo en su precio final de cara al mercado de venta al consumidor, aumentando en los últimos años considerablemente por la producción y concentración limitada en la superficie del globo terráqueo directamente reflejada en conflictos geopolíticos. A partir de estos acontecimientos surge la necesidad de aprovechar los recursos inagotables presentes a nuestro alrededor, emergiendo las energías renovables como un conjunto de recursos alternativos con un futuro prometedor en el consumo energético mundial. [1].

Si retrocedemos 10 años atrás, es posible ver como el libro referente a las perspectivas energéticas mundiales "*World Energy Outlook, 2010*" [2] predijo una evolución de las energías de carácter renovable asociada a un crecimiento desmesurado respecto a su incorporación en el mercado. Concretamente, el escrito hablaba del desarrollo en la generación de electricidad con un aumento medio del 3% por año,

asociado a un consumo proveniente de recursos renovables del 2,6% por año desde el 2007 hasta el 2035. Como resultado, la generación eléctrica mundial asociada a las cuotas no agotables aumentará desde el 18% en el 2007 hasta el 23% en 2035, postulándose la energía hidráulica y eólica como las alternativas con mayor peso dentro del grupo, con 54% y 26% respectivamente. En la siguiente imagen, es posible observar la evolución de la generación de energía renovable mundial en el mundo en los últimos 50 años:

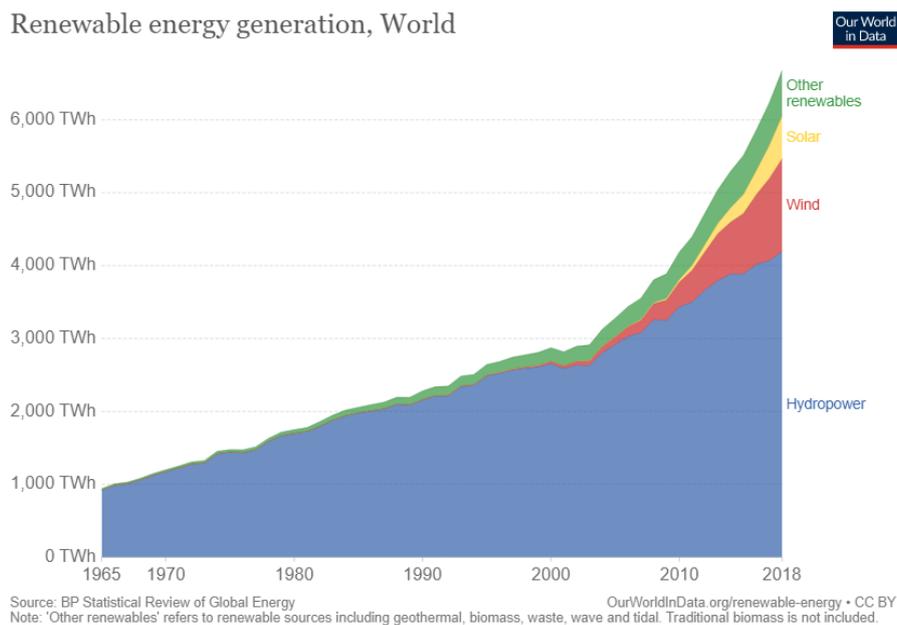


Figura 1.1. Crecimiento en la generación energética renovable mundial en los últimos 50 años [53].

Tras la realidad del deterioro progresivo del planeta, surge la necesidad de la búsqueda de una solución asociada a la sostenibilidad del planeta, llegando incluso a congresos a nivel mundial, como el Protocolo de Kyoto, 1997, o más recientemente, la Conferencia de París sobre el Clima, 2015, buscando una solución de cara al cambio climático a través de acuerdos asociados a reducciones de emisiones previstas para determinadas fechas, como la apuesta 20/20/20 para el presente año, establecido por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) en la Unión Europea (UE), mostrando el camino para un futuro prometedor. Los tres puntos en los que se fundamenta son los siguientes [3]:

1. Las emisiones correspondientes a los gases de efecto invernadero han de reducirse un 20%, pudiendo llegar a un 30% si se alcanzara un acuerdo.
2. Un 10% de las necesidades asociadas al transporte deberán de ser satisfechas por combustibles biodegradables (Suecia es un claro ejemplo de esta iniciativa).

Además, se deberá de ahorrar un 20% en el consumo energético buscando una mayor eficiencia.

3. Las energías renovables han de estar presentes, como mínimo, en un 20%.

El objetivo de estas medidas es conseguir que nuestro continente sea pionero en ejemplo de sostenibilidad mundial, consiguiendo así una economía y demanda energética asociada a la reducción de emisiones al planeta.

Todas estas medidas asociadas a recursos renovables han originado importantes avances en diferentes sectores, como por ejemplo el sector de la construcción, caracterizado por un importante consumo de gas natural asociado a los métodos de trabajo tradicionales, naciendo la necesidad de buscar alternativas sostenibles, surgiendo así el diseño de edificios NETZero. El objetivo de este proyecto consiste en la creación de construcciones aisladas de la red eléctrica con emisiones nulas de carbono al medio ambiente, es decir, conseguir satisfacer su demanda propia sin necesidad de terceros mediante recursos renovables tratando de alcanzar el máximo nivel de eficiencia energética: autoabastecimiento [4].

Evidentemente, esta alternativa cuenta con pocos años de vida, buscando actualmente asentarse en el mercado como una realidad a través de un periodo de maduración en los años venideros. Principalmente, se apoya en la energía solar como recurso renovable para satisfacer las necesidades energéticas, contando con una amplia flexibilidad a la hora de su integración en edificios, así como un gran potencial en términos de aislamiento de la red eléctrica, siendo el complemento perfecto para el desarrollo para las construcciones NETZero en el presente Trabajo Fin de Máster (TFM).

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

Tal y como se redactó en el punto anterior, el objetivo del presente TFM va a consistir en el desarrollo de la tecnología NETZero en dos edificios con el fin de conseguir una autonomía energética sin ninguna dependencia de la red eléctrica convencional. El sistema de apoyo energético consistirá en la implantación de recursos fotovoltaicos para conseguir todas las necesidades demandadas por los ocupantes del habitáculo a lo largo de un año, entendiendo esto como los menesteres de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria (ACS)... variando en función de la ubicación de la construcción, la compartición de fachadas con casas contiguas disminuyendo así las pérdidas, la época del año, etc. Además, puede ser necesario en alguna ocasión la implantación de una fuente renovable secundaria para satisfacer la elevada demanda de calefacción, como en el caso de Burgos, siendo necesario una instalación de biomasa o geotermia. Para ello, se van a estudiar dos viviendas unifamiliares en regiones con condiciones climáticas opuestas dentro de la Península Ibérica con el fin de ver la demanda requerida por cada una tras un análisis detallado de cargas térmicas, concretamente en una región cálida situada en el sur de España y una región fría en el interior de la meseta septentrional (zona A3 y E1 respectivamente), correspondiendo a Cádiz y Burgos.

Los principales objetivos del trabajo serán los siguientes:

- Análisis comparativo de las distintas zonas climáticas en España para el diseño de construcciones autosuficientes. Este estudio estará basado en diferentes variables que se explicarán detenidamente más adelante. Además, el trabajo estará apoyado de distintos softwares de análisis de cargas térmicas que

permitan la caracterización completa de la demanda energética en cada momento con la mayor precisión posible.

- Comparación entre los resultados de las dos zonas analizadas en función de la localización de las viviendas, determinando los beneficios, problemas y soluciones presentes en cada caso según la utilización de NETZero. Se determinará las fuentes de apoyo necesarias para cada una de las dos instalaciones en función de la demanda calculada.
- Implementación de la energía fotovoltaica en cada caso, observando la viabilidad de cada uno de los proyectos, y la posibilidad de cubrir la calefacción por medio de ellas. Para ello, se realizará un estudio analizando diferentes factores: impacto medioambiental sobre el sistema, capacidad de satisfacer las necesidades energéticas del habitáculo en su totalidad, rentabilidad económica del proyecto... prediciendo un repunte de las necesidades térmicas caloríficas en Burgos en los meses de verano, resultando imposible abastecer al edificio únicamente por la captación solar.
- Estudio de una instalación de biomasa o geotérmica para apoyar a la energía solar fotovoltaica en la zona climática E1 los meses de verano. Tras la determinación de la mejor alternativa durante el estudio de la climatización, se procederá al mismo análisis que se citó anteriormente, con el previo dimensionado de la instalación asignada y su viabilidad económica dentro del proyecto.

CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se va a realizar un recorrido por los edificios NETZero desde sus inicios hasta nuestros días, comentando la evolución de la normativa que ha experimentado, centrandó su aplicación en España. Se hablará de la definición y de las características que presentan estas construcciones, así como la aplicación de los recursos fotovoltaicos en ellos.

3.1. Antecedentes

Los edificios NETZero han surgido como solución a un problema cada vez más presente en la sociedad. Esta ha llegado a un punto en el cual cualquier actividad que se realice se asocia con una degradación del planeta por medio de efectos contaminantes, especialmente en el campo de la construcción, siendo el sector con mayor influencia negativa en el medio ambiente. Un ejemplo son los edificios comerciales y residenciales en Estados Unidos (USA), consumiendo un 40% de la energía primaria y un 70% de la electricidad total del país. La energía empleada en este sector continúa creciendo, esperando un aumento del 50% respecto a 25 años atrás en el 2025, ya que como bien dijo Stewart Brand: “Cada edificio es un pronóstico. Cada pronóstico es un error” [5].

Tras numerosos Tratados, Congresos y Protocolos fallidos en búsqueda de una solución medioambiental al problema patente en todo el mundo, la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo quedó registrada en el Boletín Oficial del Estado (BOE), visto en el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea en el artículo 194, apartado 2, dictaminado por la Comisión Europea, el Comité Social y Económico Europeo y el Comité de las Regiones con el fin de establecer una serie de cambios en el ámbito de las energías renovables, centrandó las pautas en la eficiencia

energética de los edificios, destacando de todos ellos los siguientes puntos que conciernen al trabajo [6]:

- Del consumo energético total de la Unión Europea, el 40% corresponde a edificios, encontrándose en fase de expansión como se comentó en el párrafo anterior, previendo cifras mayores en los próximos años. Resulta necesario una reducción de la dependencia de fuentes fósiles en detrimento de fuentes renovables para disminuir la dependencia energética de la Unión Europea y las emisiones de gases de efecto invernadero. Se han de adoptar medidas de mano de la “energía verde” que cumpla el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), consiguiendo el límite de aumento de temperatura por debajo de 2°C y la reducción en 2020 del 20% de gases de efecto invernadero (30% si se llega a un acuerdo internacional), como se comentó en la introducción. A su vez, servirá para inculcar a la sociedad una seguridad de abastecimiento energético de la mano de oportunidades al desarrollo tecnológico, empleo y desarrollo regional (especialmente en zonas rurales).
- El deber de aumentar la eficiencia energética en la Unión Europea asociada a la reducción del consumo energético al 20% en el presente año quedó manifestada en el Consejo Europeo en el año 2007, abogando la aplicación rápida y eficaz en el “Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial”, determinando el máximo ahorro posible en el sector de la construcción. Tras pronunciarse varias veces, siendo la última en febrero de 2009 por medio de la Directiva 2002/91/CE, se mostró a favor de que el 20% de la eficiencia energética en 2020 sea vinculante, sumándole la Decisión 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en abril del mismo año, promulgando la reducción de los gases de efecto invernadero, vinculados a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), añadiéndole la Directiva 2009/28/CE de idéntica fecha, relativa al fomento de los recursos renovables.
- Instauración de acciones específicas para el aprovechamiento del gran potencial de ahorro energético en construcciones aún sin realizar. Estas medidas han de considerar las condiciones climáticas y particularidades de cada local, entorno ambiental interior y rentabilidad coste-eficacia. Todas estas medidas no tendrán relación directa con la accesibilidad, uso del edificio y seguridad. La eficiencia se deberá de calcular con la metodología adecuada a la escala nacional y regional, incluyendo características térmicas junto a otros factores: instalaciones de calefacción climatización, utilización fuentes renovables, sombreado, calidad del aire interior, iluminación natural y diseño. La metodología tiene que ser capaz de cubrir los resultados a lo largo de un año teniendo en consideración las normas europeas actuales.

- La comisión aplicará un marco óptimo de rentabilidad en la metodología empleada. Si se dieran discrepancias considerables (excedencia del 15% de niveles óptimos), se deberá justificar esa diferencia o prever medidas para su reducción. Los Estados miembros deberán determinar la vida útil del sistema, aportando comunicados periódicos a la Comisión con el fin de evaluar el progreso energético.
- Necesidad de medidas que inciten al aumento del número de edificios con requisitos mínimos de eficiencia energética vigente, añadiendo una mejora en las prestaciones mediante la reducción del consumo energético y emisiones de CO₂. Todo esto se llevará a cabo a través de planes nacionales para el aumento de construcciones de consumo energético prácticamente nulo.
- Incursión de instrumentos financieros y otras medidas para fomentar medidas relativas a la eficiencia energética. Destacan el Reglamento CE 180/2006 para permitir una inversión monetaria superior en el campo de la eficiencia energética de edificios, la iniciativa del Banco Europeo de Inversiones (BEI) “Iniciativa de financiación de la energía sostenible” con el fin de permitir inversiones en estos proyectos y la Directiva 2009/47/CE, reduciendo los impuestos, entre otros.
- Inclusión de medidas por parte de los Estado miembros en sus planes nacionales con la finalidad de adoptar mejoras en el campo de la eficiencia energética con aplicaciones rápidas y reales en la práctica. Los edificios frecuentados por estas autoridades han de servir de ejemplo (certificación energética periódica).

Estas son algunas de las medidas más destacables recogidas en el primer punto de la Directiva 2010/31/UE del BOE, siendo medidas progresivas para enfrentarse al cambio climático. Se observa como la mayoría se encuentran referidas a actuaciones de los Estado miembro, debiendo establecer una serie de directrices desde la cúpula (a fin de dar ejemplo a la sociedad) para erradicar los edificios que no respeten la eficiencia energética en los años venideros.

Fue en diciembre de 2018 el año en el que se creó la Directiva 2018/2001/EU [7] como parte íntegra de la Energía Limpia en Europa con el fin de promover a la UE como líder mundial de fuentes renovables, ayudando así a reducir las emisiones bajo las condiciones impuestas en el Tratado de París.

Principalmente, la Directiva pactó un 32% como mínimo de generación de energía por medios renovables en 2023, comprometiéndose a tomar medidas en los diferentes sectores para cumplir sus objetivos. Esto incluyó un aprovisionamiento de autoconsumo en la sociedad, un incremento de un 14% de combustible proveniente de estas fuentes y un fortalecimiento de la conciencia con el fin de asegurar la sostenibilidad bioenergética.

Con un total de 131 puntos referidos a las nuevas medidas incorporadas, la UE se adaptó a la Gobernanza de la Unión de la Energía y la Acción por el Clima (UE) 2018/1999

para los Planes Nacionales de Energía y Clima (NCEPs) con objetivos de 2021 a 2030, analizando en este último año la eficacia y eficiencia de las medidas introducidas.

La consecuencia de esta serie de decisiones desembocó en la puesta en marcha de la legislación en nuestro país, la cual está directamente definida por las pautas regidas por los Estados Miembros en la UE, dotando así de las regulaciones necesarias para la puesta en marcha de las viviendas autosuficientes NETZero como una posible solución.

Se muestra de manera ilustrativa en el siguiente gráfico la evolución de la energía renovable en nuestro país en los últimos 20 años:

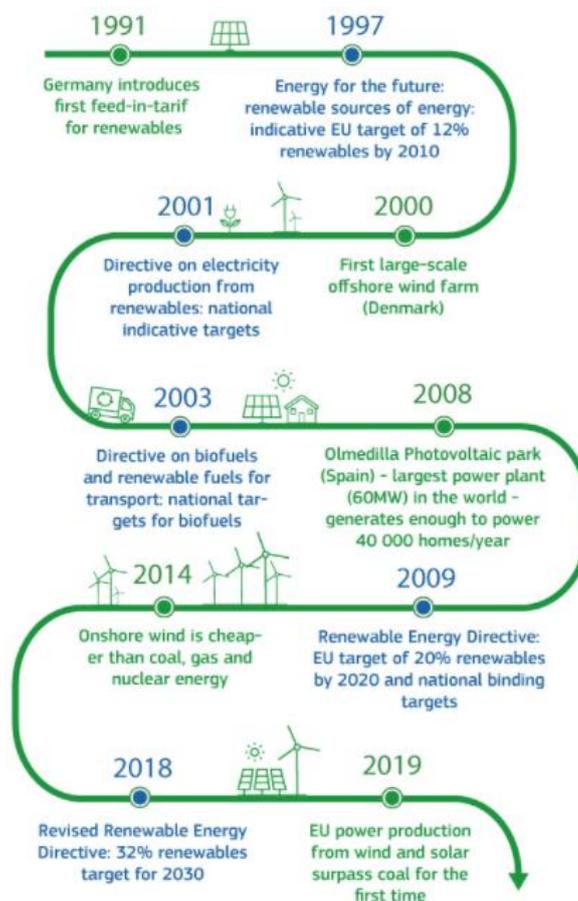


Figura 3.1. Evolución de las fuentes renovables en la UE en los últimos 30 años [57].

3.2. Definición edificio NETZero

Son numerosas las definiciones que se han proporcionado en los últimos años acerca de la nueva tecnología emergente, mostrando algunas de ellas a continuación:

- Concepto revolucionario de edificio eficiente en el cual el balance de energía será nulo. Este estará asociado a un aislamiento a la toma de la red para conseguir un

abastecimiento total de las necesidades demandadas por el bloque, pudiendo incluso llegar a la producción de energía en exceso para ceder aporte a edificios colindantes. Su fundamento se basa en consumir la misma cantidad de energía que produce de la mano de las fuentes. Deberá tener espacio suficiente para el número de captadores necesarios para llegar a la meta de la reducción drástica de la demanda convencional junto a una elevada eficiencia energética [8].

- Un edificio NETZero es aquel en el que el balance anual de energía primaria será igual a 0 kWh/m²a con un rendimiento energético muy alto (suele estar conectado a la red por seguridad). La construcción equilibra su uso de energía primaria equiparándola a la entregada por las redes de energía. El balance nulo conduce a una situación en la que la cantidad de generación de energía se intercambiará con la red, produciendo energía por medio de fuentes renovables cuando las condiciones son adecuadas, empleándola para el autoconsumo [9].
- Edificio residencial o comercial con una reducción total de las necesidades energéticas por parte de la red. En esta construcción, las ganancias producidas de manera eficiente permitirán abastecer el equilibrio de las necesidades energéticas por medio de fuentes renovables. La cantidad de dinero que se paga al propietario por la energía renovable exportada a la red será, como mínimo, igual a lo pagado por los servicios públicos de energía empleados durante el año. Sus emisiones de carbón, óxido de nitrógeno y de sulfuro desaparecerán por completo [5].

Todas las definiciones citadas anteriormente provenientes de diversas fuentes muestran equivalencias entre ellas. Estas descripciones fueron elaboradas a partir de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia de los edificios comentada en el punto anterior, pudiendo definirla como la primera vez en la que el término de edificio NETZero apareció formalmente en un documento estatal, en el Artículo 2 [10]. La Directiva recoge la siguiente definición:

- Se define como edificio de consumo de energía nulo aquel con un alto nivel de eficiencia energética, determinándola a su vez a partir de la cantidad, calculada o real, de la energía anual consumida para cubrir las necesidades normales de la instalación consiguiendo las temperaturas previstas del edificio y las necesidades de ACS. La cantidad nula de energía requerida deberá de estar cubierta, prácticamente en su totalidad, por energía captada y procesada por medio de recursos renovables, ya sea producida *in situ* o en el entorno.

En la misma Directiva, se puede comprobar como el artículo 4 establece una serie de requisitos mínimos de eficiencia energética, destacando una serie de medidas necesarias para que los Estados miembros puedan garantizar unas pautas en los edificios buscando un nivel óptimo de rentabilidad-eficiencia. Estos niveles se

establecen en el siguiente artículo, definiendo un marco metodológico comparativo para llevar a cabo el cálculo citado.

Por último, se ha de citar una serie de consideraciones de cara a los próximos años, proponiendo así los Estados miembros coyunturas para favorecer la implantación de los edificios NETZero en los próximos años:

- Cualquier edificio de nueva construcción deberá de tener un consumo de energía nulo a más tardar el 31/12/2020.
- Cualquier edificio que esté ocupado y sea propiedad de las Autoridades serán edificios de consumo de energía casi nulo a más tardar el 31/12/2018.

Los Estados miembros deberán elaborar planes para aumentar el número de construcciones de este tipo, incluyendo en los acuerdos la categoría propia del edificio. Estos seguirán el ejemplo del sector público, formulando políticas y adoptando medidas para estimular la transformación de edificios, informando a la Comisión sus planes nacionales. Estos planes mostrarán, entre otras medidas:

- La definición y aplicación detallada del consumo nulo en condiciones nacionales, regionales y locales. Este deberá de mostrar el uso de cada uno mediante un indicador de energía primaria (kWh/m² al año).

Esta se manifiesta como una condición importante a la hora de llevar a cabo un proyecto residencial por medio de NETZero, debiendo establecer al principio de cada uno la delimitación de las zonas en función de las temperaturas promedio máximas, medias y mínimas de las provincias españolas entre 1997-2007 [11], ya que los valores de referencia aplicables a la eficiencia energética de los Proyectos de Edificios de Consumo de Energía Casi Nula (EECN) muestran escalas diferentes para la tecnología emergente en función de la localización, asociada a las zonas climáticas de la Unión Europea. Existen cuatro franjas, existiendo las tres primeras en nuestro país, como puede apreciarse en la siguiente imagen.



Figura 3.2. Distribución territorial de las Zonas Climáticas en España [11].

Las especificaciones energéticas para las viviendas unifamiliares nuevas en las Zonas Climáticas recogidas dentro de la Recomendación 2016/1318 del BOE son las siguientes [12]:

- Zona Mediterránea o Zona I. Correspondiente a todo al área bañada por el Mar Mediterráneo en la Península Ibérica junto a las Islas Baleares y Canarias. La energía primaria neta será de 0-15 kWh/(m²/año) con un uso aproximado de energía primaria de 50-65 kWh/(m²/año), donde 35 kWh/(m²/año) deberán de ser satisfechos por recursos renovables. En esta ubicación se encontrará un emplazamiento de estudio del presente TFM
- Zona Oceánica o Zona IV. Asociada en la figura anterior con la zona del Atlántico Norte, siendo está la superior izquierda de España. En esta, la energía primaria neta demandada será 15-30 kWh/(m²/año) con un uso de energía primaria similar a la franja anterior, debiendo satisfacer la misma cantidad mediante fuentes renovables *in situ*.
- Zona Continental o Zona III. Ocupa la mayor parte del territorio nacional, extendiéndose por toda la Submeseta, tanto Norte como Sur, como el Sistema Ibérico y Central. La energía primaria neta será 20-40 kWh/(m²/año), con un uso de 50-70 kWh/(m²/año), donde 30 kWh/(m²/año) deberán provenir de recursos renovables. Destaca como el uso de energía primaria es el mayor, mientras el empleo de fuentes renovables el menor respecto a los dos casos anteriores. La segunda ubicación de la vivienda de estudio del TFM se encontrará dentro de esta zona.
- Zona Nórdica o Zona V. Cuarta y última Zona Climática, no asociada a ninguna región de la Península Ibérica. La energía primaria neta será de 40-65 kWh/(m²/año), con un uso de 65-90 kWh/(m²/año) cubierto por 25 kWh/(m²/año) por renovables.

Como se comentó anteriormente, la Zona Climática tendrá una influencia notable a la hora de llevar a cabo la edificación, ya que las necesidades energéticas variarán considerablemente por motivos de localización.

Algunos Estados miembros recibieron la recomendación de apostar por las fuentes de energía renovables en los diseños integrados con el fin de respetar los requisitos hipo energéticos de las construcciones, es decir, un balance energético negativo asociado a una disminución de la demanda.

Además, los Estados miembros deberán de garantizar sanciones adecuadas para nuevas construcciones que no hayan cumplido los requisitos de eficiencia energética en las fechas límites establecidas para los EECN.

3.3. Legislación de los edificios

La Directiva 2010/31/UE [6] establece una serie de pautas a tener en cuenta para edificios nuevos y existentes en sus Artículos 6 y 7 respectivamente:

3.3.1. Edificios nuevos

Serán responsables los Estados Miembros de garantizar los requisitos establecidos en el Artículo 4 de la misma Directiva, referentes a las medidas necesarias mínimas de eficiencia energética y citados brevemente en el punto 3.2.

Se deberá de tener en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de las instalaciones alternativas de alta eficiencia previamente al inicio de la construcción de los edificios nuevos, siendo los Estados miembros los responsables de ello. Dentro de este grupo se encuentran:

- Instalaciones descentralizadas de abastecimiento energético procedente de recursos renovables.
- Cogeneración.
- Calefacción o refrigeración urbana o central. Particularmente, se tendrá especial atención si provienen de fuentes renovables.
- Bombas de calor.

Los análisis realizados por los Estados miembros para las instalaciones alternativas, tanto en edificios aislados como grupos de viviendas deberán de cumplimentar por medio de documentación las condiciones impuestas, estando disponibles para la verificación en todo momento.

3.3.2. Edificios existentes

Los Estados miembros deberán de efectuar reformas importantes en edificios con el único fin de mejorar la eficiencia energética de la construcción o, en su defecto, de la parte renovada, cumpliendo así los requisitos mínimos del artículo 4 de la misma Directiva, redactados en el punto 3.2, siempre siendo viable desde los puntos técnicos, funcionales y económicos.

Además, se garantizarán las medidas para asegurar la repercusión notable de manera significativa en la eficiencia energética en el momento de sustituir un elemento de la envolvente, cumpliendo los requisitos mínimos.

Aquellos edificios que requieran reformas importantes podrán tener en consideración las cuatro alternativas expuestas en el apartado 3.3.1 para edificios nuevos, siempre que sea viable desde los puntos de vista técnicos, funcionales y económicos.

3.4. Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)

El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) se encuentra dentro del Código Técnico de la Edificación (CTE), definido como el marco donde quedan registradas todas las normativas, exigencias que han de cumplir las construcciones y requisitos básicos, tanto de seguridad como de habitabilidad para la garantía del bienestar de los ocupantes, establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre de idéntico año, de Ordenación de la Edificación (LOE). El CTE es la base de multitud de documentos que complementan el marco reglamentario conocidos como los Documentos Reconocidos [13].

El nuevo DB+HE, elaborado el 20 de diciembre de 2019, busca asegurar el bienestar de los ocupantes simultáneamente a una conciencia de la energía de los edificios por medio de la racionalización poniendo el foco de los resultados en el año 2050, consenso establecido por la UE a través de la elaboración de una hoja de ruta con el propósito de una economía baja en carbono acompañada de la disminución de los GEI (reducciones de hasta el 90%) [14]. En la siguiente imagen es posible apreciar esquemáticamente la hoja de ruta europea citada:

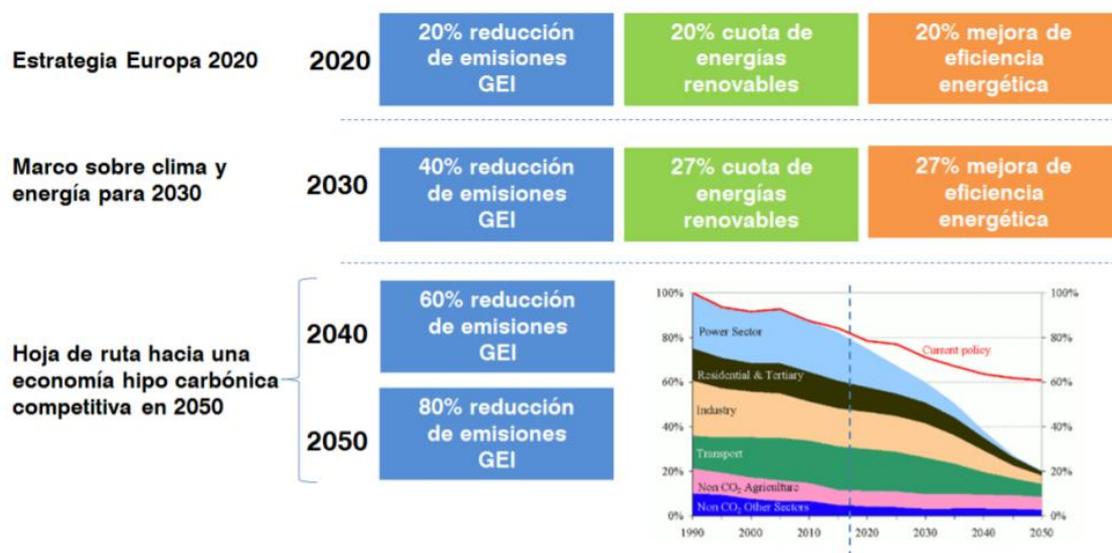


Figura 3.3. Hoja de ruta europea hacia la economía baja en carbono para el año 2050 [14].

La normativa de ahorro energético ha evolucionado considerablemente desde su puesta en marcha en el año 1979, siendo sus cimientos la antigua Norma Básica de la Edificación NBE CT-79. Destaca el año 2006, año de aprobación el CTE Y DB-HE entre otras medidas, y el 2013, donde se realizó la primera revisión de este último, incorporando la sección HE0, limitando el consumo de energía primaria no renovable de los edificios.

El DB-HE tiene la labor de que se cumpla un consumo reducido de energía en los edificios proyectados satisfecho en su mayoría por medio de fuentes renovables. De esta

forma, su principal objetivo será mitigar el cambio climático reduciendo la dependencia del uso de energía primaria. Son dos las medidas tomadas para abordar la causa:

- Limitación de las necesidades totales de energía del edificio.
- Limitación del consumo de energía procedente de fuentes no renovables.

Adicionalmente, muestra otras necesidades como el nivel mínimo de aislamiento térmico global, el exceso de ganancias solares en verano en el caso del aprovechamiento de la energía solar, controlar la permeabilidad del aire en los elementos que componen la construcción junto a la máxima reducción de pérdidas de calor en viviendas, y un mantenimiento extendido en el tiempo. Añadir la alta eficiencia de los equipos, la ventilación eficiente y calidad del aire, el aprovechamiento de la iluminación natural y el diseño confortable para los residentes.

La estructura del DB-HE 2019 se divide en seis secciones desde la HE0 hasta la HE5, partiendo desde aspectos generales hasta particularizaciones concretar de la eficiencia energética del edificio. Se muestra en la figura 3.3 un resumen de cada una de las secciones citadas, observando las modificaciones sufridas desde el año 2013:

HE0	Limitación del consumo energético Consumo energía primaria no renovable $C_{ep,nren}$	Limitación del consumo energético Consumo energía primaria no renovable Consumo energía primaria total $C_{ep,nren}$ $C_{ep,total}$
HE1	Limitación de la demanda energética Demanda energética de calefacción + refrigeración $D_{cal} - D_{ref}$ Limitación descompensaciones Limitación condensaciones	Condiciones para el control de la demanda energética Transmitancia de la envolvente térmica Control solar de la envolvente térmica Permeabilidad al aire de la envolvente térmica K $q_{sol;jul}$ n_{50} / Q_{100} Limitación descompensaciones Limitación condensaciones
HE2	Rendimiento de las instalaciones térmicas Especificaciones RITE	Condiciones de las instalaciones térmicas Especificaciones RITE
HE3	Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación VEEI, P_{tot} , Sistemas de control y regulación	Condiciones de las instalaciones de iluminación VEEI, P_{max} , Sistemas de control y regulación
HE4	Contribución solar mínima de ACS Producción mínima renovable según zona	Contribución mínima de energía renovable para cubrir demanda de ACS 60-70% cubierto por renovables
HE5	Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica Potencia mínima a instalar	Generación mínima de energía eléctrica Potencia mínima a instalar

Figura 3.4. Estructura DB-HE 2013 frente a DB-HE 2019 [14].

Cada sección cuenta con una serie de especificaciones, tanto para edificios existentes como nuevas construcciones, necesarias a tener en cuenta en el cálculo práctico a la hora de llevar a cabo el cálculo de las necesidades energéticas para la construcción de los edificios, cuantificando mediante distintos parámetros las consideraciones y exigencias presentes en cada sector (localización, envolventes, cerramientos, puentes térmicos, aislamientos...).

3.5. Fuente renovable aplicable a edificio NETZero

Uno de los pilares básicos para acrecentar la eficiencia energética de los edificios consiste en la implantación de energías renovables en su arquitectura. Se plantea esencial realizar un estudio de la alternativa óptima, pudiendo ser clave para conseguir la máxima eficiencia, el menor consumo y la reducción de emisiones a la atmósfera. Además, resultará esencial que su integración arquitectónica quede armonizada en el entorno desde el punto de vista visual y estético.

Atendiendo a la rentabilidad y viabilidad de la implantación de energías renovables dependerá tanto de factores climáticos y de geolocalización (horas de sol, velocidad, dirección de vientos...), como características de la propia construcción (utilización del edificio, mantenimiento, morfología...), siendo necesario valorar si la inserción será viable o no.

Algunas de las fuentes de origen renovable más extendidas en la edificación son las siguientes [15]:

- Energía eólica. Alternativa real al ser uno de los países con mayor producción de energía a través del viento, pudiendo aplicarse para producir energía eléctrica si las condiciones son favorables. El rotor con 3/4 aspas girará por la acción del viento activando el generador. Destaca su construcción, subvencionada por el Estado.

Aplicándolo al TFM, será importante la ubicación del edificio y las características del lugar que lo rodean, ya que su viabilidad dependerá de la intensidad del viento en la zona de la edificación, favoreciendo en zonas aisladas, la altitud del lugar, o el terreno, contando con más velocidad en zonas próximas al mar sin obstáculos próximos. Por tanto, en entornos urbanos no terminan de ser del todo viables, limitando mucho sus condiciones óptimas de rendimiento, sumando que en la zona interna de España donde se encuentra uno de los dos edificios de estudio no terminará de ser recomendable.

- Energía de la biomasa. A partir de la materia prima empleada proveniente de residuos de actividades agrícolas, forestales o subproductos (pellets, restos de poda, astilla...), se podrá generar energía térmica para ACS o calefacción.

Para las viviendas, se podrá conseguir un elevado ahorro energético, siendo especialmente recomendables para climas fríos. Su principal inconveniente, más allá de la integración arquitectónica de la sala de máquinas con un acumulador, caldera de pellets y almacén principalmente, siendo necesario un local habitado para ella, será la necesidad constante de suministro y mantenimiento, suponiendo un gran nivel de logística en comparaciones con otras tecnologías. Además, en la zona sur de España, lugar dónde se va a realizar el estudio de una edificación, no termina de ser una solución interesante.

- Energía solar. Existen dos posibilidades de aprovechamiento de la radiación solar para la obtención de energía:

- a) Energía solar térmica. Su principal función es la producción de ACS doméstica, calentamiento de piscinas, calefacción a baja temperatura y refrigeración por medio de absorción.

Su utilización es obligatoria para la generación de un porcentaje de la demanda de ACS tal y como impone el DB HE-4 desde hace unos años, variando entre un 50 y 70% en función de la zona climática cuando la fuente energética de apoyo sea mediante electricidad.

Su funcionamiento está basado en aprovechar la energía del sol por medio de un fluido caloportador que circula por medio del interior del captador, transportando el agua al circuito primario, intercambiando calor y acumulándose el ACS en el depósito para su posterior envío por el circuito secundario a los puntos de consumo. La demanda en días donde la radiación solar no esté presente se generará por medio de caldera de apoyo.

Esta tecnología se plantea como una alternativa interesante en los edificios NETZero, pudiendo alcanzar una reducción del consumo hasta el 80%. Sus principales desventajas son el mantenimiento continuo de los paneles, y la producción de frío, teniendo escasos resultados relegando los sistemas a usos marginales, aunque se encuentra en constante crecimiento con previsiones esperanzadoras.

- b) Energía solar fotovoltaica. Su principal aplicación es la generación de energía eléctrica a través de la captación de energía solar por medio de los paneles semiconductores. Los elementos de la instalación se pueden observar a continuación:

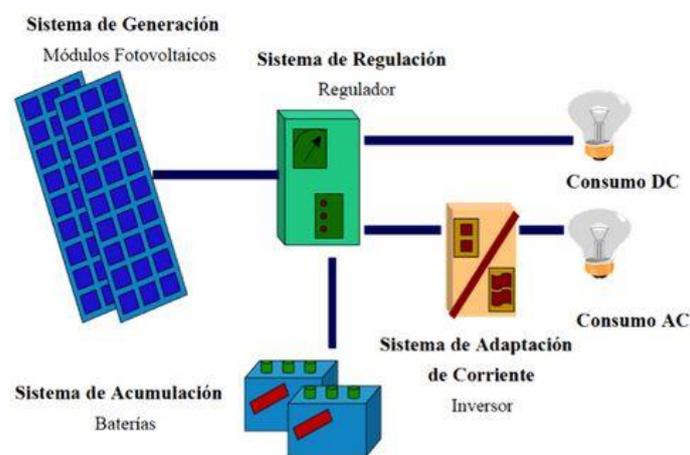


Figura 3.5. Esquema instalación fotovoltaica [54].

- Panel fotovoltaico. Conjunto de células de silicio (normalmente monocristalino), encapsuladas y montadas sobre un soporte, emitiendo una salida con tensión continua.

- Regulador. Elemento de controla la carga de la batería, evitando picos de exceso. Debe asegurar una carga adecuada del acumulador, mientras que en la descarga permitirá el suministro adecuado sin que se descarguen las baterías.
- Baterías. Acumulan energía eléctrica generada por las placas para su posterior utilización en horas de carencia de rayos solares. Se diferencian en función del electrolítico que las compone: Pb-Ác, Ni-Cd, Ni-Mh... Por su tecnología, puede ser tubular estaciona, de arranque, solar o de gel.
- Inversor. Convertirá la corriente continua (DC) en alterna (AC) para ser empleada en la red eléctrica de la vivienda: 220 V y 50 Hz.

Esta tecnología muestra una facilidad en su implantación en los edificios, ya que se plantea como una opción atractiva e integrada perfectamente arquitectónicamente en el entorno de la vivienda. Además, posee multitud de aplicaciones más allá de la eficiencia en edificios. Otra ventaja respecto a la solar térmica es que puede generar incluso en días nublados, aunque con menor rendimiento. El único inconveniente que podría presentar es la limitación de espacio para la colocación de los paneles solares.

Todo ello hace que la energía solar fotovoltaica se haya planteado como la fuente renovable escogida para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas de estudio en el presente TFM.

3.6. Autoconsumo eléctrico fotovoltaico.

Hasta hace pocos años, la legislación española ofrecía numerosas trabas a la hora de emprender en instalaciones fotovoltaicas, ya fuese para emprender un negocio o para el autoconsumo propio, cambiando sus pautas por medio del RD 900/2015, a través del cual no sólo se dejó de penalizar económicamente a los instigadores de la nueva alternativa renovable, sino que dio peaje de respaldo para construir instalaciones fotovoltaicas. Pocos años después, a través del RD 15/2018, el conocido impuesto del Sol quedó anulado por completo [16].

A continuación, se va a comentar brevemente los tipos de autoconsumo fotovoltaico en edificios NETZero en función de la existencia de excedentes que pueden darse en la modalidad de la vivienda [17], [18]:

- Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes. Correspondiente al Artículo 9.1, sección a), Ley 24/2013 del 26 de diciembre. Deben de instalar un mecanismo antivertido para impedir la inyección de energía excedentaria a la red de transporte, de tal manera que la energía sobrante que se genere no vuelva a ser distribuida. Únicamente existirá el consumidor tal y como se relata en la Ley anterior.

- Modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes. Medidas definidas en la sección b) del mismo Artículo del punto anterior. En este caso se podrá suministrar la energía sobrante de la vivienda para el autoconsumo hacia instalaciones próximas asociadas a la del consumo propio, de forma que se inyecte esos excedentes en la red de transporte, distribuyéndose posteriormente a los centros deseados. En este caso existirán dos tipos de sujetos: consumidor y productor.

Esta última modalidad cuenta con dos subgrupos posibles en función de su situación frente a la compensación:

- Modalidad con excedentes acogida a compensación. Aquellos sucesos en los que el consumidor y el productor, por voluntad propia, decidan acogerse a una compensación de excedentes. Se han de cumplir una serie de requisitos para que sea posible su aplicación:
 - i. Fuente de energía primaria renovable (caso que se desea implantar).
 - ii. Potencia instalada de producción inferior a 100 kW.
 - iii. Si fuera necesario un contrato para los servicios auxiliares, el consumidor deberá suscribir un único contrato para el consumo asociado y consumos auxiliares con una empresa comercializadora (Artículo 9.2 del presente Real Decreto (RD)).
 - iv. El consumidor y productor deben suscribir un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo (Artículo 14 del presente RD).
 - v. La instalación no podrá ser de régimen específico o retributivo adicional.
- Modalidad con excedentes no acogida a compensación. Aquellos casos que no cumplan con cualquier punto citado anteriormente de forma voluntaria o no.

Por otro lado, el autoconsumo podrá ser individual o colectivo en función de si se trata de uno o varios consumidores asociados. En nuestro caso, se trata de viviendas aisladas, suponiendo autoconsumo individual.

3.7. Energía solar fotovoltaica en edificios NETZero. Realidad actual.

Tras la lectura de diferentes análisis técnico-económico sobre casos de estudios aplicados a edificios NETZero, se ha visto que actualmente los rendimientos energéticos son ligeramente inferiores a los estimados, más allá de la consecución de un promedio de edificios eficientes. Un ejemplo es el informe realizado en 2011 para ver si los edificios NETZero son un gasto o una inversión [19], concluyendo unos resultados conservadores en comparación con los realmente alcanzables por medio de esta tecnología, siendo más fiable por esta misma causa. El VAN de los costes de construcción y operación muestra que la tecnología NETZero apoyado por energía solar fotovoltaica

se convertirá en una solución más económica y conveniente que un edificio tradicional en términos de rendimiento energético en un corto periodo de tiempo (15-20 años).

Otro ejemplo es el estudio realizado en edificios NETZero con condiciones climáticas de calor y humedad [20], llevando a cabo estudios en estas circunstancias en la India. El informe notifica la asunción de esta tecnología por distintos edificios comerciales y residenciales a lo largo de todo el territorio, proporcionando un confort térmico con una reducción de energía. Tras la revisión de los diseños, se encontró que los mayores problemas surgen en las zonas con elevados valores de humedad, dificultando las pautas seguidas en otros climas menos extremos. Respecto a la refrigeración, no puede garantizarse por sí sola de manera que asegure la comodidad de los habitantes, pero se concreta como la mayor parte del consumo de energía. Es por ello que los nuevos diseños ofrecen la capacidad de balance energético nulos (desconexión de la red). Además, los emplazamientos donde la velocidad del viento es muy alta deben de tener sistemas de ventilación natural para lograr el objetivo deseado.

Continuando con el continente asiático, se ha revisado un artículo acerca de diferentes edificios NETZero en China [21]. Este comenta la forma de buscar la optimización de los paneles fotovoltaicos en la integración arquitectónica de las viviendas por medio de nuevas configuraciones, orientaciones de los paneles... La principal medida que proponen es la modificación de la conexión de los paneles solares, pasando de serie a paralelo en bancadas de hasta 6 colectores con el fin de optimizar las captaciones, reduciendo así las pérdidas por sombreado. En adición, sugieren la colocación en la fachada sur en los huecos entre las ventanas con el fin de aumentar la superficie de captación y evitar problemas de espacio en la implantación de los módulos.

También se ha decidido investigar el comportamiento de edificios NETZero que empleen energía solar fotovoltaica en regiones frías a través del análisis del rendimiento energético en un año [22]. Concretamente, el estudio se centra en dos pueblos de Canadá, mostrando los resultados un balance energético promedio prácticamente nulo, alcanzando el 1.4%, valor muy cercano al objetivo NETZero. Respecto a los resultados monitoreados, se analizó la calefacción y refrigeración de los espacios, consumiendo más del 50% del total de la energía de los edificios autosuficientes, siendo el orden de demanda energética en orden decreciente de casas unifamiliares, casas adosadas y unidades intermedias de un mismo edificio. En términos de carga base, se calculó que la vivienda representaría el 63% del uso de energía previsto, recomendando disminuir el nivel de carga en un futuro diseño NETZero. En el campo de los electrodomésticos, la secadora usa la mayor cantidad de energía en funcionamientos discontinuos, debiendo reducir su utilización.



Figura 3.6. a) Casas adosadas NETZero. b) Casa familiar individual NETZero en Edmonton, Canadá [22].

Por tanto, se puede concluir que las fuentes de origen renovable apoyadas en energía solar pueden ser viables junto a los edificios NETZero. Resultados realizados en el estudio de su integración en edificios residenciales de la UE, concretamente en Grecia, España, Hungría y otros países no europeos con variedades climáticas [23], concluyen que la energía fotovoltaica es capaz de satisfacer la demanda de electricidad anual en estos con un periodo de retorno, *payback*, en menos de 7 años. En el caso de la otra alternativa viable analizada anteriormente, la energía solar térmica, el periodo rondará entre 5.5 y 6.5 años si se acompaña de calderas de calefacción fuel-oil convencionales, y 9 años en el caso de calderas de gas natural, produciendo como mínimo un 50% del total de la demanda del bloque residencial. En total, el sistema de captación solar podrá cubrir, como mínimo, el 76% de la demanda de energía primaria por completo, llegando en ocasiones hasta el 97%, presentando un *payback* de 4 años en estos casos.

CAPITULO 4. CASO DE ESTUDIO

En el presente TFM se va a realizar un estudio para dos bloques de viviendas presentes en la Península Ibérica con condiciones climáticas totalmente opuestas, analizando las necesidades energéticas de cada una y las medidas a adoptar para conseguir un edificio NETZero.

4.1. Situación geográfica de las viviendas

Previamente al cálculo de las necesidades energéticas de cada uno de los dos bloques residenciales que ocuparán el estudio, resulta necesario saber dónde están situadas las viviendas para el cálculo de sus necesidades energéticas.

En nuestro país destaca la diversidad térmica en función del lugar que nos encontremos, pudiendo tener climas totalmente diferentes, incluso dentro de una misma región, siendo un factor esencial a tener en cuenta en el uso de los sistemas de refrigeración y calefacción. Por ello, surgió un mapa de las zonas climáticas de España con el deseo de dividir el país de la forma más adecuada para la realización del certificado energético, deduciendo así el rendimiento de calefactores y aires acondicionados en cada zona. Este mapa muestra multitud de aplicaciones: clases de geografía con categorías climáticas, grados/día por región (GD), radiación solar global acumulada (Rad) y horas máximas de Sol teóricas (n/N), permitiendo calcular, en función de la elección de unos factores u otros y su combinación de manera adecuada, varios parámetros, destacando la severidad climática en invierno (SCI) o verano (SCV), surgiendo el mapa de las zonas climáticas por la laboriosidad del cálculo, existiendo 5

categorías de menor a mayor SCI (A,B,C,D y E), y 4 para la SCV (1,2,3 y 4), existiendo en España 12 de las 20 combinaciones totales [24], como puede observarse en el siguiente mapa de España:

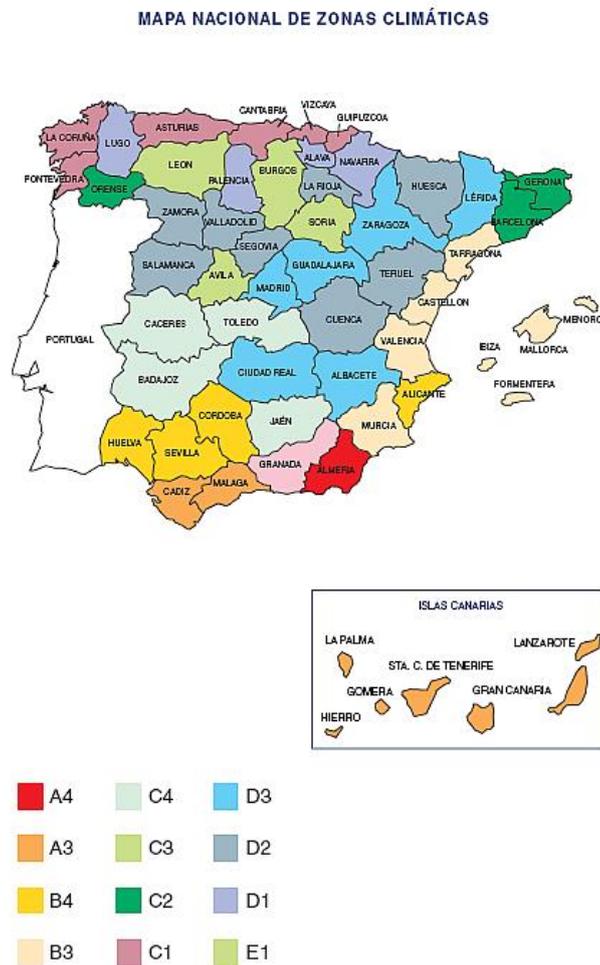


Figura 4.1. Mapa Nacional de las Zonas Climáticas [55].

El primer edificio se ha situado en una de las zonas más cálidas y con mayor radiación solar de toda España, situada en el sur de la Península, concretamente en la provincia de Cádiz, correspondiendo a la zona anaranjada A3 con clima mediterráneo, significando veranos calurosos y soleados e inviernos apacibles. Por el contrario, la segunda, con idénticas condiciones a la primera, se ha situado en condiciones climáticas totalmente opuestas en la zona de la submeseta norte, con un clima continental mucho más frío que en el primer caso, situándose concretamente en la zona de Burgos, siendo la zona E1, la más frígida en invierno y verano de toda España.

4.2. Distribución de las viviendas.

El edificio de estudio va a tener como función principal la de residencia. Este estará compuesto por tres plantas, correspondiendo cada una de ellas a una vivienda diferente, mostrando la planta baja una distribución diferente a la de las dos plantas superiores,

dirigiendo principalmente en la presencia de una plaza de garaje en el bajo, así como una superficie útil ligeramente inferior al contar con la entrada del portal del edificio junto a la vivienda, dando paso a las escaleras que permitirán acceder a la primera y segunda planta, aprovechando a su vez el pasillo correspondiente a la entrada en la planta baja como terreno edificable, tal y como puede observarse en los planos adjuntados en el Anexo.

El edificio tendrá la entrada en la esquina inferior derecha, siendo la entrada al corredor previo al conjunto de escaleras del bloque que dará acceso a las diferentes plantas. Previamente, a la izquierda, se podrá observar la puerta de la primera vivienda situada en la planta baja. La superficie útil de la misma será de 80 metros cuadrados, contando con una forma prácticamente rectangular con dimensiones de 10 y 8 metros de ancho y largo respectivamente (a excepción del tramo destinado al corredor general). Las dos viviendas de las plantas superiores tendrán una geometría prácticamente idéntica a la inferior, contando con casi 10 metros cuadrados útiles adicionales al reducir la zona común del rellano, así como la superficie de las escaleras en detrimento de añadir terreno útil a la primera y segunda vivienda.

El primer domicilio es recomendable e idóneo para parejas, ya que únicamente cuenta con una habitación de matrimonio. Además, contiene un salón-comedor de dimensiones considerables, cocina y baño, sumándole una plaza de garaje propia a diferencia de las viviendas superiores.

Los hogares restantes de la primera y segunda planta están destinados a otro tipo de perfil familiar, compuesto por varios miembros, incrementando el número de alcobas de uno a tres. El número de cuartos de baño se duplica con el fin de satisfacer las necesidades y comodidades asociadas al aumento de habitantes. En detrimento, el salón-comedor disminuye sus dimensiones, mientras que la cocina mantiene prácticamente sus medidas respecto a la primera vivienda. Comentar, como se citó anteriormente, la existencia de una terraza diáfana común contigua a dos habitaciones. La distribución de todas las salas internas cambia completamente, teniendo una disposición totalmente diferente del primer caso, pudiendo apreciarlo en los planos del Anexo.

La cubierta, correspondiente al techo de la segunda planta, se supondrá como una superficie rectangular completamente libre y edificable, no conteniendo ningún elemento intrínseco y adosado a la superficie estructural que no pueda extraerse. Esto permitirá la incorporación de los paneles fotovoltaicos, elementos de climatización y ventilación, depósitos para la demanda de ACS... necesarios para satisfacer la demanda energética que se requiera, así como su correcta orientación para obtener la mayor optimización posible, ya que el bloque no se construirá próximo a ninguna construcción, pudiendo aprovechar la radiación solar total sin ningún obstáculo. Su superficie aprovechable es ligeramente inferior a las dos viviendas inferiores ya que no cuenta con las dos terrazas no correspondientes a las parcelas adosadas al terreno rectangular,

aunque la zona de las escaleras se considera aprovechable para edificar, a diferencia de las plantas habitables.

A modo de resumen, se va a adjuntar una tabla con los datos exactos comentados anteriormente, teniendo constancia de la superficie útil de cada vivienda, así como la ocupación recomendada para cada una de las viviendas en función del número de dormitorios que contiene cada habitáculo según el Documento Básico de Ahorro de Energía HE [25]:

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

Tabla 4.1. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado [25].

Pudiendo obtener la siguiente tabla sintetizada de datos del edificio:

Planta	Superficie útil (m ²)	Dormitorios	Personas
Baja	80,06	1	2
Primera	87,24	3	4
Segunda	87,24	3	4
Cubierta	100	-	-
Total	354,54	7	10

Tabla 4.2. Superficie útil y ocupación de cada planta del bloque residencial.

Se ha tratado de calcular las dimensiones útiles de cada planta de la forma más precisa posible para el posterior cálculo de las necesidades térmicas. En edificios NETZero se muestra fundamental la presencia de una cubierta edificable con las condiciones idóneas, ya que no sería posible cubrir la demanda con la instalación fotovoltaica si no tuviera la naturaleza adecuada.

En el Anexo se puede encontrar detalladamente el cálculo de las diferentes superficies útiles de cada una de las plantas, observando la exclusión de las zonas comunes en cada una de las diferentes alturas del edificio.

4.3. Necesidades de ventilación y climatización.

Tanto las necesidades del edificio de ventilación como de climatización suponen la mayor parte de la demanda energética del mismo, resultando fundamental llevar a cabo un cálculo preciso y adecuado de las previsiones anuales de potencia requeridas por el bloque residencial, buscando la forma adecuada de cumplir y satisfacer los menesteres de la forma más eficiente posible.

4.3.1. Programa CLIMA

Existen diversas formas de proceder al cálculo de estas necesidades, contando con diferentes softwares de ayuda para ello.

En el presente TFM se va a trabajar con el programa desarrollado por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) conocido como CLIMA, permitiendo, entre otras funciones, calcular las cargas térmicas y estimar la demanda energética térmica de los edificios tanto en verano como en invierno, permitiendo calcular la potencia térmica de equipos y la energía térmica anual de calefacción y refrigeración por medio de funciones de transferencia, generando un documento WORD con gráficos, estadísticas y datos de interés [26]. El software cuenta con una base de datos muy precisa para cada parte de la superficie de la Península Ibérica, pudiendo ajustar con exactitud las condiciones para las dos localizaciones del presente trabajo.

Su funcionamiento es muy intuitivo, siguiendo un orden escalonado dentro del propio programa:

- En primer lugar, se definirán las condiciones exteriores del proyecto, comentando los datos globales para cada una de las dos ubicaciones del TFM. Será necesario conocer las condiciones climáticas exteriores, tanto en el proyecto como en las cargas, para definir la simulación de la demanda energética del edificio.
- Seguidamente, el programa solicita el uso del edificio (residencial en este caso), creando una plantilla base para crear locales y definir las viviendas con las particularidades de cada sala.
- El tercer paso está destinado a las condiciones de aire exterior de la instalación, centrándose en la toma y la recuperación del sistema.
- Una vez se hayan definido las condiciones previas del edificio, el programa permite modificar los edificios con las especificaciones deseadas. Primeramente, se dimensionarán los locales de la planta baja a partir de los planos de la vivienda del Anexo. Para ello, será necesario delimitar el número de plantas o viviendas que posee el edificio, siendo tres en nuestro caso, incluyendo el número de personas que habitarán en cada uno y el caudal de ventilación, pudiendo así precisar cada local en las diferentes alturas: salón, dormitorios, cocina... con el nivel de actividad destinado, siendo diferente el movimiento en la habitación que la cocina, por ejemplo, las dimensiones correspondientes de cada uno, orientación de cada una de sus fachadas, los materiales de las paredes, tejado y suelo y la adición o defecto de ventanas en ellas, importantes para el cálculo de las cargas térmicas. Además, se plantea importante incluir si las paredes están adosadas a un edificio habitable, no habitable o directamente al exterior, ya que las necesidades variarán considerablemente en función de la elección.

Terminada la primera vivienda, se procederá a repetir el proceso análogo en las dos restantes.

- Una vez se ha definido el edificio por completo, CLIMA ofrece una visión rápida de los diferentes informes escritos que ofrece el programa. En la pestaña de resultados se podrán obtener, a partir del tipo de cálculo que se señale, las cargas de refrigeración o calefacción para la hora y el mes máximo de carga, observando un despliegue de los porcentajes correspondientes a cada campo dentro de la necesidad total: ocupantes, luces, equipos, ventilación, cerramientos, huecos, puentes térmicos y mayoración, extrapolado en un gráfico de la evolución diaria para la fecha citada de las cargas por separado. También existe la posibilidad de observar la demanda de las dos cargas para todo el año tanto gráfica como numéricamente.
- Por último, se obtendrá un informe detallado de los diferentes escritos que pueden obtenerse dentro del programa, analizando detalladamente las cargas térmicas para cada edificio en el mismo.

Por tanto, este apartado se va a dividir en tres grandes bloques donde se calcularán las pautas necesarias para el cálculo del sistema de ventilación, las necesidades de calefacción y refrigeración a través del software citado, y la climatización del bloque residencial.

4.3.2. Cálculo del sistema de ventilación

Previamente a la introducción de los datos y características del edificio para el cálculo de la ventilación a través de CLIMA, será necesario cumplir con la exigencia de calidad térmica en el ambiente y de calidad del aire interior (IT 1.1.4.1). Esta exigencia, correspondiente al campo de bienestar e higiene (IT 1.1) [27], se dividirá en varias secciones dónde se calcularán los siguientes parámetros de inicio:

4.3.2.1. Exigencias de calidad térmica del ambiente

En primer lugar, se antoja necesario establecer la temperatura operativa media y la humedad relativa del local en función de la época del año. Para ello, el ATECYR ha elaborado dos métodos para calcular estas condiciones en función de la actividad que se va a llevar a cabo en los locales.

El método prestacional se basa en la actividad metabólica que está previsto realizar en la zona ocupada. A partir del informe CR 1752, se pueden establecer una serie de relaciones en función de la actividad, previendo en una vivienda una actividad que estará entre sentada y relajada en el momento de nocturnidad y descanso, hasta una actividad sedentaria en los momentos diurnos, no existiendo una excesiva carga de trabajo en ningún momento:

	Tasa metabólica	
	W/m ²	met
Recostado	46	0,8
Sentado, relajado	58	1
Actividad sedentaria (oficina, vivienda, colegio, laboratorio)	70	1,2
De pie, actividad ligera (compras, laboratorio)	93	1,6
De pie, actividad media (dependiente, trabajo doméstico)	116	2

Tabla 4.3. Tasa metabólica en función de la actividad [27].

Pudiendo determinar la tasa metabólica indistintamente del tipo de local de estudio a partir de su funcionalidad. La temperatura operativa óptima se calculará a partir de la carga metabólica calculada anteriormente en la tabla 4.3:

Actividad metabólica met	Temperatura operativa óptima	
	Verano	Invierno
1,00	26,00	24,00
1,20	24,50	22,00
1,40	23,50	20,00
1,60	23,00	19,00
1,80	22,50	18,00
2,00	21,50	16,50
3,00	17,00	11,00

Tabla 4.4. Temperatura operativa óptima en verano e invierno en función de la tasa metabólica [27].

Variando la temperatura operativa del local en función de la calidad térmica del ambiente, asumiendo unas fluctuaciones inversamente proporcionales a la temperatura operativa, es decir, un aumento de calor supondrá menores márgenes operativos.

A modo de simplificación, se va a emplear el método prescriptivo para el cálculo de las condiciones interiores de diseño. La temperatura operativa se puede calcular a partir de la media aritmética entre la temperatura seca del aire T_s y la radiante media ponderada en las paredes y ventanas del local T_R , es decir:

$$T_0 = \frac{T_s + T_R}{2} \quad (4.1)$$

Los valores máximos y mínimos para verano e invierno de temperatura operativa y humedad relativa deducidos serán:

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

Tabla 4.5. Condiciones internas de diseño del local [27].

Teniendo asociadas unas velocidades medias máximas en función de la temperatura operativa, limitando las difusiones por mezcla, habituales en sistemas convencionales, y por desplazamiento, empleados en locales muy altos, suceso que no incumbe al presente trabajo:

Temperatura operativa	Velocidad media máxima (m/s)	
	Difusión por mezcla	Difusión por desplazamiento
21,0	0,14	0,11
22,0	0,15	0,12
23,0	0,16	0,13
24,0	0,17	0,14
25,0	0,18	0,15

Tabla 4.6. Limitación de velocidad media del aire en el local [27].

4.3.2.2. Exigencia de calidad del aire interior

En este punto se van a introducir las exigencias establecidas por el RITE respecto a la calidad del aire del local en la norma UNE-EN 13779, partiendo de un sistema de ventilación mecánica debidamente filtrado al edificio, diferenciando entre ventilación de viviendas (HS₃ del CTE) y la de locales (RITE), siendo de interés la primera al tener un edificio residencial.

El Documento Básico HS₃ del CTE se aplica al interior de viviendas, trasteros, garajes... para cumplimentar las condiciones de diseño del sistema de ventilación relativas a aberturas y bocas de ventilación, conductos de admisión, conductos de extracción para ventilación híbrida y mecánica, aspiradores y ventanas o puertas exteriores, así como los caudales mínimos de ventilación en impulsión y extracción [28]:

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

(1) Para los dormitorios individuales se considera un ocupante y, en los dobles, dos ocupantes; se considera dormitorio doble si la superficie es superior a 8 m².

(2) Para el comedor y la sala de estar, los ocupantes a contabilizar serán la suma de los ocupantes de todos los dormitorios de la vivienda.

(3) Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina.

Tabla 4.7. Caudales de ventilación mínimos [27].

Donde se ha de tener en cuenta que el aire de entrada se producirá por las habitaciones y el salón, mientras que su salida por los aseos y la cocina.

Observando los planos de las viviendas del Anexo, se puede determinar el caudal de ventilación mínimo de cada habitáculo:

a) Planta baja

Se supone la habitación doble para dos ocupantes por ser su superficie superior a 8 metros cuadrados. A partir de las especificaciones de la tabla 4.7:

Caudal ventilación mínimo planta baja (l/s)			
Local	nº	Por ocupante	Total
Dormitorios	1	2 ocupantes por 5 l/s	10 l/s impulsión
Salón-comedor	1	2 ocupantes por 3 l/s	6 l/s impulsión
Baños	1	15 por local	15 l/s extracción
Cocinas	1	2 por m ² útil (11,25)	22,5 l/s extracción
Garajes	1	120 por plaza	120 l/s

Tabla 4.8. Caudales de ventilación mínimos de la vivienda de la planta baja.

Teniendo en cada caso:

$$Q_{impulsión} = Q_D + Q_S = 10 + 6 = 16 \text{ l/s} \quad (4.2)$$

$$Q_{extracción} = Q_B + Q_C = 15 + 22,5 = 37,5 \text{ l/s} \quad (4.3)$$

Siendo el caudal de ventilación el superior de los dos:

$$Q_{ventilación} = Q_{extracción} = 37,5 \text{ l/s} \quad (4.4)$$

Sabiendo que:

$$1 \text{ litro} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (4.6)$$

Es posible obtener la siguiente conversión:

$$Q_{ventilación} = 37,5 \text{ l/s} = \frac{37,5}{1000} \cdot 3600 = 135 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.7)$$

Por otro lado, suponiendo una altura de H=2,6 metros de la vivienda, el volumen será:

$$V_{vivienda} = S \cdot H = 80,06 \cdot 2,6 = 208,16 \text{ m}^3 \quad (4.8)$$

Obteniendo el caudal de ventilación en renovaciones hora:

$$Q_{ren_hora_PB} = \frac{Q_{ventilación}}{V_{vivienda}} = \frac{135}{208,16} = 0,65 \text{ renovaciones/hora} \quad (4.9)$$

b) Planta primera y segunda

A partir de los planos del Anexo I, se observa como las habitaciones contienen una superficie útil superior a 8 m² cada una, indicando para esa circunstancia la objeción de considerar las habitaciones dobles, siendo un total de 6 habitantes. Se supone que en la casa no vivirá más de una pareja, estando orientada para un matrimonio con dos hijos/as, lo que presupone que será para 4 ocupantes, tal y como dice el RITE al tener 3 habitaciones. Por ello, se va a suponer un caso intermedio en el que la vivienda estuviera ocupada por 5 personas:

Caudal ventilación mínimo planta primera y segunda (l/s)			
Local	nº	Por ocupante	Total
Dormitorios	3	5 ocupantes por 5 l/s	25 l/s impulsión
Salón-comedor	1	5 ocupantes por 3 l/s	15 l/s impulsión
Baños	2	15 por local	30 l/s extracción
Cocinas	1	2 por m ² útil (8,10)	16,36 l/s extracción
Garajes	0	120 por plaza	-

Tabla 4.9. Caudales de ventilación mínimos de la vivienda de la planta primera y segunda.

Repitiendo el proceso de cálculo del punto anterior para la planta baja:

$$Q_{impulsión} = Q_D + Q_S = 25 + 15 = 40 \text{ l/s} \quad (4.10)$$

$$Q_{extracción} = Q_B + Q_C = 30 + 16,2 = 46,2 \text{ l/s} \quad (4.11)$$

Deduciendo:

$$Q_{ventilación} = 46,2 \text{ l/s} = \frac{46,2}{1000} \cdot 3600 = 166,32 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.12)$$

Considerando la misma altura para la vivienda:

$$V_{vivienda} = S \cdot H = 87,24 \cdot 2,6 = 226,82 \text{ m}^3 \quad (4.13)$$

Obteniendo:

$$Q_{ren_hora_P1\&P2} = \frac{Q_{ventilación}}{V_{vivienda}} = \frac{166,32}{226,82} = 0,73 \text{ renovaciones/hora} \quad (4.14)$$

Siendo prácticamente iguales los caudales de renovación a los de la planta baja. Es posible concluir con los caudales de ventilación por planta, cuyo sumatorio será igual al total necesario en el bloque residencial:

Planta	Caudal de ventilación (m ³ /h)
Baja	135
Primera	166,32
Segunda	166,32
Total	467,64

Tabla 4.10. Caudal de ventilación por planta.

El caudal de aire exterior dictaminará la necesidad de instalar un recuperador de calor en el equipo de climatización con el fin de incrementar el ahorro energético del edificio.

La IT 1.2.4.5.2 del RITE establece la instalación de una Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) que se encargue de manipular el aire exterior al interior del bloque residencial y viceversa a partir del caudal de aire expulsado, existiendo la necesidad de instalar el recuperador si este es superior al valor de 0,5 m³/s. Realizando la conversión:

$$Q_{ventilación_{total}} = \frac{467,64}{3600} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s} < 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.15)$$

Por tanto, no será necesario incorporar en el edificio un recuperador de calor en la ventilación al no superar el mínimo exigido por el RITE.

El siguiente paso será determinar la Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) a partir del caudal de ventilación. Se ha escogido la Serie UTBS del proveedor Sitasa [29], asignando la unidad que se acerque más al caudal dimensionado en la tabla 4.10, eligiendo el modelo menos potente:

$$Q_{ventilación_{UTA}} = 1700 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Modelo UTBS - 2}$$

Con las siguientes características técnicas:

Modelo UTBS	Modelo ventilador	Presión total (Pa)	Caudal máximo (m ³ /h)	Motor Trifásico 400 V		Resistencia Eléctrica Trifásica		
				Potencia (kW)	Intensidad máx. (A)	Potencia (kW)	Intensidad abs. (A)	Nº etapas
		175	1700	0,18	0,53			
UTBS-2	BPFM 250-2T	310	1700	0,25	0,68	15	37,5	2
		500	1700	0,37	0,95			
		725	1700	0,55	1,35			

Tabla 4.11. Características técnica UTA modelo UTBS-2 [29].

Este modelo se ha escogido por su fácil acceso, tanto a la unidad como a los filtros, a la hora de la limpieza. Teniendo como una de sus aplicaciones principales la colocación en viviendas colectivas. Su forma es la siguiente:



Figura 4.2. La UTA serie UTBS-2 [29].

Lógicamente, la UTA funcionará las 24 horas del día durante los 365 días del año, pues se plantea necesario una renovación de aire continua. Por tanto, partiendo de la tabla 4.11, el consumo diario será el siguiente:

$$\text{Consumo}_{UTA} = 24 \cdot 0,18 = 4,32 \text{ kWh día}$$

Por tanto, el consumo mensual será:

VENTILACIÓN	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	133,92
Febrero	28	120,96
Marzo	31	133,92
Abril	30	129,60
Mayo	31	133,92
Junio	30	129,60
Julio	31	133,92
Agosto	31	133,92
Septiembre	30	129,60
Octubre	31	133,92
Noviembre	30	129,60
Diciembre	31	133,92

Tabla 4.12. Consumo (kWh) de la UTA debido a la ventilación.

Por tanto, el consumo total a lo largo de un año natural será:

$$\text{Consumo}_{UTA} = 1576,80 \text{ kWh año}$$

4.3.3. Demanda de calefacción y refrigeración.

Para calcular las necesidades de calefacción y refrigeración que exige la residencia se hará a través del software introducido en el punto 4.3: CLIMA. Este será capaz calcular, entre otros parámetros, las cargas térmicas del edificio en cuestión.

Llegado este punto, habrá que realizar distinción entre las dos localizaciones escogidas para el emplazamiento del edificio, ya que las condiciones exteriores determinarán la demanda exigida por el mismo.

4.3.3.1. Bloque residencial zona A3

En primer lugar, será necesario establecer los datos de partida del proyecto en el software CLIMA. Para ello, se van a definir tanto la localización de la residencia como las funciones del edificio de trabajo, pudiendo concretar las características internas planta por planta de los locales.

a) Condiciones exteriores

Una de las principales características que muestra el software de trabajo es una extensa base de datos con las condiciones meteorológicas, estando asociados a las zonas climáticas definidas en la figura 4.1, de los enclaves más importantes de las distintas provincias de cada Comunidad Autónoma de España.

En primer lugar, se plantea necesario definir la provincia, comenzando el estudio por Cádiz. Posteriormente, habrá que establecer la latitud y longitud dentro de las posibilidades del lugar, existiendo algunos lugares previamente definidos en el sistema, distinguiendo en este caso la Base Naval de Rota, el aeropuerto de Jerez de la Frontera, y Cortadura, en la ciudad de Cádiz, asignando esta última como la localización del bloque residencial.

Seguidamente, se escogerán los materiales circundantes y la turbiedad de la atmósfera, ambos en condiciones estándar.

Por último, se plantea necesario establecer el nivel percentil anuales (NPA) del aire acondicionado, asociado a la refrigeración, y de la calefacción. A partir de la guía técnica de condiciones climáticas exteriores del proyecto [30], se establecen los NPA tanto en invierno como en verano más representativos a nivel mundial. El informe concluye que, para el cálculo de cargas térmicas máximas, la temperatura seca a considerar en residencias convencionales será $T_{\text{invierno}} = 97,5\%$ y $T_{\text{verano}} = 5\%$ [27].

Recopilando las condiciones impuestas:

Características generales de la localidad

Localidad: Zona Climática:

Altitud [m]: Latitud [°]: Temp.terreno [°C]:

Fichero climatico demanda:

Materiales circundantes:

Turbiedad atmósfera:

Aire acondicionado (Refrigeración)
Nivel percentil[%]:

Ts,ext,max[°C]: Hr,coinc.[%]: OMD[°C]: OMA[°C]:

Calefacción
Nivel percentil[%]: OMDinv. = OMD *

Ts,ext,min[°C]: Hr,coinc.[%]:

Figura 4.3. Condiciones exteriores del edificio de Cádiz en CLIMA.

Pudiendo obtener gráficamente, tanto en gráficos 2D como 3D, diferentes variables a representar en función de cada día del año y de la hora del día, resultando más intuitivo visualmente para las cargas de calefacción, refrigeración y demanda. A continuación, se muestra el gráfico de la evolución del parámetro más importante en el estudio que se desea llevar a cabo, la temperatura exterior de la localidad (°C), en función de la temperatura de refrigeración.

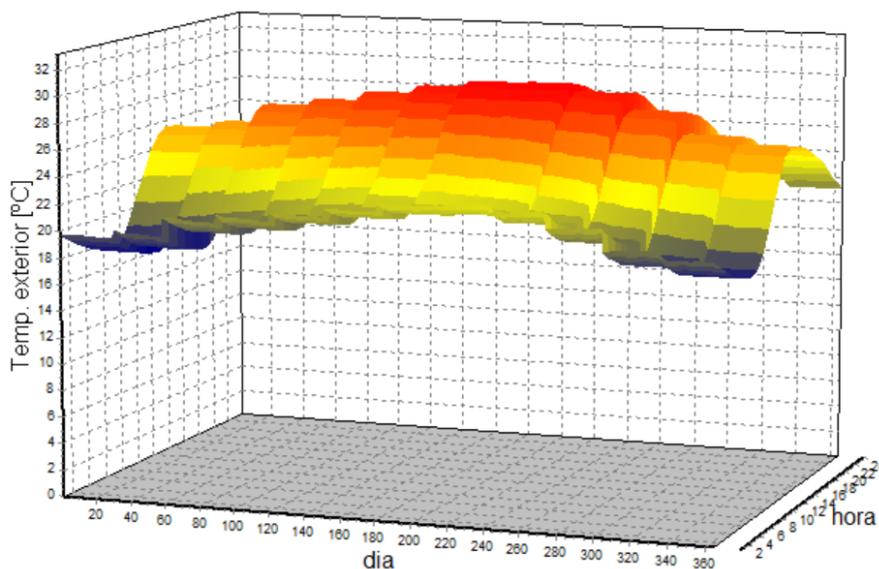


Figura 4.4. Temperatura exterior (°C) respecto a las cargas de refrigeración en Cádiz en CLIMA.

Observando, como era de esperar por la zona climática de la región, unas temperaturas medias bastante elevadas independientemente del momento del año en el que se analice el gráfico, llegando en los meses de verano (zona roja) a valores medios de 30 °C, mientras que en invierno (zona violeta), las temperaturas decaen 10°C respecto a las máximas, alcanzando cifras cercanas a los 20 °C, no dejando de ser resultados elevados para la época del año en comparación con otras zonas del territorio nacional.

b) Uso del edificio

Seguidamente se establecerá la utilidad del edificio, teniendo en este caso la función residencial. Posteriormente, será necesario definir la ventilación, en m³/h, por persona en el local. Para ello, se deberá retornar a los datos calculados en el punto 4.3.1.2, y definir el parámetro buscado a partir de la media por persona en los 3 locales atendiendo al número de ocupantes previstos. Recordando que la casa de la planta baja estará pensada para ser habitada por 2 personas, mientras que los hogares de la primera y segunda planta para 5, al fin de realizar el estudio en las condiciones más pesimistas posibles en cuanto a necesidades térmicas se refiere, el valor medio de ventilación será:

$$Ventilación (m^3/h pers) = \frac{\frac{V_{pbaja}}{n^{\circ}pers p_{baja}} + \frac{V_{p1}}{n^{\circ}pers p_1} + \frac{V_{p2}}{n^{\circ}pers p_2}}{3} \quad (4.16)$$

Teniendo en cuenta que la primera planta será idéntica a la segunda:

$$Ventilación = \frac{\frac{135}{2} + \frac{166,9}{5} \cdot 2}{3} = 44,75 \frac{m^3}{h} \text{ por persona} \quad (4.17)$$

El siguiente paso consistirá en definir la actividad física realizada en la vivienda, junto a la superficie útil por persona. La cantidad de movimiento que se produce en una casa está estrechamente relacionada con el acto de estar sentado con poca carga de trabajo. Obviamente, el trabajo realizado en una oficina puede ser menor, pero se considera que el esfuerzo físico es igualmente bajo. Respecto a los m²s por habitante, se repetirá el cálculo realizado para la ventilación, cambiando las variables de ventilación por superficie por persona, calculadas igualmente en el mismo punto:

$$Superficie (m^2 pers) = \frac{\frac{S_{pbaja}}{n^{\circ}pers p_{baja}} + \frac{S_{p1}}{n^{\circ}pers p_1} + \frac{S_{p2}}{n^{\circ}pers p_2}}{3} \quad (4.18)$$

Por tanto:

$$Superficie = \frac{\frac{80,73}{2} + \frac{87,24}{5} \cdot 2}{3} = 24,98 m^2 \text{ por persona} \quad (4.19)$$

El siguiente paso será definir la iluminación interna de los distintos locales que corresponden el edificio. De las cuatro posibilidades que ofrece el software, y al tener libertad de elección, se ha decidido apostar por las luces tipo LED, ya que se considera el conjunto de iluminación más adecuado e intrínsecamente asociado a la energía solar fotovoltaica que abastecerá el edificio, siendo la configuración ideal para el edificio NETZero. Indagando en diferentes fuentes, se ha visto que la potencia por superficie a instalar ha de ser de 4 W/m² aproximadamente.

La potencia aportada por los equipos sensibles originará una variación térmica en el ambiente, mientras que la de los equipos latentes modificará la humedad absoluta, es decir, la cantidad de agua presente en el ambiente. El último caso se considerará nulo, ya que no se cuenta con instrumentos que varíen las condiciones significativamente, mientras que la potencia sensible podrá ser alterada levemente por los electrodomésticos presentes en las viviendas, siendo leve esa variación. Con el fin de ser lo más preciso posible y ajustar el cálculo a la realidad, se va a proceder al cálculo empírico de ambos valores:

$$Q_{sensible} = \dot{V}_{ventilación} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_e - T_L) \quad (4.20)$$

$$Q_{latente} = \dot{V}_{ventilación} \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot (w_e - w_L) \quad (4.21)$$

Dónde:

$$\dot{V}_{ventilación} = \text{caudal de ventilación medio en la vivienda (m}^3\text{/s)}$$

$$\rho = \text{densidad aire} \approx 1,205 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = \text{calor específico aire} \approx 1,012 \text{ J/gK}$$

$$h_{fg} = \text{calor latente de evaporación (KJ/kg)}$$

$$T_e, w_e = \text{temperatura (K) y humedad relativa (kga/kgs) en el exterior}$$

$$T_s, w_s = \text{temperatura (K) y humedad relativa (kga/kgs) en el local}$$

Realizando el cálculo en invierno, dónde la temperatura exterior media en la época más fría, según la figura 4.4, se establece como $T_e = 20$ °C, buscando una temperatura del local, como indicó la tabla 4.5, será de $T_L = 22$ °C. Aplicando las ecuaciones:

$$Q_{sensible} = 0,13 \cdot 1,205 \cdot 1,012 \cdot (22 - 20) = 0,32 \text{ kW}$$

$$Q_{sensible} \text{ (W/m}^2\text{)} = 0,32/92,42 = 0,0035 \text{ W/m}^2 \approx 0$$

$$Q_{latente} \approx 0$$

Pudiendo considerar ambos prácticamente nulos debido a sus órdenes de magnitud de 10⁻³.

Por último, la toma de aire exterior será directa al local, mientras que no será necesario un sistema de recuperación de calor, ya que como se comentó el caudal de aire de ventilación no supera el límite exigido para su instalación obligatoria.

El resultado final en máxima será el siguiente:

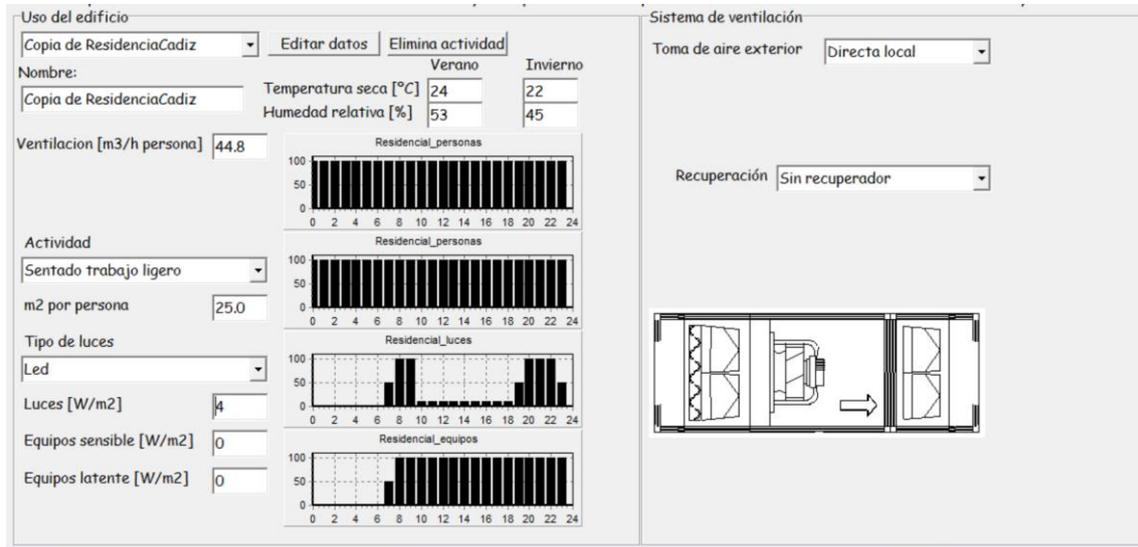


Figura 4.5. Uso del edificio residencial de Cádiz en CLIMA.

c) Dimensionado del edificio residencial

Este corresponderá al último apartado de trabajo realizado con el software CLIMA. El procedimiento consistirá en la caracterización de cada una de las 3 plantas, teniendo en cuenta la distribución de los diferentes locales que componen cada vivienda (superficie, altura, ventanales, materiales...), así como de las zonas comunes que conectan una planta con otra. Igualmente, será importante definir las condiciones de sus cerramientos, ya que los resultados finales varían mucho en función del aislamiento de los muros.

Se plantea necesario tener claras una serie de especificaciones a la hora de definir los parámetros en el programa. En primer lugar, será necesario acudir al Documento Básico HE de Ahorro de Energía para determinar la transmitancia límite de los muros, suelos, cubiertas... que han de tener los materiales definidos en función de la zona climática en la que estamos, siendo la A3 en este caso. Tomando los datos de la limitación de la demanda energética en la sección HE 1 [25], los valores máximos que se pueden tomar para Cádiz serán los siguientes:

ZONA CLIMÁTICA A3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno $U_{Mlim}: 0,94 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Transmitancia límite de suelos $U_{Slim}: 0,53 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Transmitancia límite de cubiertas $U_{Clim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Factor solar modificado límite de lucernarios $F_{Llim}: 0,29$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,7	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	4,7 (5,6)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	4,1 (4,6)	5,5 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	3,8 (4,1)	5,2 (5,5)	5,7	5,7	-	-	-	0,48	-	0,51
de 41 a 50	3,5 (3,8)	5,0 (5,2)	5,7	5,7	0,57	-	0,60	0,41	0,57	0,44
de 51 a 60	3,4 (3,6)	4,8 (4,9)	5,7	5,7	0,50	-	0,54	0,36	0,51	0,39

Tabla 4.13. Transmitancia térmica límite en la zona climática A3 [25].

Donde los valores resaltados en la zona superior derecha no deberán sobrepasarse a la hora de definir las distintas paredes de los locales de cada vivienda, el suelo y cubiertas que lo componen... Esta limitación se dará como carácter general en cualquier cerramiento que da al exterior, decidiendo en nuestro caso buscar el mayor ahorro posible en términos de climatización y aislamiento térmico. Por ello, se ha decidido introducir una nueva técnica aplicada a edificios NETZero conocida “como fachadas ventiladas”. Desde su origen, datado del siglo XX, ha tenido un auge en su demanda considerable. La clave de su estructura es la cámara de aire ventilada interna, la cual se encarga de drenar las infiltraciones posibles, siendo ideal para edificios autosuficientes, más allá de su coste económico. Su comportamiento en verano e invierno, a modo esquemático, es el siguiente:

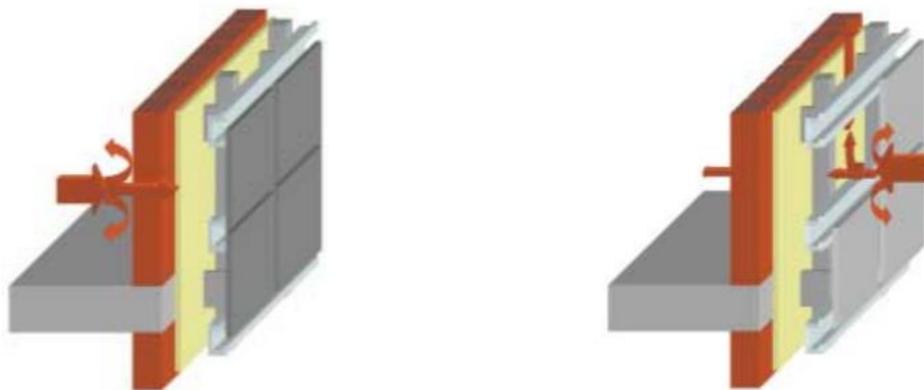


Figura 4.6. Fachada ventilada: verano (a), invierno (b) [31].

En invierno, la fachada actúa como un acumulador de calor interno, teniendo muchos inconvenientes para el traslado del calor por el aislamiento, manteniéndose en el local. Mientras, en verano, la gran mayoría del calor es reflejado al exterior, penetrando una pequeña parte, activando el conocido como “efecto chimenea”, evacuándolo por la parte superior, absorbiendo una cantidad prácticamente

despreciable si el aislamiento es de calidad, no penetrando calor al interior, manteniendo temperaturas óptimas [31].

Mediante esta técnica es posible alcanzar un ahorro energético de casi el 40%, reduciendo los saltos térmicos y optimizando la inercia térmica. Sus inconvenientes, más allá del precio, son el riesgo de desprendimiento, lo cual podría resolverse por medio de fijación, como en el museo Guggenheim, en Bilbao.

Los valores de transmitancias decrecen considerablemente, llegando hasta rangos entre 0,20 y 0,30 W/m²K. Por motivos de realizar el estudio en las condiciones más moderadas como se viene realizando a lo largo de todo el TFM, se va a escoger valores del 20% superiores a los medios, aplicando en la definición de las fachadas externas en CLIMA valores de 0,33 W/m²K.

El siguiente punto que se debe considerar son los huecos de la fachada principal, la cual se encuentra orientada hacia el sur, como puede verse en la siguiente imagen:

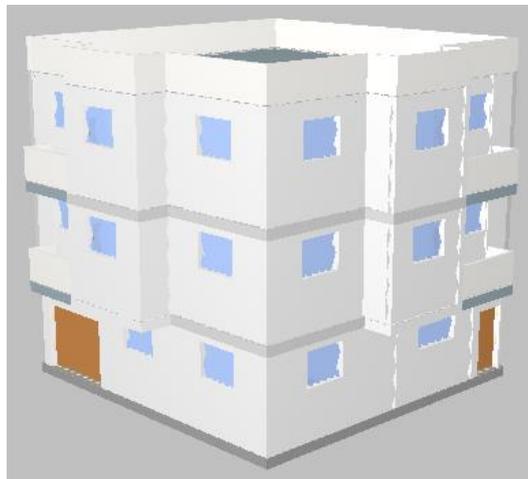


Figura 4.7. Fachada oeste y sur del edificio residencial.

Las ventanas y puerta externa del edificio se plantean como elementos importantes a la hora de definir las condiciones de estudio, ya que la transmitancia es diferente a la de las fachadas, afectando a la conductividad. Las ventanas se definirán como ventanas de doble cristal con rotura de puente térmico, facilitando así la función de aislar durante el año. Las medidas de cada hueco, definidas como altura por anchura, son las siguientes:

$$\text{Ventanas} = 1,35 \cdot 1,10 \text{ m}^2$$

$$\text{Puerta} = 2,6 \cdot 1,10 \text{ m}^2$$

$$\text{Puerta garaje} = 2,2 \cdot 2,7 \text{ m}^2$$

Por último, se ha considerado una altura de cada planta media de 2.6 metros de altura y un coeficiente de mayoración del 5%, siendo suficiente por motivos de seguridad.

Se ha dividido el proyecto en tres estancias, siendo estas la planta baja, primera y segunda, realizando una subdivisión en cada una de las mismas describiendo los diferentes locales que la componen. Dentro de cada habitáculo de la vivienda, además de la superficie, ventilación y número de personas medio esperados en cada uno, se ha continuado definiendo las paredes, techo y suelo de cada uno. Evidentemente, los dos últimos grupos en una misma estancia contarán con idénticas características, variando únicamente las superficies de cada uno. Las características de la primera y segunda planta, las cuales serán idénticas, a excepción de la cubierta final, cambiando las propiedades de la fachada al dar al exterior.

Nombre	Cocina	Habitación	Salón	Baño
Superficie [m2]	11.25	18.22	18.38	5.89
Altura [m]	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen [m3]	29.25	47.37	47.79	15.31
Tipo de local	Acondicionado	Acondicionado	Acondicionado	Acondicionado
Planta	Planta baja	Planta baja	Planta baja	Planta baja
Zona demanda	Zona_demanda	Zona_demanda	Zona_demanda	Zona_demanda
Zona ventilación	Zona_ventilacion	Zona_ventilacion	Zona_ventilacion	Zona_ventilacion
Coef. mayoración [%]	5.00	5.00	5.00	5.00

Nombre	ResidenciaCadiz_Cocina	ResidenciaCadiz_Habitación	ResidenciaCadiz_Salón	ResidenciaCadiz_Baño
Temp. ref. [°C]	24.00	24.00	24.00	24.00
Temp. cal. [°C]	22.00	22.00	22.00	22.00
Humedad rel. ref. [%]	53.00	53.00	53.00	53.00
Humedad rel. cal. [%]	45.00	45.00	45.00	45.00
m2 por persona	11.25	9.11	9.19	5.89
Ventilación(m3/h_persona)	81.00	36.00	21.60	54.00
Horario ventilación	Residencial_personas	Residencial_personas	Residencial_personas	Residencial_personas
Actividad ocupantes	De pie trabajo muy ligero	Sentado trabajo muy ligero	Sentado trabajo ligero	Sentado trabajo muy ligero
Q sen. personas[W/m2]	86.00	78.00	82.00	78.00

Figura 4.8. Edificio de Cádiz definido en CLIMA.

El cálculo del área de los diferentes locales del edificio se podrá encontrar detalladamente en el Anexo II. Definido el bloque residencial, se podrán obtener los cálculos de refrigeración, calefacción y demanda energética buscadas.

d) Cargas térmicas.

Se van a mostrar las cargas de refrigeración y calefacción obtenidas por CLIMA, calculando el programa el mes donde la carga será máxima, así como la hora del día donde la potencia será máxima.

– Cargas de refrigeración

Cargas de refrigeración		
Fecha máxima carga:	Agosto	Hora: 14
CARGAS EDIFICIO	Total	Sensible
Total[kW]	19.64	11.85
Ratio[W/m2]	63.93	38.58
Ocupantes [kW]	6.16	3.30
Luces [kW]	0.18	0.18
Equipos [kW]	0.00	0.00
Ventilación [kW]	7.41	2.85
Cerramientos [kW]	2.10	2.10
Huecos [kW]	2.85	2.85
Puentes térmicos [kW]	0.00	0.00
Mayoración [kW]	0.94	0.56

Tabla 4.14. Cargas de refrigeración del edificio de Cádiz obtenidas en CLIMA.

Extrapolando los datos gráficamente para ver la potencia en función de la hora del día de modo que sea más representativo los datos obtenidos:

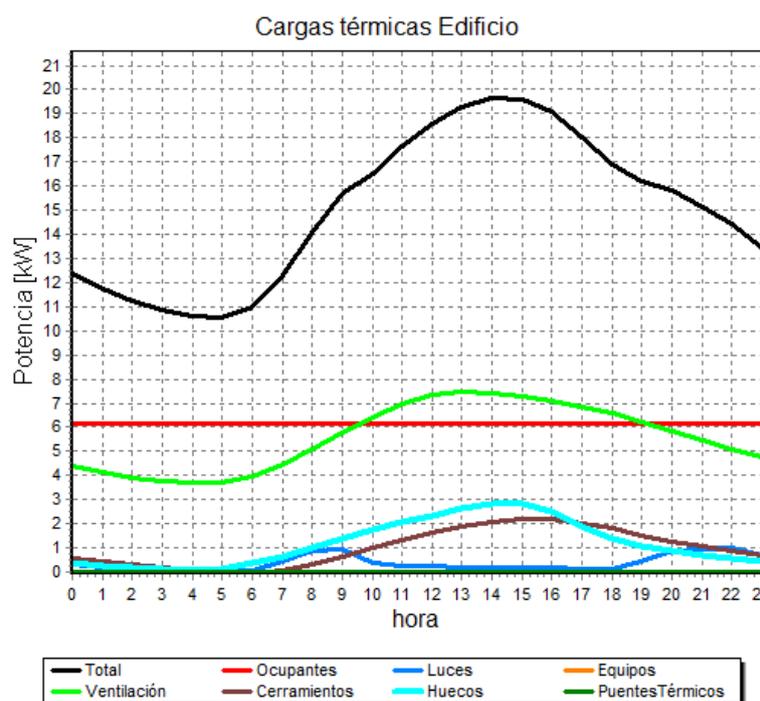


Figura 4.9. Gráfico de cargas de refrigeración del edificio de Cádiz definido en CLIMA.

Analizando la figura 4.9, puede observarse como la carga de los ocupantes permanece constante a lo largo del día. Destaca la evolución de la ventilación (línea verde), siendo mínima en horas de madrugada, alcanzando su máximo a media tarde, tal y como se apreció en la tabla 4.13, volviendo a caer progresivamente conforme el día avanza. Respecto a las luces (línea azul oscura), sus dos picos se dan en los momentos de nocturnidad (amanecer y a partir del anochecer), siendo lógico, ya que no hay

iluminación solar. La carga total (línea negra) se asemeja a la evolución de la ventilación durante el día.

La potencia máxima de refrigeración, es decir, el momento en el que el edificio necesita una mayor generación, será en el mes de agosto a las 14 horas:

$$P_{MAX\ REFRIGERACIÓN_CÁDIZ} = 19,64\ kW$$

– Cargas de calefacción

Repitiendo el proceso para las cargas de calefacción, los resultados más desfavorables han sido los siguientes:

Cargas de calefacción		
Fecha máxima carga:	Febrero	Hora: 6
CARGAS EDIFICIO	Total	Sensible
Total[kW]	-15.36	-12.04
Ratio[W/m2]	-50.00	-39.19
Ocupantes [kW]	0.00	0.00
Luces [kW]	0.00	0.00
Equipos [kW]	0.00	0.00
Ventilación [kW]	-10.49	-7.33
Cerramientos [kW]	-2.99	-2.99
Huecos [kW]	-1.14	-1.14
Puentes térmicos [kW]	0.00	0.00
Mayoracion [kW]	-0.73	-0.57

Tabla 4.15. Cargas de calefacción del edificio de Cádiz obtenidas en CLIMA.

Se observa como los signos de las cargas son negativos según el criterio de signos de la Termodinámica, ya que en este caso la potencia es absorbida por el sistema, a diferencia de la refrigeración, donde la potencia es extraída del sistema. Destaca la potencia nula de los ocupantes, ya que no emiten carga térmica en este caso, al igual que las luces y los equipos en las cargas de calefacción.

Representando gráficamente los resultados obtenidos en la tabla 4.15 idénticamente al punto anterior:

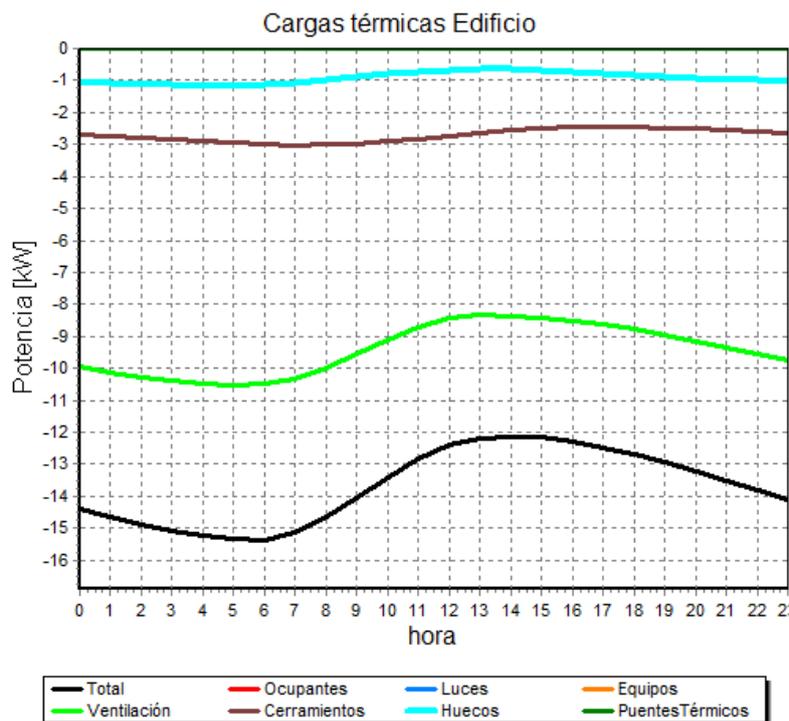


Figura 4.10. Gráfico de cargas de calefacción del edificio de Cádiz definido en CLIMA.

En este caso, el gráfico evoluciona en el eje negativo de potencia debido a la razón comentada con anterioridad. El mayor aporte es debido a las cargas de ventilación en las primeras horas del día, viendo como la evolución de la gráfica es inversamente proporcional a las cargas de refrigeración, es decir, las horas donde las cargas eran máximas en el caso anterior son mínimas ahora, y viceversa.

El máximo se dará a las 6 horas de la mañana en el mes de febrero:

$$P_{MAX\ CALEFACCIÓN\ CÁDIZ} = -15,36\ kW$$

– Demanda energética.

Por último, se va a calcular la demanda energética del bloque residencial. En primer lugar, se va a mostrar la demanda total, tanto de refrigeración como de calefacción, en todo el año natural, junto al ratio de potencia por superficie de cada uno de los parámetros:

Demanda total refrigeración [kWh]: 10781.08 Ratio[kWh/m2]=35
 Demanda total calefacción [kWh]: -6324.17 Ratio[kWh/m2]=-21

Figura 4.11. Demanda total (kWh) durante el año en Cádiz obtenida en CLIMA.

Seguidamente, se muestra el gráfico 2D que muestra la energía en función de cada mes, correspondiendo las barras azules a la demanda de refrigeración y las rojas a la de calefacción:

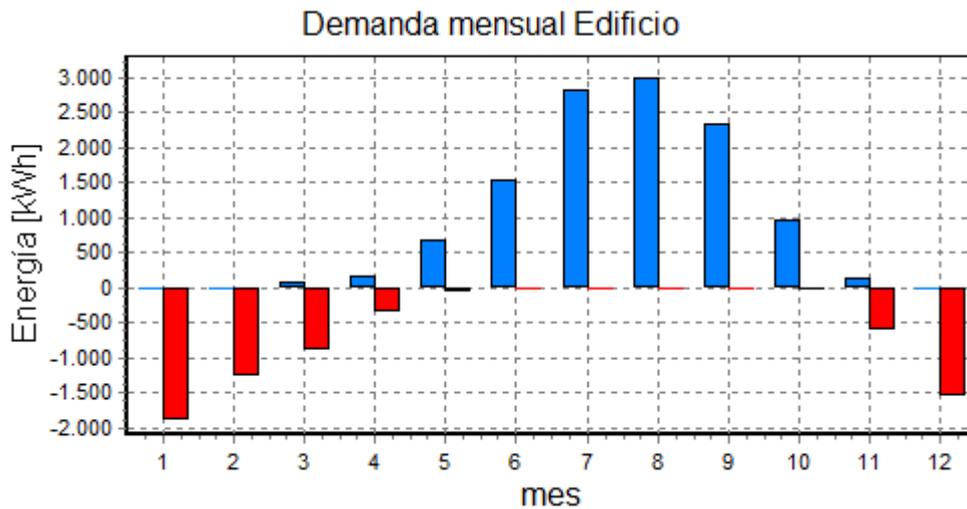


Figura 4.12. Demanda total (kWh) de cada mes en Cádiz obtenida en CLIMA.

Observando, como se sabía previamente por los datos adjuntados en puntos anteriores y por la lógica de demandas en función de la época del año, como las cargas de calefacción se agrupan en los meses de invierno, mientras las cargas de refrigeración en los meses de verano.

Representando en tres dimensiones los datos para ver la variación de la potencia en función del día y de la hora:

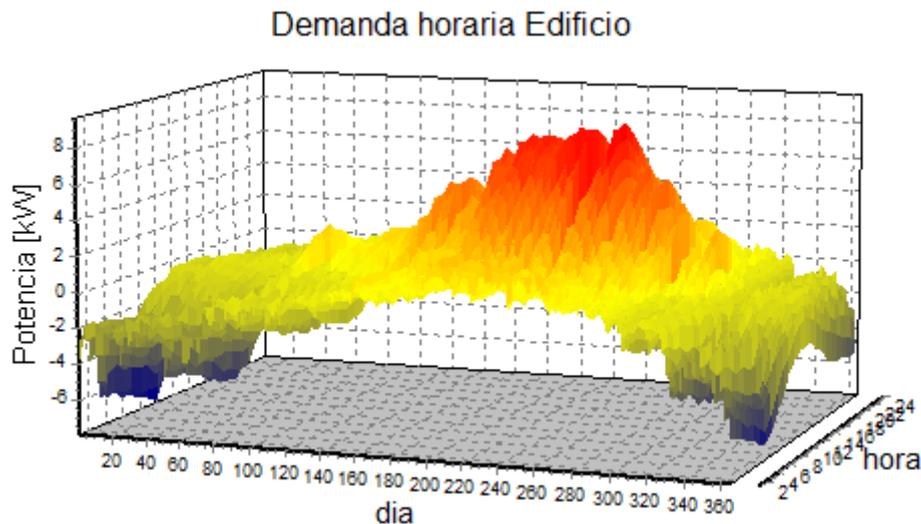


Figura 4.13. Potencia (kW) en función del día y la hora en el edificio en Cádiz obtenida en CLIMA.

Pudiendo ver los picos rojos, correspondientes a las cargas de refrigeración en la mitad (verano y horas de mediodía), mientras los máximos de las cargas de calefacción en las cuatro esquinas (invierno y horas de amanecer y anochecer).

4.3.3.2. Bloque residencial E1

A continuación, se va a definir el mismo edificio en las condiciones opuestas dentro de la Península Ibérica. Se pasa de una zona climática A3, caracterizada por las altas temperaturas a lo largo del año, a la zona E1, concretamente en Burgos, siendo uno de los climas más fríos de España.

El proceso de análisis será idéntico al del punto 4.4.1, comenzando por la definición de las condiciones climáticas hasta las cargas y demanda energética.

a) Condiciones exteriores

En primer lugar, se plantea necesario definir la nueva ubicación residencial. Dentro de la base de datos que ofrece clima, Burgos plantea como única alternativa la zona de Villafria, escogiéndola como ubicación.

Respecto a los NPA del aire acondicionado, se repetirán los mismos valores definidos para Cádiz, recordándolos a continuación: $T_{s\text{invierno}} = 97,5\%$ y $T_{s\text{verano}} = 5\%$.

Características generales de la localidad

Localidad: Zona Climática:

Altitud [m]: Latitud [°]: Temp.terreno [°C]:

Fichero climatico demanda:

Materiales circundantes:

Turbiedad atmósfera:

Aire acondicionado (Refrigeración)
Nivel percentil[%]:

$T_{s,ext,max}$ [°C]: $Hr,coinc.$ [%]: OMD [°C]: OMA [°C]:

Calefacción
Nivel percentil[%]: $OMD_{inv.} = OMD \star$

$T_{s,ext,min}$ [°C]: $Hr,coinc.$ [%]:

Figura 4.14. Condiciones exteriores del edificio de Burgos en CLIMA.

Ofreciendo el programa, como ya se vio en el punto 4.4.1.1, diferentes gráficos en dos y tres dimensiones dependiendo de unidades temporales en los ejes x e y. Al igual que se realizó para Cádiz, se va a representar la temperatura exterior, en °C, en función de las cargas de refrigeración, pudiendo observar las similitudes y diferencias con la figura 4.4:

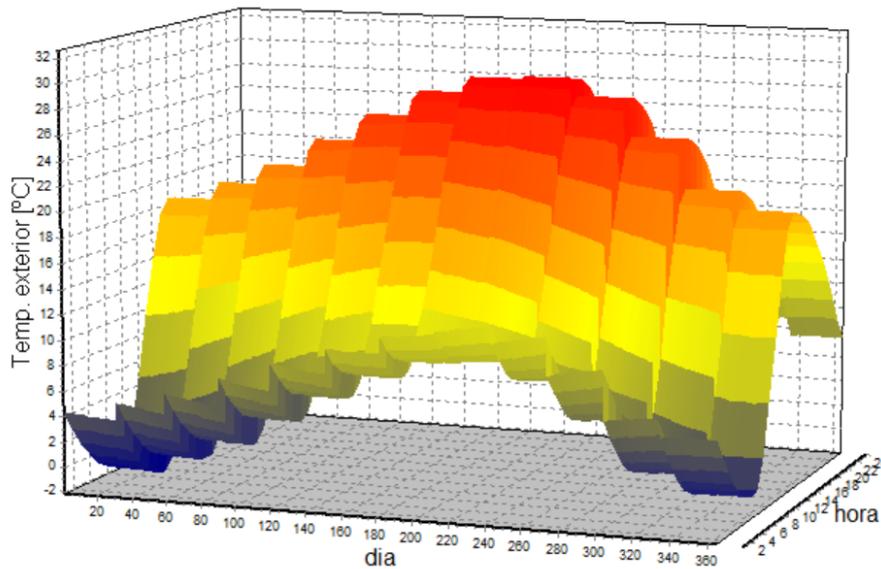


Figura 4.15. Temperatura exterior (°C) respecto a las cargas de refrigeración en Burgos en CLIMA.

Lo primero que llama la atención es la similitud en el gráfico con el caso de Cádiz, observando las temperaturas máximas, de color rojo, en la zona céntrica, mientras las más frías se disponen en los extremos del gráfico durante los meses de invierno. Destaca como las temperaturas máximas son superiores a las vistas en Cádiz, llegando a alcanzar casi 35 °C en los meses de verano, en detrimento de los meses fríos, donde decaen hasta casi el 0 absoluto. El rango de temperaturas es mucho más amplio que en el caso anterior, teniendo temperaturas muy variables a lo largo de todo el año natural, influyendo notablemente la hora del día.

b) Uso del edificio

El uso del bloque de viviendas será idéntico al de Cádiz. A modo de recordatorio, se va a adjuntar la superficie y caudal de ventilación medio calculados en el punto 4.4.1.2:

$$\textit{Ventilación} = 44,75 \text{ m}^3/\textit{s por persona}$$

$$\textit{Superficie} = 24,98 \text{ m}^2 \textit{ por persona}$$

c) Dimensionado del edificio residencial

Se ha de tener en cuenta el cambio de zona climática en la nueva localización a la hora de valorar el límite de transmisividad en cerramientos, cubiertas, suelos... Según el Documento Básico de Ahorro de Energía HE1 [25], en la zona E1 los máximos serán los siguientes:

ZONA CLIMÁTICA E1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno $U_{Mlim}: 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos $U_{Slim}: 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas $U_{Clim}: 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios $F_{Llim}: 0,36$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6 (2,9)	3,0 (3,1)	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0 (2,2)	2,4 (2,6)	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,0)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Tabla 4.16. Transmitancia térmica límite en la zona climática E1 [25].

Se continuará con las mismas fachadas ventiladas, cuyo coeficiente de transmitancia límite era muy inferior al definido en la tabla superior. Únicamente se deberá de variar la transmitancia de las cubiertas, ya que el límite ha disminuido a $0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, cambiando el material de la cubierta. Los suelos no serán necesario cambiarlos ya que el material empleado tenía una transmitancia de $U=0,47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, cumpliendo las condiciones en la zona climática E1.

Las ventanas y puertas continuarán con los mismos materiales y en idénticas condiciones, así como el árbol jerárquico de las estancias, obteniendo todos los datos de igual manera en CLIMA.

- d) Cargas térmicas
 - Cargas de refrigeración

Cargas de refrigeración		
Fecha máxima carga:	Agosto	Hora: 15
CARGAS EDIFICIO	Total	Sensible
Total[kW]	10.62	8.57
Ratio[W/m2]	34.59	27.89
Ocupantes [kW]	6.16	3.30
Luces [kW]	0.17	0.17
Equipos [kW]	0.00	0.00
Ventilación [kW]	1.14	2.04
Cerramientos [kW]	-0.26	-0.26
Huecos [kW]	2.91	2.91
Puentes térmicos [kW]	0.00	0.00
Mayoracion [kW]	0.51	0.41

Tabla 4.17. Cargas de refrigeración del edificio de Burgos obtenidas en CLIMA.

La carga de refrigeración máxima se dará a las 15 horas en el mes de agosto. Destaca el valor, siendo casi la mitad del cálculo en Cádiz, siendo un resultado coherente al ser una región mucho más fría en los meses de verano.

Representando gráficamente los datos:

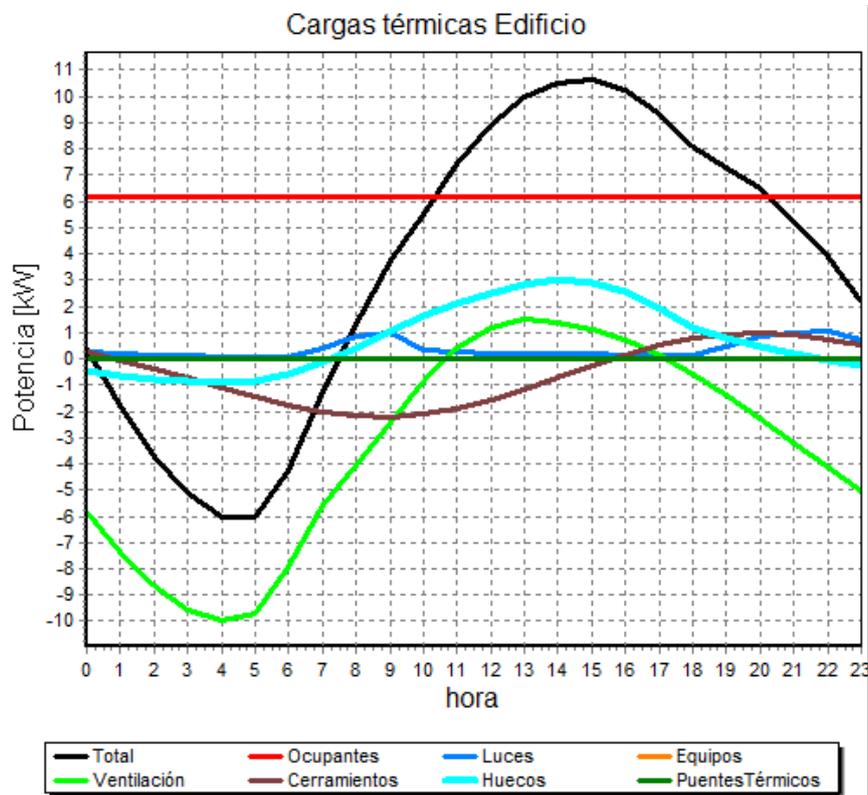


Figura 4.16. Gráfico de cargas de refrigeración del edificio de Burgos definido en CLIMA.

Se observa como la forma de la curva total, de color negro, es similar a la calculada para Cádiz (figura 4.9), más allá de que los valores sean notablemente inferiores a lo largo de todo el día.

Además, llama la atención como la ventilación deja de ser notable, a diferencia del caso anterior, debido a las condiciones climáticas de la región, teniendo únicamente valores positivos en las horas centradas del día. Las cargas por ocupación continúan siendo el mayor aporte. Las cargas debido a cerramientos, huecos, luces... continúan con la misma tendencia que la zona climática A3. El valor máximo obtenido en Burgos es el siguiente:

$$P_{MAX_REFRIGERACIÓN_BURGOS} = 10,62 \text{ kW}$$

– Cargas de calefacción

Cargas de calefacción		
Fecha máxima carga:	Febrero	Hora: 6
CARGAS EDIFICIO	Total	Sensible
Total[kW]	-28.55	-21.63
Ratio[W/m2]	-92.95	-70.42
Ocupantes [kW]	0.00	0.00
Luces [kW]	0.00	0.00
Equipos [kW]	0.00	0.00
Ventilación [kW]	-19.18	-12.58
Cerramientos [kW]	-5.88	-5.88
Huecos [kW]	-2.13	-2.13
Puentes térmicos [kW]	0.00	0.00
Mayoracion [kW]	-1.36	-1.03

Tabla 4.18. Cargas de calefacción del edificio de Burgos obtenidas en CLIMA.

La carga de calefacción máxima en Burgos será en idénticas condiciones que Cádiz, a las 6 horas en febrero. Igualmente, los ocupantes, luces y equipos no aportan potencia en el ámbito de la calefacción. Extrapolando al gráfico 2D:

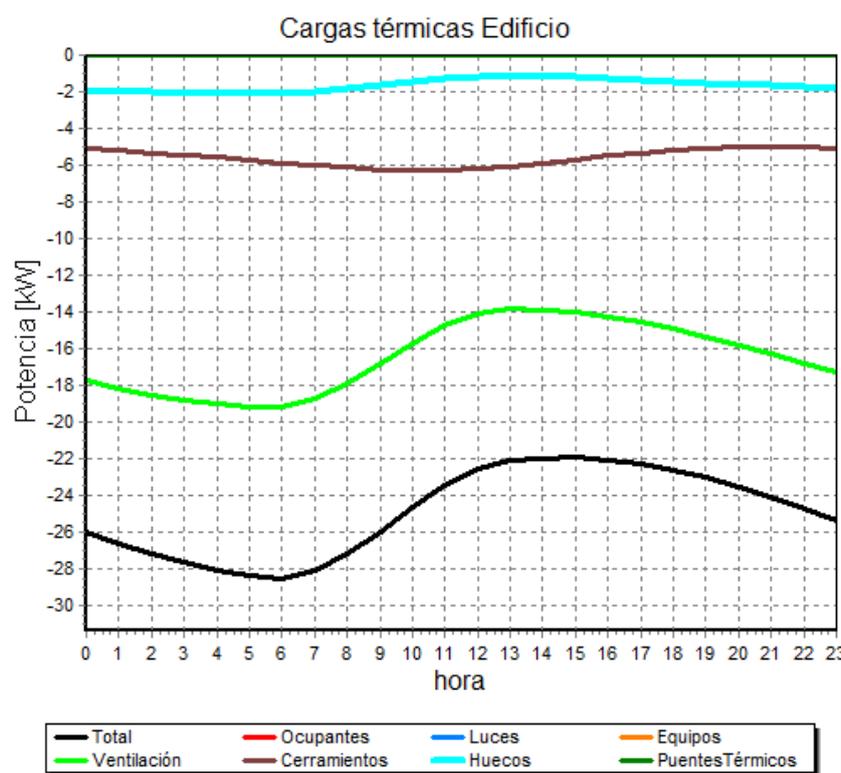


Figura 4.17. Gráfico de cargas de calefacción del edificio de Burgos definido en CLIMA.

La totalidad del aporte es debido a las cargas en huecos, cerramientos y ventilación, siendo la mayoría aportado por este último. La tendencia es la misma que la del

apartado b) en el punto 4.4.1.4. El valor máximo es considerablemente superior al de la zona A3, ya que, como mostró el gráfico 4.15, la temperatura mínima es casi 15 grados centígrados inferior, necesitando una demanda de calefacción notable para satisfacer las necesidades de los habitantes. El máximo será:

$$P_{MAX\ CALEFACCIÓN_BURGOS} = -28,55\ kW$$

- Demanda energética

La demanda de cada uno de los dos parámetros calculados es la siguiente:

Demanda energética
 Demanda total refrigeración [kWh]: 1992.53 Ratio[kWh/m2]=6
 Demanda total calefacción [kWh]: -44594.45 Ratio[kWh/m2]=-145

Figura 4.18. Demanda total (kWh) durante el año en Burgos obtenida en CLIMA.

Destaca como la mayoría de la demanda energética se centra en la calefacción, siendo prácticamente despreciable las cargas de calefacción, siendo previsible debido a la zona climática E1. Representando gráficamente:

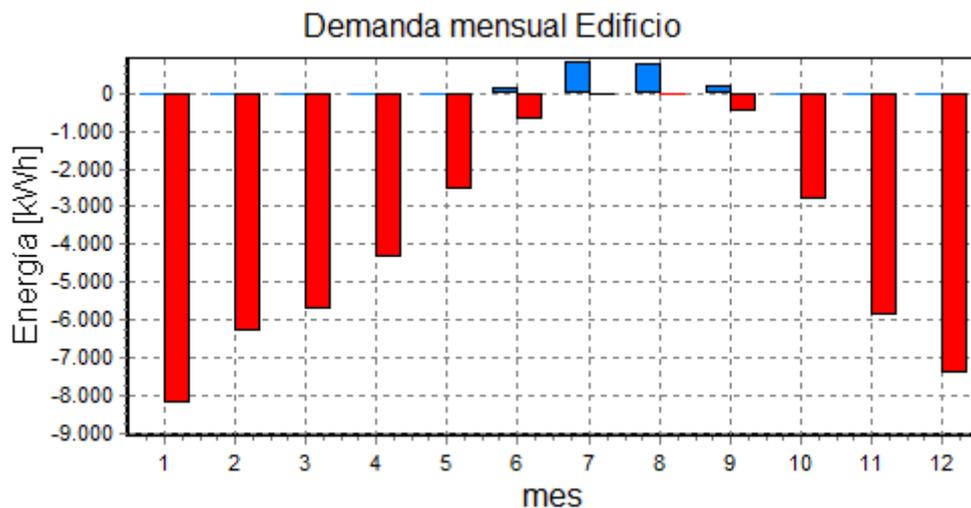


Figura 4.19. Demanda total (kWh) de cada mes en Burgos obtenida en CLIMA.

Comentando lo citado previamente, dónde las cargas de calefacción se dan únicamente en verano y en cantidades prácticamente despreciables en comparación con la necesidad de calefacción a lo largo de todo el año, incluso en meses de primavera muy próximos a las épocas más calurosas.

Representando en tres dimensiones las necesidades de potencia en función de los días y horas:

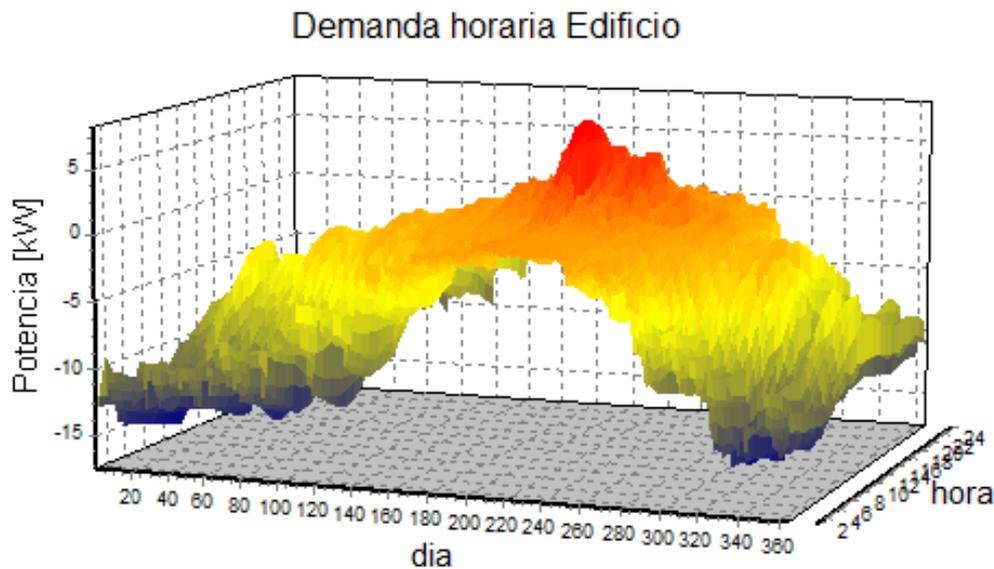


Figura 4.20. Potencia (kW) en función del día y la hora en el edificio en Burgos obtenida en CLIMA.

Observando, a diferencia de la figura 4.13, un predominio de colores claros en el gráfico, indicando unas potencias de calefacción predominantes frente a las de refrigeración, observando una zona escasa de estas cargas máximas (colores rojos).

A modo de resumen, se muestra una tabla con las potencias máximas y demanda energética de calefacción y refrigeración en las dos zonas climáticas:

Zonas Climáticas	Cargas Térmicas (kW)		Demanda energética (kWh)	
	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Calefacción
A3 (Cádiz)	19,64	-15,36	10781,08	-6324,17
E1 (Burgos)	10,62	-28,55	1992,53	-44594,45

Tabla 4.19. Cargas térmicas (kW) y demanda energética (kWh) en zonas A3 y E1.

4.3.4. Cálculo de la climatización

Se va a proceder al dimensionado de los sistemas de climatización para cada una de las dos viviendas presentes en el estudio realizado. Este apartado se va a dividir en tres apartados claramente diferenciados: en primer lugar, se comentará muy brevemente la unidad teórica que se escogería para aportar las necesidades de climatización en el edificio a partir de conexionado a la red mediante consumo eléctrico, seguido por el cálculo de las diferentes unidades exteriores e interiores en función de la zona climática en la que se sitúe la residencia. Las primeras se ocuparán en satisfacer las necesidades térmicas de frío en los meses calurosos, y viceversa, aportando calor en los meses de invierno. Las segundas proporcionarán el transporte y llegada a cada local dentro de la vivienda de los aportes térmicos. Cada localización tendrá su subapartado dentro de cada punto.

Además, debido a las elevadas necesidades de calefacción que demanda Burgos en los meses de invierno será imposible satisfacer estas cifras mediante energía solar fotovoltaica. Por ello, se va a plantear como alternativa una instalación de caldera de biomasa. El procedimiento será dimensionar la potencia de esta, escogiendo el mejor biocombustible a partir de los costes medios del mercado, dimensionando la caldera adecuada a partir de la materia prima asignada, con su respectivo silo de almacenamiento.

4.3.4.1. Volumen de Refrigerante Variable (VRF)

Se define el VRF como una tecnología avanzada de acondicionamiento de aire instalada en el panorama mundial desde hace poco más de 10 años. Esta invención nació como solución a los climas cálidos y húmedos, donde una gran cantidad de la electricidad energética consumida en el edificio iba destinada a este ámbito (más del 50% del total). Numerosos estudios [32], [33], han mostrado una reducción mediante la utilización de VRF en comparación con otros sistemas (hasta un 20 %), planteándose como una solución real para ahorros energéticos, siendo una razón de peso para su utilización en el edificio NETZero a diseñar independientemente de su localización.

El fundamento de los sistemas VRF recae en su habilidad para monitorizar cada zona por el flujo másico circulante de refrigerante en la unidad interna de cada zona. La variación del equilibrio produce una variación en el compresor del sistema, circulando zona congelada a las zonas internas, aportando así una temperatura que proporcione el confort térmico. Las unidades convencionales contienen un condensador asignado a cada evaporador, correspondiendo a la unidades externa e interna respectivamente, contando con la desventaja de no poder conectar más de un evaporar a un compresor, es decir, no más de una unidad externa a varias internas mediante tuberías (normalmente de cobre aisladas). Un ejemplo de un ciclo VRF es el siguiente, donde las unidades internas se encuentran conectadas a una única unidad externa, con un solo compresor:

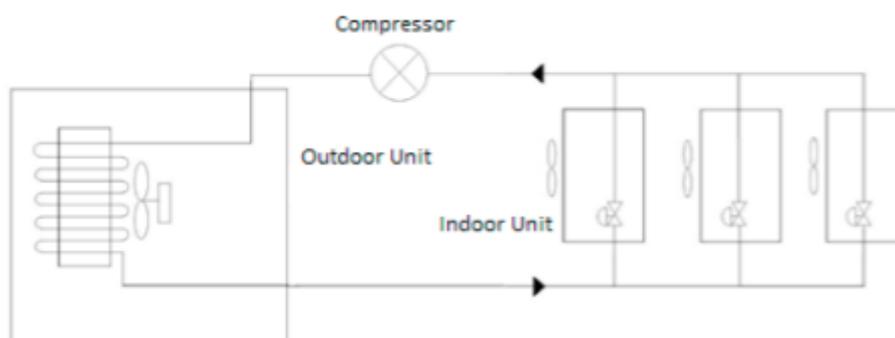


Figura 4.21. Esquema del ciclo VRF [32].

Existen dos tipos de sistemas VRF [34]: los circuitos de 2 tubos, no pudiendo proporcionar simultáneamente frío y calor, y los de 3 tubos, contando con la capacidad que carecía el sistema anterior. Obviamente, los segundos muestran una característica

destacable relacionada directamente con el encarecimiento del precio total final respecto al primer tipo.

Su funcionamiento reside en el aprovechamiento del aire proveniente del exterior para evaporar o condensar, es decir, generar frío o calor, transmitido al gas refrigerante que circula por el ciclo. Este se transporta por las tuberías hasta las diferentes unidades interiores, calentando o enfriando en función de las necesidades demandadas. A diferencia de las bombas de calor, otro de los sistemas muy empleados en el ámbito de la climatización, cuentan con la ventaja de poder regular el refrigerante transportado por las tuberías.

Respecto al refrigerante empleado, el R410a se postula como uno de los mejores para ser usado en los ciclos VRFs, mostrando los mejores valores para el COP independientemente de la presión del compresor, como puede observarse en la siguiente imagen:

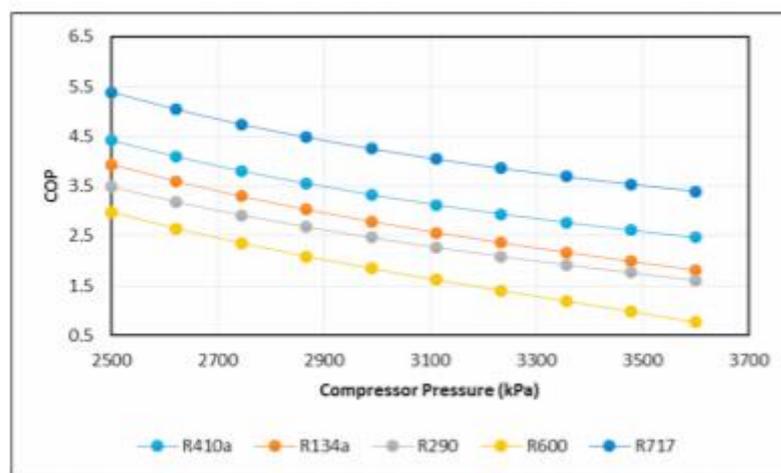


Figura 4.22. Valores del COP para diferentes refrigerantes en función de la presión del compresor [32].

Más allá del ahorro energético, se recomienda por ser una tecnología invertir respecto al compresor, por su sencilla instalación, y por su precio, ya que más allá de la inversión inicial, la cual puede ser más elevada que las bombas de calor, su mantenimiento en el tiempo e inversión tras la instalación es prácticamente nula, sumando a que una de sus principales aplicaciones se orienta a residencias.

Aun así, cuenta con alguna desventaja más allá del precio. El principal problema reside en el refrigerante, ya que, en caso de fuga, puede inundar la habitación de R410a, no siendo tóxico para el ser humano, pero si desplazando el oxígeno necesario para respirar. Actualmente, el Reglamento de Instalaciones Frigoríficas regula un límite en función del recinto para evitar cualquier posible problema debido a una fuga [35].

A continuación, se van a determinar las unidades interiores y exteriores para cada uno de los dos edificios correspondientes a las dos localizaciones estudiadas contrapuestas en función de las potencias de refrigeración y calefacción máximas

obtenidas en el apartado anterior. Posteriormente, se calculará el consumo energético en función de los elementos escogidos en cada caso.

4.3.4.2. Bloque residencial zona A3

a) Unidades Interiores (UI)

A priori, la superficie de las viviendas permite deducir que una unidad interior por planta será más que suficiente para soportar la demanda de cargas, tanto de frío como de calor, para cada uno de los locales.

Se van a escoger los conductos estándar serie 6 diseñados para los VRFs del fabricante Toshiba [36], siendo un modelo flexible para cualquier habitación, independientemente de las condiciones que presenten los locales, a pesar de las limitaciones de espacio, asegurando una temperatura y una distribución de aire uniformes. Estas unidades suelen colocarse en zonas no pensadas para una búsqueda de confort, como pudieran ser habitaciones, salón... ya que suelen generar bastante ruido, como por ejemplo en centros comerciales, situadas normalmente en los baños, pudiendo incluso llegar a escucharlas sin esfuerzo alguno. Aun así, el modelo elegido no plantea este problema, ya que su salida de ruido a 26 dB(A) muestra un funcionamiento extremadamente silencioso.

La apariencia de la VRF de Toshiba escogida es la siguiente:



Figura 4.23. Unidad Interior modelo MMD-AP0_6BHP1-E Toshiba [36].

Por tanto, se va a analizar planta por planta, indicando en cada tabla la superficie deducida a partir de los planos del Anexo, indicando la potencia de cada local individual en la vivienda, así como el total por vivienda, valor que permitirá escoger la unidad interior de cada altura. Los resultados obtenidos en CLIMA son los siguientes:

Planta baja

PLANTA BAJA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Cocina	11,25	0,88
Habitación	18,22	1,13
Salón	18,38	0,8
Baño	5,89	0,45
Corredor entrada	9,25	0,34
Pasillo cuadrado	0,95	0,23
Garaje	16,12	0,18
Rellano	9,74	0,43
Escaleras	10,2	0,46
PB total	100	4,9

Tabla 4.20. Potencia Unidad Interior (kW) en la planta baja (PB).

Se va a escoger la unidad interior con una potencia inmediatamente superior al total dentro de la hoja técnica de los diferentes modelos. En el caso de la planta baja:

$$\text{Potencia unidad interior PB} = 5,6 \text{ kW} \rightarrow \text{Modelo MMD} - \text{APO186BHP1} - \text{E}$$

En el caso de la primera y segunda planta, la superficie será idéntica en ambos casos, no siendo así con la potencia, ya que la segunda planta cuenta con el techo en contacto con el exterior, cambiando las necesidades de refrigeración y calefacción respecto al piso inferior.

- Primera planta

PRIMERA PLANTA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Habitación 1	11,71	0,94
Habitación 2	11,16	0,49
Habitación 3	13,13	1,08
Baño 1	6,77	0,46
Baño 2	4,02	0,24
Cocina	8,1	0,72
Salón	16,48	1,82
Corredor entrada	6,81	0,3
Pasillo intermedio	9,06	0,48
Escaleras	12,76	0,53
P1 total	100	7,06

Tabla 4.21. Potencia Unidad Interior (kW) en la primera planta (P1).

Por tanto, el modelo inmediatamente superior que más se aproxima a la potencia demandada por la primera planta:

Potencia unidad interior P1 = 8,0 kW → Modelo MMD – APO276BHP1 – E

– Segunda planta

SEGUNDA PLANTA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Habitación 1	11,71	1,06
Habitación 2	11,16	0,62
Habitación 3	13,13	1,17
Baño 1	6,77	0,53
Baño 2	4,02	0,28
Cocina	8,1	0,78
Salón	16,48	1,97
Corredor entrada	6,81	0,36
Pasillo intermedio	9,06	0,61
Escaleras	12,76	0,67
P2 TOTAL	100	8,05

Tabla 4.22. Potencia Unidad Interior (kW) en la segunda planta (P2).

Obteniendo la unidad interior más cercana en cuanto a potencia:

Potencia unidad interior P2 = 9,0 kW → Modelo MMD – APO306BHP1 – E

A continuación, se adjunta la hoja técnica simplificada con los rendimientos de cada unidad dentro del mismo modelo, recuadrando las tres elecciones realizadas para cada planta, mostrando la capacidad frigorífica y calorífica, siendo siempre la última ligeramente superior, junto al consumo de la unidad:

Rendimientos						PB		P1	P2			
Unidad Interior	MMD-	AP0076BHP1-E	AP0096BHP1-E	AP0126BHP1-E	AP0156BHP1-E	AP0186BHP1-E	AP0246BHP1-E	AP0276BHP1-E	AP0306BHP1-E	AP0366BHP1-E	AP0486BHP1-E	AP0566BHP1-E
Capacidad Frigorífica	kW	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6	7,1	8,0	9,0	11,2	14,0	16,0
Potencia Calorífica	kW	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	9,0	10,0	12,5	16,0	18,0
Consumo	kW	0,038	0,043	0,043	0,062	0,062	0,077	0,077	0,094	0,172	0,198	0,198
Corriente en funcionamiento	A	0,26	0,29	0,29	0,42	0,42	0,52	0,52	0,61	1,07	1,23	1,23
Corriente en arranque	A	0,45	0,5	0,5	0,73	0,73	0,9	0,9	1,06	1,85	2,13	2,13

Tabla 4.23. Rendimientos de Unidad Interior MMD-AP0_6BHP1-E Toshiba [36].

A partir de la tabla anterior, se puede calcular el consumo total que tendrás las tres unidades cada mes. Suponiendo el caso más pesimista en el que las unidades interiores trabajaran siempre a potencia nominal, algo que lógicamente no va a suceder, ya que ciertos días será prácticamente nulo el consumo, difiriendo el trabajo de los equipos en meses de otoño e invierno, donde el clima puede ser grato sin necesidad de su

utilización, que en meses extremos de verano e invierno, épocas en las que trabajarán al máximo rendimiento. De este modo, la instalación será capaz de soportar cualquier situación crítica. Suponiendo un funcionamiento total de 14 horas entre semana, y 12 horas los fines de semana, el tiempo medio diario de utilización de las unidades será el siguiente:

$$T_{mediodiario} = \frac{\text{Horas laborables} \cdot 5 + \text{Horas fin de semana} \cdot 2}{7} \quad (4.22)$$

$$T_{mediodiario} = \frac{14 \cdot 5 + 12 \cdot 2}{7} = 13,43 \text{ horas}$$

El consumo total será la suma directa de los tres equipos:

$$C_{medio} = C_{PB} + C_{P1} + C_{P2} = 0,062 + 0,077 + 0,094 = 0,233 \text{ kW} \quad (4.23)$$

Pudiendo calcular el consumo mensual a partir del producto del tiempo medio diario de trabajo por el consumo medio:

CONSUMO ENERGÉTICO UIs (kWh)		
Mes	Días	Consumo
Enero	31	97,00
Febrero	28	87,62
Marzo	31	97,00
Abril	30	93,88
Mayo	31	97,00
Junio	30	93,88
Julio	31	97,00
Agosto	31	97,00
Septiembre	30	93,88
Octubre	31	97,00
Noviembre	30	93,88
Diciembre	31	97,00
TOTAL	365	1142,15

Tabla 4.24. Consumo eléctrico UIs (kWh) del edificio de Cádiz.

b) Unidades Exteriores (UE)

Para el dimensionado de la unidad exterior, se escogerá el valor máximo entre la potencia de refrigeración y calefacción del mes donde se obtuvieron los resultados extremos. Recordando las estimaciones halladas para la zona climática A3 a través de

CLIMA en la tabla 4.17, el resultado que determinará la unidad/es exterior/es será la potencia máxima de refrigeración en el mes de agosto:

$$P_{maxRefrigeraciónA3} = 19,64 \text{ kW}$$

Como se comentó en el primer apartado, las demandas frigoríficas no son excesivamente grandes, situando únicamente una por planta. En la siguiente tabla, se muestran las capacidades de refrigeración de cada una:

POTENCIA FRIGORÍFICA POR PLANTA	
Planta	Potencia (kW)
PB	4,79
P1	6,9
P2	7,95
Total	19,64

Tabla 4.25. Potencia frigorífica por planta en el edificio de Cádiz.

A partir de los valores de la tabla 4.25, se van a elegir las unidades exteriores a dimensionar. La referencia de los equipos empleados es RAS-2M14S3AV-E de idéntico fabricante [37], Toshiba, ya que se intuye una instalación más sen,cilla y óptima al tener los equipos del mismo proveedor. Las unidades escogidas para cada una han sido las siguientes:

$$\text{Potencia Unidad Exterior PB} = 5,2 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 2\text{M}18\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

$$\text{Potencia Unidad Exterior P1} = 7,5 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 3\text{M}26\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

$$\text{Potencia Unidad Exterior P2} = 8,0 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 4\text{M}27\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

A continuación, se muestran las características de cada uno de los modelos escogidos:

Características			PB	P1	P2			
Unidad exterior		Multisplit 2-estancias RAS-2M10U2AVG-E	Multisplit 2-estancias RAS-2M14U2AVG-E	Multisplit 2-estancias RAS-2M18U2AVG-E	Multisplit 3-estancias RAS-3M18U2AVG-E	Multisplit 3-estancias RAS-3M26U2AVG-E	Multisplit 4-estancias RAS-4M27U2AVG-E	Multisplit 5-estancias RAS-5M34U2AVG-E
Capacidad refrigeración	kW	3,3	4,0	5,2	5,2	7,5	8,0	10,0
Capacidad refrigeración (mín. - máx.)	kW	1,25 - 3,9	1,6 - 4,9	1,7 - 6,2	2,4 - 6,5	4,1 - 9,0	4,2 - 9,3	3,7 - 11,0
Consumo	kW C	0,76	0,92	1,34	1,17	2,00	2,29	2,98
EER	W/W	4,35	4,35	3,88	4,44	3,75	3,50	3,36
SEER		6,73	6,73	6,90	6,8	6,19	6,11	6,31
Clase de eficiencia energética	C	A++						
Capacidad calefacción	kW	4,0	4,4	5,6	6,8	9,0	9,0	12,0
Capacidad calefacción (mín. - máx.)	kW	1,00 - 4,90	1,30 - 5,20	1,30 - 7,50	1,90 - 8,00	2,0 - 11,2	2,9 - 11,7	2,7 - 14,0
Consumo	kW H	0,81	0,89	1,19	1,58	2,20	1,93	2,83
COP	W/W	4,94	4,94	4,71	4,30	4,09	4,67	4,24
SCOP		4,60	4,60	4,60	4,60	4,44	4,26	4,08
Clase de eficiencia energética	H	A++	A++	A++	A++	A+	A+	A+

Tabla 4.26 Características de las unidades exteriores RAS-2M14S3AV-E Toshiba [37].

Siendo su diseño:



Figura 4.24. Unidad exterior modelo RAS-2M14S3AV-E Toshiba [37].

A continuación, se van a mostrar las demandas mensuales de calefacción y refrigeración correspondientes al gráfico 4.12 para la zona climática A3, a partir del cual se podrán calcular los consumos con la tabla anterior:

DEMANDA ENERGÉTICA MENSUAL UEs (kWh)		
Mes	Demanda refrigeración	Demanda calefacción
Enero	1	1785
Febrero	3	1194
Marzo	67	875
Abril	110	353
Mayo	558	60
Junio	1377	0
Julio	2609	0
Agosto	2796	0
Septiembre	2205	0
Octubre	919	26
Noviembre	135	567
Diciembre	1	1459

Tabla 4.27. Demandas energéticas mensuales del edificio de Cádiz.

Llegado este punto, se podrá calcular el consumo de las unidades exteriores. A diferencia del caso anterior, se va a calcular a través del coeficiente de eficiencia energética (EER), siendo el ratio entre la capacidad frigorífica y el consumo energético utilizado, y el coeficiente de rendimiento (COP), definido como el ratio entre la capacidad calorífica y el consumo de energía empleado para obtenerlo. En la tabla 4.26 se observan los coeficientes SEER y SCOP, siendo los anteriores corregidos por el Reglamento Delegado de la Unión Europea nº 626/2011, aplicándolos para el cálculo del consumo al ser parámetros más sensibles de cálculo con un ajuste más preciso. Las ecuaciones empleadas serán las siguientes:

$$\text{Consumo UE refrigeración (kWh)} = \frac{\text{Demanda energética (kWh)}}{SEER_{\text{mínimo}} (W/W)} \quad (4.24)$$

$$\text{Consumo UE calefacción (kWh)} = \frac{\text{Demanda energética (kWh)}}{SCOP_{\text{mínimo}} (W/W)} \quad (4.25)$$

La demanda energética de cada mes corresponderá a la aportada en la tabla 4.27, mientras el SEER y SCOP mínimo corresponderán a las unidades exteriores que consumas más potencia, obteniendo así un consumo eléctrico mayor. Estos dos coeficientes pertenecen a la unidad exterior de la segunda planta, recordando ambos valores:

$$SEER_{\text{mínimo}} = 6,11$$

$$SCOP_{\text{mínimo}} = 4,26$$

Por tanto, el consumo energético mensual para cada carga será el siguiente:

CONSUMO ELÉCTRICO UEs (kWh)		
Mes	Consumo refrigeración	Consumo calefacción
Enero	0,16	419,01
Febrero	0,49	280,28
Marzo	10,97	205,40
Abril	18,00	82,86
Mayo	91,33	14,08
Junio	225,37	0,00
Julio	427,00	0,00
Agosto	457,61	0,00
Septiembre	360,88	0,00
Octubre	150,41	6,10
Noviembre	22,09	133,10
Diciembre	0,16	342,49

Tabla 4.28. Consumo eléctrico UEs (kWh) del edificio de Cádiz

c) Consumo eléctrico total

El consumo eléctrico total de la climatización del edificio residencial de Cádiz corresponderá al total de la suma de las unidades interiores más exteriores (suma consumo calefacción y refrigeración). La ecuación aplicada será la siguiente:

$$\text{Consumo total de climatización (kWh)} = C_{UIS} + C_{UEs} \quad (4.26)$$

El resultado de cada mes se adjunta en la siguiente tabla:

CONSUMO ELÉCTRICO CLIMATIZACIÓN (kWh)	
Mes	Consumo
Enero	516,18
Febrero	368,39
Marzo	313,37
Abril	194,74
Mayo	202,42
Junio	319,24
Julio	524,01
Agosto	554,62
Septiembre	454,76
Octubre	253,52
Noviembre	249,07
Diciembre	439,66

Tabla 4.29. Consumo eléctrico mensual de climatización (kWh) del edificio de Cádiz.

Siendo el consumo total la suma de los doce meses:

$$CONSUMO_{CLIMATIZACIÓN_CÁDIZ} (kWh) = 4389,97 kWh$$

4.3.4.3. Bloque residencial zona E1

En este apartado se va a repetir sistemática el proceso de cálculo de consumo de climatización realizado para el edificio localizado en Cádiz con los valores correspondientes hallados para Burgos:

- a) Unidades interiores (UI)
 - Planta baja

PLANTA BAJA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Cocina	11,25	1,42
Habitación	18,22	1,65
Salón	18,38	1,09
Baño	5,89	0,93
Corredor entrada	9,25	0,34
Pasillo cuadrado	0,95	0,04
Garaje	16,12	0,81
Rellano	9,74	0,8
Escaleras	10,2	0,95
PB total	100	8,03

Tabla 4.30. Potencia Unidad Interior (kW) en la planta baja (PB).

La potencia demandada por los diferentes locales en la planta baja de Burgos es superior a la misma estancia en Cádiz, ya que las necesidades térmicas serán mayores por la localización.

Análogamente al punto anterior, se va a elegir la unidad interior que sea inmediatamente superior a la potencia demandada. Se va a continuar con la misma serie de modelos de Toshiba para facilitar una comparación posterior, recordando su referencia MMD-AP0-6BHP1-E. A diferencia del caso anterior, el modelo elegido dentro de la serie ha sido fijado en función de la potencia calorífica, ya que las condiciones climáticas indican que la demanda será bastante superior a la capacidad frigorífica, siendo el parámetro crítico de estudio. El modelo escogido ha sido el siguiente:

Potencia unidad interior PB = 9,0 kW → Modelo MMD – APO276BHP1 – E

Del mismo modo que sucedía en Cádiz, las dos viviendas restantes situadas en la primera y segunda planta serán idénticas, manteniendo la distribución de sus particiones interiores, no siendo así en la potencia debido a la cubierta de la última vivienda, en contacto con el exterior.

- Primera planta

PRIMERA PLANTA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Habitación 1	11,71	1,32
Habitación 2	11,16	0,44
Habitación 3	13,13	1,41
Baño 1	6,77	0,88
Baño 2	4,02	0,24
Cocina	8,1	0,99
Salón	16,48	2,84
Corredor entrada	6,81	0,22
Pasillo intermedio	9,06	0,66
Escaleras	12,76	0,88
P1 total	100	9,88

Tabla 4.31. Potencia Unidad Interior (kW) en la primera planta (P1).

Fijando de nuevo la referencia en la demanda de calefacción, el modelo escogido será el inmediatamente superior respecto a la potencia calorífica de la planta baja:

Potencia unidad interior P1 = 10,0 kW → Modelo MMD – APO306BHP1 – E

– Segunda planta

SEGUNDA PLANTA		
Estancia	Superficie (m ²)	Potencia (kW)
Habitación 1	11,71	1,41
Habitación 2	11,16	0,53
Habitación 3	13,13	1,49
Baño 1	6,77	0,93
Baño 2	4,02	0,27
Cocina	8,1	1,05
Salón	16,48	2,97
Corredor entrada	6,81	0,28
Pasillo intermedio	9,06	0,76
Escaleras	12,76	0,98
P2 TOTAL	100	10,67

Tabla 4.32. Potencia Unidad Interior (kW) en la segunda planta (P2).

Siendo la unidad interna la inmediatamente superior a la primera planta, además de la unidad que requerirá mayor consumo, como sucedió en Cádiz:

Potencia unidad interior P2 = 12,5 kW → Modelo MMD – APO366BHP1 – E

A continuación, se adjunta la hoja técnica simplificada con los rendimientos de cada unidad dentro del mismo modelo, recuadrando las tres elecciones realizadas para cada planta, mostrando la capacidad frigorífica y calorífica, siendo siempre la última ligeramente superior, junto al consumo de la unidad:

Rendimientos								PB	P1	P2		
Unidad Interior	MMD	AP0076BHP1-E	AP0096BHP1-E	AP0126BHP1-E	AP0156BHP1-E	AP0186BHP1-E	AP0246BHP1-E	AP0276BHP1-E	AP0306BHP1-E	AP0366BHP1-E	AP0486BHP1-E	AP0566BHP1-E
Capacidad Frigorífica	kW	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6	7,1	8,0	9,0	11,2	14,0	16,0
Potencia Calorífica	kW	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	9,0	10,0	12,5	16,0	18,0
Consumo	kW	0,038	0,043	0,043	0,062	0,062	0,077	0,077	0,094	0,172	0,198	0,198
Corriente en funcionamiento	A	0,26	0,29	0,29	0,42	0,42	0,52	0,52	0,61	1,07	1,23	1,23
Corriente en arranque	A	0,45	0,5	0,5	0,73	0,73	0,9	0,9	1,06	1,85	2,13	2,13

Tabla 4.33. Rendimientos de Unidad Interior MMD-AP0_6BHP1-E Toshiba [36].

Partiendo de la ecuación 4.23, el consumo total será la suma de los tres datos aportados por la hoja de rendimientos:

$$C_{medio} = C_{PB} + C_{P1} + C_{P2} = 0,077 + 0,094 + 0,172 = 0,233 \text{ kW}$$

Suponiendo la misma cantidad de horas de funcionamiento a lo largo de una semana que la deducida para Cádiz, el consumo energético de las unidades interiores cada mes será el siguiente:

CONSUMO ENERGÉTICO UIs (kWh)		
Mes	Días	Consumo
Enero	31	142,80
Febrero	28	128,98
Marzo	31	142,80
Abril	30	138,19
Mayo	31	142,80
Junio	30	138,19
Julio	31	142,80
Agosto	31	142,80
Septiembre	30	138,19
Octubre	31	142,80
Noviembre	30	138,19
Diciembre	31	142,80
TOTAL	365	1681,37

Tabla 4.34. Consumo eléctrico UIs (kWh) del edificio de Burgos.

Observando los resultados, destaca el consumo mensual de más de 50 kWh respecto a Cádiz, traducéndose en más de 500 kWh a final de cada año, es decir, un gasto del 150% en comparación con el edificio de la zona climática A3.

b) Unidades Exteriores (UE)

En este caso, el valor máximo entre la potencia frigorífica será el determinante para dimensionar las unidades exteriores, ocupándose únicamente de las necesidades de refrigeración. Partiendo de los datos obtenidos mediante CLIMA y anotados en la tabla 4.17, la potencia máxima de refrigeración para Burgos data del mes de febrero, siendo:

$$P_{maxRefrigeraciónE1} = 10,62 \text{ kW}$$

Cierto es que este valor de potencia sería la referencia en el caso de que la unidad exterior nos ofreciera el aporte de calor durante todos los meses de invierno. Como se comentó previamente, se apoyará la instalación solar mediante una caldera de biomasa como generación de calefacción, la cual funcionaría únicamente para las necesidades de calor, más allá de seguir contando con el apoyo solar fotovoltaico para la refrigeración.

En primer lugar, se va a proceder al dimensionado de las unidades exteriores, las cuales se plantearán necesarias en los meses de verano, donde las necesidades climatológicas serán mayores. A continuación, se muestran las potencias caloríficas para cada una de las viviendas:

POTENCIA CALORÍFICA POR PLANTA	
Planta	Potencia (kW)
PB	8,00
P1	9,88
P2	10,67
Total	28,55

Tabla 4.35. Potencia frigorífica por planta en el edificio de Burgos.

Escogiendo los mismos equipos con referencia RAS-2M14S3AV-E de idéntico fabricante Toshiba, y asignando las unidades exteriores con la capacidad calorífica inmediatamente superior, los modelos escogidos han sido:

$$\text{Potencia Unidad Exterior PB} = 9,0 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 3\text{M}26\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

$$\text{Potencia Unidad Exterior P1} = 12,0 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 5\text{M}34\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

$$\text{Potencia Unidad Exterior P2} = 12,0 \text{ kW} \rightarrow \text{RAS} - 5\text{M}34\text{U}2\text{AVG} - \text{E}$$

Siendo las tres unidades escogidas consecutivas en capacidad de calefacción máxima en orden ascendente, como puede verse en la siguiente tabla de características de los equipos:

Características						PB	P1	P2
Unidad exterior		Multisplit 2-estancias RAS-2M10U2AVG-E	Multisplit 2-estancias RAS-2M14U2AVG-E	Multisplit 2-estancias RAS-2M18U2AVG-E	Multisplit 3-estancias RAS-3M18U2AVG-E	Multisplit 3-estancias RAS-3M26U2AVG-E	Multisplit 4-estancias RAS-4M27U2AVG-E	Multisplit 5-estancias RAS-5M34U2AVG-E
Capacidad refrigeración	kW	3,3	4,0	5,2	5,2	7,5	8,0	10,0
Capacidad refrigeración (mín. - máx.)	kW	1,25 - 3,9	1,6 - 4,9	1,7 - 6,2	2,4 - 6,5	4,1 - 9,0	4,2 - 9,3	3,7 - 11,0
Consumo	kW C	0,76	0,92	1,34	1,17	2,00	2,29	2,98
EER	W/W	4,35	4,35	3,88	4,44	3,75	3,50	3,36
SEER		6,73	6,73	6,90	6,8	6,19	6,11	6,31
Clase de eficiencia energética	C	A++						
Capacidad calefacción	kW	4,0	4,4	5,6	6,8	9,0	9,0	12,0
Capacidad calefacción (mín. - máx.)	kW	1,00 - 4,90	1,30 - 5,20	1,30 - 7,50	1,90 - 8,00	2,0 - 11,2	2,9 - 11,7	2,7 - 14,0
Consumo	kW H	0,81	0,89	1,19	1,58	2,20	1,93	2,83
COP	W/W	4,94	4,94	4,71	4,30	4,09	4,67	4,24
SCOP		4,60	4,60	4,60	4,60	4,44	4,26	4,08
Clase de eficiencia energética	H	A++	A++	A++	A++	A+	A+	A+

Tabla 4.36. Características de las unidades exteriores RAS-2M14S3AV-E Toshiba [37].

Extrapolando los datos numéricos de la figura 4.19 de demandas de refrigeración de Burgos obtenidos en CLIMA, los resultados son los siguientes:

DEMANDA ENERGÉTICA UEs (kWh)	
Mes	Demanda refrigeración
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	0
Mayo	5
Junio	130
Julio	859
Agosto	800
Septiembre	192
Octubre	6
Noviembre	0
Diciembre	0

Tabla 4.37. Demandas energéticas refrigeración del edificio de Burgos.

Analizando la tabla 4.37, es posible ver el fenómeno comentado en la introducción del punto 4: la mayoría de la demanda energética en Burgos corresponderá a los meses de invierno, referidos a la calefacción, siendo imposible dimensionar la instalación solar fotovoltaica por motivos de espacio, siendo prácticamente despreciable las cargas de refrigeración en verano, pudiendo satisfacerlas notablemente con los paneles solares fotovoltaicos.

El cálculo del consumo de refrigeración y calefacción se va a efectuar con las mismas ecuaciones (4.24 y 4.25) que se emplearon para el análisis del edificio de Cádiz. Por tanto, el consumo energético mensual para cada carga será el siguiente:

$$SEER_{mínimo} = 6,11$$

CONSUMO ELÉCTRICO UEs (kWh)	
Mes	Consumo refrigeración
Enero	0,00
Febrero	0,00
Marzo	0,00
Abril	0,00
Mayo	0,82
Junio	21,28
Julio	140,59
Agosto	130,93
Septiembre	31,42
Octubre	0,98
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00

Tabla 4.38. Consumo eléctrico UEs (kWh) del edificio de Burgos.

c) Caldera de biomasa

Previamente a proceder al dimensionado de la caldera de biomasa, se va a comentar la elección de esta alternativa renovable frente la energía geotérmica, la cual se planteó como una posibilidad real para la instalación de Burgos de calefacción.

La energía geotérmica se emplea principalmente para satisfacer las necesidades de calefacción y ACS en hogares, invernaderos e instalaciones ganaderas y agrícolas por medio de yacimientos que aprovechan la elevada temperatura del subsuelo, generando así electricidad.

Analizando la superficie terrestre, se dispone del suficiente poder de explotación a nivel mundial para satisfacer las necesidades de calefacción o electricidad por medio de la energía geotérmica. En el momento de analizar la alternativa, surgen una serie de problemas [38]:

- Se requieren temperaturas del subsuelo muy elevadas, resultando superiores a los 150 °C, encontrándose en Europa a una distancia por debajo del suelo entre 2,5 km y 4 km, no pudiendo realizar la incursión con sistemas convencionales, debiendo de contratar equipos complejos de perforación.
- La geotermia elevará muchísimo el coste de la instalación en Burgos por el punto anterior: se debería plantear una extracción menos profunda pero más extensa con menor eficiencia, la cual acabaría resultando costosa igualmente. En comparación, la caldera de biomasa alimentada con materias orgánicas reduciría considerablemente el precio final con un rendimiento muy alto. Las perforaciones a esta distancia suelen rondar entre 22 y 30 millones de euros.
- Es evidente que la tecnología se encuentra en fase de exploración, pudiendo ser una alternativa real en los próximos años además de ser una incógnita los movimientos telúricos, no siendo en principio factores de riesgo reales a esos niveles, mientras que la biomasa se puede plantear como una energía renovable limitada, pero con una ventaja competitiva de conocimiento de manejo y explotación, estando disponible en el mercado actual, algo con lo que la geotermia no cuenta a gran escala.

Por estos tres principales motivos se ha pensado que, al tener un edificio relativamente pequeño con sólo tres viviendas que necesitarán abastecimiento de calefacción, no se considera rentable realizar una inversión tan elevada para tan poco consumo a lo largo del año, optando por la alternativa de biomasa, realizando el análisis detallado de dimensionado de su caldera con la materia orgánica más adecuada a continuación.

En primer lugar, se muestran la demanda energética de calefacción calculada a través de CLIMA:

DEMANDA ENERGÉTICA CALEFACCIÓN (kWh)	
Mes	Demanda calefacción
Enero	8246
Febrero	6311
Marzo	5723
Abril	4342
Mayo	2559
Junio	680
Julio	77
Agosto	32
Septiembre	491
Octubre	2806
Noviembre	5890
Diciembre	7425

Tabla 4.39. Demandas energéticas calefacción del edificio de Burgos.

Comprobando, como era de esperar, como los meses de invierno (diciembre y enero) ocupan el pico máximo de demanda, mientras que en verano no hay necesidad de calefacción, prediciendo como la demanda de ACS será prácticamente nula en comparación con la demanda de calefacción, siendo las necesidades de ACS inferiores a un 5% en los meses fríos respecto a la calefacción. Por otro lado, en verano únicamente se requerirá de ACS para ciertas tareas domésticas, observando como la calefacción será prácticamente despreciable en esta estación siendo las necesidades energéticas se produce en los meses más próximos a invierno disminuyendo exponencialmente.

Para el dimensionado de la potencia de la caldera se partirá de la demanda de calefacción mensual, referenciado los valores para cada día, suponiendo un consumo similar los 7 días de la semana, asociándolo a la potencia de dimensionado, estableciendo previamente unas horas de funcionamiento medias de empleo de la caldera.

A partir de este criterio, se podrá seleccionar la caldera de biomasa con la que se va a trabajar, debiendo de tener en cuenta la disposición de los biocombustibles en ella, determinando aquel que ofrezca las mejores prestaciones. Es importante saber que no se debe de sobredimensionar la instalación, ya que, sino el gasto de biofuel se disparará notablemente, mientras la eficiencia no variará prácticamente en absoluto.

A continuación, se muestra una tabla con el cálculo de la potencia máxima de la caldera, la cual puede predecirse que se dará en diciembre o enero, meses en los que la demanda es mayor. Para ello, será necesario definir las horas de funcionamiento máximas en la caldera, las cuales se establecerán para el mes más frío como:

$$\text{Horas máximas de funcionamiento diarias} = 17h$$

La determinación de la potencia de la instalación se realiza de la siguiente forma:

$$P (kW) = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{n^{\circ} \text{dias mes} \cdot 17 \text{ horas}} \quad (4.27)$$

$$h \text{ funcionamiento} = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{P_{max} (kW)} \quad (4.28)$$

Obteniendo:

Dimensionado de la caldera de biomasa				
Meses	Dtotal (kWh)	Dtotal diaria (kWh/dia)	Potencia (kW)	Horas funcionamiento
Enero	8246,00	266,00	15,65	17,00
Febrero	6311,00	225,39	13,26	14,40
Marzo	5723,00	184,61	10,86	11,80
Abril	4342,00	144,73	8,51	9,25
Mayo	2559,00	82,55	4,86	5,28
Junio	680,00	22,67	1,33	1,45
Julio	77,00	2,48	0,15	0,16
Agosto	32,00	1,03	0,06	0,07
Septiembre	491,00	16,37	0,96	1,05
Octubre	2806,00	90,52	5,32	5,78
Noviembre	5890,00	196,33	11,55	12,55
Diciembre	7425,00	239,52	14,09	15,31

Tabla 4.40. Dimensionado de la caldera de biomasa en Burgos.

Siendo la potencia máxima de referencia de dimensionado la del mes de enero:

$$P_{maxima} = 15,65 \text{ kW}$$

El siguiente paso consistirá en la determinación del biocombustible. Para ello, será necesario conocer los precios y los poderes caloríficos inferiores (PCI) de los combustibles con los que se va a trabajar (en el caso del gas natural, el cual se determinará para tener una referencia de precios respecto a la conexión a la red, será necesario saber el poder calorífico superior (PCS) también). En el caso de los biocombustibles, su precio se ha obtenido a partir del índice de Precios de la Biomasa actualizado en marzo de 2020. Los materiales empleados como biocombustibles han sido escogidos entre aquellos más extendidos en el mercado con mejores prestaciones y variabilidad en calderas:

Combustible	Precio	Unidad
Gasóleo	60,00	c€/l
Gas Natural	5,00	c€/kWhPCS
Hueso aceituna	194,85	€/tn
Pellet de Madera	289,23	€/tn
Astilla de Madera	111,55	€/tn

Tabla 4.41. Precio de los diferentes combustibles.

A partir de estos precios, es posible determinar el consumo que demandará la caldera de cada combustible, así como el precio final de cada uno estableciendo las relaciones necesarias para expresar el resultado final en euros. Previamente, se muestran los poderes caloríficos inferiores de los combustibles:

Combustible	PCI	Unidad	PCI	Unidad
Gasóleo	35700	kJ/l	9,92	kWh/kg
Gas Natural	39900	kJ/Kg	11,08	kWh/kg
Gas Natural	44000 (PCS)	kJ/Kg	12,22 (PCS)	kWh/kg
Hueso aceituna	5,15	kWh/kg	18540	kJ/Kg
Pellet de Madera	5	KWh/kg	18000	kJ/Kg
Astilla de Madera	4,07	kWh/kg	14652	kJ/Kg

Tabla 4.42. Precio de los diferentes combustibles.

Debiendo de tener en cuenta el rendimiento de las calderas tradicionales y de biomasa, ya que resulta imposible aprovechar el 100% del combustible introducido, necesitando una cantidad extra que variará en función de la eficiencia. En términos generales:

Rendimiento	
Caldera convencional	0,75
Caldera biomasa	0,9

Tabla 4.43. Rendimiento de la caldera.

Siendo el cálculo de consumo para cada carburante:

$$\text{Consumo (kg)} = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{\eta_{\text{caldera}} \cdot \text{PCI (kWh/kg)}} \quad (4.29)$$

En primer lugar, se va a mostrar los costes que supondrán los combustibles fósiles: gasóleo y gas natural. Se puede observar como el gas natural cuenta con la ventaja de ser más económico que el gasóleo, pero no suele ser del todo recomendable ya que su utilización emplea un coste adicional de instalación al ser necesario redes secundarias para llevar a cabo su distribución hasta el lugar deseado, las cuales no suelen encontrarse en lugares cercanos, suponiendo un gasto de transporte extra. Además, el estudio será simple comparativo, ya que el objetivo final es establecer una alternativa de biocombustible para la caldera. Aplicando las consideraciones del rendimiento y los datos de partida, las ecuaciones de cálculo de coste de gasóleo y gas natural serán las siguientes:

$$\text{Coste GO (€)} = \text{Consumo (kg)} \cdot \frac{\text{Precio (c€/l)}}{100} \quad (4.30)$$

$$\text{Coste GN (€)} = \text{Consumo (kg)} \cdot \frac{\text{Precio (c€/kWhPCS)}}{100} \cdot \text{PCS(kWh)} \quad (4.31)$$

Aplicando las ecuaciones correctamente, partiendo de la demanda total para cada mes aportada en la tabla 4.40, el precio en la 4.41, los poderes caloríficos en la 4.42, y

el rendimiento de la caldera correspondiente en la 4.43, el coste total de los combustibles fósiles como carburante se muestra en las siguientes líneas:

GASOLEO	Dtotal (kWh)	Consumo (kg)	Coste
Enero	8246	1108,71	665,22
Febrero	6311	848,54	509,12
Marzo	5723	769,48	461,69
Abril	4342	583,80	350,28
Mayo	2559	344,07	206,44
Junio	680	91,43	54,86
Julio	77	10,35	6,21
Agosto	32	4,30	2,58
Septiembre	491	66,02	39,61
Octubre	2806	377,28	226,37
Noviembre	5890	791,93	475,16
Diciembre	7425	998,32	598,99

Tabla 4.44. Coste del gasóleo.

GAS NATURAL	Dtotal (kWh)	Consumo (kg)	Coste
Enero	8246,00	992,00	498,60
Febrero	6311,00	759,22	381,60
Marzo	5723,00	688,48	346,04
Abril	4342,00	522,35	262,54
Mayo	2559,00	307,85	154,73
Junio	680,00	81,80	41,12
Julio	77,00	9,26	4,66
Agosto	32,00	3,85	1,93
Septiembre	491,00	59,07	29,69
Octubre	2806,00	337,56	169,67
Noviembre	5890,00	708,57	356,14
Diciembre	7425,00	893,23	448,96

Tabla 4.45. Coste del gas natural.

Siendo el coste final anual para cada uno:

$$\text{Coste anual gasóleo} = 3596,53 \text{ €}$$

$$\text{Coste anual gas natural} = 2695,67 \text{ €}$$

Repitiendo el proceso para los biocombustibles, asignando como alternativa los pellets de madera, el hueso de aceituna y la astilla de madera, tres de las posibilidades dentro de la materia orgánica más empleada para transformarlo en biocombustibles con características propias, destacando la primera por su alta calidad y eficiencia a la hora

de trabajar en calderas, los huesos por la elevada disponibilidad en España, o la última por su bajo precio. La ecuación que definirá el coste de cualquier biocombustible será la siguiente:

$$\text{Coste biocombustible (€)} = \text{Consumo (kg)} \cdot \frac{\text{Precio (€/tn)}}{1000} \quad (4.32)$$

Observando los siguientes resultados:

PELLET	Dtotal (kWh)	Consumo (kg)	Coste
Enero	8246	1832,44	530,00
Febrero	6311	1402,44	405,63
Marzo	5723	1271,78	367,84
Abril	4342	964,89	279,07
Mayo	2559	568,67	164,48
Junio	680	151,11	43,71
Julio	77	17,11	4,95
Agosto	32	7,11	2,06
Septiembre	491	109,11	31,56
Octubre	2806	623,56	180,35
Noviembre	5890	1308,89	378,57
Diciembre	7425	1650,00	477,23

Tabla 4.46. Coste del pellet de madera.

HUESO ACEITUNA	Dtotal (kWh)	Consumo (kg)	Coste
Enero	8246	1779,07	346,65
Febrero	6311	1361,60	265,31
Marzo	5723	1234,74	240,59
Abril	4342	936,79	182,53
Mayo	2559	552,10	107,58
Junio	680	146,71	28,59
Julio	77	16,61	3,24
Agosto	32	6,90	1,35
Septiembre	491	105,93	20,64
Octubre	2806	605,39	117,96
Noviembre	5890	1270,77	247,61
Diciembre	7425	1601,94	312,14

Tabla 4.47. Coste del hueso de aceituna.

ASTILLA	Dtotal (kWh)	Consumo (kg)	Coste
Enero	8246	2251,16	251,12
Febrero	6311	1722,90	192,19
Marzo	5723	1562,38	174,28
Abril	4342	1185,37	132,23
Mayo	2559	698,61	77,93
Junio	680	185,64	20,71
Julio	77	21,02	2,34
Agosto	32	8,74	0,97
Septiembre	491	134,04	14,95
Octubre	2806	766,04	85,45
Noviembre	5890	1607,97	179,37
Diciembre	7425	2027,03	226,11

Tabla 4.48. Coste de la astilla de madera.

Concluyendo:

$$\text{Coste anual pellet} = 2865,43 \text{ €}$$

$$\text{Coste anual hueso de aceituna} = 1874,18 \text{ €}$$

$$\text{Coste anual astilla} = 1357,66 \text{ €}$$

Realizando una comparativa entre los cinco resultados analizados, se va a despreciar automáticamente los dos combustibles fósiles por las siguientes razones: en primer lugar, el precio es disparatado en comparación con el hueso de aceituna y la astilla, encontrándose entre las tres alternativas más caras, a lo que se añade su difícil accesibilidad por interconexiones complejas para un edificio aislado de la red, más allá de su rendimiento inferior al de la biomasa, no siendo siquiera elegibles al no tratarse de una alternativa renovable.

Comparando los otros tres biocombustibles procedentes de materia prima renovable, destaca el coste de la astilla, siendo inferior a la mitad del pellet y un cuarto menor al de hueso de aceituna. Es cierto que la calidad del pellet se presume un punto por encima en comparación con los otros dos biocombustibles, pudiendo prever fallos en el sistema, mientras el hueso de aceituna suele encontrarse en el material con mayor relación precio-eficiencia de los propuestos.

A pesar de esto, la elección final será la astilla de madera, ya que la industria siempre optará por un ahorro en la mayoría de los factores posibles, reduciendo considerablemente la inversión inicial, encontrando una amortización mes a mes, más aún, teniendo en cuenta que se dispondrá del apoyo solar fotovoltaico., lo cual tendrá mucho peso en la elección final:

Biocombustible → Astilla de madera (1357,66 €/año)

- **Dimensionado de la caldera**

Una vez se ha llegado a este punto, la elección de la caldera se llevará a cabo en función de las dos consideraciones obtenidas:

$$Potencia = 15,65 \text{ kW}$$

Biocombustible → Astilla de madera

A partir del catálogo técnico de calderas de Froling, se ha determinado una unidad que cumpla con las especificaciones citadas, cumpliendo el requisito de no sobredimensionar en ningún caso. En concreto, se ha escogido el modelo T4E [39].

Modelo caldera astilla T4e 20 kW

Esta caldera se caracteriza por ser cómoda, compacta, económica y segura, satisfaciendo todas las necesidades de una unidades inteligente y completamente automática. Además, cuenta con la particularidad de poder trabajar con astilla y pellet, proporcionando una ventaja en el caso de que se quisiera optar por el otro biocombustible por temas de eficiencia o trabajo de la caldera en algún momento concreto, más allá de centrar el estudio únicamente en la astilla.

Entre otras muchas ventajas, se caracteriza por su alta eficacia (93,7%), superior a la presupuesta con anterioridad para una caldera de biomasa estándar, traduciéndose en un coste inferior anual. Aun así, se va a mantener el cálculo del punto anterior, ya que se presupone que la caldera disminuirá su rendimiento progresivamente. Además, sus gastos de explotación son prácticamente mínimos, siendo ideal para el uso del edificio.

Se muestra su ficha técnica a continuación:

Datos técnicos - T4e		20	25	30	35
Potencia calorífica nominal	[kW]	19,9	25,1	30	35
Rango de potencia térmica	[kW]	5,95-19,9	7,51-25,1	9-30	10,5-35
Conexión eléctrica	[V/Hz/A]	400 V/50 Hz/protegida por fusible C16A			
Potencia eléctrica	[W]	48/39	55/39	59/39	63/38
Peso de la caldera (incluido sinfín de alimentación sin contenido de agua)	[kg]	740			
Capacidad de la caldera (agua)	[l]	117			
Temperatura máxima ajustable de la caldera	[°C]	90			
Presión de trabajo permitida	[bar]	3			

Combustible permitido según EN ISO 17225 9

Parte 4: Astillas de madera clase A1/P16S-P31S

Tabla 4.49. Datos técnicos caldera T4e, Froling [39].

Se ha escogido aquella con la potencia calorífica nominal inmediatamente superior (20 kW) cuyos datos técnicos se muestran arriba.

Se ha decidido prescindir del depósito de inercia al escoger una caldera inteligente modulante capaz de adaptarse a las demandas en momentos de pico y demandas

estables, además de que no se empleará para el ACS, no presentando problemas con legionela en ningún caso, pudiendo ajustarse al máxima a la instalación.

Su aspecto es el siguiente:



Figura 4.25. Caldera de astillas de madera T4e, Froling [39].

Únicamente se deberán de tener en cuenta los tiempos de arrancada y parada, de 15 a 60 minutos, debiendo de mostrar suficiente antelación tanto por la mañana como por la noche, debiendo asignar a un responsable de ello, ya que en el momento de apagado no generará energía, debiendo de tener en cuenta al contratista en el momento del análisis de rentabilidad de la instalación.

- Silo de almacenamiento

El siguiente paso será determinar el volumen de silo necesario para almacenar. Este espacio será el encargado de almacenar el combustible de la caldera previo a su alimentación. Deberá de presentar las condiciones idóneas (presión, humedad, temperatura, aislamiento...), para que el biocombustible se encuentre en las mejores condiciones posibles a la hora de producir energía.

Según el RITE, su dimensionado deberá de fijarse para el cálculo cada 15 días de almacenamiento, debiendo de estar contiguo a la sala de maquinaria con la caldera, necesitando un agitador con palas de resorte (FBR) capaz de transportar la astilla hasta la caldera de forma regular. Partiendo del consumo de la quincena, el cálculo de volumen necesario se realizará a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Consumo quincena (kg/15 días)} = \frac{\text{Consumo (kg)}}{\text{días mes}} \cdot 15 \text{ días} \quad (4.33)$$

$$\text{Volúmen quincena (m}^3\text{/15 días)} = \frac{\text{Consumo quincena (kg/15d)}}{\rho_{\text{astilla}}(\text{kg/m}^3)} \quad (4.34)$$

Donde:

$$\rho_{astilla}(kg/m^3) = 250 kg/m^3$$

Partiendo del consumo calculado en la tabla 4.48 y de la densidad de la astilla, el volumen mensual será:

SILO DE ASTILLA	Días	Consumo (kg)	Consumo diario (kg)	Consumo quincena (kg)	Volúmen quincena (m3)
Enero	31	2251	72,62	1089,27	4,36
Febrero	28	1723	61,53	922,98	3,69
Marzo	31	1562	50,40	755,99	3,02
Abril	30	1185	39,51	592,68	2,37
Mayo	31	699	22,54	338,04	1,35
Junio	30	186	6,19	92,82	0,37
Julio	31	21	0,68	10,17	0,04
Agosto	31	9	0,28	4,23	0,02
Septiembre	30	134	4,47	67,02	0,27
Octubre	31	766	24,71	370,66	1,48
Noviembre	30	1608	53,60	803,99	3,22
Diciembre	31	2027	65,39	980,82	3,92

Tabla 4.50. Cálculo del dimensionado del volumen de silo de astilla.

Obteniendo el volumen de referencia mayor, siendo el máximo dimensionado del depósito para tener en cuenta. Evidentemente, no se necesitará la misma cantidad de astilla en enero que diciembre, debiendo de tenerlo en cuenta posteriormente en el cálculo monetario de la instalación:

$$\text{Volúmen} = 4,36 m^3 \text{ cada 15 días}$$

El depósito se deberá de colocar en un lugar contiguo a la sala de calderas, en superficie, con ambos depósitos debidamente aislados. La introducción del biocombustible se realizará a nivel del suelo, como puede observarse en la siguiente imagen aportada por Froling. La astilla o pellet se transportará de una sala a otra mediante un tornillo sinfín que alimentará la caldera:

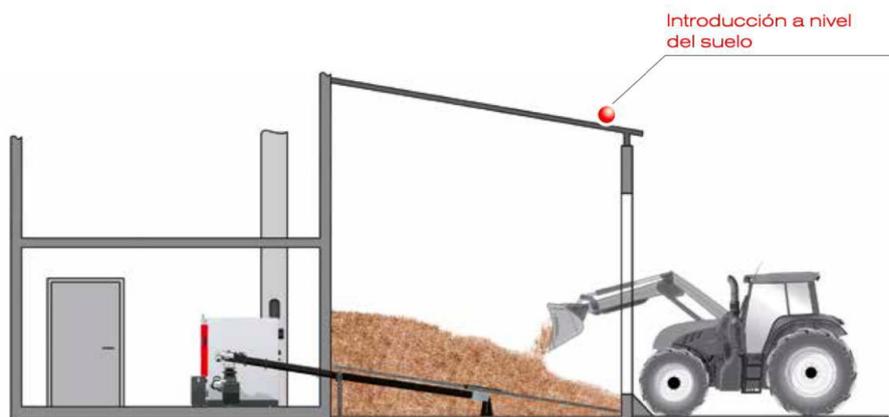


Figura 4.26. Introducción del silo de almacenamiento [39].

Como se ha citado en el párrafo anterior, se antoja fundamental la utilización de un tornillo sinfín para el transporte de la biomasa a la caldera. Se ha escogido un modelo del mismo proveedor para facilitar la instalación:

Agitador con Palas de Resorte (FBR), Froling

Su funcionamiento se basa en doblar los brazos, enrollándolos en el plato central con la astilla, desplegándose al vaciarse el silo, moviéndose hacia la extracción. Se ha escogido el modelo por su diferenciación en descarga de astillas de madera desde silo junto al bajo consumo de energía gracias a la elevación progresiva del mismo. Su apariencia es la siguiente:



Figura 4.27. Tornillo sinfín, Froling [39].

Por último, se ha de comentar que sucedería si se decidiera alimentar a la máquina con pellets en lugar de astillas, ya que el volumen del silo variaría debido al cambio de densidad. El espacio no resultaría un inconveniente, ya que la densidad de la astilla es mayor, no siendo necesario recalculer el volumen del silo de almacenamiento ya que sería inferior.

- Sala de máquinas

En el caso de la sala de máquinas, será necesario que presente espacio suficiente y óptimo para el silo de almacenamiento y la caldera, ya que dependerá directamente en que la eficiencia de la instalación se desprenda o no. Por ello, se deberá de consultar el apartado IT 1.3.4.1.2 del RITE, indicando algunos factores para tener en cuenta a la hora de dimensionar este local.

En primer lugar, se definirá las dimensiones de la sala de almacenamiento de silo para cubrir la demanda, buscando cubrir el volumen máximo de enero. Para ello, la sala se dimensionará con una altura similar a la de la planta baja, buscando así una estética mayor, con forma cuadrática de 1,5 metros:

Dimensiones silo almacenamiento	
Altura	3 metros
Anchura	1,5 metros
Longitud	1,5 metros
VOLÚMEN LOCAL	6,75 metros

Tabla 4.51. Dimensiones sala silo de almacenamiento.

Adicionalmente, se muestra una tabla con las principales consideraciones de la sala de máquinas referentes a la iluminación y la ventilación, junto a una tabla con las dimensiones y separaciones pertinentes:

Consideraciones sala máquinas	
Permeabilidad puertas	> 1l/s·m ²
Cerradura puertas	Fácil apertura interna
Sistema de desagüe por bombeo	
Nivel de iluminación medio	200 lux
Altura sobre caldera	0,5 metros
Ventilación directa por orificios	5 cm ² /kW

Tabla 4.52. Consideraciones de la sala de máquinas según el IT 1.3.4.1.2.

T4		60-75	90-150
A	Distancia mínima puerta a pared	mm 800	900
B	Distancia mínima lateral caldera a pared	mm 200	200
C	Distancia mínima parte trasera caldera a pared	mm 500	500
D	Distancia mínima dispositivo alimentación a pared	mm 300	300
Altura mínima de sala caldera		mm 1900	2150

Tabla 4.53. Distancias mínimas necesarias en la sala de máquinas.

Aproximando la disposición a la siguiente imagen ofrecida por Froling:

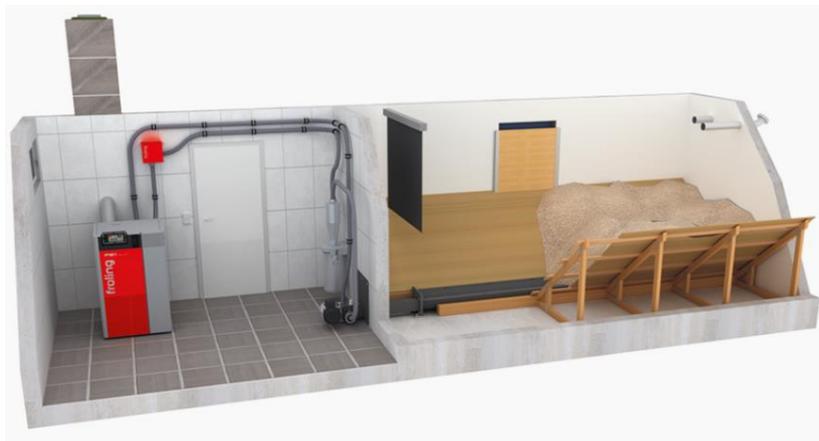


Figura 4.28. Disposición aproximada de la sala de máquinas, Froling [39].

Cuya distribución final se podrá ver en los planos del local adjunto, mostrados en el Anexo al final del documento.

d) Consumo eléctrico total

Aplicando la ecuación 4.26, el consumo total debido a las UI y UE en el edificio situado en Burgos será la suma del consumo realizado por las unidades interiores más las exteriores a lo largo de todo el año para la refrigeración. El resultado ha sido el siguiente:

CONSUMO ELÉCTRICO CLIMATIZACIÓN (kWh)	
Mes	Consumo
Enero	142,8
Febrero	128,98
Marzo	142,8
Abril	138,19
Mayo	143,62
Junio	159,47
Julio	283,39
Agosto	273,73
Septiembre	169,61
Octubre	143,78
Noviembre	138,19
Diciembre	142,8

Tabla 4.54. Consumo eléctrico mensual de refrigeración (kWh) del edificio de Burgos.

Siendo el consumo total la suma de los doce meses:

$$CONSUMO_{CLIMATIZACIÓN_BURGOS} (kWh) = 2007,36 kWh$$

Pudiendo comparar los resultados con Cádiz:

ZONAS CLIMÁTICAS	CONSUMO CLIMATIZACIÓN (kWh)
CÁDIZ (A3)	4389,97
BURGOS (E1)	2007,36

Tabla 4.55. Consumo eléctrico mensual de climatización (kWh) en Cádiz y refrigeración en Burgos (kWh).

Se observa como el consumo eléctrico de climatización final en Burgos supone casi la mitad del total de climatización de Cádiz, asociado directamente a la demanda, siendo imposible satisfacer la demanda total por medio de energía solar fotovoltaica en Burgos, siendo las cargas de calefacción casi 10 veces mayor.

Por ello, se predijo la instalación de una caldera de biomasa centrada en los meses de verano. Separando el cálculo correspondiente a los paneles solares fotovoltaicos para la refrigeración y la caldera de biomasa para la calefacción, los resultados serán los siguientes:

Analizando los resultados, la coherencia está presente en ellos, ya que en las zonas internas de la meseta las necesidades caloríficas, y por consiguiente, el trabajo de los equipos de climatización, son bastante más elevadas proporcionalmente y en comparación con la demanda exigida por las viviendas de las zonas costeras del sur de la Península Ibérica, permitiendo deducir unos resultados aportados por CLIMA congruentes.

Por ello, se va a separar el consumo en Burgos correspondiente a las UI y UE, correspondientes a la refrigeración, satisfechas mediante los módulos solares fotovoltaicos, y las necesidades de calefacción, cubiertas por medio de la energía de biomasa, más allá de presentar un apoyo constante gracias a la energía solar fotovoltaica.

CONSUMO ENERGÉTICO BURGOS (kWh)		
Mes	SOLAR FOTOVOLTAICA	BIOMASA
Enero	142,8	8246
Febrero	128,98	6311
Marzo	142,8	5723
Abril	138,19	4342
Mayo	143,62	2559
Junio	159,47	680
Julio	283,39	77
Agosto	273,73	32
Septiembre	169,61	491
Octubre	143,78	2806
Noviembre	138,19	5890
Diciembre	142,8	7425

Tabla 4.56. Consumo de climatización (kWh) en Cádiz y refrigeración en Burgos (kWh).

4.4. Necesidades de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

La demande de energía por parte del ACS supone un porcentaje inferior en comparación con la de climatización, más allá de la necesidad de tenerla en cuenta a la hora de dimensionar.

Actualmente, la legislación española establece una contribución solar mínima para cubrir el aporte de ACS en la construcción de nuevos edificios por medio de energías de carácter renovable, establecido en el Documento Básico HE de Ahorro de Energía, concretamente en el punto HE4: “Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria” [25]. Uno de sus cuatro ámbitos de aplicación, como se ha citado, corresponderá en el caso de edificios de nueva construcción con una

demanda superior a 100 l/d, obteniendo el proceso de cálculo en el Anexo F del mismo documento.

El cálculo de la demanda de ACS dependerá del uso del edificio en cuestión directamente relacionado con el consumo de litros diarios por persona y de la zona climática donde se localice la construcción, deduciendo unas necesidades diferentes para Cádiz y Burgos.

La demanda se cubrirá por medio de energía solar fotovoltaica, pudiendo emplear la energía sobrante para diferentes usos, a diferencia de la solar térmica, no contando con esta capacidad, buscando la eficiencia máxima de la instalación.

Previamente a la obtención de la demanda y el consumo de ACS en función de la localización del edificio, se van a realizar unos cálculos generales independientemente de la ubicación.

A partir de la tabla 4.1 se va a establecer el número de personas que habitarán el edificio, siendo un dato importante para futuras ecuaciones. En función del número de dormitorios, el resultado serían 2 personas en la primera vivienda y 4 en la segunda y tercera, dando un valor medio de 3.33 personas, algo imposible. Recordando el cálculo de caudal de ventilación, donde se tomó en las dos viviendas de dimensiones exactas 5 personas para situarnos en las condiciones más pesimistas, obteniendo así unas necesidades que pudieran satisfacer sin ninguna errata la demanda de los ocupantes, se va a tomar el redondeo al alza. Por tanto, para los cálculos de ACS:

$$\text{Número de personas por vivienda} = 4 \text{ personas}$$

Además, como se puede ver en la siguiente tabla, no será necesario aplicar un factor de centralización a las viviendas multifamiliares al tener únicamente 3 viviendas:

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 4.57. Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares [25].

Por último, para edificios de uso residencial privado, como es el presente caso de estudio en el TFM, se considerarán las siguientes necesidades:

$$\text{Criterio de demanda residencial privado} = 28 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \cdot \text{persona} (60^\circ\text{C})$$

En resumen, los parámetros base comunes necesario para el cálculo de ACS son:

PARÁMETRO BASE PARA EL CÁLCULO DE ACS	
Ocupantes	4
Nº viviendas	3
L/día persona	28
Tf	60
Cp (kJ/kg*K)	4,186

Tabla 4.58. Parámetros base para el cálculo de ACS.

Definidos los parámetros, se podrá calcular la demanda de ACS regida por la siguiente ecuación:

$$Demanda (kWh) = \frac{Demanda (kJ)}{3600} = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Definiendo el consumo diario, m(l), a partir de la siguiente expresión:

$$m (l) \text{ diario} = ocupantes \cdot viviendas \cdot \frac{l}{dia} \quad (4.33)$$

Sustituyendo:

$$m (l) = 4 \cdot 3 \cdot 28 = 336 \text{ l diarios}$$

El parámetro restante se define como la diferencia de temperatura del agua entre la temperatura de referencia (60 °C) y la de agua fría de cada localidad en función del mes, variando en función de la zona climática.

4.4.1. Bloque residencial zona A3

A partir del Anexo G del CTE DB HE4, se va a obtener la temperatura diaria mensual de agua fría de la red en Cádiz para el cálculo de ACS:

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
Cádiz	14	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12

Tabla 4.59. Temperatura diaria mensual de agua fría en Cádiz [25].

Pudiendo calcular la diferencia de temperaturas a partir de los valores de la tabla anterior. Los cálculos de la demanda de ACS para cada mes se muestran en la siguiente tabla:

CÁDIZ (A3)	Días	m(l)	Ti (°C)	Tf-Ti (K)	D (kJ)	D (kWh)
Enero	31	10416	12	48	2092866,05	581,35
Febrero	28	9408	12	48	1890330,62	525,09
Marzo	31	10416	13	47	2049264,67	569,24
Abril	30	10080	14	46	1940964,48	539,16
Mayo	31	10416	16	44	1918460,54	532,91
Junio	30	10080	18	42	1772184,96	492,27
Julio	31	10416	19	41	1787656,42	496,57
Agosto	31	10416	20	40	1744055,04	484,46
Septiembre	30	10080	19	41	1729990,08	480,55
Octubre	31	10416	17	43	1874859,17	520,79
Noviembre	30	10080	14	46	1940964,48	539,16
Diciembre	31	10416	12	48	2092866,05	581,35

Tabla 4.60. Cálculo de la demanda de ACS en Cádiz.

La determinación de la potencia de la instalación de la bomba de calor se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$P (kW) = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{n^{\circ} \text{días mes} \cdot \text{horas utilización ACS}} \quad (4.28)$$

Las horas medias semanales de utilización de ACS serán las mismas que las tomadas para la demanda de climatización en la ecuación 4.22. Mostrando la potencia de cada mes en la siguiente tabla:

CÁDIZ (A3)	Días	D (kJ)	D (kWh/día)	P (kW)
Enero	31	2092866	18,75	1,40
Febrero	28	1890331	18,75	1,40
Marzo	31	2049265	18,36	1,37
Abril	30	1940964	17,97	1,34
Mayo	31	1918461	17,19	1,28
Junio	30	1772185	16,41	1,22
Julio	31	1787656	16,02	1,19
Agosto	31	1744055	15,63	1,16
Septiembre	30	1729990	16,02	1,19
Octubre	31	1874859	16,80	1,25
Noviembre	30	1940964	17,97	1,34
Diciembre	31	2092866	18,75	1,40

Tabla 4.61. Potencia final de la bomba de calor de ACS en Cádiz.

Observando las potencias calculadas, la bomba de calor se definirá a partir del mes en el que la cantidad de kilovatios sea mayor, significando que, si la exigencia es cumplida esos días, la bomba no tendrá problemas de funcionamiento en meses con una demanda inferior. Se observa que el máximo se dará en los meses más fríos (enero, febrero y diciembre), momento en el que la cantidad de ACS requerida será mayor. Por tanto:

$$P_{maxima_{CADIZ}}(kW) = 1,40 kW$$

A la hora del dimensionado, se ha escogido una bomba de calor aerotérmica para el ACS. El principal motivo de esta elección se debe a la reducción de la tarifa en más de un 25% mediante este sistema. Su fundamento no afecta únicamente al consumo energético, sino también a los costes de mantenimiento y propiedad, los cuales se reducen significativamente, siendo un sistema extremadamente sencillo y barato. Las calderas de gas y gasóleo deben pasar revisiones periódicas debido a la combustión, pudiendo hacerlas sólo personal cualificado con acreditación, incrementando el precio final en consecuencia de ello.

Respecto al modelo escogido, su dimensionado se ha realizado en función de la potencia máxima obtenida. Se ha intentado buscar un equipo dentro del mismo proveedor, Toshiba, existiendo una diferencia demasiado elevada con el modelo que presenta una menor potencia máxima, no siendo eficiente la elección ya que un sobredimensionado reducirá notablemente su rendimiento final. Por esto, consultando en varios catálogos, se ha tomado la elección de la bomba de calor ACS aerotérmica HEATANK V2 de AQUATERMIC [40]. Entre sus propiedades, destaca su capacidad de hasta 300 litros con un control integrado y un rendimiento bastante alto, siendo una tecnología puntera y novedosa con control inteligente de la temperatura y fácil instalación, sumando las mínimas pérdidas de calor y el notable ahorro energético ya comentado. Cuenta con un bienestar para los ocupantes al presentar bajos niveles sonoros. El modelo con la potencia calorífica inmediatamente superior escogido ha sido el siguiente:

Potencia Bomba Calor ACS = 1,8 kW → Modelo WM 300 I SOLAR

Las características técnicas de la bomba de calor ACS son las siguientes:

Características técnicas

Modelos		WM 80	WM 100	200 I	200 I SOLAR	300 I	300 I SOLAR
Códigos		3IPH0000	3IPH0001	3IPH0002	3IPH0020	3IPH0003	3IPH0030
Potencia calorífica	kW	1		1,8		1,8	
Capacidad (agua)	l	80	100	200	200	200	300
Consumo eléctrico	kW	0,27		0,46	0,46	0,46	0,46
Intensidad absorbida	A	1,2		2	2	2	2
Alimentación		230V~/50Hz		230V~/50Hz		230V~/50Hz	
Nº Compresores		1		1		1	1
Compresor		Rotativo		Rotativo		Rotativo	
Temp. salida agua	°C	55		55	55	55	55
Nivel sonoro	dB(A)	45		45	45	45	45
SCOP*		2,27	2,31	3,67	3,57	3,71	3,71
Conexiones hidráulicas in/out	pulgadas	1/2"		3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Clasificación ErP		A	A	A	A	A	A
Eficiencia energética estacional	%	95,4	98,1	152,1	152,1	154,1	154,1
Clasificación energética		A	A	A	A	A	A
Serpentín Solar	m ²			1			

Tabla 4.62. Característica técnica de la bomba de calor ACS [40].

La apariencia del equipo es la siguiente:



Figura 4.29. Modelo bomba de calor ACS aerotérmica HEATANK V2 de AQUATERMIC [40].

Una vez escogido el modelo a instalar, es posible determinar el consumo de ACS en el edificio a partir de la ecuación 4.25, siendo necesario el dato del SCOP tomado de la tabla 4.46:

$$SCOP_{BOMBACALOR} = 3,71$$

El consumo eléctrico de cada mes se adjunta en la siguiente tabla:

CONSUMO ACS (kWh)				
CÁDIZ (A3)	Días	D (kWh/día)	D (kWh)	Consumo (kWh)
Enero	31	18,75	581,35	156,70
Febrero	28	18,75	525,09	141,53
Marzo	31	18,36	569,24	153,43
Abril	30	17,97	539,16	145,33
Mayo	31	17,19	532,91	143,64
Junio	30	16,41	492,27	132,69
Julio	31	16,02	496,57	133,85
Agosto	31	15,63	484,46	130,58
Septiembre	30	16,02	480,55	129,53
Octubre	31	16,80	520,79	140,38
Noviembre	30	17,97	539,16	145,33
Diciembre	31	18,75	581,35	156,70

Tabla 4.63. Consumo ACS del edificio de Cádiz.

Siendo el consumo total la suma de cada mes:

$$ConsumoACS_{CÁDIZ} = 1709,68 kWh$$

Observando como el consumo de ACS supone un 38% respecto al consumo eléctrico debido a la climatización tal y como se comentó en la introducción de este punto.

4.4.2. Bloque residencial zona E1.

Análogamente, se va a seguir el mismo esquema para el edificio en Burgos. En primer lugar, se obtendrán las temperaturas medias de agua fría del Anexo G del CTE DB HE4:

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
Burgos	929	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6

Tabla 4.64. Temperatura diaria mensual de agua fría en Burgos [25].

La demanda de ACS para la localización estudiada es la siguiente:

BURGOS (E1)	Días	m(l)	Ti (K)	Tf-Ti (K)	D (kJ)	D (kWh)
Enero	31	10416	5	55	2398075,68	666,13
Febrero	28	9408	6	54	2126621,95	590,73
Marzo	31	10416	7	53	2310872,93	641,91
Abril	30	10080	9	51	2151938,88	597,76
Mayo	31	10416	11	49	2136467,42	593,46
Junio	30	10080	13	47	1983159,36	550,88
Julio	31	10416	16	44	1918460,54	532,91
Agosto	31	10416	16	44	1918460,54	532,91
Septiembre	30	10080	14	46	1940964,48	539,16
Octubre	31	10416	11	49	2136467,42	593,46
Noviembre	30	10080	7	53	2236328,64	621,20
Diciembre	31	10416	6	54	2354474,30	654,02

Tabla 4.65. Cálculo de la demanda de ACS en Burgos.

Aplicando la ecuación 4.28, se calculará la potencia máxima para el dimensionado de la bomba de calor:

BURGOS (E1)	Días	D (kJ)	D (kWh/día)	P (kW)
Enero	31	2398076	21,49	1,60
Febrero	28	2126622	21,10	1,57
Marzo	31	2310873	20,71	1,54
Abril	30	2151939	19,93	1,48
Mayo	31	2136467	19,14	1,43
Junio	30	1983159	18,36	1,37
Julio	31	1918461	17,19	1,28
Agosto	31	1918461	17,19	1,28
Septiembre	30	1940964	17,97	1,34
Octubre	31	2136467	19,14	1,43
Noviembre	30	2236329	20,71	1,54
Diciembre	31	2354474	21,10	1,57

Tabla 4.66. Potencia final de la bomba de calor de ACS en Burgos.

Destaca como en los meses de verano la demanda es prácticamente igual a la de los meses de invierno en el estudio en Cádiz. Eligiendo la bomba a partir de la potencia máxima, correspondiendo al mes de enero:

$$P_{maximaBURGOS}(kW) = 1,60 kW$$

La bomba con una potencia inmediatamente superior a asignar será idéntica a la del caso anterior:

$$Potencia Bomba Calor ACS = 1,8 kW \rightarrow \text{Modelo WM 300 I SOLAR}$$

Determinando el consumo a partir del SCOP:

CONSUMO ACS (kWh)				
BURGOS (E1)	Días	D (kWh/día)	D (kWh)	Consumo (kWh)
Enero	31	21,49	666,13	179,55
Febrero	28	21,10	590,73	159,23
Marzo	31	20,71	641,91	173,02
Abril	30	19,93	597,76	161,12
Mayo	31	19,14	593,46	159,96
Junio	30	18,36	550,88	148,48
Julio	31	17,19	532,91	143,64
Agosto	31	17,19	532,91	143,64
Septiembre	30	17,97	539,16	145,33
Octubre	31	19,14	593,46	159,96
Noviembre	30	20,71	621,20	167,44
Diciembre	31	21,10	654,02	176,29

Tabla 4.67. Consumo ACS del edificio de Burgos.

Siendo el total:

$$ConsumoACS_{BURGOS} = 1917,66 kWh$$

Se aprecia un consumo ligeramente superior al de Cádiz, resultado esperable por las condiciones climáticas de la zona, necesitando una demanda de ACS mayor a lo largo del año. Esta supone un 15% aproximadamente del consumo de climatización calculado con anterioridad, resultado más esperado en términos de magnitud. Se observa que conforme la localización presenta temperaturas más frías, la demanda de climatización respecto a la de ACS será porcentualmente mayor.

4.5. Extracciones de locales

En este apartado se va a calcular el consumo en los locales donde se colocarán equipos de extracción: garajes y aseos, siendo comunes para las dos localizaciones estudiadas.

4.5.1. Extracción en el garaje

La extracción en parkings y garajes se encuentra regulada por el apartado de “Exigencias Básicas” del DB HS3, aplicado a edificios de viviendas con parkings y garajes. Básicamente, el documento relata la necesidad de instalación de un sistema de ventilación, natural o mecánico, que adecue correctamente el flujo de aire de estas instalaciones. Por motivos de simplicidad, se ha decidió instalar un sistema mecánico.

En nuestro caso, el garaje no excederá ninguna de las dos condiciones con restricciones que presenta el CTE para este tipo de emplazamientos: no cuenta con más de 5 plazas ni 100 m² útiles, no siendo necesario varias aberturas de admisión con el exterior.

Teniendo claras las pautas necesarias para el dimensionado de los equipos de extracción, se va a definir el caudal de extracción. Este se define de la siguiente forma:

$$Q_{EXTRACCIÓN} \left(\frac{m^3}{h} \right) = n^{\circ} \text{plazas} \cdot Q_{VENTILACIÓN} \left(\frac{l}{s} \right) \cdot 3,6 \left(\frac{s \cdot m^3}{h \cdot l} \right) \quad (4.27)$$

Sabiendo que únicamente se tiene la plaza de garaje individual de la planta baja, y tomando el valor mínimo de caudal de ventilación de un aparcamiento definido por el CTE en la tabla 4.7, el caudal será el siguiente:

$$Q_{EXTRACCIÓN} = 1 \cdot 120 \cdot 3,6 = 432 \frac{m^3}{h}$$

Definido el caudal, se escogerá el equipo de extracción adecuado para satisfacer las necesidades de ventilación. El caudal máximo es muy bajo en comparación con grandes instalaciones de parkings públicas o de grandes centros comerciales, por lo que con un modelo mínimo se podrán satisfacer las necesidades con bastante holgura. La serie escogida ha sido la serie BP-MU para 400 grados centígrados del proveedor Solerpalau [41]. Estos modelos están especialmente diseñados para la extracción de humos en caso de incendios, siendo totalmente desmontable. Será necesario instalar un dispositivo eléctrico para encender la fuente de alimentación de seguridad en caso de que haya fuego. EL modelo dimensionado ha sido:

$$Q_{CAJAVENTILACIÓN} = 1500 \frac{m^3}{h} \rightarrow \text{MODELO BP - MU 9/9}$$

Sus características técnicas:

Modelo	Caudal aire (m ³ /h)	PRESIÓN ESTÁTICA (mm ca)							
		20		30		40		50	
		kW	rpm	kW	rpm	kW	rpm	kW	rpm
	1.500	0,37	1.050	0,55	1.280	1,1	1.450		
BP-MU 9/9	2.000	0,37	1.100	0,75	1.300	1,1	1.480		
	2.500	0,55	1.150	0,75	1.350	1,1	1.500		
	3.000	0,75	1.200	1,1	1.400	1,1	1.550		

Tabla 4.68. Características técnicas MODELO BP–MU 9/9 a 20 mm.ca [41].

Escogiendo el modelo con la mínima potencia y velocidad de giro, ya que hay que sobredimensionar lo mínimo posible, siendo el que más se aproxima a las especificaciones, cumpliendo con los requisitos sobradamente.

Su forma es la siguiente:



Figura 4.30. Caja de ventilación BP-MU 9/9 ca [41].

A partir de la potencia del modelo asociado a la red, será posible definir el consumo a lo largo del año. Para ello, se ha de calcular el consumo diario, extrapolando a cada mes, para finalizar con el consumo anual. Para ello, se supondrá que el aparcamiento estará ocupado entre semana una media de 12 horas diarias, ya que por motivos laborales no será normal que la plaza se ocupe durante el día. En el caso del fin de semana, se va a suponer una ocupación total, suponiendo que el coche no saldría del parking por motivos de descanso de los huéspedes en el hogar, suponiendo siempre las condiciones más desfavorables. El tiempo medio de ocupación será:

$$\text{Tiempo ocupación diaria} = \frac{12 \cdot 5 + 24 \cdot 2}{7} = 15,43 \text{ h} \quad (4.28)$$

Sabiendo que 1 día = 24 horas, el tiempo de ocupación diaria porcentualmente se calculará como:

$$\% \text{ ocupación} = \frac{t_{\text{ocupaciondiaria}}}{t_{\text{dia}}} = \frac{15,43 \text{ h}}{24 \text{ h}} \cdot 100 = 64,3 \% \quad (4.29)$$

Si la caja de ventilación trabajará a 0,37 kW de potencia al 100%:

$$\text{Consumo diario (kWh)} = \% \text{ ocupación} \cdot \text{Potencia (kW)} \cdot 24 \text{ h} \quad (4.30)$$

$$\text{Consumo diario} = 0,643 \cdot 0,37 \cdot 24 = 5,71 \text{ kWh}$$

Pudiendo calcular el consumo mensual:

EXTRACCIÓN GARAJE	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	177,01
Febrero	28	159,88
Marzo	31	177,01
Abril	30	171,30
Mayo	31	177,01
Junio	30	171,30
Julio	31	177,01
Agosto	31	177,01
Septiembre	30	171,30
Octubre	31	177,01
Noviembre	30	171,30
Diciembre	31	177,01

Tabla 4.69. Consumo mensual (kWh) de la caja de ventilación del garaje.

Siendo el consumo total la suma de cada mes:

$$Consumo\ anual\ garaje = 2084,15\ kWh$$

4.5.2. Extracción en baños

En las viviendas que se emplee la ventilación mecánica será necesario la colocación de un extractor en cada baño. De este modo, se evitarán generar humedades, olores y cualquier malestar que evite la comodidad en su interior, pudiendo mover grandes cantidades de aire con una elevada eficiencia.

Se ha decidido escoger el tipo centrífugo, ya que son capaces de vender pérdidas de carga sin apenas dificultades. Se han escogido la serie MU-TT del proveedor ALG sistemas [42]. Al igual que sucedía en la plaza de aparcamiento, cualquier baño tiene un caudal de aire inferior a la de cualquier modelo de la ficha técnica:

$$Q_{BAÑO} = 15 \frac{l}{s} = 54 \frac{m^3}{h}$$

El modelo escogido en función del caudal:

$$Q_{ExtracciónBaño} = 187 \frac{m^3}{h} \rightarrow \text{MODELO MU - TT 100}$$

Observando la ficha técnica con los datos técnicos de la pieza:

Código	Modelo	Caudal aire (m³/h)		Potencia (W)		Corriente abs. (A)		RPM (min⁻¹)		Nivel sonoro (dBA)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
VD 01 901	MU-TT 100	145	187	15	25	0,12	0,20	2450	2500	28	35

Tabla 4.70. Características técnicas modelo MU-TT 100 [42].

Apreciando su forma a continuación:



Figura 4.31. Extractor de aire MU-TT 100 [42].

Suponiendo que siempre trabaje a su caudal máximo, la utilización de los baños será la misma que el tiempo medio definido de funcionamiento de las unidades exteriores en la ecuación 4.22, pudiendo calcular el consumo diario empleando la ecuación 4.30 con la potencia de la ficha técnica, sabiendo que hay 5 baños en total:

$$\text{Consumo diario} = 5 \cdot 0,025 \cdot 13,43 = 1,68 \text{ kWh}$$

Siendo el mensual:

EXTRACCIÓN BAÑOS	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	52,08
Febrero	28	47,04
Marzo	31	52,08
Abril	30	50,40
Mayo	31	52,08
Junio	30	50,40
Julio	31	52,08
Agosto	31	52,08
Septiembre	30	50,40
Octubre	31	52,08
Noviembre	30	50,40
Diciembre	31	52,08

Tabla 4.71. Consumo mensual (kWh) de la caja de ventilación del baño.

Calculando el total:

$$\text{Consumo anual baño} = 613,20 \text{ kWh}$$

Correspondiendo a 1/3 del consumo eléctrico respecto al de los garajes.

4.6. Iluminación

La determinación de la potencia lumínica se va a determinar a partir de las condiciones impuestas en el CTE DB HE3, correspondiente al apartado de Eficiencia Energética. El valor mínimo de iluminación que indica el Código Técnico para residencias se observa en la siguiente tabla:

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
Aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
Habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
Estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
Hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Tabla 4.72. Valor límite de eficiencia energética para diferentes locales [25].

Teniendo una potencia límite de 4 kW/m^2 , valor que se va a tomar como máximo. La potencia máxima de iluminación se calculará mediante el producto entre la potencia límite por metro cuadrado por la suma de la superficie de las tres viviendas:

$$\text{Potencia iluminación total diario} = 30 \text{ m}^2 \cdot 4 \text{ W/m}^2 = 120 \text{ W}$$

Por tanto, la potencia de iluminación máxima anual será:

$$\text{Potencia máxima anual} = 120 \cdot 365 = 43800 \text{ W} = 43,8 \text{ kW año}$$

Evidentemente, este cálculo se daría en el caso de que estuvieran activas las luces 24 horas los 365 días del año, algo que no va a ser así, ya que la iluminación solar permitirá ahorrar en consecuencia sin la necesidad de energía lumínica en ciertas horas del día. Por ello, se va a obtener la acumulación media de horas de sol en cada localidad en los últimos 5 años en cada una de las provincias:

4.6.1. Bloque residencial zona A3.

Las horas medias diarias de Sol según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Cádiz desde 2015 hasta 20219 ha sido:

$$t_{SOLMEDIACÁDIZ} = 2905 \text{ horas}$$

Sabiendo que en un año el número de horas son 8760 horas, el tiempo dónde la iluminación tendrá que ser artificial:

$$t_{NOSOLCÁDIZ} = 8760 - 2905 = 5855 \text{ horas}$$

Suponiendo que se duermen 7 horas de media cada día de la semana, momento en los que la iluminación estará apagada, el tiempo final será:

$$t_{ILUMINACIÓN CÁDIZ} = 5855 - 7 \cdot 365 = 3300 \text{ horas} = 37,67 \% h_{año} = 9,05 h_{día}$$

Reajustando el cálculo de potencia total calculado para cada zona climática, el resultado del consumo para cada una de las dos localizaciones será:

$$Consumo_{maxLuzCádiz} = Potencia_{máxima} \cdot h_{funcionamiento} \quad (4.31)$$

Considerando un trabajo del 100% de la luz durante esas horas, el resultado diario será:

$$Consumo_{maxLuzCádiz} = 0,12 \cdot 9,05 = 1,09 \text{ kWh}$$

Particularizando para cada mes:

CONSUMO MENSUAL LUZ (kWh)		
CÁDIZ (A3)	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	33,67
Febrero	28	30,41
Marzo	31	33,67
Abril	30	32,58
Mayo	31	33,67
Junio	30	32,58
Julio	31	33,67
Agosto	31	33,67
Septiembre	30	32,58
Octubre	31	33,67
Noviembre	30	32,58
Diciembre	31	33,67

Tabla 4.73. Consumo mensual (kWh) de iluminación en Cádiz.

Siendo el consumo total la suma de cada mes:

$$\text{Consumo anual iluminación}_{\text{CÁDIZ}} = 396,93 \text{ kWh}$$

4.6.2. Bloque residencial zona E1.

Repitiendo el mismo proceso de cálculo, la radiación solar media en Burgos es la siguiente:

$$t_{\text{SOLMEDIABURGOS}} = 2476,5 \text{ horas}$$

Siendo la hora sin luz natural la restante:

$$t_{\text{NOSOLBURGOS}} = 8760 - 2905 = 6283 \text{ horas}$$

Tomando la misma cantidad de horas de nocturnidad que Cádiz:

$$t_{\text{ILUMINACIÓNBURGOS}} = 6283 - 7 \cdot 365 = 42,56 \% h_{\text{año}} = 10,22 h_{\text{dia}}$$

Aplicando la ecuación 4.31, el consumo máximo de luz en Burgos será:

$$\text{Consumo}_{\text{maxLuzCádiz}} = 0,12 \cdot 10,22 = 1,23 \text{ kWh}$$

Obteniendo el consumo mensual:

CONSUMO MENSUAL LUZ (kWh)		
BURGOS (E1)	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	38,02
Febrero	28	34,34
Marzo	31	38,02
Abril	30	36,79
Mayo	31	38,02
Junio	30	36,79
Julio	31	38,02
Agosto	31	38,02
Septiembre	30	36,79
Octubre	31	38,02
Noviembre	30	36,79
Diciembre	31	38,02

Tabla 4.74. Consumo mensual (kWh) de iluminación en Burgos.

Siendo la totalidad:

$$\text{Consumo anual iluminación}_{\text{BURGOS}} = 447,64 \text{ kWh}$$

4.7. Consumo energético total

El consumo energético total será la suma de cada una de las necesidades calculadas en cada uno de los puntos anteriores, teniendo cada una de las dos localizaciones unas necesidades diferentes:

4.7.1. Bloque residencial zona A3.

En la siguiente tabla se muestra el resumen energético:

CONSUMO FINAL CÁDIZ (kWh)							
Mes	Ventilación	Climatización	ACS	Garaje	Baños	Iluminación	TOTAL
Enero	133,92	516,18	156,70	177,01	52,08	33,67	1069,56
Febrero	120,96	368,39	141,53	159,88	47,04	30,41	868,21
Marzo	133,92	313,37	153,43	177,01	52,08	33,67	863,48
Abril	129,60	194,74	145,33	171,30	50,40	32,58	723,95
Mayo	133,92	202,42	143,64	177,01	52,08	33,67	742,73
Junio	129,60	319,24	132,69	171,30	50,40	32,58	835,81
Julio	133,92	524,01	133,85	177,01	52,08	33,67	1054,53
Agosto	133,92	554,62	130,58	177,01	52,08	33,67	1081,87
Septiembre	129,60	454,76	129,53	171,30	50,40	32,58	968,17
Octubre	133,92	253,52	140,38	177,01	52,08	33,67	790,57
Noviembre	129,60	249,07	145,33	171,30	50,40	32,58	778,27
Diciembre	133,92	439,66	156,70	177,01	52,08	33,67	993,03

Tabla 4.75. Consumo final Cádiz (kWh).

Pudiendo concluir que, tras el análisis final de consumo mensual de cada uno de los diferentes campos analizado, la mayor parte de la climatización se debe a la parte de climatización, siendo julio y agosto los meses en los que el consumo energético sea mayor. Para que sean más representativo los datos, se va a mostrar un gráfico con el sector que consume más energía:

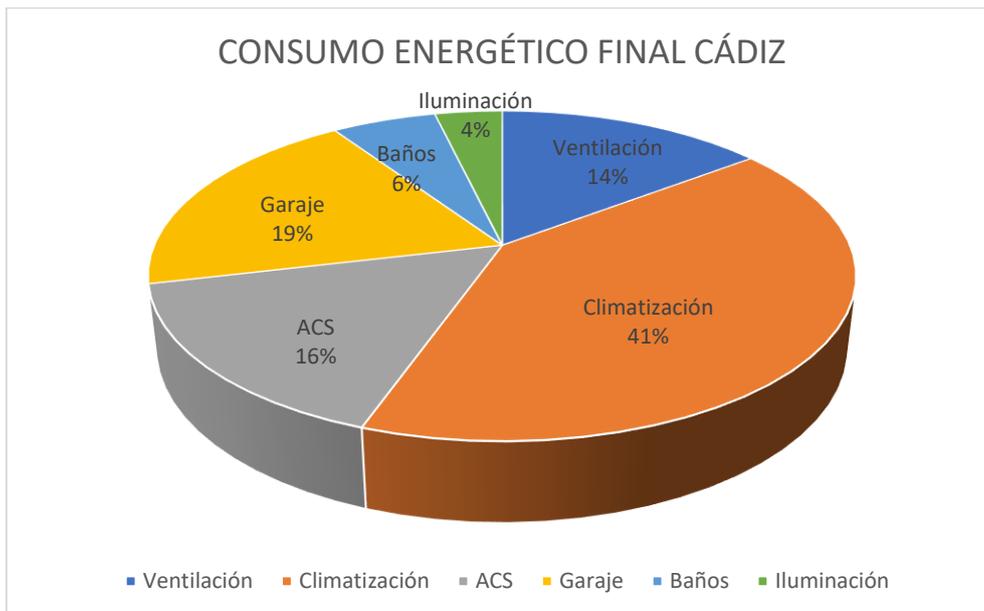


Figura 4.32. Consumo energético final por necesidad en Cádiz.

Representando el 41% del total el consumo asociado a la climatización, siendo prácticamente la mitad de las otras unidades estudiadas. Obviamente, hace pensar que será uno de los principales puntos para reducir el consumo final al ser la parte con más peso en el estudio.

Si sumamos el consumo de cada mes, el resultado final para Cádiz será:

$$\text{Consumo energético Cádiz} = 107709,19 \text{ kWh}$$

4.7.2. Bloque residencial zona E1.

Análogamente, el consumo por sistema cada mes será:

CONSUMO FINAL BURGOS (kWh)							
Mes	Ventilación	Climatización	ACS	Garaje	Baños	Iluminación	TOTAL
Enero	133,92	8388,80	179,55	177,01	52,08	38,02	8969,38
Febrero	120,96	6439,98	159,23	159,88	47,04	34,34	6961,43
Marzo	133,92	5865,80	173,02	177,01	52,08	38,02	6439,85
Abril	129,60	4480,19	161,12	171,30	50,40	36,79	5029,40
Mayo	133,92	2702,62	159,96	177,01	52,08	38,02	3263,61
Junio	129,60	839,47	148,48	171,30	50,40	36,79	1376,05
Julio	133,92	360,39	143,64	177,01	52,08	38,02	905,06
Agosto	133,92	305,73	143,64	177,01	52,08	38,02	850,40
Septiembre	129,60	660,61	145,33	171,30	50,40	36,79	1194,03
Octubre	133,92	2949,78	159,96	177,01	52,08	38,02	3510,77
Noviembre	129,60	6028,19	167,44	171,30	50,40	36,79	6583,72
Diciembre	133,92	7567,80	176,29	177,01	52,08	38,02	8145,11

Tabla 4.76. Consumo final Burgos (kWh).

Observando las conclusiones opuestas respecto al caso anterior, siendo los meses de invierno aquellos donde el consumo energético es mayor. Representando gráficamente los resultados por cada uno de los diferentes tipos de demanda:

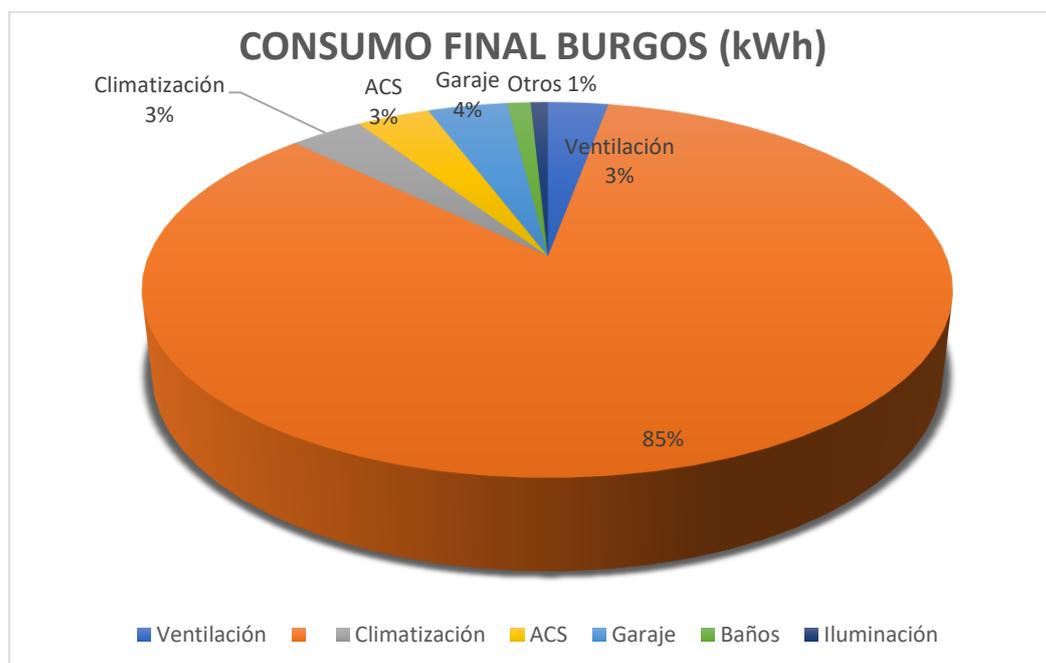


Figura 4.33. Consumo energético final por necesidad en Burgos.

Correspondiendo la mayor parte del consumo a la climatización, siendo 2/3 del total. Esto se predijo en los puntos anteriores al ser una necesidad más demandada por las condiciones climatológicas.

El total será:

$$\text{Consumo energético Burgos} = 53228,81 \text{ kWh}$$

Siendo casi cinco veces superior a la demanda de Cádiz, pudiendo deducir la necesidad de captación mayor, debido en gran parte a la generación de calefacción.

Adicionalmente, se muestra la distribución de las cargas térmicas satisfechas por los paneles solares y por la biomasa:

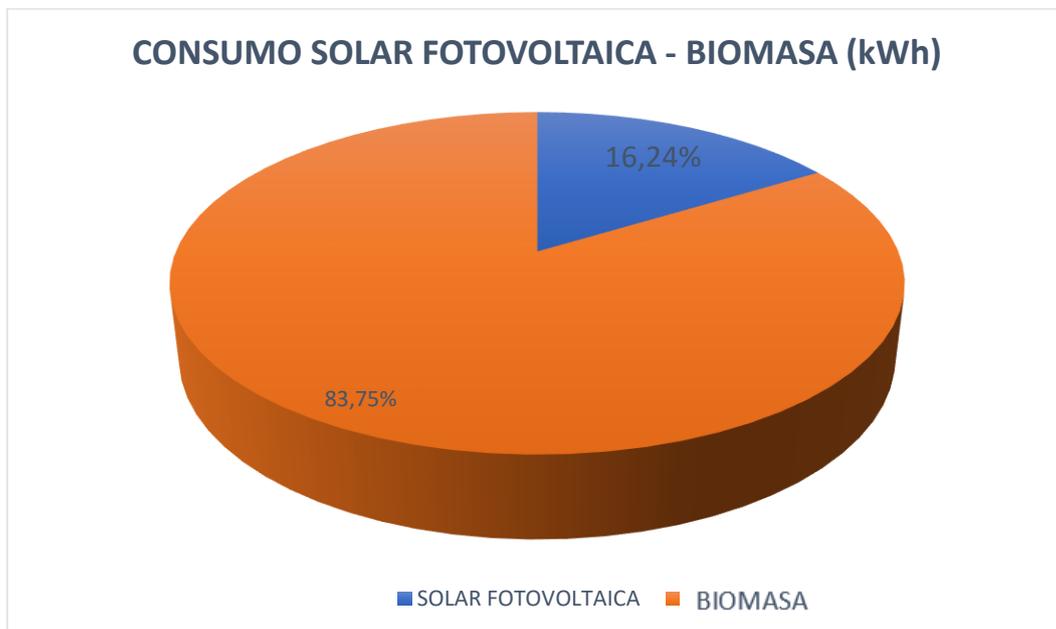


Figura 4.34. Consumo solar fotovoltaico frente a biomasa en Burgos.

Observando como las necesidades serán cubiertas en su mayor parte por la instalación de biomasa en lo referente a las necesidades energéticas de Burgos.

CAPÍTULO 5. EDIFICIO NETZERO. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En este apartado se va a definir la instalación fotovoltaica del edificio. Como se citó en la introducción, el objetivo será crear unas viviendas capaces de satisfacer las necesidades energéticas por sí mismos a través del uso de energías renovables, siendo el Sol la fuente de energía en este caso.

La energía solar fotovoltaica, hasta hace pocos años, había tenido un papel secundario, sobre todo con la llegada del impuesto al Sol en el año 2015, frenando a multitud de ecologistas, empresarios y constructores en la implantación de la energía solar térmica y fotovoltaica en el país, creándose como argumento para aquellos que no pagaran por autoconsumo regularán el mantenimiento del sistema económico, contribuyendo a la sostenibilidad energética., anulándose en el año 2018, volviendo a promover esta tecnología al alza [43]. El esquema de la instalación fotovoltaica aislada a la red será el siguiente:

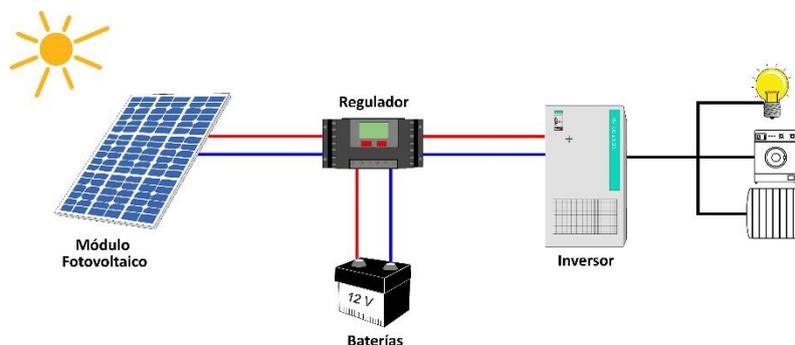


Figura 5.1. Esquema instalación fotovoltaica [56].

Las disposiciones estarán conectadas a uno o varios inversores colocados con idéntica orientación.

Para cubrir las necesidades energéticas, se emplearán módulos de paneles fotovoltaicos instalados en la cubierta del edificio. Se calcularán los diferentes parámetros para las condiciones óptimas con el fin de obtener el mayor rendimiento posible: orientación, inclinación, número de paneles...

Se va a realizar un estudio de cada localización diferenciando las mejores condiciones en cada caso, estimando las unidades necesarias para cubrir la demanda, calculando la reducción de emisiones conseguidas con la aplicación del edificio NETZero. Finalmente, se elaborará un análisis económico teniendo conciencia real del gasto de cada instalación.

5.1. Bloque residencial zona A3

5.1.1. Selección del panel solar fotovoltaico

En primer lugar, se ha de calcular el tipo de panel solar fotovoltaico que va a constituir la instalación a diseñar, dimensionando la superficie de captación que tendrá la cubierta del edificio en cada localización.

Se han escogido un modelo de panel solar monocristalino con una elevada potencia para la instalación solar fotovoltaica, ya que por las condiciones limitadas de la superficie cuadrática (10x10m), se quiere asegurar que se satisfaga la demanda energética con la cantidad suficiente de paneles limitada por el tamaño de la cubierta:

Panel JAM72S20 450W 24V Monocristalino Perc

Este modelo de la gama JAM72S20 MR produce un 30% más que el panel inmediatamente anterior en la hoja técnica (panel de 340W), consiguiendo una alta eficiencia fotovoltaica mediante la tecnología PERC ofrecido por el proveedor AutoSolar [44].

Una de sus principales características reside en la eficiencia, teniendo una producción mayor que un panel normal de 72 células con idéntica superficie de captación, residiendo en valores en torno a 20.2%. Además, ofrece 12 años de garantía mecánica contra cualquier defecto de fabricación, contando con 25 años mínimo de trabajo con un 80% de potencia nominal respecto a su creación. Cuenta con una alta resistencia en su estructura externa.

Sus dimensiones son:

$$\text{Dimensiones} = 2120 \pm 2\text{mm} \cdot 1052 \pm 2\text{mm} \cdot 40 \pm 1\text{mm}$$

El diagrama mecánico del panel solar es el siguiente:

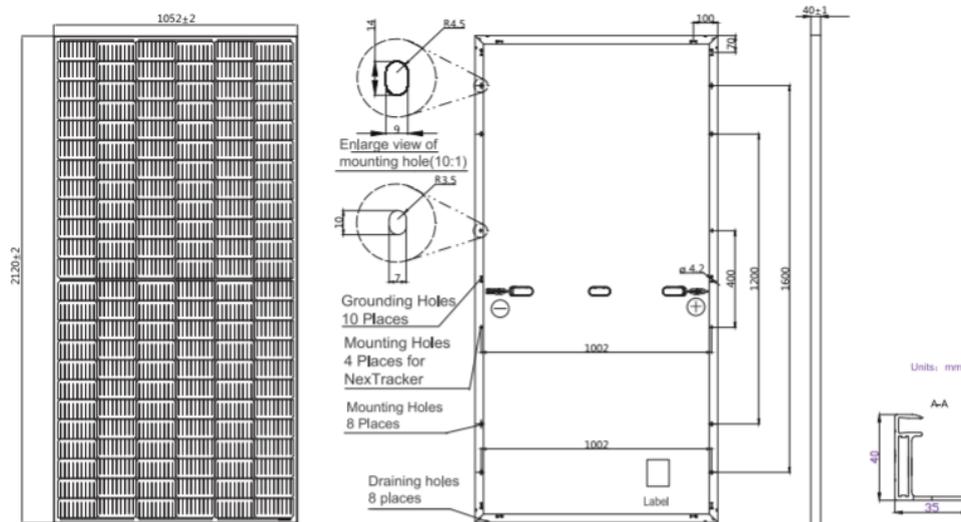


Figura 5.2. Diagrama mecánico del panel solar JAM72S20 [44].

Sus especificaciones técnica se pueden apreciar a continuación en la hoja técnica:

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.28	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.76	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96
Module Efficiency [%]	19.7	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8
Power Tolerance	0→+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0,044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0,272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0,350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1,5G					

Tabla 5.1. Hoja técnica panel solar JAM72S20 [44].

Y sus curvas características:

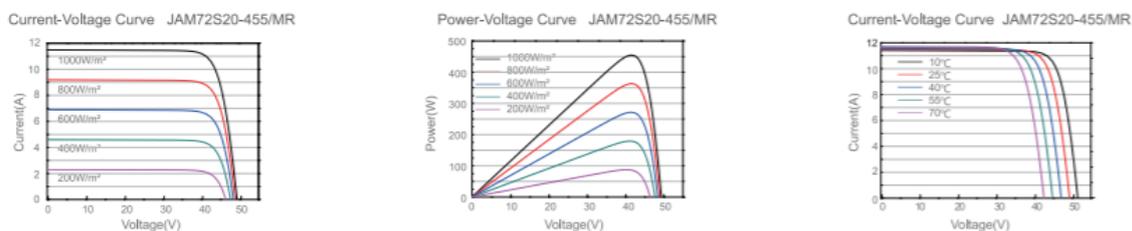


Figura 5.3. Curvas características panel solar JAM7S20: a) Curva tensión-intensidad, b) Curva tensión-potencia, c) Curva tensión-intensidad en función de la temperatura [44].

Se puede ver en la primera gráfica como la intensidad se asocia a un valor constante de tensión hasta 40V para cada potencia, momento en el que decae hasta llegar a corrientes nulas, sucediendo un comportamiento similar en función de la temperatura, como se puede apreciar en la última figura. Por último, en la segunda gráfica se observa

como la potencia crece conforme se da un incremento de la tensión hasta llegar a 40V, umbral donde vuelve a decaer drásticamente.

Su forma tendrá el siguiente aspecto:

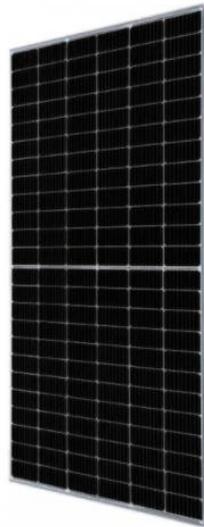


Figura 5.4. Panel solar JAM7S20 [44].

5.1.2. Pérdidas de los paneles solares

Se va a proceder al cálculo de las distintas pérdidas que constituirá la instalación:

5.1.2.1. Por orientación e inclinación

La orientación se plantea necesaria para determinar las bancadas de captadores solares, estando directamente relacionada a la orientación del edificio, siendo la orientación óptima de los captadores hacia el Sur, dirección a la que se encuentra orientada la fachada principal del edificio como puede verse en la siguiente figura:

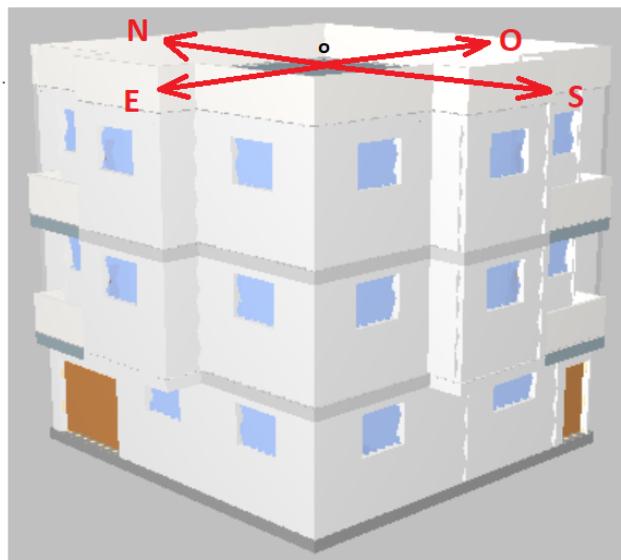


Figura 5.5. Orientación del edificio de estudio.

Las pérdidas por orientación e inclinación corresponderán a la cantidad de irradiación solar que no ha sido rentabilizada por el captador, mientras que las sombras serán relativas a la radiación solar pérdida por obstáculos interpuestos entre el edificio y el recorrido de los rayos, dependiendo directamente de la altura del Sol en cada época del año.

La azimut corresponderá con la orientación de la fachada principal del edificio respecto al Sur, coincidiendo ambas independientemente de la localización estudiada:

$$\text{Azimut} = 0^\circ$$

Por tanto, los captadores quedarán dispuestos simétricamente con el edificio, siendo una razón más de peso para su instalación, pudiendo mejorar la integración arquitectónica de la cubierta, guardando una armonía con el entorno, siendo visualmente agradable para el humano sin corromper la estética del edificio, incluyendo incluso gusto visual, siendo uno de los problemas que plantea esta nueva forma de captar energía.

Por definición, la inclinación elegida para los captadores debe de ser la misma a la latitud del lugar donde esté ubicado el edificio, pudiendo variar la latitud del lugar 10° para aumentar la captación en invierno y reducir la que captamos en verano para no sobrecalentar como define el DB HE5 del CTE, definiendo las pérdidas límite por sombrar en función del caso:

Tabla 2.3 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición de módulos fotovoltaicos	20%	15%	30%
Integración arquitectónica de módulos fotovoltaicos	40%	20%	50%

Tabla 5.2. Pérdidas límite de los colectores [13].

Por consiguiente, será posible definir las pérdidas por sombras debido a la orientación (azimut) e inclinación (latitud ± 10 grados) de forma gráfica o analítica para cada lugar.

A partir del diagrama de pérdidas, se determina gráficamente aquellas debido a la inclinación y orientación de los colectores. Para ello, se plantea necesario saber las coordenadas de Cádiz, obtenidas a partir de la web de Geodatos.net [45], interesando la inclinación respecto al plano ecuatorial para el cálculo posterior:

$$\text{Cádiz} \rightarrow 36.5267^\circ \text{ N } 6.2891^\circ \text{ O}$$

Según la bibliografía, la inclinación óptima de una batería de colectores (β) para un funcionamiento anual de la instalación deberá ser igual a la latitud del lugar donde se va a ubicar la instalación, es decir:

$$\beta = \varphi$$

A partir de la tabla 4.59, se observa como las necesidades van a ser prácticamente constantes a lo largo de todo el año, siendo ligeramente superiores en los meses de verano por temas de refrigeración. La Normativa permite modificar $\pm 10^\circ$ la inclinación óptima de los paneles buscando la mejor eficiencia de la instalación, reduciendo el ángulo si se quiere favorecer la captación en verano, y aumentándolo si se desea en invierno, siendo directamente influyente el ángulo solar. Tras una serie de comprobaciones, el ángulo óptimo serían 33° si se busca la mayor cantidad de energía al final del año. Gracias al desglose de la tabla 4.59, donde se detallan las necesidades mensuales, se observa que algunos meses sobreexcederían la demanda, mientras en algunos de invierno no llegarían al mínimo, necesitando energía almacenadas en baterías para su alimentación. Por ello, alterando levemente el ángulo para cubrir el desglose de demanda energética todos los meses, tratando en el dimensionado posterior la supresión de baterías que encarecerían los costes de la instalación bastante, se ha establecido que el ángulo de inclinación más recomendable será aquel igual a la latitud de Cádiz:

$$\beta = 36,5^\circ$$

Pudiendo representar las pérdidas por orientación e inclinación a partir del diagrama de aprovechamiento solar, deduciendo que serán nulas al escoger las condiciones óptimas de inclinación y azimut:

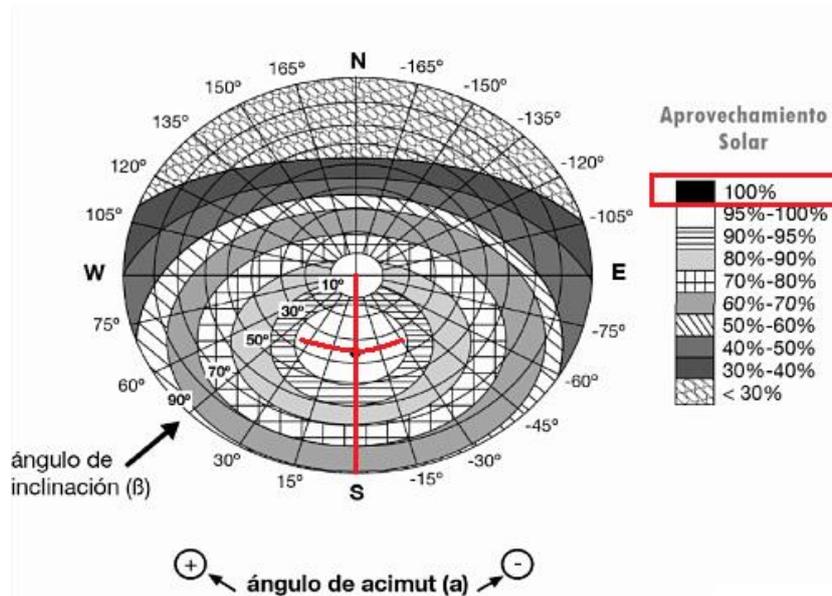


Figura 5.6. Diagrama de pérdidas por orientación e inclinación para Cádiz con $\beta=36,5^\circ$ y $\alpha=0^\circ$.

Pudiendo apreciar unas pérdidas inexistentes. Si se desea realizar la comprobación numérica, es posible obtenerlas matemáticas a partir de la siguiente expresión:

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s (\%) = 100 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \quad (5.1)$$

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s = 100 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (36,5 - 33)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0^2 = 0,15\%$$

Confirmando los cálculos previos realizados gráficamente. Seguidamente, se plantea necesario el cálculo de las pérdidas debido a construcciones próximas que puedan generar sombra durante ciertos momentos del año a ciertas horas del día por motivos de ocultamiento total o parcial del perfil formado por los colectores, generando sombras. A partir de la figura 5.7 es posible determinar las deficiencias del sistema:

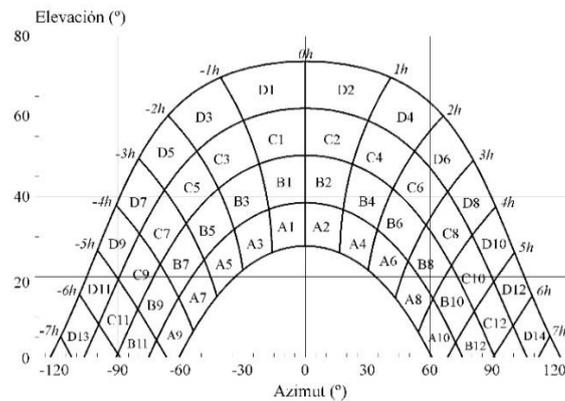


Figura 5.7 Diagrama de coeficiente de pérdidas por sombra.

Como se citó en la introducción, el edificio no tendrá ninguna otra construcción a su alrededor, no generando pérdidas en los colectores debido a edificios colindantes.

Además, se cumple sobradamente la condición definida en la tabla 5.2, legislada por el CTE:

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s_{orientación+inclinación} + P\acute{e}rdid\acute{a}s_{sombra} < 15 \%$$

5.1.2.2. Pérdidas por ensuciamiento

Las pérdidas por ensuciamiento están directamente asociadas a las condiciones climatológicas de la ubicación dónde se desea instalar los paneles, es decir, influira notablemente la cantidad de lluvia, viento, trasiego de aves con deposición de excrementos en la zona... que se depositen sobre los paneles solares, pudiendo reducir la superficie de captación, o en su defecto, suponer un incremento en la limpieza de la instalación, traduciéndose en un sobrecoste.

Por otro lado, será influyente la inclinación de los paneles, teniendo los de tipo vertical unas pérdidas menores, como es lógico por el efecto de la gravedad, que los de tipo horizontal, siendo la geometría más perjudicada por este tipo de perdidas, ya que la deposición sobre ellos de cualquier material/excremento hace que se mantenga en el tiempo sobre la superficie de captación hasta una supervisión específica sobre ellos.

Teniendo en cuenta ambos factores, la inclinación de los paneles solares en Cádiz estará cerca de la horizontal que la vertical, y por tanto, de la deposición en el tiempo de obstáculos para los captadores solares, aunque las condiciones meteorológicas adversas no son muy características de la zona (chubascos, polvo...), más allá del viento que se genera en el cabo. Por tanto, las pérdidas por ensuciamiento se pueden contabilizar de manera aproximada como:

$$\text{Pérdidas por ensuciamiento}_{CADIZ} = 4\%$$

5.1.2.3. Pérdidas por temperatura

Las pérdidas por temperatura de los módulos fotovoltaicos son directamente proporcionales al aumento de la temperatura, teniendo una relación lineal directa entre ellos. Junto a las pérdidas por sombra, siendo prácticamente nulas en nuestro caso, se definen como una de las más significativas en el estudio de los paneles. Se definen mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pérdidas Temperatura (\%)} = K_L \cdot (T_c - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (5.2)$$

Dónde:

$K_L \rightarrow$ Pérdida % de potencia por $^\circ\text{C}$ (%/ $^\circ\text{C}$). Cuanto menor T , mejor

$T_c \rightarrow$ Temperatura de trabajo de la célula ($^\circ\text{C}$)

Esta temperatura se define a partir de la siguiente expresión:

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{NOCT - 20^\circ\text{C}}{800} \quad (5.3)$$

Dónde cada incógnita:

$T_a \rightarrow$ Temperatura ambiente de la localidad ($^\circ\text{C}$)

$G \rightarrow$ Irradiancia de la célula (W/m^2)

$NOCT \rightarrow$ Temperatura de operación nominal de la célula ($^\circ\text{C}$)

El rango de temperaturas operacional del panel solar fotovoltaico y la NOCT se encuentran en la hoja de condiciones de operación de la ficha técnica, mientras la irradiancia (STC) y el coeficiente porcentual de potencia aparece en la tabla 5.1. Adjuntando la primera, se podrá realizar el cálculo de pérdidas para el edificio de cada zona:

OPERATING CONDITIONS	
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

Tabla 5.3. Condiciones de operación del panel solar JAM72S20 [44].

Además, este tipo de pérdidas en Cádiz se deducen superiores a las de Burgos por estar estrechamente ligadas a la temperatura ambiente.

Sabiendo que la temperatura media en Cádiz a lo largo del año es de 17,9 °C a través de AEMET, a partir de la ecuación 5.3, la temperatura de la célula es:

$$T_{CADIZ} = 17,9 + 1000 \cdot \frac{45 - 20}{800} = 49,15 \text{ °C}$$

Estando dentro de los rangos de operación definidos en la tabla 5.3 por el fabricante de los paneles. Por tanto, según la ecuación 5.2, las pérdidas serán:

$$Pérdidas \text{ Temperatura Cádiz} = 0,35 \cdot (49,15 - 25) = 8,45 \%$$

Se aprecia como son las pérdidas más significativas porcentualmente hablando, siendo del orden del 10%.

5.1.2.4. Otras pérdidas

En este último apartado de pérdidas de la instalación solar fotovoltaica, se van a tener en cuenta algunas pequeñas trabas que pueden reducir la captación de los módulos:

a) Pérdidas por instalación

El principal motivo de cuantificar estas pérdidas se debe al transporte de la energía desde los módulos fotovoltaicos hasta el consumo. Obviamente, la energía captada directamente del sol muestra una serie de disipaciones a lo largo de todo el sistema eléctrico de transporte por medio del cableado, siendo prácticamente despreciables, considerando de manera arbitraria:

$$Pérdidas \text{ por instalación} = 2 \%$$

b) Pérdidas asociadas a fabricantes

En este apartado se hace referencia a las pérdidas debido a diferencias entre los valores teóricos y los prácticos. Esto quiere decir que pueden originarse módulos, inversores, cableados, reguladores... con una serie de parámetros que difieran en pequeños ordenes de unidad detectables con el tiempo, variando finalmente, y a lo largo del tiempo, los resultados respecto al modelo teórico presupuestado. Esto puede conllevar pequeñas pérdidas inferiores al 5%. Del mismo modo que las pérdidas por instalación, se va a presuponer el siguiente valor:

$$\text{Pérdidas asociadas a fabricantes} = 3 \%$$

Por último, se plantearía necesario el cálculo a las pérdidas de inversores o baterías (si finalmente se decidieran instalarlas o fueran necesarias). Estas se cuantificarán posteriormente ya que, como se ha visto en los paneles solares fotovoltaicos, resulta necesario una serie de parámetros asociados al cálculo de pérdidas dependientes del modelo escogido.

Agrupando total las pérdidas obtenidas para el posterior cálculo de la energía emitida por los paneles:

PÉRDIDAS INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA							
Lugar	Orient+Inclin	Sombras	Ensuciamiento	Temperatura	Instalación	Fabricante	Total (%)
Cádiz (A3)	0	0	4	8,45	2	3	17,45

Tabla 5.4. Pérdidas finales en función de la localización en Cádiz.

5.1.3. Distancia entre paneles solares

El siguiente paso para reducir al máximo las pérdidas será calcular la distancia óptima entre paneles según dos factores:

- Mínima distancia entre bancadas de paneles para aprovechar al máximo el espacio.
- Máxima distancia para captar sobre toda la superficie de la placa la mayor cantidad de radiación solar sin tener ninguna parte del panel oculto por la bancada inmediatamente anterior.

Para ello, se va a analizar por trigonometría la simulación de dos bancadas consecutivas de paneles respecto a la orientación del Sol, realizando el estudio en el solsticio de invierno (21 de diciembre), día en el cual la estrella se encuentra a su altura más baja, por tanto, la generación de sombras será mayor, asegurando así unas condiciones óptimas para ese día serán igual a un correcto modo de operación durante todo el año. La representación esquemática de las placas es la siguiente:

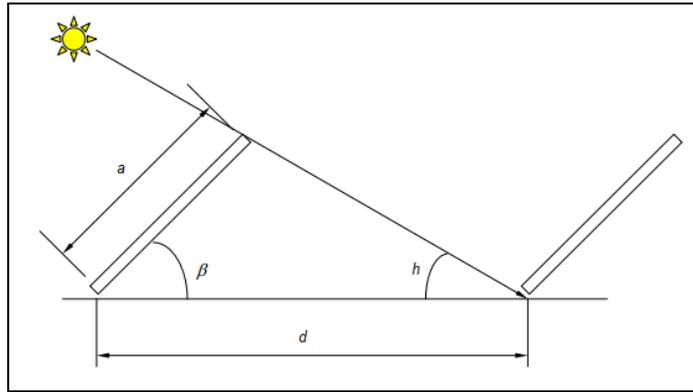


Figura 5.8 Distancia óptima entre placas solares.

A partir de trigonometría básica, la distancia adecuada entre las bancadas se puede definir mediante la siguiente ecuación:

$$d = a \cdot \cos\beta + a \cdot \frac{\sin\beta}{\tan h} = a \cdot \left(\cos\beta + \frac{\sin\beta}{\tan h} \right) \quad (5.4)$$

Definiendo cada parámetro:

$d \rightarrow$ Distancia entre paneles solares (mm)

$a \rightarrow$ Longitud panel solar (mm)

$h \rightarrow$ altura solar ($^{\circ}$)

Esta última variable se calcula a través de la expresión:

$$h = 90^{\circ} - \text{latitud } (^{\circ}) - \text{declinación 21 diciembre } (^{\circ}) \quad (5.5)$$

Sabiendo que la declinación del solsticio de invierno es igual a 23,5 grados, se puede proceder a la sustitución en la expresión 5.5 para la obtención de la altura del Sol:

$$h = 90 - 36,5 - 23,5 = 30^{\circ}$$

Obteniendo la distancia óptima entre paneles solares:

$$d = 2120 \cdot \left(\cos(36,5) + \frac{\sin(36,5)}{\tan(30)} \right) = 3788,33 \text{ mm} = 3,9 \text{ metros}$$

Antes de proceder a la representación gráfica, se ha de tener en cuenta la distancia a la que hay que separar la primera bancada de paneles del bordillo de seguridad de la fachada sur. Teniendo en cuenta que su función es la de cubierta de edificio, no estando destinada a funcionar de azotea, se va a presuponer un muro de altura 0,70 metros por razones de seguridad para cualquier operario que pueda ejercer labores de instalación y mantenimiento. Obviamente, si fuera un lugar concurrido, se debería de instalar una altura superior, pero al ser un lugar únicamente destinado a los técnicos, será suficiente.

A su vez, la altura definida permitirá la instalación de dos bancadas completas, no teniendo que recurrir a la búsqueda de alternativas más complejas Representando el muro en color marrón, el esquema será el siguiente:

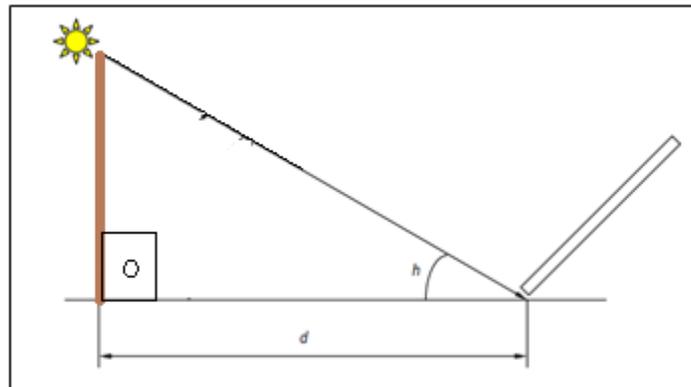


Figura 5.9. Separación óptima muro - placa solar.

$$d_{valla} = 700 \cdot \left(\cos (90) + \frac{\sin (90)}{\tan (30)} \right) = 1000 \text{ mm} = 1,21 \text{ metros}$$

Representando gráficamente los resultados obtenidos, se observa, por limitaciones de espacio, la posible instalación de dos bancadas de 9 paneles como máximo sobre el suelo de la cubierta del edificio. Las distancias definidas serán las siguientes:

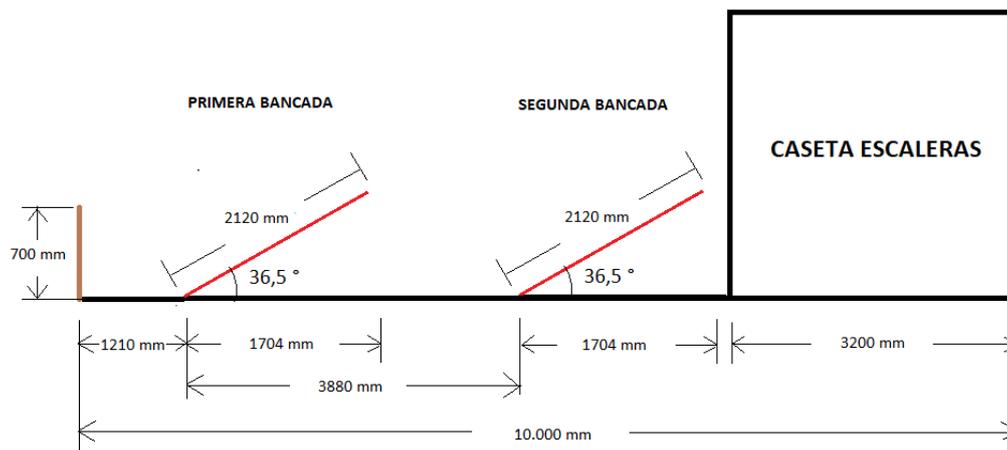


Figura 5.10. Esquema vista perfil de instalación solar fotovoltaica de Cádiz.

Pudiendo observar cómo las dos bancadas de módulos de 9 unidades entrarán sin problemas en la cubierta del edificio

La distribución final teórica será la siguiente:

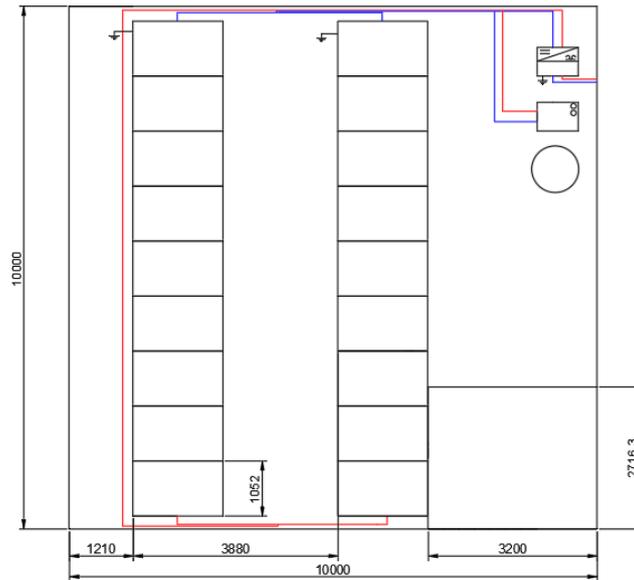


Figura 5.11. Vista de la planta de la instalación en la cubierta del edificio de Cádiz.

5.1.4. Energía generada por la instalación.

El cálculo de la energía generada por la instalación se va a realizar a partir del programa Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Este software de acceso gratuito online desarrollado por la Comunidad Científica de la UE ofrece la posibilidad de trabajar con distintos parámetros meteorológicos anuales en una zona concreta, y predecir la energía producida por una instalación de radiación solar y fotovoltaica a partir de las coordenadas de la ubicación deseada junto a una serie de parámetros específicos propios de la instalación. En primer lugar, será necesario seleccionar la ubicación de la zona de estudio:



Figura 5.12. Localización Cádiz.

A continuación, se introducirán todas las especificaciones que se han ido deduciendo a lo largo de todo el estudio para Cádiz. La potencia pico instalada se definirá como:

$$\text{Potencia pico (kWp)} = \text{Potencia pico panel} \cdot n^{\circ} \text{ paneles}$$

$$\text{Potencia pico (kWp)} = 0,45 \cdot 18 = 8,10 \text{ kWp}$$

No se incluirán las pérdidas térmicas en las totales porcentuales del sistema, ya que el sistema te las calcula de forma automática a partir de las coordenadas definidas. Añadiendo el material de los paneles fotovoltaicos, siendo silicio cristalino la tecnología fotovoltaica empleada en la construcción, junto a la inclinación y la azimut recalculadas, se podrá obtener la energía generada por las fuentes renovables:

Base de datos de radiación solar*	PVGIS-SARAH	▼
Tecnología FV*	Silicio cristalino	▼
Potencia FV pico instalada [kWp]*	8,1	
Pérdidas sistema [%]*	9	
Opciones de montaje fijo		
Posición de montaje *	Posición libre	▼
Inclinación [°]*	36,5	<input type="checkbox"/> Optimizar inclinación
Azimut [°]*	0	<input type="checkbox"/> Optimizar inclinación y azimut

Figura 5.13. Parámetros característicos de la instalación solar en Cádiz.

Obteniendo la siguiente producción energética fotovoltaica:

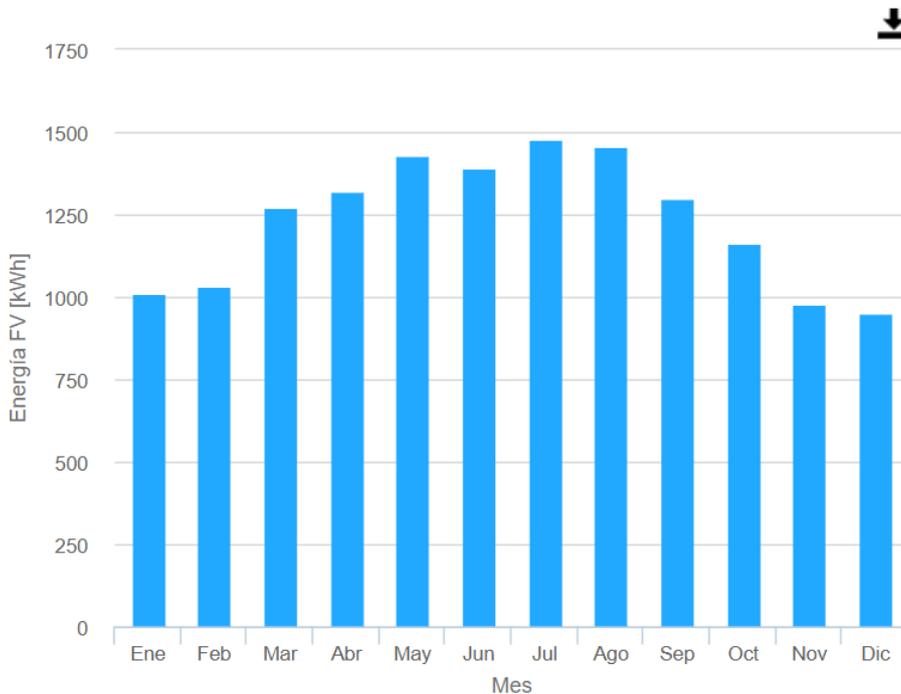


Figura 5.14. Producción energética FV en Cádiz.

Numéricamente, los resultados del gráfico 5.12 serán los siguientes:

CÁDIZ (A3)	
Mes	ENERGÍA FV (kWh)
Enero	1009,46
Febrero	1031,83
Marzo	1270,24
Abril	1323,26
Mayo	1427,56
Junio	1388,91
Julio	1478,62
Agosto	1458,26
Septiembre	1297,39
Octubre	1164,3
Noviembre	978,25
Diciembre	951,57

Tabla 5.5. Producción energética generada (kWh) por los paneles FV en Cádiz.

Siendo el resultado total final:

$$\text{Producción energética Cádiz (kWh)} = 14779.63 \text{ kWh}$$

Cumpliendo sobradamente las necesidades energéticas calculadas previamente de 107709,19 kWh únicamente con los paneles fotovoltaicos, pudiendo ser autosuficiente por medio de las fuentes renovables.

Analizando los datos individualmente para cada mes, se podría generar un problema en diciembre, ya que la producción energética de los módulos es ligeramente inferior a las necesidades energéticas demandadas por el edificio:

$$951,57 \text{ kWh (producción)} < 993,03 \text{ kWh (demanda)}$$

Por ello, será necesario llegar al mínimo de la demanda a modo de precaución. Debido a las limitaciones de espacio en la cubierta, no se podrán integrar más paneles en la superficie de la cubierta, pudiendo proponer varias soluciones: integración de paneles fotovoltaicos verticales en la fachada sur, adición de dos paneles encima del terrado de las escaleras, ya que por anchura no cabrían más, o introducción de una batería de almacenamiento de energía. Se ha optado por la segunda propuesta, ya que la diferencia entre la producción y la demanda es mínima, de modo que una pequeña batería cubrirá las necesidades sin incrementar el precio de la instalación en exceso.

Se ha optado por la integración de dos paneles solares en la superficie, considerando que será suficiente para satisfacer la producción de energía mensual del sistema fotovoltaico. Por ello, la potencia pico instalada cambiará, según la ecuación 5.6:

$$\text{Potencia FV pico (kWp)} = 20 \cdot 0,45 = 9 \text{ kWp}$$

Modificando la figura 5.10, la instalación modificada será la siguiente:

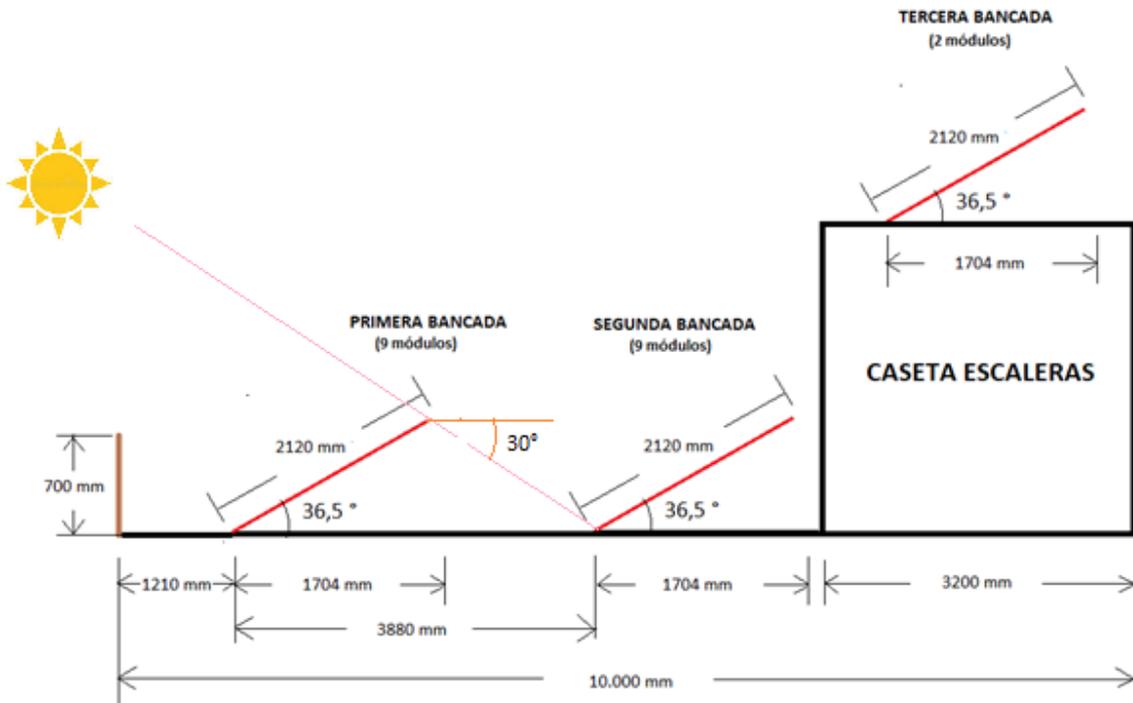


Figura 5.15. Esquema corregido vista perfil de instalación solar fotovoltaica de Cádiz.

Observando cómo se podrán instalar los dos paneles adicionales en el tejado de las escaleras sin restricciones de espacio. El motivo por el que únicamente se añadirían dos módulos estará restringido por la anchura de la caseta de las escaleras que permitirán acceder a la cubierta, siendo 2,71 metros como puede observarse en los planos del Anexo. La representación corregida de la vista de la planta será la siguiente:

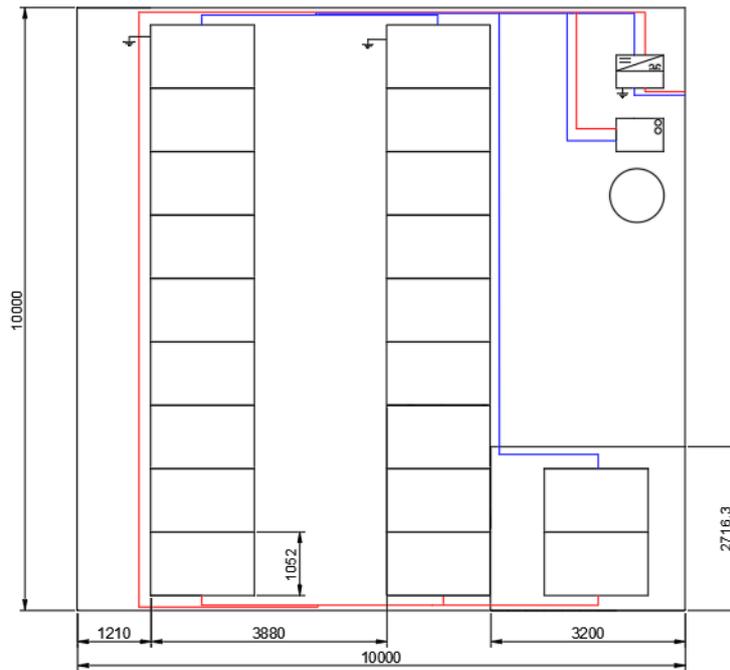


Figura 5.16. Vista de la planta de la instalación corregida en la cubierta del edificio de Cádiz.

Recalculando la producción de energía, el gráfico quedará de la siguiente forma:

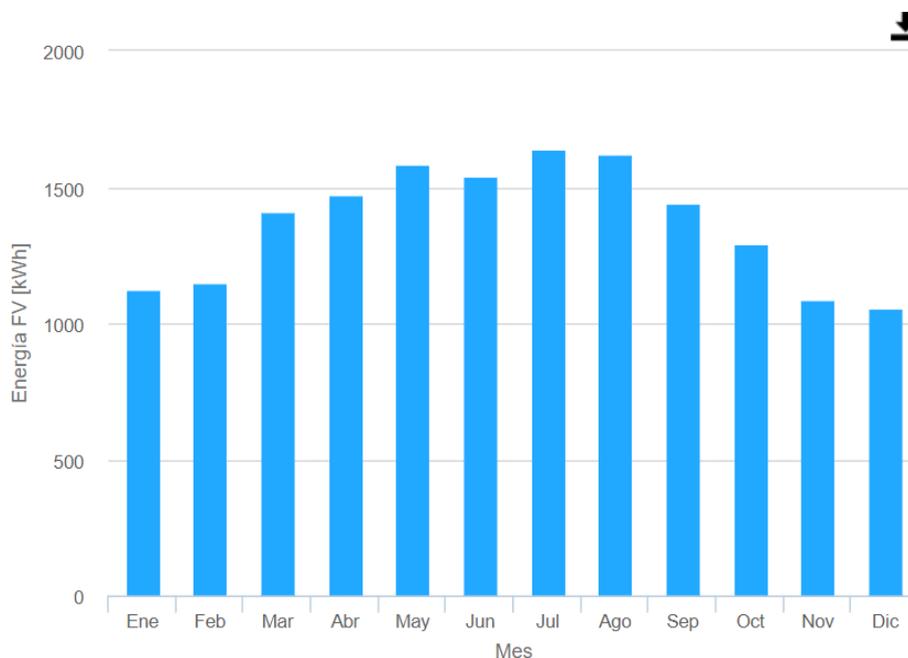


Figura 5.17. Producción energética FV en Cádiz tras la corrección.

Observando los datos obtenidos, los resultados para los doce meses individualmente serán los siguientes:

CÁDIZ (A3)	
Mes	ENERGÍA FV (kWh)
Enero	1123,65
Febrero	1146,68
Marzo	1411,79
Abril	1469,95
Mayo	1585,65
Junio	1542,62
Julio	1642,25
Agosto	1619,61
Septiembre	1441,07
Octubre	1293,95
Noviembre	1087,14
Diciembre	1057,47

Tabla 5.6. Producción energética generada (kWh) por los paneles FV en Cádiz tras la corrección.

Obteniendo como producción final:

$$\textit{Producción energética Cádiz (kWh)} = 146421,83 \textit{ kWh}$$

Respecto a los meses críticos que propiciaron la modificación de la instalación inicial, se observa como las fechas invernales en las cuales la demanda era inferior a la producción quedarán cubiertas con creces, siendo la captación de los paneles fotovoltaicos, relacionado con la producción de energía por medios renovables, superior. Por tanto, el problema quedaría solucionado en primera instancia.

Además, por motivos de cubrir una posible decadencia de la generación solar por falta de captación de la radiación debido a factores climatológicos, se va a instalar una pequeña batería monoblock de plomo abierto, agm y gel, siendo un formato bastante compacto de un solo bloque cuya instalación se haría en el espacio sobrante de la cubierta, junto a las unidades de aire, interiores y exteriores. Esta batería es la más adecuada para cubrir bajos consumos, adaptándose incluso a una futura ampliación de la instalación fotovoltaica. Además, su coste es el más bajo en el mercado. Su desventaja radica en la vida útil, siendo aproximadamente de 2 a 4 años, suponiendo unas 7/8 unidades la hora de calcular el precio de la instalación. El proveedor ha sido monsolar, siendo el modelo [46]:

Batería Monoblock Semitracción ME 12V de 150Ah a 245Ah C100



Figura 5.18. Batería Monoblock Semitracción ME 12V de 150Ah a 245Ah C100.

5.2. Bloque residencial zona E1

La selección del modelo de panel fotovoltaico será idéntica a la del edificio de Cádiz por el motivo citado en el apartado anterior. Además, permitirá realizar una comparación posterior entre las dos viviendas con módulos con el mismo precio.

5.2.1. Pérdidas de los paneles solares

5.2.1.1. Pérdidas por orientación e inclinación

Repitiendo el proceso de cálculo realizado en Cádiz, se comenzará con el cálculo de la orientación e inclinación de los paneles. Consultando en la misma web que en el caso anterior [45], las coordenadas de estudio de Burgos son:

$$\text{Burgos} \rightarrow 42.3411^\circ N \ 3.7018^\circ O$$

En este caso, la mayoría de las necesidades energéticas están previstas para los meses de invierno, ya que se demandará una mayor cantidad de ACS que Cádiz debido a las bajas temperaturas, siendo algo significativo, aunque sobre todo, existirá un elevado consumo de calefacción dentro de la climatización, cantidades prácticamente despreciables con la refrigeración en verano por las condiciones de la ciudad de Cádiz, céntrica en la Meseta, con temperaturas apacibles durante estas épocas, como puede verse en la tabla 4.60.

Por tanto, se va a introducir la corrección recomendada por la Normativa para favorecer la producción energética. A priori, la calefacción en invierno indicaría la optimización de los paneles mediante un aumento de su inclinación respecto a la latitud de la ciudad, siendo mayor la demanda que en verano. Tras consultar el software de

estudio de la demanda, el ángulo óptimo de inclinación de los paneles para Burgos será $35,5^\circ$. Esto se deberá a la climatología tan extrema de la localidad, teniendo unas elevadas necesidades en verano. Por tanto, la inclinación escogida será:

$$\beta = 35,5^\circ$$

Obteniendo gráficamente las pérdidas por sombras debido a la orientación e inclinación de los colectores:

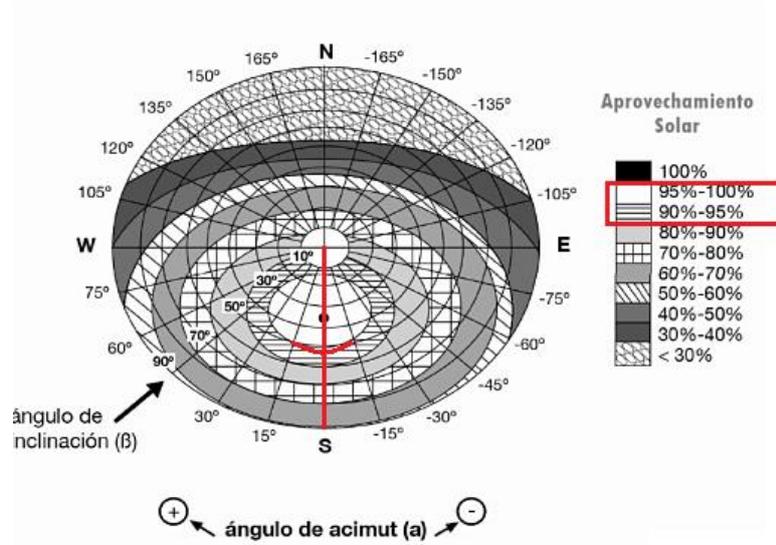


Figura 5.19. Diagrama de pérdidas por orientación e inclinación para Burgos con $\beta=52,3^\circ$ y $\alpha=0^\circ$.

Gráficamente, se aprecian unas pérdidas cercanas al 5%. Buscando la máxima exactitud, se va a recurrir de nuevo a la ecuación empírica 5.1:

$$Pérdidas = 100 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (42,3 - 35,5)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0^2 = 0,55 \%$$

Concluyendo unas pérdidas bastante inferiores a lo previsto según la figura, ya que unos colectores que estén perfectamente orientados hacia el sur y con una inclinación máxima de 10° respecto a la latitud del lugar va a proporcionar pérdidas por sombra inferiores al 5% siempre.

En cualquiera de los dos casos se observa que:

$$Pérdidas_{orientación+inclinación} + Pérdidas_{sombra} < 15 \%$$

Tal y como exigía la normativa del CTE en la tabla 5.2.

5.2.1.2. Pérdidas por ensuciamiento

Sabiendo que la inclinación de los paneles solares en Cádiz es similar a la de Burgos, perjudicando su eficiencia ante posibles deposiciones sobre ellos, y canalizando los

factores meteorológicos en ambas localidades, caracterizándose la zona E1 por una mayor concentración de chubascos y ráfagas de vientos que puedan producir el movimiento de hojas, polvo... las pérdidas en esta localidad se van a cuantificar ligeramente superior a las de Cádiz:

$$\text{Pérdidas por ensuciamiento}_{BURGOS} = 5\%$$

5.2.1.3. Pérdidas por temperatura

Análogamente a la zona climática A3, se ha repetido el proceso a partir de la temperatura media anual ambiente en Burgos de 10,5 °C:

$$T_{CBURGOS} = 10,5 + 1000 \cdot \frac{45 - 20}{800} = 41,75 \text{ °C}$$

Obteniendo las pérdidas debido a la temperatura:

$$\text{Pérdidas Temperatura Burgos} = 0,35 \cdot (41,75 - 25) = 5,86 \%$$

Tras el cálculo de ambas localidades, se observa cómo vuelven a ser las pérdidas más significativas de todas las cuantificadas. Además, se observa el fenómeno citado en la introducción del punto respecto a la temperatura, observando como en Cádiz, donde la temperatura media anual es de casi 10 grados centígrados superior, las pérdidas suponen casi un 3% más respecto a Burgos, estando directamente relacionadas al aumento de la temperatura en el lugar de la instalación de los módulos.

5.2.1.4. Otras pérdidas

En este último apartado se volverán a cuantificar tanto las pérdidas debidas a terceros responsables de la instalación de los componente de la unidad solar fotovoltaica, como aquellas asociadas al fabricante de los paneles.

En ambos casos se ha optado por asumir el mismo valor que en el caso de Cádiz, pudiendo equiparar lo máximo posible el dimensionado de ambas instalaciones. Las pérdidas debido a la construcción de la pequeña planta en la cubierta serán iguales ya que la instalación es idéntica, aprovechando el máximo espacio disponible para la instalación de los módulos. Respecto a las pérdidas debidas al fabricante, las unidades captadoras serán exactamente el mismo modelo. Por tanto:

$$\text{Pérdidas por instalación} = 2 \%$$

$$\text{Pérdidas asociadas a fabricantes} = 3 \%$$

A modo de resumen, las pérdidas obtenidas para Burgos serán:

PÉRDIDAS INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA							
Lugar	Orient+Inclin	Sombras	Ensuciamiento	Temperatura	Instalación	Fabricante	Total (%)
Burgos (E1)	0,55	0	5	5,86	2	3	16,41

Tabla 5.7. Pérdidas finales en función de la localización en Burgos.

5.2.1.5. Distancia entre colectores

Se va a repetir el proceso análogo al realizado en Cádiz para el cálculo de la distancia entre colectores. Aplicando la ecuación 5.5 con la latitud correspondiente a Burgos, la altura solar para la ubicación será:

$$h = 90 - 42,3 - 23,5 = 24,5^\circ$$

Pudiendo calcular la distancia a partir de la ecuación 5.4:

$$d = 2120 \cdot \left(\cos (35,5) + \frac{\sin (35,5)}{\tan (24,5)} \right) = 4404 \text{ mm} = 4,40 \text{ metros}$$

La separación entre la primera bancada de módulos solares y la barra de seguridad de la cubierta sufrirá una ligera modificación debido al ángulo de incidencia solar:

$$d_{valla} = 800 \cdot \left(\cos (90) + \frac{\sin (90)}{\tan (24,5)} \right) = 1229 \text{ mm} = 1,23 \text{ metros}$$

A diferencia del caso anterior, no será posible establecer las dos bancadas de 9 paneles solares ya que el terrado de las escaleras no permitirá que entren los 18 módulos al incrementarse la distancia mínima para la eficiencia total entre las dos bancadas. Por ello, los dos últimos se dispondrán encima de las escaleras internas del edificio para no perder superficie captadora. La representación esquemática del tejado teniendo en cuenta las limitaciones de espacio serán las siguientes:

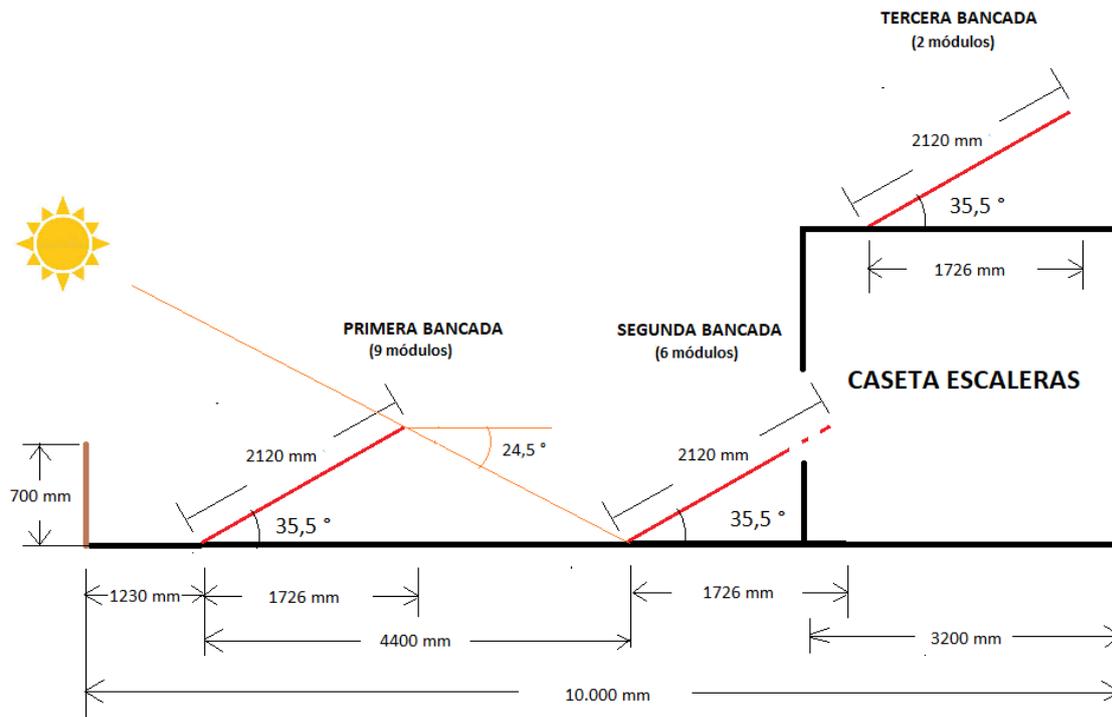


Figura 5.20. Esquema vista perfil de instalación solar fotovoltaica de Burgos.

Observando las limitaciones de espacio en el tejado. Se ha representado la segunda bancada con un tramo discontinuo, indicando la imposibilidad de instalar la bancada de 9 colectores por completo. Por ello, únicamente se podrán instalar los 6 primeros módulos, ya que la anchura de 2.7 metros del terrado para acceder al interior del edificio afecta directamente a los 3 últimos módulos. Además, se procederá a la integración directa de la tercera bancada de los dos módulos sobre las escaleras, tal y como se realizó en la corrección en Cádiz. Por tanto, la vista desde arriba del edificio será:

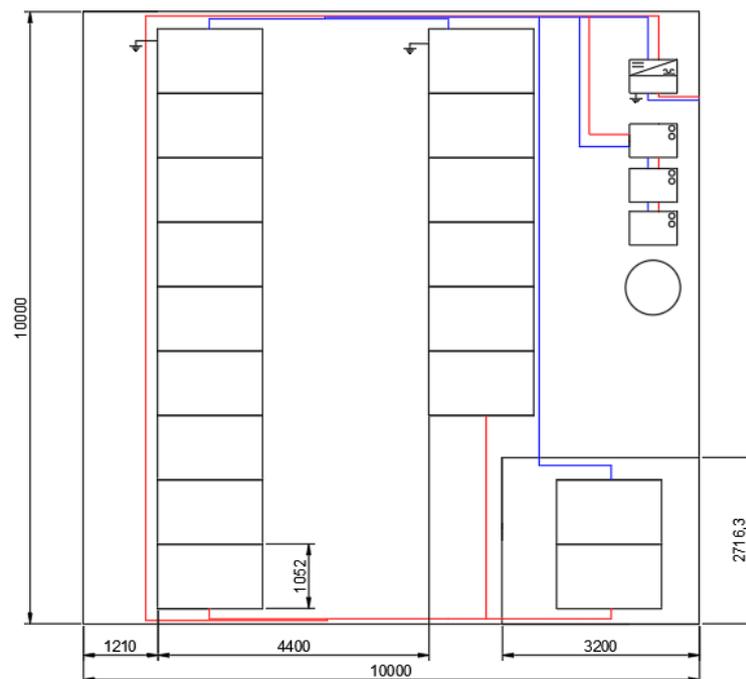


Figura 5.21. Vista de la planta de la instalación en la cubierta del edificio de Burgos.

5.2.2. Energía generada por la instalación.

Para el cálculo de la energía generada por la instalación solar fotovoltaica en Burgos se empleará de nuevo el software PVGIS. De nuevo, se comenzará por la definición de la localización a partir de la latitud y longitud del emplazamiento:

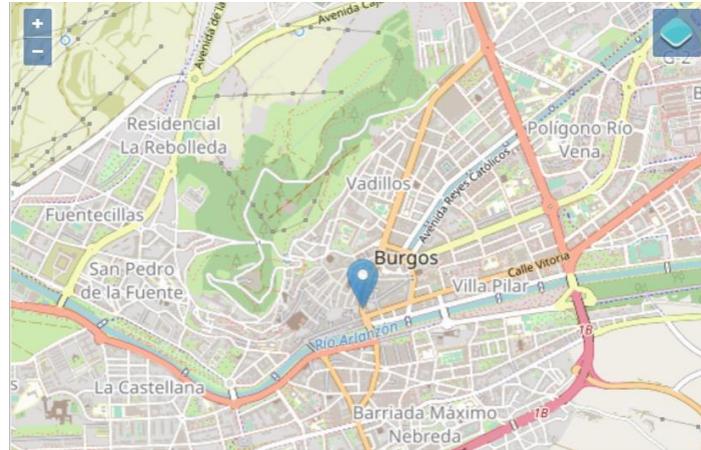


Figura 5.22. Localización Burgos.

Definiendo la potencia pico a partir de la ecuación 5.6, teniendo en cuenta que se instalarán 17 paneles solares:

$$\text{Potencia pico (kWp)} = 0,45 \cdot 17 = 7,65 \text{ kWp}$$

A continuación, se va a definir las pérdidas del sistema y las opciones del montaje fijo. Se ha de recordar que las pérdidas térmicas no se tendrán en cuenta a la hora de definir el sistema, ya que el propio programa las calcula en función de la localización. La inclinación de los paneles y el azimut se han calculado en los apartados previos:

Base de datos de radiación solar*	PVGIS-SARAH	▼
Tecnología FV*	Silicio cristalino	▼
Potencia FV pico instalada [kWp]*	7,65	
Pérdidas sistema [%]*	10	
Opciones de montaje fijo		
Posición de montaje*	Posición libre	▼
Inclinación [°]*	35,5	<input type="checkbox"/> Optimizar inclinación
Azimut [°]*	0	<input type="checkbox"/> Optimizar inclinación y azimut

Figura 5.23. Parámetros característicos de la instalación solar en Burgos.

Previamente al cálculo de la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos, se va a recordar la demanda necesaria a satisfacer por esta fuente renovable mensualmente y anual:

CONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO (kWh)	
Mes	TOTAL
Enero	723,38
Febrero	650,43
Marzo	716,85
Abril	687,40
Mayo	704,61
Junio	696,05
Julio	828,06
Agosto	818,40
Septiembre	703,03
Octubre	704,77
Noviembre	693,72
Diciembre	720,11

Tabla 5.8. Consumo solar fotovoltaico en Burgos.

Siendo el total:

$$\text{Consumo energético solar fotovoltaico} = 8646,81 \text{ kWh}$$

La instalación solar fotovoltaica ofrecerá, mes a mes, la siguiente capacidad de captación:

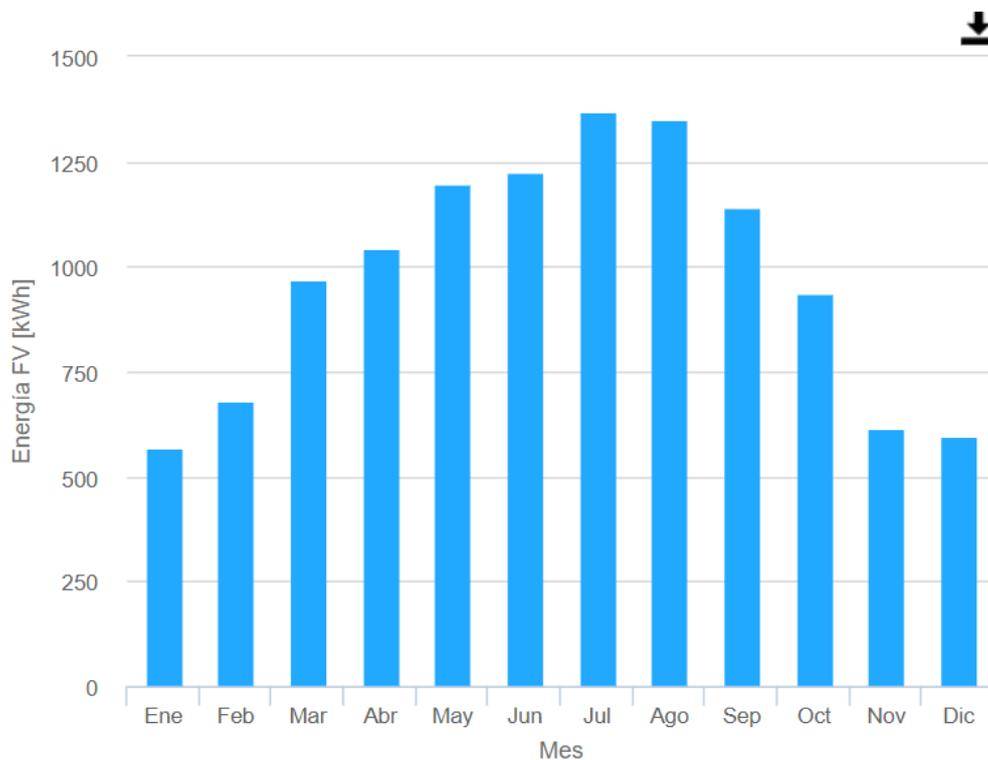


Figura 5.24. Producción energética FV en Burgos.

Extrapolando los resultados obtenidos por el programa a una tabla para tener constancia de la producción mensual:

BURGOS (A3)	
Mes	ENERGÍA FV (kWh)
Enero	567,27
Febrero	680,89
Marzo	968,51
Abril	1041,22
Mayo	1195,04
Junio	1225,21
Julio	1369,53
Agosto	1349,86
Septiembre	1140,74
Octubre	935,34
Noviembre	615,40
Diciembre	597,69

Tabla 5.8. Producción energética generada (kWh) por los paneles FV en Burgos.

Siendo la producción total la suma de la energía generada mes a mes:

$$**Producción energética Burgos (kWh) = 11686,72 kWh**$$

Analizando los datos obtenidos, surgen una serie de puntos a comentar capaces de predecir tras tener una superficie de captación inferior a Cádiz. En primer lugar, destaca una diferencia superior entre el consumo y producción energética debida únicamente a los captadores solares fotovoltaicos.

$$**Consumo \ll Producción energética \rightarrow 11686,72 \ll 8646,81 kWh**$$

Por un lado, el consumo neto total es inferior a la producción, por lo que sería posible satisfacer la demanda con el aporte actual de energía solar ofrecida por los 17 paneles. El problema nace al analizar individualmente la demanda final para cada mes, viendo en los meses de invierno es notablemente superior a la generada, debiendo establecer una solución para tal impedimento.

A diferencia del caso anterior, no será posible incrementar la superficie de captación sobre la cubierta del edificio, ya que no hay metros cuadrados materiales para la instalación de más paneles solares del modelo escogido.

Pensando en las alternativas posibles, se plantea la instalación de tres paneles solares más pequeños en el terreno donde no cabían los módulos actuales para cubrir los picos de invierno, pero eso no satisfaría la enorme diferencia entre el consumo y la producción energética. Como segunda solución, se plantean las mismas ocurrencias que el caso anterior: integración de paneles solares fotovoltaicos sobre la fachada sur, de modo que capten toda la radiación a lo largo del día, o almacenamiento de energía

mediante baterías. Tras la discusión y el análisis, no se planteará como una solución debido a dos factores primordiales:

- Montaje. Dificultad en la instalación sobre una superficie vertical, no resultando práctico a la hora de integrarlo en el edificio.
- Precio. El elevado coste de colocar los paneles con su respectivo soporte sobre la fachada hace inasumible esta opción.

Por tanto, los meses de invierno (noviembre, diciembre, enero y febrero) tendrán un déficit energético, necesitando más energía de la producida por los módulos, mientras los meses de verano, donde las necesidades de climatización serán prácticamente despreciables frente a las del periodo opuesto del año, la producción será 5 veces superior a la requerida por el bloque residencial.

Por tanto, se va a recurrir a la misma solución propuesta en Cádiz: instalación de baterías adicionales que almacenen la energía sobrante de verano de manera continua para su uso en invierno.

El proceso consistiría en acumular la energía sobrante diariamente hasta invierno, de manera que los excedentes se vayan usando mientras se capta energía. Obviamente, el volumen de almacenamiento será notablemente superior que el edificio dimensionado en la zona climática A3, debiendo calcular las unidades necesarias a instalar.

En referencia al modelo escogido, se ha optado por las baterías tipo TOPZS. Estas baterías tienen una elevada capacidad de carga formadas por vasos independientes de 2V cada uno. De todas las disponibles en el mercado, son las más adecuadas para viviendas de uso continuo medias y grandes instalaciones en las cuales la duración requerida es mayor, siendo su mantenimiento necesario cada 6 meses para rellenar los vasos, teniendo una vida útil media aproximada de 15 años. Son similares a las OPZS, eligiendo el primer tipo al ser más baratas [47].

Se va a escoger el modelo de baterías más potentes dentro de los seleccionables, siendo el máximo voltaje nominal del banco posible de 48V. En concreto, se ha recurrido al mismo proveedor que los paneles solares, Autosolar, siendo el modelo escogido [48]:

Bateria Solar TAB 48V 345Ah 3 TOPZS 265.



Figura 5.29. Batería Solar TAB 48V 345Ah 3 TOPZs 265 [48].

Este tipo de batería se caracterizan por una descarga lenta durante una extensa franja temporal, siendo el principal requisito de la instalación. Cuanto menor sea la descarga, más tiempo alargará su vida útil, establecida entre 9 y 12 años.

La siguiente cuestión radica en el número de baterías que se necesitarán. Para el cálculo del número de unidades, será necesario calcular la capacidad del banco, definida mediante la siguiente ecuación:

$$C_{n_{banco}} = \frac{E_{diaria} \cdot (D_{aut} + 1)}{V_n \cdot E_{ff_{PD}} \cdot E_{ff_Q} \cdot E_{ff_{Inv}}} \quad (5.8)$$

Siendo cada parámetro:

E_{diaria} = Energía total diaria de la carga (Wh/día)

D_{aut} = Días de austeridad (poco o nada de sol) \approx 2 días

V_n = Voltaje nominal del banco (V) = 24 V

$E_{ff_{PD}}$ = Eficiencia de profundidad de descarga (%)

E_{ff_Q} = Eficiencia en convertir energía a eléctrica (%)

$E_{ff_{Inv}}$ = Eficiencia del inversor (%)

La energía total de descarga será la captada por los módulos solares. El objetivo de las baterías no es almacenar toda la recibida, ya que servirá diariamente de alimentación al bloque. Por ello, y gracias a la sobredimensión de la instalación será suficiente con 1/3 de la energía total captada:

$$E_{diaria} = \frac{8646,81 \text{ (kWh/año)}}{3} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{1000 \text{ (Wh)}}{1 \text{ (kWh)}} = 7897 \text{ Wh}$$

Respecto a las distintas eficiencias, las dos primeras vendrán definidas por la ficha técnica de la batería, mientras la del inversor suele oscilar en un 95%:

$$E_{ff_{PD}} = 80 \%$$

$$E_{ff_Q} = 90 \%$$

$$E_{ff_{Inv}} = 95 \%$$

Despejando de la ecuación 5.8:

$$C_{n_{banco}} = \frac{27546 \cdot (2 + 1)}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 1443 \text{ Ah}$$

Pudiendo definir el número de baterías mediante la siguiente expresión:

$$N_{bt} = \frac{V_{n_{banco}} \cdot C_{n_{banco}}}{V_{n_{batería}} \cdot C_{n_{batería}}} \quad (5.9)$$

Debiendo obtener el voltaje y la intensidad de corriente de la batería, ambos parámetros definidos en el propio nombre de la unidad de almacenamiento:

$$N_{bt} = \frac{24 \cdot 1443}{48 \cdot 345} = 2,17$$

Aproximando al número inmediatamente superior al no poder obtener un 30% de una batería, suponiendo así el caso más pesimista:

Número de baterías solares Burgos → 3 unidades

Consultando las dimensiones de la batería en la ficha técnica, se observa que cabrían sobradamente junto a las unidades de ventilación y climatización, teniendo más de 7 metros para su instalación:

$$\text{Dimensiones batería} = L \cdot A \cdot H = 198 \cdot 83 \cdot 472 \text{ (mm)}$$

$$\text{Longitud 3 baterías} \approx 1416 \text{ mm} = 1,5 \text{ m}$$

A continuación, se va a definir la disposición de estas baterías:

$$\text{Baterías en serie} = \frac{V_{trabajo}}{V_n} = \frac{24}{48} = 0,5 \approx 1 \text{ u. en serie} \quad (5.10)$$

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{N_{tb}}{\text{Baterías en serie}} = \frac{3}{1} = 3 \text{ u. en paralelo} \quad (5.11)$$

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE COSTE. RENTABILIDAD DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se va a proceder al cálculo de la rentabilidad de cada una de las instalaciones solares fotovoltaicas instaladas en los dos edificios de estudio.

Para el cálculo se calculará el beneficio producido entre el autoconsumo por medio de los paneles frente a la conexión a la red a través del análisis de caja de flujos (Cash Flow) en un determinado periodo de tiempo:

$$\textit{Tiempo de análisis} = 20 \text{ años}$$

La inversión inicial predice que el edificio NETZero no será rentable los primeros años, ya que se deberá realizar una inversión inicial importante para la instalación de todos los componentes, siendo en Burgos una cuantía importante. La inversión comenzará a ser rentable en el momento que el balance sea positivo. Como criterios de inversión representativos, se emplearán el Valor Actual Neto (VAN), correspondiendo al valor presente de los flujos de caja netos originados por una inversión, y la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), siendo el rendimiento futuro previsto de la inversión.

En primer lugar, será necesario definir los parámetros necesarios relacionados con la energía conectada a la red, estando algunos fijados por la legislación actual.

Comenzando con el precio del kWh en España en 2020, se va a calcular a partir de la media de las 24 horas diarias, ya que no es un valor constante a lo largo del día. Para ello, se ha consultado la web de TarifaLuzHora [49], la cual aporta la variación de coste

a lo largo del día. En la siguiente tabla se muestran los precios para cada intervalo de una hora:

Precio kWh en España (2020)	
Hora	Euro por kWh
00-01	0,10061
01-02	0,09467
02-03	0,09409
03-04	0,09425
04-05	0,09458
05-06	0,09526
06-07	0,09946
07-08	0,10703
08-09	0,1054
09-10	0,10446
10-11	0,10311
11-12	0,10248
12-13	0,10248
13-14	0,1026
14-15	0,10019
15-16	0,10343
16-17	0,10449
17-18	0,10895
18-19	0,11095
19-20	0,11083
20-21	0,1123
21-22	0,11168
22-23	0,1093
23-24	0,1092

Tabla 6.1. Precio del kWh en España en 2020 [49] .

Pudiendo calcular el valor promedio:

$$\text{Precio kWh España 2020} = 0,1034 \text{ €/kWh}$$

Seguidamente, se calculará el impuesto eléctrico, aplicándolo al consumo de la factura de la luz:

$$\text{Impuesto eléctrico 2020} = 5,1127 \%$$

Además, se plantea necesario la variación anual del Índice de Precios de Consumo (IPC), obteniendo el rango de valores del presente año mediante el informe realizado en septiembre por el Instituto Nacional de Estadística [50]:

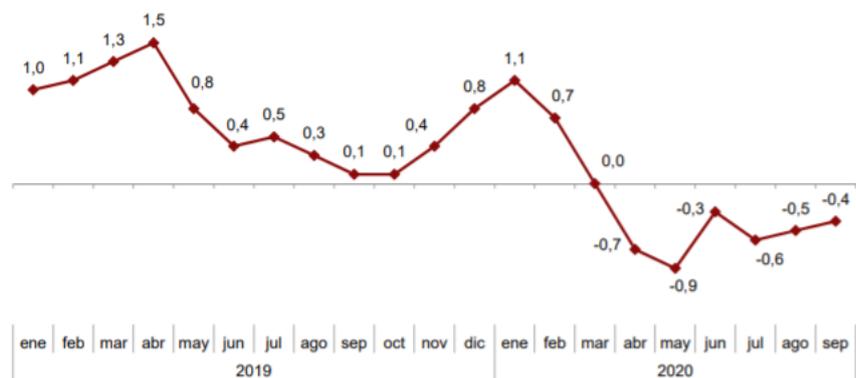


Figura 6.1. Variación del IPC en España en 2020 Estadística [50].

Tomando la media de los nueve meses presentes en la figura 6.1, más una variación al alza de 0,3 % suponiendo un crecimiento en los meses restantes para postularnos en la posición más pesimista

$$IPC \approx 0,9 \%$$

Por último, se deberá aportar el valor de la inflación energética, existiendo un abaratamiento en los últimos años:

$$Inflación\ energética \approx 2 \%$$

Se adjunta una tabla para recopilar todos los parámetros necesarios para el cálculo del supuesto consumo eléctrico en cada zona climática:

Parámetros consumo eléctrico	
Tiempo análisis	20 años
Precio kWh	0,1034
Impuesto eléctrico	5,11%
IPC	0,90%
Inflación energética	2%

Tabla 6.2. Parámetros reseñables para el cálculo del consumo eléctrico.

Seguidamente, se va a proceder a la estimación del precio de los diferentes componentes de cada una de las dos instalaciones propuestas.

6.1. Bloque residencial zona A3

En primer lugar, se va a recopilar, a partir de las diferentes páginas consultadas con los proveedores escogidos para el abastecimiento de las unidades a instalar, el precio de los componentes necesarios para la planta de Cádiz, pudiendo consultar todos ellos en las diferentes web.

Previamente a la recopilación de datos, será necesario definir un inversor para la instalación, escogiendo el mismo proveedor que el de los paneles solares, AutoSolar, de la marca Fronius [51]:

Inversor Conexión a Red Fronius Eco 17,5 kW

Siendo la potencia instalada suficiente para satisfacer las necesidades demandadas. Destaca por su funcionamiento para el autoconsumo de pequeña potencia en instalaciones para tejado, permitiendo interconectarse a la red eléctrica sin necesidad de baterías. Su aspecto es el siguiente:



Figura 6.2. Inversor conexión a red Fronius [51].

Estimando un precio medio para la mano de obra contratada para la instalación del 10% del coste para los elementos solares, y del 20% para los demás componentes, se muestran los costes estimados para el equipamiento en el edificio de la red eléctrica y energía solar fotovoltaicas.

Además, se ha escogido una estructura inclinada para orientar los paneles a las especificaciones calculadas de 2 y 3 paneles. El modelo es el siguiente [52]:

Estructura Inclinada 2/3 Paneles 60C EVE



Figura 6.3. Estructura Inclinada 2/3 Paneles 60C EVE [52].

Por último, se estima un 5% del importe total de los componentes como coste material, un 10% de gastos generales, y un 1% para el coste de mantenimiento anual por parte de los técnicos.

Recopilando los precios de todos los elementos definidos:

PRECIO DE LOS COMPONENTES A INSTALAR (BURGOS)			
Componente	Unidades	Precio	Total (euros)
Instalación			
Paneles solar fotovoltaicos	20	184,72	3694,40
Soporte de inclinación 2 módulos	1	152,90	152,90
Soporte de inclinación 3 módulos	6	161,70	970,20
UTA	1	1936,71	1936,71
Unidad Interna	3	1349,00	4047,00
Unidad Externa	3	1446,00	4338,00
Bomba Calor ACS	3	714,99	714,99
Caja de ventilación del garaje	1	308,55	308,55
Extractor de baño	5	91,00	455,00
Baterías	5	200,00	1000,00
Inversor	1	3031,24	3031,24
Gastos totales de los componentes			20648,99
Mano de obra de paneles y soporte	10%	501,75	501,75
Mano de obra de demás componentes	20%	2966,30	2966,30
Gastos totales de la inversión			3468,05
Gasto inversión			24117,04
Gastos			
Coste material	5%		1205,85
Gastos generales	10%		2411,70
Mantenimiento anual	1%		241,17
Gastos totales			3858,73
SUMA FINAL			27975,76

Tabla 6.3. Precio fraccionado de la instalación de Cádiz.

Recalcar las 5 unidades de las baterías escogidas, prediciendo la cantidad en función de la vida útil de las mismas (aproximadamente 4 años). Al presuponer un estudio de 20 años, se necesitará esa cantidad de baterías, dejando las cuatro restantes en el almacén para su sustitución cuando sea necesario.

Pudiendo concluir:

$$\text{Gasto de los componentes} = 20648,99 \text{ €}$$

$$\text{Gastos totales de la instalación} = 27975,76 \text{ €}$$

Deduciendo el gasto de inversión inicial del primer año, definido como:

$$\text{Inversión inicial} = \text{Componentes} + \text{Mano de obra} + \text{Gastos} \quad (6.1)$$

$$\text{Inversión inicial} = 20648,99 + 3468,05 + 1205,85 + 2411,70$$

$$\text{Inversión inicial} = 27734,59 \text{ €}$$

Sumando la mano de obra del primer año. Determinada la inversión inicial, el siguiente proceso será el cálculo del VAN y el TIR para estimar el periodo de retorno de la instalación solar fotovoltaica, momento en el que empezará a ser rentable la propuesta.

Para ello, habrá que calcular el Ahorro Neto, definido como:

$$\text{Ahorro Neto} = \text{Coste electricidad} - \text{Mantenimiento} \quad (6.2)$$

Siendo el coste de la electricidad:

$$\text{Electricidad} = \left(\text{Demanda kWh} \cdot \text{Precio} \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)_t \cdot (1 + \text{IPC}_e) \quad (6.3)$$

Resultado al que habrá que adicionar el impuesto eléctrico:

$$\text{Coste electricidad} = \text{Electricidad} + \text{Impuesto elect} \cdot (1 + \text{IPC}_e) \quad (6.4)$$

Definido el Ahorro Neto mediante la ecuación 6.2, será posible definir el Valor Neto para cada año, necesario para los cálculos posteriores:

$$\text{Valor Neto} = \text{Inversión Inicial} - \text{Coste de electricidad}_t \quad (6.5)$$

El resultado para los 20 años se muestra en la siguiente tabla:

VALOR NETO CÁDIZ																					
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Inversión	-27975,76																				
Coste inicial GN	16883,21	17167,84	17511,19	17861,42	18218,64	18583,02	18954,68	19333,77	19720,45	20114,85	20517,15	20927,50	21346,05	21772,97	22208,43	22652,59	23105,65	23567,76	24039,11	24519,90	
Mantenimiento		241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17	241,17
Ahorro neto	17072,38	17409,01	17752,36	18102,59	18459,81	18824,19	19195,65	19574,94	19961,62	20356,02	20758,32	21168,67	21587,22	22014,14	22449,60	22893,76	23346,82	23808,93	24280,28	24761,07	
Valor neto	-10903,38	6505,62	24257,98	42360,57	60820,38	79644,57	98840,42	118415,36	138376,97	158733,00	179491,32	200659,99	222247,20	244261,34	266710,93	289604,70	312951,51	336760,44	361040,72	385801,79	

Tabla 6.4. Valor Neto de Cádiz.

Observando como el Valor Neto será negativo el primer año, ya que no se habrá amortizado la inversión inicial de la instalación.

Seguidamente, se definirá el flujo de cajas actualizado “Cash Flow”:

$$\text{Cash Flow Act} = \frac{\text{Valor Neto}}{(1 + i)^t} \quad (6.6)$$

$$\text{Cash Flow Neto Act} = \frac{\text{Cash Flow Act}}{(1 + i)^t} \quad (6.7)$$

Siendo:

$$i \rightarrow \text{Tasa de interés} = 1\%$$

$$t \rightarrow \text{tiempo (año)}$$

Pudiendo calcular el VAN y el TIR:

$$VAN = Inversión\ inicial + \sum Cash\ Flow\ Neto\ Act \quad (6.8)$$

$$VAN = 0 \rightarrow TIR = i \rightarrow 0 = Inversión\ inicial + \frac{Cash\ Flow\ Act}{(1 + i)^t} \quad (6.9)$$

Obteniendo para 20 años:

VALOR NETO CÁDIZ																					
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cash flow actualizado		16903,35	17065,98	17230,27	17396,23	17563,88	17733,24	17904,31	18077,13	18251,70	18428,04	18606,18	18786,12	18967,88	19151,48	19336,95	19524,29	19713,53	19904,68	20097,76	20292,79
Neto actualizado	-27976	16735,99	16729,71	16723,53	16717,43	16711,43	16705,51	16699,68	16693,93	16688,26	16682,67	16677,16	16671,72	16666,37	16661,08	16655,87	16650,73	16645,66	16640,65	16635,72	16630,85
Tasa de descuento	1%																				
VAN	-11568	4830,53	20737,41	36320,22	51583,98	66533,60	81173,96	95509,83	109545,94	123286,94	136737,42	149901,90	162784,85	175390,65	187723,65	199788,11	211588,24	223128,19	234412,06	245443,88	

Tabla 6.5. Valor Actual Neto de Cádiz.

Concluyendo tras el estudio para 20 años:

Parámetros financieros	
VAN	245443,88
TIR	60%
Payback	2 años

Tabla 6.6. Parámetros representativos de la inversión de la instalación en Cádiz.

Interpretando los resultados obtenidos, se deduce una gran rentabilidad en la instalación solar fotovoltaica en Cádiz. Tras la importante inversión inicial, el bloque residencial verá un periodo de retorno de inversión “payback” tras los dos primeros años, llegando a 250.000 euros a los 20 años de ahorro.

Respecto a la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), el parámetro se sitúa en un 60%, siendo un resultado muy positivo, indicando un rendimiento futuro esperado de dicha inversión óptimo, implicando en el supuesto planteado una oportunidad única para invertir en el proyecto.

6.2. Bloque residencial zona E1

Análogamente al caso anterior, se va a repetir el proceso de cálculo del VAN, TIR y payback. En primer lugar, será necesario determinar los parámetros del consumo eléctrico definidos en la tabla 6.2, siendo idénticos al estar los precios unificados para todo el territorio español.

Además, el inversor y los soportes para los paneles empleados serán el mismo modelo que el del punto anterior, variando únicamente las baterías empleadas en lo que se refiere a la instalación solar fotovoltaica.

En contraposición, se deberá de tener en cuenta la adición de la caldera de biomasa y sus respectivos equipos al cálculo de la rentabilidad de la instalación, junto a la caseta que habría que adicionar en el exterior del edificio como sala de máquinas.

Normalmente, se suele dimensionar a partir de la potencia pico calculada para la caldera, siendo la ecuación de definición la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Inversión Caldera} &= (880 \cdot P_c^{0,87}) \\ \text{Inversión Caldera} &= (880 \cdot 15,65^{0,87}) = 9631,86 \text{ €} \end{aligned} \quad (6.9)$$

Pudiendo calcular la inversión de la instalación como el doble de la inversión de la caldera:

$$\begin{aligned} \text{Inversión instalación} &= \text{Inversión Caldera} \cdot 2 \quad (6.10) \\ \text{Inversión instalación} &= 9631,86 \cdot 2 = 19263,72 \text{ €} \end{aligned}$$

Dónde se tendrán en cuenta los costes de instalación de los equipos, el transporte de la materia prima cada quincena para la caldera, y cualquier otro proceso secundario a realizar.

Se deberá de contar con la mano de obra mensual, en torno al 10% del total, y la sala de máquinas, cuyo coste se adicionará no entrando en la inversión de la instalación debido a la construcción con las condiciones personalizadas y el aislamiento adecuado para las necesidades requeridas.

Por último, será necesario conocer el IPC de la biomasa, el cual se tendrá en cuenta en el coste de la astilla:

$$IPC_{BIOMASA} = 3\%$$

Como puede verse a continuación:

$$\text{Coste Biomasa}_i = \text{Coste Biomasa}_{i-1} \cdot \left(1 + \frac{IPC_{BIOMASA}}{100} \right) \quad (6.11)$$

Se comenzará siguiendo el procedimiento análogo al caso anterior. Se mostrará una tabla con los precios de instalación de los diferentes componentes de cada una de las dos fuentes renovables detalladamente (los costes de astilla se tendrán en cuenta en el análisis de rentabilidad), adicionando los gastos de cada uno de manera individual, agrupando todos los costes finalmente. Posteriormente, se calculará el VAN y la TIR con un despliegue de los costes y ahorros producidos con la nueva forma de generación.

En la siguiente tabla se anotarán todos los costes de cada uno de los componentes por las unidades necesarias a instalar:

PRECIO DE LOS COMPONENTES A INSTALAR (BURGOS)			
Componente	Unidades	Precio	Total (euros)
Instalación solar fotovoltaica			
Paneles solar fotovoltaicos	17	184,72	3140,24
Soporte de inclinación 2 módulos	1	152,90	152,90
Soporte de inclinación 3 módulos	5	161,70	808,50
UTA	1	1936,71	1936,71
Unidad Interna	3	1349,00	4047,00
Unidad Externa	3	1446,00	4338,00
Bomba Calor ACS	1	714,99	714,99
Caja de ventilación del garaje	1	308,55	308,55
Extractor de baño	5	91,00	455,00
Baterías	9	2691,04	24219,36
Inversor	1	3031,24	3031,24
Gastos totales de los componentes solar térmica			43152,49
Mano de obra de paneles y soporte	10%	679,27	679,27
Mano de obra de demás componentes	20%	2966,30	2966,30
Gastos totales de la inversión			46798,06
Instalación biomasa			
Caldera de biomasa	1	9631,86	9631,86
Instalación adicional (tornillo sinfín, montaje, transporte...)		9631,86	9631,86
Construcción sala de máquinas	1	3000,00	3000,00
Gastos totales de los componentes biomasa			22263,72
Suma de instalaciones			
Gasto inversión (solar + biomasa)			69061,78
Gastos			
Coste material	10%		6906,18
Gastos generales	10%		6906,18
Mantenimiento anual (solar + biomasa)	2%		1381,24
Gastos totales			15193,59
SUMA FINAL			84255,37

Tabla 6.7. Precio fraccionado de la instalación de Burgos.

Hay que destacar las 9 unidades de baterías escogidas, las cuales elevan el precio de los componentes a instalar. Se calcularon 3 unidades en paralelo para cumplir la demanda energética, teniendo un periodo de vida de 7 a 8 años aproximadamente, siendo necesario adquirir el triple de baterías para cubrir el almacenamiento durante el tiempo de estudio de 20 años.

También se tuvo en cuenta el doble de coste material y de mantenimiento anual al agrupar dos instalaciones diferentes

Por tanto, aplicando la ecuación 6.1:

$$\text{Gasto de los componentes} = 69061,78 \text{ €}$$

$$\text{Inversión inicial} = 82874,13 \text{ €}$$

A lo que habrá de añadir el mantenimiento anual del primer año. Realizando el balance de manera idéntica al caso anterior, el Valor Neto para cada año se muestra en la siguiente tabla mediante la utilización de las ecuaciones aportadas en el apartado anterior, en adición a las 6.11, anotando en rojo los valores negativos:

VALOR NETO BURGOS																					
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Inversión	-82874,13																				
Coste inicial GN	16831,21	17167,84	17511,19	17861,42	18218,64	18583,02	18954,88	19333,77	19720,45	20114,85	20517,15	20927,50	21346,05	21772,97	22208,43	22652,59	23105,65	23567,76	24038,11	24516,90	
Coste BIOD	157,86	1398,39	1440,34	1483,95	1528,06	1573,90	1621,12	1669,75	1719,84	1771,44	1824,58	1879,32	1935,70	1993,77	2053,58	2115,19	2178,65	2244,01	2311,33	2380,67	
Ahorro energía	16473,55	16789,45	16770,85	16377,86	16630,59	17016,12	17333,56	17684,02	18000,60	18343,42	18682,57	19046,18	19410,35	19779,20	20164,84	20537,40	20927,00	21323,75	21727,79	22139,23	
Mantenimiento	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	1381,24	
Ahorro neto	16894,79	17160,88	17452,03	17753,10	18071,82	18390,35	18748,80	19045,26	19381,84	19724,85	20073,81	20429,41	20791,58	21160,43	21536,08	21916,64	22308,24	22704,99	23109,02	23520,47	
Valor neto	-66079,34	-48868,66	-31616,53	-15657,48	4414,34	22894,69	41519,49	60564,75	79946,58	99671,24	119745,04	140174,45	160966,04	182126,47	203662,55	225581,19	247889,42	270594,41	293703,43	317223,90	

Tabla 6.8. Valor Neto de Burgos.

Empleando las ecuaciones 6.8 y 6.9 se determinará el VAN y TIR, siendo los resultados los siguientes:

VALOR ACTUAL NETO BURGOS																					
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cash flow actualizado		16687,91	16912,74	16338,82	17066,15	1784,72	17324,54	17445,63	17587,97	17721,59	17856,47	17992,63	18130,07	18268,79	18408,79	18550,09	18692,68	18836,57	18981,76	19128,26	19276,07
Neto actualizado	-82874,13	16522,89	16481,47	16440,23	16400,23	16360,16	16320,50	16281,16	16242,20	16203,55	16165,23	16127,22	16089,51	16052,10	16014,97	15978,11	15941,52	15905,18	15868,08	15832,23	15797,60
Tasa de descuento	%																				
VAN		-66675	-50520,30	-34883,49	-19538,35	-4658,69	9941,55	24208,34	38747,51	51784,83	65065,94	78056,40	90741,85	103127,06	115217,90	127018,33	138536,44	149774,23	160737,61	171431,40	181880,36

Tabla 6.9. Valor Actual Neto de Burgos.

Obteniendo los siguientes resultados:

Parámetros financieros	
VAN	181860,36
TIR	19%
Payback	6 años

Tabla 6.10. Parámetros representativos de la inversión de la instalación en Burgos.

Se observan unos resultados más conservadores respecto al estudio del bloque residencial de Cádiz. En primer lugar, la inversión inicial es prácticamente el triple para Burgos, siendo aproximadamente 100.000 euros, significando una cuantía importante. El VAN es de 50.000 unidades inferior, mientras el TIR pasará a ser 1/3 del porcentaje total de la zona climática A3.

El periodo de retorno de inversión pasará a ser el triple, comenzando a obtener un beneficio tras los 6 años de la instalación. Aun así, el rendimiento esperado en el futuro no dejará de ser bueno, siendo también altamente recomendable la inversión de la instalación solar fotovoltaica junto a la de biomasa como se explicará en el siguiente punto de conclusiones.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

En este último punto, se van a plantear las conclusiones obtenidas en el Trabajo Final de Máster (TFM) tras su finalización:

1. Compresión de las necesidades que plantea la integración de las fuentes renovables como recurso energético frente al abastecimiento por medio de la red eléctrica con el fin de satisfacer las demandas del planeta y cumplir con los propósitos impuestos en la apuesta 20/20/20 para el presente año, establecido por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) en la Unión Europea (UE). El principal objetivo será evitar las emisiones de contaminantes y encontrar una alternativa real para el preocupante panorama que ampara a nuestra sociedad.
2. Adquisición de los conocimientos referentes a la reforma en la normativa española para favorecer la implantación de edificios desconectados a la red eléctrica, NETZero, con el fin de favorecer el autoconsumo por medio de instalación de generación de energía renovable. Se ha estudiado la evolución sufrida en el BOE en los últimos años, incrementando el apoyo del Gobierno para su inserción, sustentándolo en ayudas económicas y facilidades para el contribuyente. En adición, se ha visto la postura de los diferentes países que componen la Unión Europea, siendo Suecia un claro ejemplo de ello, observando ejemplos reales de sistemas fotovoltaicos integrados en el propio país.
3. Entender con soltura el concepto de edificio NETZero, siendo aquel en el que el balance anual de energía primaria será nulo, acompañado de un rendimiento

energético muy elevado gracias a los módulos fotovoltaicos, o en su defecto, biomasa. Para ello, se han estudiado los factores de diseño necesarios para optimizar la instalación y crear la eficiencia energética máxima posible. El edificio, independientemente de la zona de estudio, deberá de ser capaz de cubrir las necesidades normales de la instalación consiguiendo las temperaturas previstas del edificio y las necesidades de ACS.

4. Análisis del bloque residencial de partida tras la asignación de las dos ubicaciones en la Península Ibérica, siendo zonas climáticas con condiciones extremas dentro del territorio nacional. Cádiz se caracteriza por un clima cálido durante el año, correspondiendo a la zona A3, mientras Burgos se caracterizará por temperaturas más bajas y necesidades energéticas mayores a lo largo del año, correspondiendo a la zona E1. Se ha estudiado la **superficie útil, 254,54 m²**, y la ocupación de las viviendas para el cálculo de las cargas térmicas.
5. Cálculo del sistema de ventilación del edificio a partir de los locales que componen cada vivienda y el número de ocupantes que habitan en ella, obteniendo el número mínimo de renovaciones por hora, pudiendo determinar la UTA. Para ello ha sido necesario establecer el **caudal de ventilación**, siendo este **467,74 m³/h**.
6. Utilización del software CLIMA VP para el cálculo de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración en Cádiz y Burgos. Se han determinado las condiciones de la localidad y el nivel percentil para verano e invierno junto a la definición de uso residencial. La **potencia de refrigeración y calefacción** calculadas han sido **19,64 kW y 15,36 kW respectivamente para Cádiz y 10,62 kW y 28,55 kW para Burgos**, siendo resultados esperados según las condiciones climatológicas de cada emplazamiento, incrementando las cargas térmicas en Burgos en invierno ya que las necesidades de calefacción son muy elevadas, y viceversa en Cádiz para la refrigeración. Ambas potencias han permitido el cálculo de la demanda energética de cada edificio.
7. Determinación de las Unidades Exteriores (UE) e Interiores (UI) necesarias para cada bloque residencial a partir de la potencia necesaria de cada una. Se ha observado cómo Burgos requerirá unidades más potentes para cada planta al tener que satisfacer unas demandas mayores de calefacción, debiendo introducir una fuente renovable alternativa para apoyar en invierno a los paneles solares.
8. Se plantearon dos ideas como alternativa a la solar fotovoltaica: instalación de biomasa o geotermia. Tras el análisis y evaluación de ambas fuentes, se decidió suprimir la segunda opción por dos motivos: el elevado precio de instalación debido a la utilización de equipos complejos y la incertidumbre de su evolución en la actualidad. Por esto, se adicionó y dimensionó una **caldera de biomasa** alimentada por **astilla** con una potencia máxima de **15,65 kW**.

9. Asignación de la caja de ventilación más adecuada para la extracción en el garaje a partir del caudal de ventilación concurrente por el local. Se ha repetido el proceso con los extractores de los baños a partir de la climatización idónea en cada uno, realizando un estudio independiente para cada uno.
10. Cálculo de la iluminación necesaria para cada edificio a partir de la potencia demandada en función de las horas medias de sol en cada provincia, permitiendo obtener el consumo de luz final a lo largo del año.
11. Obtención, a partir de las diferentes fuentes de consumo de energía, la **demanda final para cada edificio, siendo en Cádiz 107709,19 kWh y en Burgos 53228,1 kWh**, quintuplicando las necesidades energéticas del bloque residencial, traduciéndose en un futuro dimensionado de la instalación solar fotovoltaica superior debido a las exigencias, siendo necesario la instalación de biomasa como apoyo. El reparto entre los diferentes tipos de consumo eléctrico fue para la climatización, siendo el 41 % en Cádiz y el 85 % en Burgos, correspondiendo a la mayor parte del consumo total. Seguidamente, se encontraban el ACS y la ventilación. Los demás subdivisiones mostraban valores de consumo muy similares.
12. Asignación del modelo del módulo solar fotovoltaico de la instalación, escogiendo el panel JAM72S20 450W Monocristalino de silicio, siendo unidades muy adecuadas para los edificios NETZero. Se escogió la orientación óptima de los paneles respecto a la horizontal en función de la latitud de la provincia, siendo 36,5° y 35,5° para Cádiz y Burgos, y la orientación de los módulos, alineándolos con la fachada principal del edificio hacia el sur, buscando la mayor eficiencia de captación. Además, se determinaron las distintas pérdidas que llevan asociadas los paneles: orientación e inclinación, ensuciamiento, instalación, fabricante y temperatura, siendo estas últimas las más significativas en ambos casos, asociándose directamente a la temperatura media de la zona, por tanto, más notables en Cádiz que Burgos. Se definió la distancia entre las bancadas de paneles en función de la altura solar, dependiente también de la localidad, y de la longitud del módulo, siendo mayor para Burgos, no permitiendo la instalación completa de una bancada de 9 unidades sobre la cubierta por motivos de espacio estando limitada a 6 paneles.
13. Utilización del software PVGIS para el cálculo de la energía generada para cada instalación a partir del número de paneles solares instalados, la orientación e inclinación, y las pérdidas asociadas a los módulos. Se dedujo que **20 paneles** solares para **Cádiz** sería suficiente para cubrir la demanda en el edificio desconectado de la red, **generando un total de 146421,83 kWh** al año, instalando una pequeña batería a modo de seguridad para momentos de nubosidad en la ciudad. Respecto al caso de **Burgos**, la instalación inicial tenía únicamente **17 paneles** por motivos de espacio sobre la cubierta, generando sólo

11686,72 kWh a lo largo del año, necesitando casi cinco veces más de energía para cubrir la calefacción. Se obtuvo, como mejor alternativa para cubrir la demanda, la instalación de una caldera de biomasa capaz de cubrir la demanda de calefacción restante.

14. Análisis de rentabilidad de cada una de las instalaciones. En primer lugar, se ha determinado el precio del kWh en España con los impuestos pertinentes. Seguidamente, se ha consultado el valor de los diferentes componentes de cada una de las instalaciones, determinando los parámetros financieros VAN y TIR. **El coste inicial de Cádiz sería 27734,5 € y la de Burgos 82874,13 €.** La rentabilidad del primero será inmediata, a los 2 años, con una TIR del 60%, mientras la del segundo de 6 años, siendo la Tasa Interna de Rentabilidad del 20%.
15. La instalación solar fotovoltaica será adecuada en ambas zonas climáticas del territorio español. La planta de Cádiz, tras la inversión inicial, se rentabilizará tan solo a los dos años de su construcción, ya que las condiciones climatológicas de la localidad y la poca demanda energética en comparación con otras zonas hace que sea una zona idónea para su puesta en marcha. En cambio, Burgos deberá de contar con unas mayores exigencias con dos instalaciones distintas, además de las baterías, que encarecerán bastante el precio, encontrando la inversión inicial en cuatro veces superior a la de Cádiz por la dualidad de fuentes renovables. Aun así, el retorno de la inversión se verá reflejado en 6 años, no considerándolo una cantidad de tiempo que indique que no habría que apostar por esta forma de generar energía en el edificio NETZero.
16. Se ha visto que estas instalaciones pueden ser una alternativa real a la conexión a la red para ayudar al universo y reducir, o en su defecto no contribuir aún más, con el cambio climático con una caída en las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. E. P. Nicholas Apergis, «Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: panel error correction model,» de *Energy Economics*, 2012, pp. 733-738.
- [2] I. E. Agencia, *World Energy Outlook*, 2010.
- [3] R. Estévez, «La apuesta 20/20/20 para 2020,» *Eco Inteligencia*, 2011.
- [4] «What is Net Zero?,» *World Green Building Council*.
- [5] P. T. Shanti Pless, «Getting to Net Zero,» *ASHRAE Journal*, September 2009.
- [6] D. 2. d. P. E. y. d. C. L153, «Eficiencia energética de los edificios (refundición),» de *Boletín Oficial del Estado*, 2010, pp. 13-17.
- [7] «Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and The Council,» 11 diciembre 2018.
- [8] «Qué es un Edificio Zero,» *Kömmerling, Reto*, 2 Marzo 2017.

- [9] J. Kurnitski, «How to define nearly net zero energy buildings nZEB,» *REHVA Journal*, Mayo, 2011.
- [10] D. 2. d. P. E. y. d. C. L153, «Eficiencia energética de los edificios (refundición),» de *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, 2010, p. 18.
- [11] D. d. P. y. Estudios, «Proyecto Sech-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» 16 de julio de 2011.
- [12] B. O. d. E. (BOE), «Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión,» 29 de julio de 2016.
- [13] «Código Técnico de la Edificación (CTE),» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>. [Último acceso: 18 agosto 2020].
- [14] C. S. d. I. Científicas, «Guía de Aplicación DB-HE,» 2019.
- [15] I. Sala, «Las energías renovables en edificación, ventajas y viabilidad en eólica, solar y biomasa,» *Construction21 España*, 16 de julio de 2013.
- [16] D. L. T. Elizabeth Chu, «A Brief History of Solar Panels,» *Smithsonian Magazine*, 22 de abril de 2019.
- [17] B. O. d. E. (BOE), «Ministerio Para La Transición Ecológica,» 5 de abril de 2019.
- [18] «Claves de la nueva normativa de Autoconsumo Fotovoltaico (RD 244/2019),» *Cambio Energético*, 6 abril 2019.
- [19] N. A. C. D. P. y. M. R.S. Adhikari, «Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment?,» de *2nd International Conference on Advances in Energy Engineering*, Milano, 2011, pp. 1331-1336.
- [20] M. W. S. P. K.Sudhakar, «Net-zero building designs in hot and humid climates: A state-of-art,» de *Case Studies in Thermal Engineering*, Malaysia, 2019, p. 13.
- [21] J. P. N. L. Y. W. Y. F. T. L. M. W. C. W. Xue Li, «Optimal design of photovoltaic shading systems for multi-story buildings,» de *Journal of Cleaner Production*, China, 2019, pp. 1024-1038.
- [22] Y. C. M. G. H. Y. M. A.-H. Hong Xian Li, «Energy performance and the discrepancy of multiple NetZero Energy Homes (NZEHS) in cold regions,» de *Journal of Cleaner Production*, Canada, 2018, pp. 106-118.

- [23] G. M. Georgios Tsalikis, «Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings,» de *Solar Energy*, Grecia, 2015, pp. 743-756.
- [24] J. F. Gil, «Mapa de las zonas climáticas de España,» *Certicalia*.
- [25] M. d. Fomento, «Documento Básico HE Ahorro de energía,» 20 de diciembre de 2019.
- [26] ATECYR, «Clima». Valencia.
- [27] ATECYR, Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos, Madrid, 2012.
- [28] M. d. Fomento, «Documento básico HS,» 20 de diciembre de 2019.
- [29] Sitasa, «Unidades Tratamiento Aire (UTAs),» [En línea]. Available: http://www.catalogo.sitasa.com/familias/extraccion_ventilacion/05_1.pdf. [Último acceso: 2020 octubre 05].
- [30] ATECYR, «Guía técnica de condiciones climáticas exteriores del proyecto,» 2010.
- [31] E. M. F. d. Bobadilla, «Fachas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estrañqueidad,» Murcia, 2007.
- [32] M. I. H. A. Roba Saab, «Variable-Refrigerant-Flow Cooling-Systems Performance at Different Operation-Pressures and Types-of-Refrigerants,» de *Energy Procedia*, Abu Dhabi, 2017, pp. 426-432.
- [33] S. J. C. H. C. P. I. Dongsu Kim, «Evaluation of energy savings potential of variable refrigerant flow (VRF) from variable air volume (VAV) in the U.S climate locations,» de *Energy Reports 3*, 2017, pp. 85-93.
- [34] Airzone, «¿Qué son los sistemas VRV (o VRF) de climatización?,» 13 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.airzone.es/climatizacion/que-son-los-sistemas-vrv-de-climatizacion/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2020].
- [35] Carlos, «¿Qué es un sistema de climatización VRF?,» *Nergiza*, 2014.
- [36] VRFs, «TOSHIBA,» [En línea]. Available: https://www.toshiba-aire.es/sistema-vrf-unidad-interior-conducto-estandar-serie-6#/105-uivrfconductos6-ap0076bhp1_e. [Último acceso: 2020 septiembre 29].

- [37] Toshiba, «Toshiba,» [En línea]. Available: <https://www.toshiba-aire.es/multisplit-2x1-dos-habitaciones-unidad-exterior>. [Último acceso: 2020 septiembre 29].
- [38] DW, «Biomasa y geotermia: energías renovables con futuro complejo,» [En línea]. Available: <https://www.dw.com/es/biomasa-y-geotermia-energ%C3%ADas-renovables-con-futuro-complejo/a-6225321>. [Último acceso: 2020 noviembre 23].
- [39] Froling, «Caldera de astillas y pellets,» [En línea]. Available: <https://www.froeling.com/es/productos/caldera-de-astillas-y-pellets/t4e.html>. [Último acceso: 2020 noviembre 22].
- [40] aquatermic, «TuClimatizaciónOnline,» [En línea]. Available: <https://tuclimatizaciononline.es/bomba-de-calor-para-ac-s-aquatermic-vm-100.html>. [Último acceso: 2020 octubre 02].
- [41] C. d. ventilación, «SolerPalau,» [En línea]. Available: https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_KCTR.pdf. [Último acceso: 2020 octubre 02].
- [42] A. sistemas, «Extractores aire,» [En línea]. Available: <https://www.algsistemas.com/extractores/5396-extractor-tubular-intercalar-conducto-base-mu-tt-200-9022001916327.html>. [Último acceso: 2020 Octubre 02].
- [43] S. Ledo, «Breve historia del 'impuesto al sol',» *elPeriódico*, 17 octubre 2018.
- [44] Autosolar, «Paneles solares,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc>. [Último acceso: 2020 octubre 07].
- [45] «Geodatos,» [En línea]. Available: <https://www.geodatos.net/coordenadas/espana/>. [Último acceso: 2020 octubre 06].
- [46] B. Monoblock, «Monsolar,» [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/bateria-monoblock-semitraccion-me-12v.html>. [Último acceso: 2020 octubre 17].
- [47] S. Rocket, «¿Qué tipo de batería necesitas para tu instalación fotovoltaica?,» [En línea]. Available: <http://www.dsrocket.com/que-tipo-de-bateria-necesitas-para-instalacion-fotovoltaica/>. [Último acceso: 2020 octubre 26].

- [48] Autosolar, «Bateria Solar TOPZs,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-topzs-48v/bateria-solar-tab-48v-345ah-3-topzs-265>. [Último acceso: 2020 octubre 28].
- [49] TarifaLuzHora, «Precio del kWh en España en 2020,» [En línea]. Available: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>. [Último acceso: 2020 octubre 29].
- [50] I. N. d. Estadística, «Indicador adelantado del Índice de Precios de Consumo (IPC),» 2020.
- [51] Autosolar, «Inversor,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-fronius-symo-175-3-m-175kw>. [Último acceso: 2020 noviembre 01].
- [52] Autosolar, «Estructura Inclinada,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/estructuras-suelo/estructura-inclinada-30o-3-paneles-60c-cve>. [Último acceso: 2020 noviembre 02].
- [53] M. R. Hannah Ritchie, «Renewable Energy,» *Our World in Data*.
- [54] «Energía solar fotovoltaica. Rentabilidad fotovoltaica,» *Sopelia*, 21 julio 2016.
- [55] Construmatica, «España: Zonas Climáticas por Provincia».
- [56] Valvermont, «Esquema de una instalación fotovoltaica,» [En línea]. Available: <https://medioambienteynaturaleza.com/esquema-instalacion-fotovoltaica/>. [Último acceso: 2020 octubre 06].
- [57] E. Comission, «Renewable Energy Directive,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en. [Último acceso: 2020 noviembre 18].

CAPÍTULO 9. ANEXOS

A continuación, se van a mostrar las gráficas, tablas y aclaraciones citadas a lo largo de todo el documento:

9.1. Planos del edificio y vivienda

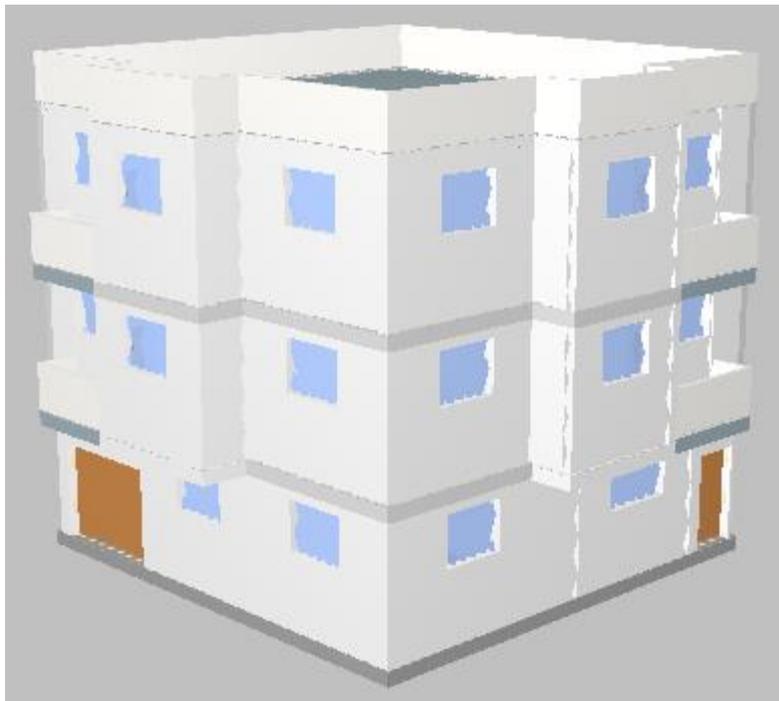


Figura 9.1. Plano del edificio residencial de estudio.

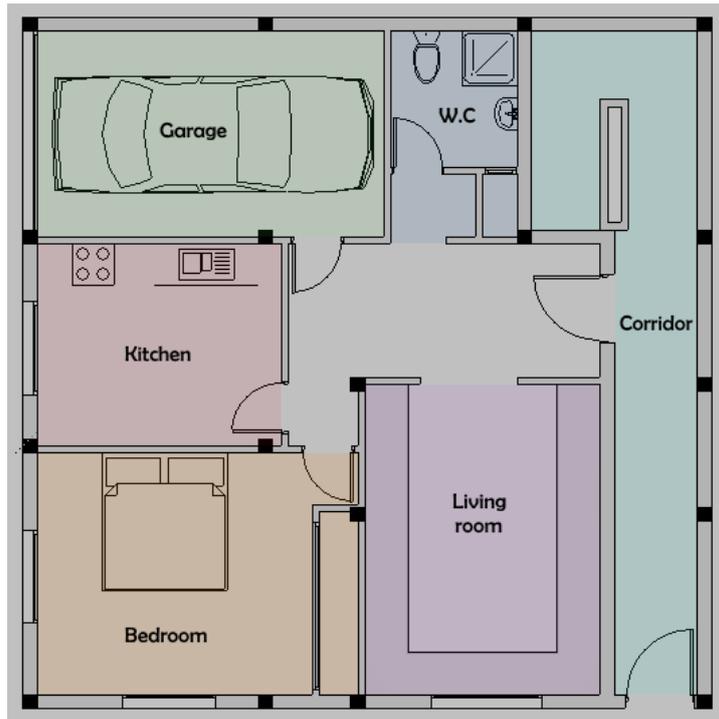


Figura 9.2. Plano de la vivienda de la planta baja.

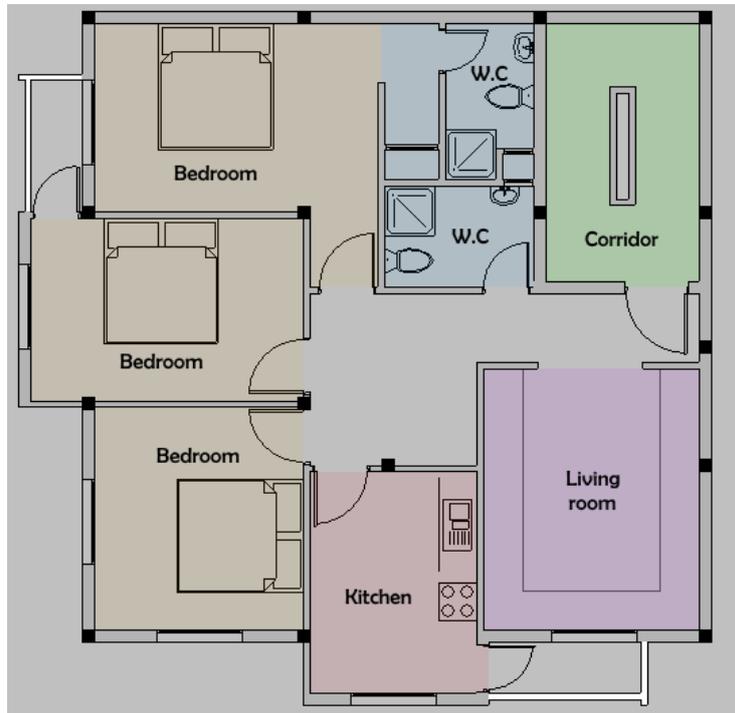


Figura 9.3. Plano de la vivienda de la primera y segunda planta.

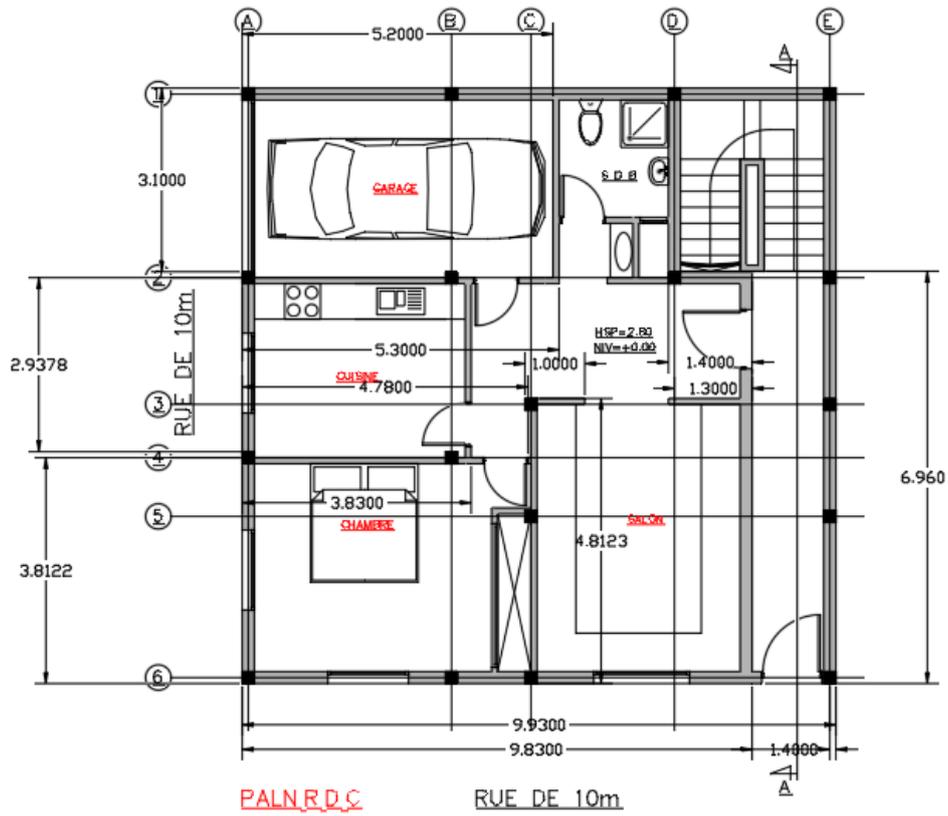


Figura 9.4. Dimensiones de la planta baja.

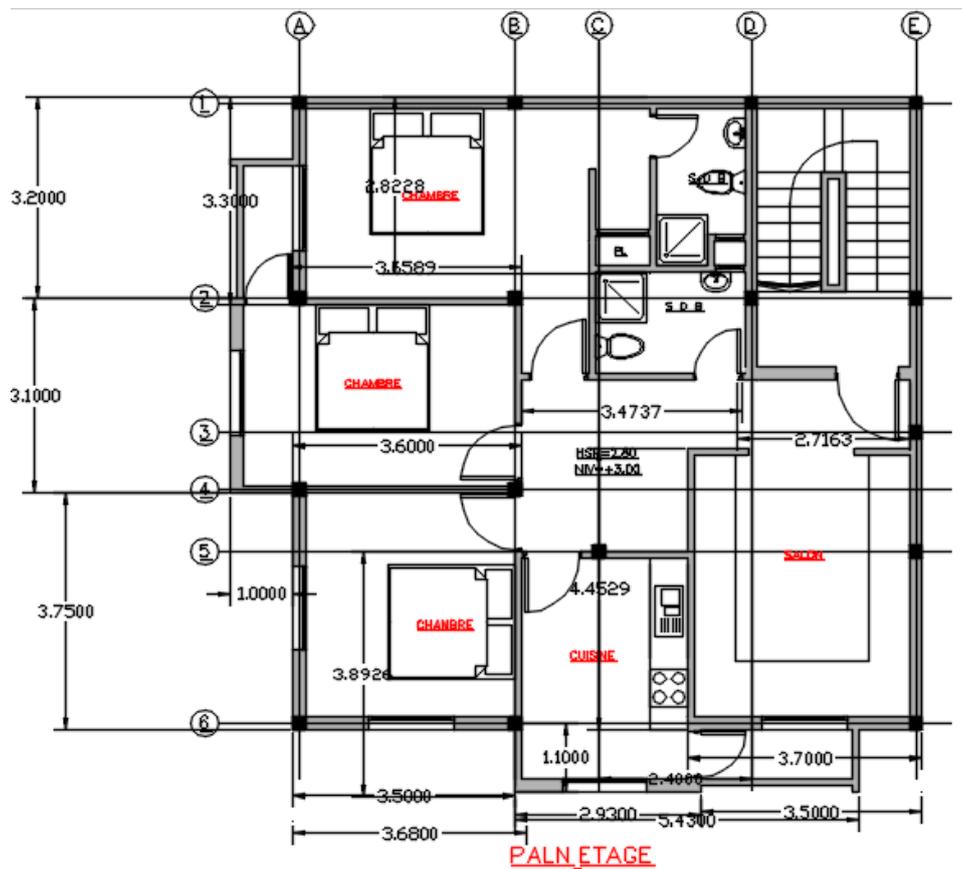


Figura 9.5. Dimensiones de la primera y segunda planta.

9.2. Planos adicionales

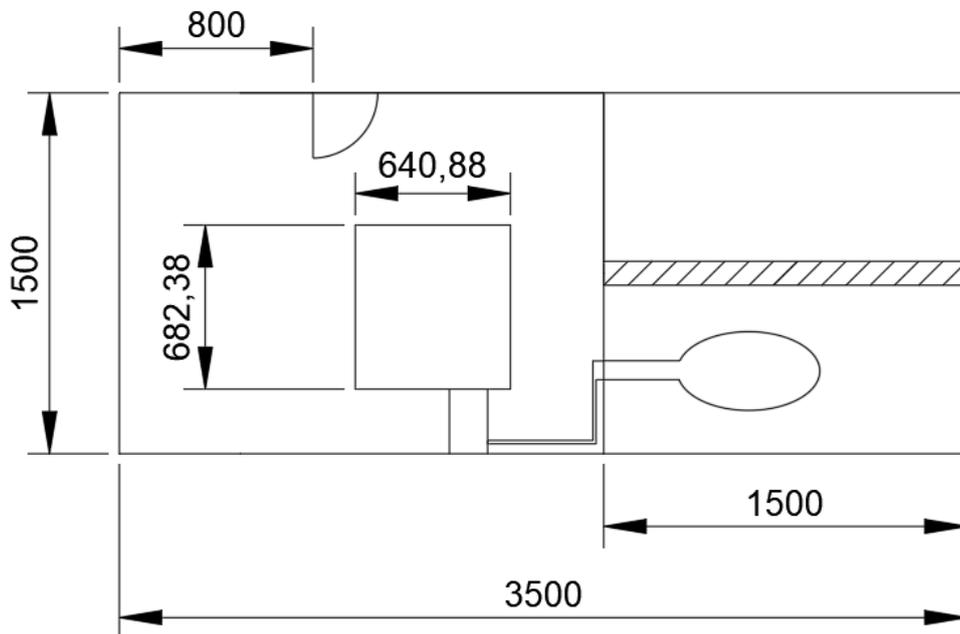


Figura 9.6. Sala de calderas de la instalación de biomasa (Burgos),

9.3. Hojas técnicas de las principales unidades instaladas

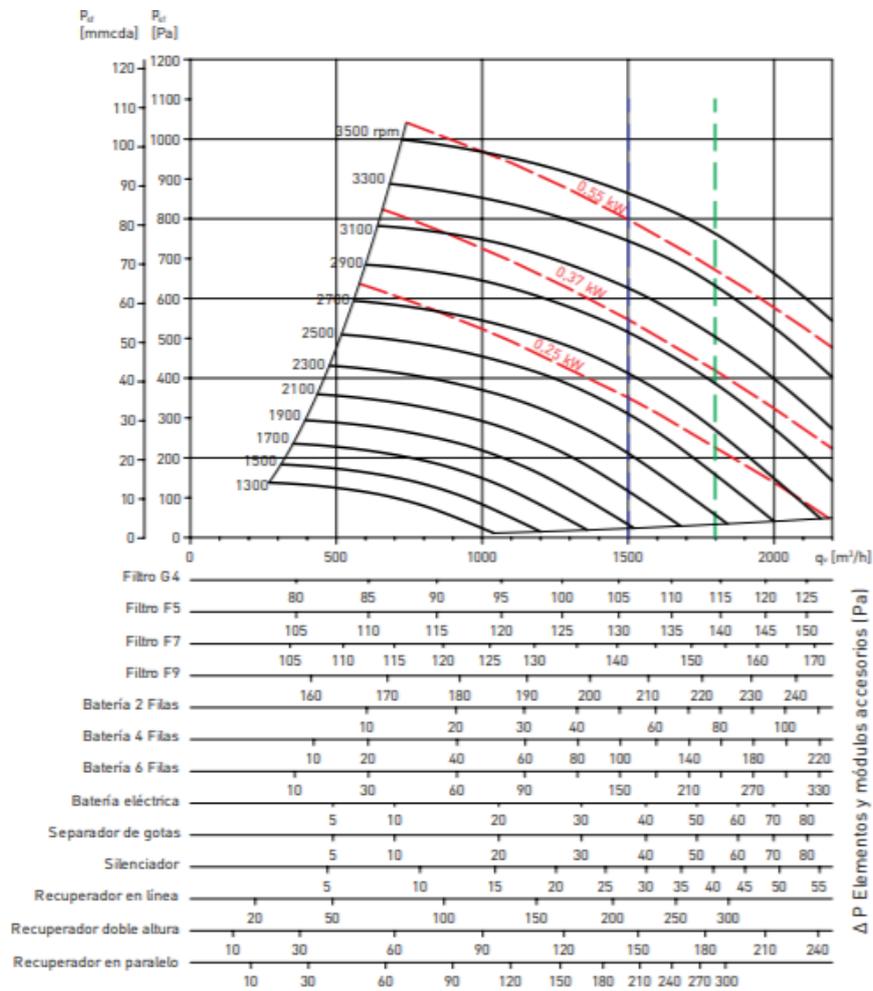


Figura 9.7. Características técnicas UTA USB-2

Batería de calor de 2 filas									
Caudal		900 (m^3/h)				1900 (m^3/h)			
T. agua (°C)	T. ext (°C)	Pot. (kW)	T. sal (°C)	Caudal agua (l/s)	P. de carga en agua (kPa)	Pot. (kW)	T. sal (°C)	Caudal agua (l/s)	P. de carga en agua (kPa)
80/60	-10	12,6	32,1	0,15	3,4	20,8	22,9	0,25	8,5
	-5	11,9	34,7	0,14	3	19,6	25,9	0,23	7,6
	0	11,1	37,1	0,13	2,7	18,3	28,9	0,22	6,7
	5	10,3	39,5	0,12	2,3	17	31,9	0,2	5,8
50/45	10	9,6	41,8	0,11	2	15,7	34,8	0,19	5
	-10	9	19,9	0,43	25	14,8	13,4	0,71	63,1
	-5	8,3	22,5	0,4	21,5	13,6	16,5	0,65	54,1
	0	7,5	25	0,36	18	12,4	19,6	0,59	45,5
	5	6,8	27,5	0,32	14,8	11,2	22,6	0,53	37,4
	10	6	29,9	0,29	11,8	9,9	25,6	0,47	29,8

Tabla 9.1. Características técnicas UTA 2 filas USB-2.

Unid. interior	MMD-	AP0076BHP1-E	AP0096BHP1-E	AP0126BHP1-E	AP0156BHP1-E	AP0186BHP1-E	AP0246BHP1-E	AP0276BHP1-E	AP0306BHP1-E	AP0366BHP1-E	AP0486BHP1-E	AP0566BHP1-E
Caudal aire (A/B)	m ³ /h	540/360	570/390	570/390	798/540	798/540	1200/870	1200/870	1260/930	1920/1380	2100/1500	2100/1500
Nivel presión sonora (A/M/B)	dB(A)	29/26/23	30/26/23	30/26/23	33/29/25	33/29/25	36/31/27	36/31/27	36/31/27	40/36/33	40/36/33	40/36/33
Dimensiones (Alt. x Anc. x Prof.)	mm	275x700 x750	275x1000 x750	275x1000 x750	275x1000 x750	275x1400 x750	275x1400 x750	275x1400 x750				
Peso	kg	23	23	23	23	23	30	30	30	40	40	40
Presión estática externa	Pa	30	30	30	30	30	40	40	40	50	50	50
Presión estática externa máxima	Pa	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Tubería gas	pulg.	3/8"	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"	5/8"	5/8"	5/8"	5/8"	5/8"	5/8"
Tubería líquido	pulg.	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
Tubo de drenaje	mm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Alimentación	V-ph-Hz	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50

Tabla 9.2. Características físicas unidad Interior modelo MMD-AP0_6BHP1-E.

Unidad exterior			Multisplit 2-estancias	Multisplit 2-estancias	Multisplit 2-estancias	Multisplit 3-estancias	Multisplit 3-estancias	Multisplit 4-estancias	Multisplit 5-estancias
			RAS-2M10U2AVG-E	RAS-2M14U2AVG-E	RAS-2M18U2AVG-E	RAS-3M18U2AVG-E	RAS-3M26U2AVG-E	RAS-4M27U2AVG-E	RAS-5M34U2AVG-E
Caudal de aire	m ³ /h - l/s	C	1863-517	1863-517	2107-585	2177-605	2508-696	2508-696	3426-951
Nivel presión sonora	dB(A)	C	45	45	47	49	48	48	52
Nivel potencia sonora	dB(A)	C	58	58	60	62	63	63	66
Rango funcionamiento	°C	C	-10/46	-10/46	-10/46	-10/46	-10/46	-10/46	-10/46
Caudal de aire	m ³ /h - l/s	H	1863-517	1863-517	2038-566	2107-585	2508-696	2508-696	3666-1018
Nivel presión sonora	dB(A)	H	46	46	50	50	49	49	55
Nivel potencia sonora	dB(A)	H	59	59	63	63	64	64	68
Rango funcionamiento	°C	H	-20/24	-20/24	-20/24	-20/24	-15/24	-15/24	-15/24
Dimensiones (HxWxD)	mm		630 x 800 x 300	890 x 900 x 320	890 x 900 x 320	890 x 900 x 320			
Peso	kg		38	43	45	46	72	72	78
Tipo de compresor			DC Single Rotary	DC Twin Rotary	DC Twin Rotary	DC Twin Rotary	DC Twin Rotary	DC Twin Rotary	DC Twin Rotary
Conexiones abocardadas - gas			1/4" x 2	1/4" x 2	1/4" x 2	1/4" x 2	3/8" x 1 + 1/2"x2	3/8" x 2 + 1/2"x2	3/8" x 3 + 1/2"x2
Conexiones abocardadas - líquido			3/8" x 2	3/8" x 2	3/8" x 2	3/8" x 2 + 1/2"x1	1/4" x 3	1/4" x 4	1/4" x 5
Long. máx. tubería (por unidad/total)	m		15/20	20/30	20/30	25/50	25/ 70	25 / 70	25 / 80
Diferencia máx. altura	m		10	10	10	10	15	15	15
Longitud de tubería precarga	m		20	30	30	50	40	40	40
Carga adicional	gr/m		—	—	—	—	20	20	20
Alimentación	V-ph-Hz		220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50

C: Modo refrigeración
H: Modo calefacción

Tabla 9.3. Características físicas unidad exterior modelo RAS-2M10U2AVG-E.

Dimensiones [mm]	20-35	45-60	80-110	200-250
H Altura de la caldera	1490	1690	1740	1950
H1 Altura total con conexión del tubo de salida de humos	1545	1745	1790	2025
H1* Conexión del tubo de salida de humos opcional	960	1160	1210	1350
H2 Altura de la conexión de alimentación	1305	1505	1545	1770
H3 Altura de la conexión de retorno con elevación del retorno integrada	955	1155	1135	1240
H4 Altura de la conexión de vaciado	210	200	180	
H5 Altura de la conexión de la válvula rotativa		615	690	
B Anchura de la caldera Anchura sin aislamiento (anchura de colocación)	640 -	800 -	1060 980	
B1 Anchura total con dispositivo de alimentación	1410	1570	1955	
B2 Anchura del dispositivo de alimentación		770	890	
B3 Distancia entre el lado de la caldera y la conexión del dispositivo de alimentación		470	610	
B4 Anchura del separador de partículas/electrofiltro (opcional)		165		
L Longitud de la caldera	1170	1270	1420	2005
L1 Longitud total	1475	1550	1795	2550
L2 Distancia de la parte posterior de la caldera a la conexión del dispositivo de alimentación	690	770	890	1310
L3 Longitud del separador de partículas/electrofiltro (opcional)		370	550	735
Diámetro del tubo de salida de humos	149	179	249	
Diámetro de alimentación/retorno de la caldera	1 1/4"	2"	2 1/2"	
Vaciado	1/2"		1"	

Tabla 9.4. Características físicas de la caldera de biomasa T4E.

Distancias mínimas [mm]	20-35	45-60	80-110	200-250
A Puerta aislada respecto a la pared	700	800	900	
B Lado de la caldera respecto a la pared		150		
C Parte posterior de la caldera a la pared		500		
D Sinfin de alimentación respecto a la pared		300		
Altura mínima de la sala	1800	2000	2100	2500

Tabla 9.5. Dimensiones y distancias mínimas sala de calderas.

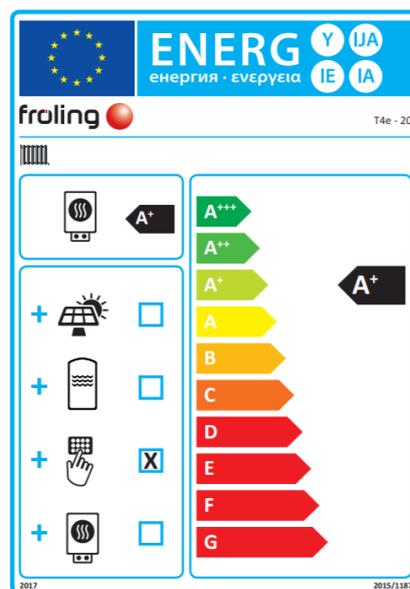


Figura 9.8. Pegatina de calidad de la caldera de biomasa T4E.

Configuración horizontal

Configuración vertical

Modelo	AH	AV	B	C	CV	D	E	F	G	H	J	M	N	P	Q	R
250	1130	1118	727	784	824	679	766	500	600	324	209	221	411	569	28	125
315	1360	1329	896	876	916	860	767	600	700	408	281	221	416	683,5	28	125
355	1490	1457	1006	990	1030	966	897	700	800	457	321	221	476	744	28	125
400	1594	1565	1120	1036	1078	1071	926	800	900	509	353	184	471	753	28	125
450	1761	1734	1191	1119	1162	1143	1130	900	1000	570	381	184	486	825	39	182
500	1919	1891	1387	1222	1264	1340	1180	900	1000	640	467	249	521	964	39	182

Tabla 9.6. Dimensiones de la caja de ventilación.

TIPO DE CELDA	VOLTAGE (V)	LxWxH (mm)	PESO (kg)	C10 (Ah) Uf=1,80V at 20 °C	C100 (Ah) Uf=1,85V at 25 °C
3 TOPzS 265	2	198x83x472	12,4/18,4	265	345
4 TOPzS 353	2	198x101x472	16/23,3	353	458
5 TOPzS 442	2	198x119x472	20,2/29	442	575
4 TOPzS 500	2	198x101x720	24,3/35,2	500	650
5 TOPzS 625	2	198x119x720	30,3/43,2	625	812
6 TOPzS 750	2	198x137x720	38,0/53,5	750	975
7 TOPzS 875	2	198x173x720	44,0/64,2	875	1137
8 TOPzS 1000	2	198x191x720	50,2/72,5	1000	1300

Tabla 9.7. Dimensiones de la batería TAB solar T-OPZS .

DATOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ máx. 1} / I_{dc\ máx. 2}$)	27 A / 16,5 A ⁵⁾		33 A / 27 A		
Máxima corriente de entrada total utilizada ($I_{dc\ máx. 1} + I_{dc\ máx. 2}$)	43,5 A		51,0 A		
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ / MPP ₂)	40,5 A / 24,8 A		49,5 A / 40,5 A		
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ mín.}$)	200 V				
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)	200 V				
Tensión de entrada nominal ($U_{dc\ n}$)	600 V				
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ máx.}$)	1.000 V				
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$)	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP	2				
Número de entradas CC	3+3				
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ máx.}$)	15,0 kW _{peak}	18,8 kW _{peak}	22,5 kW _{peak}	26,3 kW _{peak}	30,0 kW _{peak}
DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\ máx.}$)	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Coefficiente de distorsión no lineal	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.				
DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)			725 x 510 x 225 mm		
Peso	34,8 kg		43,4 kg		
Tipo de protección	IP 66				
Clase de protección	1				
Categoría de sobretensión (CC / CA) ²⁾	1 + 2 / 3				
Consumo nocturno	< 1 W				
Concepto de inversor	Sin Transformador				
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada				
Instalación	Instalación interior y exterior				
Margen de temperatura ambiente	-40 - +60 °C				
Humedad de aire admisible	0 - 100 %				
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)				
Tecnología de conexión CC	6 x CC+ y 6 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ²				
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²				
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ONORM E 8001-4712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

Tabla 9.8. Dimensiones del inversor 17,5-3-M.