Master en Energías Renovables y Medio Ambiente

Curso 2020/2021

Proyecto Fin de Máster

Transformación del Distrito de Chamberí en Distrito de Energía Positiva

Fecha: 09/2021

Tutor: Héctor Cano Esteban

Autor: Cristina Aragón Malo

0. Índice

0. Índice 2
1. Introducción 4
2. Estado del arte de los Distritos de Energía Positiva 6
2.1 Autoconsumo eléctrico colectivo: Comunidades Energéticas Locales 9
2.2 Energía térmica urbana: Redes de climatización de distrito 12
2.2 Marco normativo 15
2.2.1 Unión Europea 15
2.2.2 España 16
2.3 Ejemplos de Distritos de Energía Positiva 18
2.3.1 El caso de Dinamarca 18
2.3.2 Friburgo 22
2.3.3 Distrito 22@ 23
2.3.4 Drake Landing Solar Comunity 24
2.3.5 Madrid Nuevo Norte 26
2.3.6 Toyota Woven City 28
2.4 Análisis y conclusiones 30
3. Transformación del Distrito de Chamberí en PED 33
3.1 Estudio de la demanda energética 35
3.1.1 Cálculo de la demanda térmica 35
3.1.2 Cálculo de la demanda eléctrica 42
3.2 Sistemas de producción y distribución de energía renovable a nivel local 46
3.2.1 Generación de energía térmica: calefacción, refrigeración y ACS 47
3.2.2 Generación de energía eléctrica 71
3.3 Medidas pasivas complementarias a nivel urbano 72
3.4 Estudio económico 74
3.4.1 Presupuesto 74
3.4.2 Análisis de rentabilidad 76

3.4.3 Estudio de sistemas de financiación 79
4. Conclusiones 82
5. Bibliografía y referencias 85
5.1 Bibliografía 85
5.2 Ilustraciones 88
5.3 Tablas 91
5.4 Acrónimos 95
6. Anexos 96
6.1 Hojas de cálculo de la demanda 96
6.2 Informes de CE3X para el cálculo de la demanda energética 99
6.3 Cartografía Magna 50 en el municipio de Madrid 111
6.4 Cálculo del campo de captación geotérmico con el software EED 112
6.5 Planos 122
6.6 Fichas técnicas 123
6.7 Estudio económico 128

1. Introducción

Las ciudades juegan un papel fundamental en el contexto de la transición energética y la mitigación del cambio climático por una sencilla razón: ocupan el 3% de la superficie del planeta y, sin embargo, son responsables del 67% del consumo energético mundial, según datos de la Agencia Internacional de la Energía.

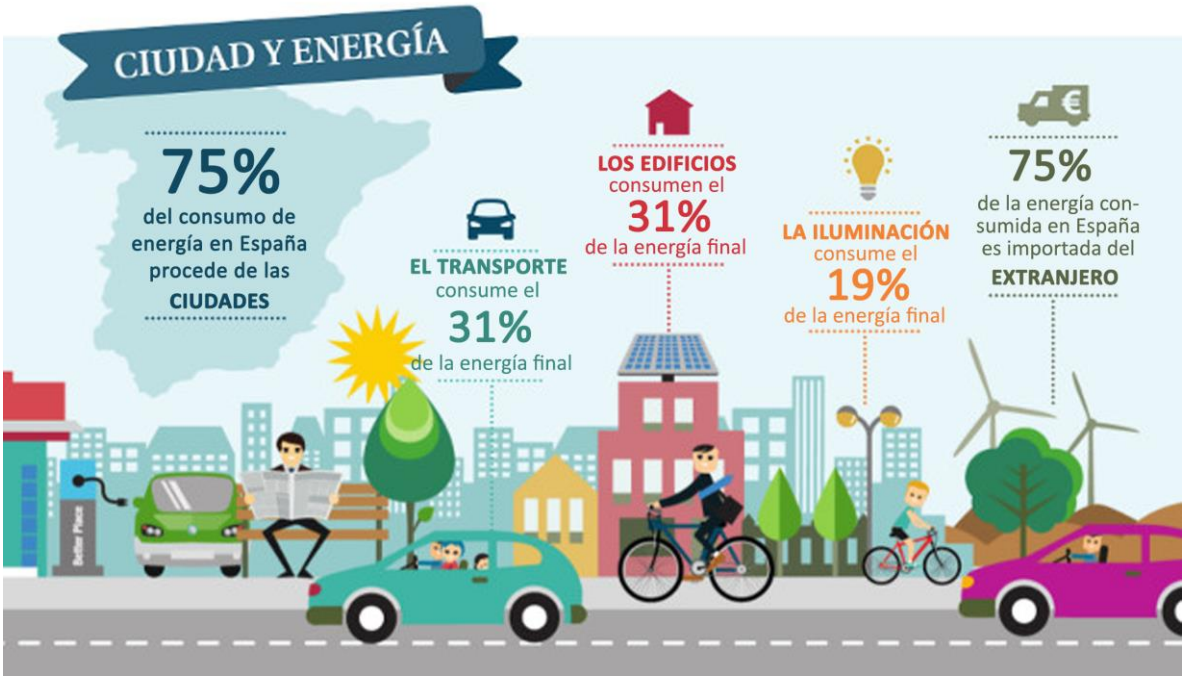


Ilustración 1. Consumo de energía en las ciudades. Diario Urgente.Bo.

Tanto es así, que varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible[1] que componen la Agenda 2030 apelan a la necesidad de reducir el consumo energético y la contaminación en las urbes. Concretamente, el Objetivo 11, *Ciudades y Comunidades Sostenibles*, contempla, entre sus principales metas, la reducción del impacto ambiental negativo y el fomento de los edificios sostenibles de bajo consumo.

Otro objetivo estrechamente relacionado con la energía en las ciudades es el Objetivo 7, *Energía asequible y no contaminante*, cuyas metas consisten en facilitar el acceso universal a energía de origen renovable y aumentar la eficiencia energética.

[1] Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 objetivos recogidos dentro de la Agenda 2030 destinados a lograr la igualdad entre las personas, proteger el planeta y asegurar la prosperidad.

El Objetivo 12, *Producción y consumo responsables*, hace un llamamiento a la sostenibilidad, el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción de todo tipo de consumos, entre los que se encuentra el energético.

Por último, todos los puntos anteriores derivan en el Objetivo 13, *Acción por el clima*, ya que a través de su aplicación es posible combatir el cambio climático y sus efectos.



Ilustración 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con las urbes. Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030.

Todos estos conceptos ya están comenzando a materializarse en el ámbito de las ciudades, en muchos casos en forma de Distritos de Energía Positiva.

Por esta razón, la finalidad del presente estudio es la de, por una parte, realizar una aproximación al concepto de Distrito de Energía Positiva a través del estudio de casos de éxito en funcionamiento y, por otra, analizar, mediante un caso práctico, la viabilidad técnica y económica de su implementación en un barrio ya consolidado del centro de Madrid. Para ello, se identificarán las dificultades o impedimentos de tipo morfológico, técnico, logístico, normativo y económico, así como la repercusión que la operación pudiese provocar desde el punto de vista medioambiental y social.

2. Estado del arte de los Distritos de Energía Positiva

En el ámbito de las ciudades, hace años que se vienen aplicando nuevas estrategias mediante las cuales poder reducir la huella de carbono.

Hasta ahora, estas medidas de sostenibilidad han estado especialmente enfocadas a los edificios de nueva construcción. La última modificación del CTE[2] de diciembre de 2019 añade exigencias muy estrictas en cuanto al consumo energético de los edificios y la obligatoriedad de cubrir un porcentaje de la demanda mediante energías renovables. De hecho, cada vez es más frecuente que los nuevos edificios aplican por propia voluntad criterios de diseño aún más estrictos como es el *Passivhaus*[3], LEED, BREAM o nZEB a fin de obtener una certificación de sostenibilidad.

Sin embargo, ahora que los criterios de sostenibilidad en los nuevos edificios están normalizados, empieza a surgir la inquietud de cómo aplicar estos criterios en el parque inmobiliario existente, y, yendo un paso más allá, cómo abordar el cambio en barrios completos, distritos o ciudades.

A partir de esta necesidad de transformación de las ciudades, ha nacido el concepto de los Distritos de Energía Positiva o PED.

Los DEP, o PED en inglés (Positive Energy Districts), son básicamente una trasposición de los criterios de los edificios nZEB[4] a un ámbito urbano: consiste en un conjunto de edificios con un consumo energético mínimo, que producen al menos la misma cantidad de energía que demandan, procediendo dicha energía de fuentes renovables in situ o cercanas.

La extensión de un PED es muy flexible. Puede estar constituido por un pequeño conjunto de edificios, un barrio, un distrito, un pueblo o incluso una ciudad. Por otra parte, existen dos tipologías de aplicación: los nuevos planeamientos urbanísticos, que, en la mayoría de los casos, ya aplican este tipo de criterios desde la fase de diseño, y lo que en inglés se denomina “towards PED”, que consiste en la transformación de distritos existentes en PED.

Los principios básicos en los que se basa el diseño de los PED son:

- Demanda energética mínima
- Producción local de energía mediante fuentes renovables o de emisiones cero.
- Gestión local inteligente de la producción y la demanda.

Respecto al consumo energético del distrito, la clave radica, por un lado, en la aplicación de estrictas medidas de eficiencia energética que reduzcan al mínimo las necesidades de los edificios. Por otro

[2] EL Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

[3] *Passivhaus* o casa pasiva es un estándar de construcción surgido en Alemania que busca reducir el consumo energético de una vivienda en un 70% respecto de las construcciones convencionales.

[4] Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo (nZEB) es un edificio que consume prácticamente la misma energía que produce. Dicha energía debe ser producida in situ o en las proximidades a partir de fuentes renovables.

lado, es esencial garantizar un consumo inteligente, logrando distribuir la demanda de forma que los picos se suavicen. El almacenamiento juega también un papel significativo en este punto, ya que facilita el match entre la demanda energética del distrito y la producción local.



Ilustración 3. PED. Sweden research intitute.

La producción de energía a nivel local es un requisito de este tipo de distritos, para lo cual es fundamental aprovechar los recursos renovables disponibles en las proximidades. Con el fin de alcanzar la mayor eficiencia posible en la producción, se diferencia entre la generación de energía eléctrica y de energía térmica:

- Energía eléctrica: Se fomenta la descentralización de la producción, sustituyendo las grandes centrales eléctricas por el autoconsumo compartido. Este sistema es conocido como Comunidades Energéticas Locales o CEL.
- Energía térmica: Tiende a la centralización de la producción térmica en una central próxima al distrito para su posterior suministro mediante redes urbanas locales. Engloba tanto la producción de calefacción, como de refrigeración y ACS.

Sin embargo, el éxito de los PED no radica exclusivamente en la aplicación de medidas de sostenibilidad impuestas desde las instituciones. Para que la iniciativa de creación de un PED sea fructífera es necesario contar con un equipo multidisciplinar formado por ciudadanos, especialistas del sector privado y representación de las Administraciones Públicas, de forma que todas las partes afectadas o interesadas participen durante el proceso compartiendo la toma de decisiones y agilizando las gestiones.

Por último, cabe mencionar que los PED no persiguen convertirse en islas energéticas, si no formar parte de un sistema energético más amplio y flexible que permita intercambiar la energía excedente con otras zonas urbanas y periurbanas.

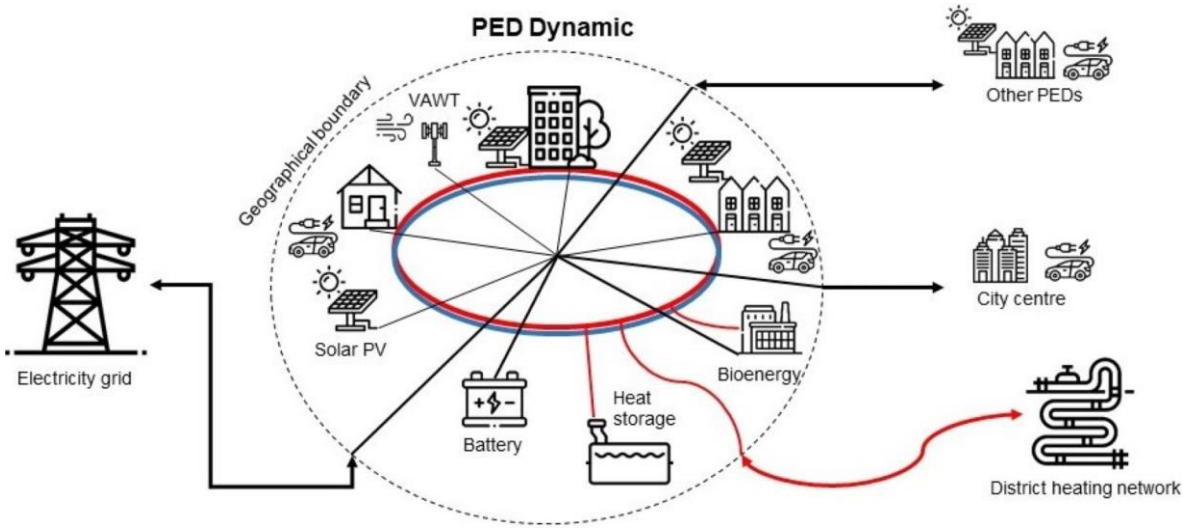


Ilustración 4. Esquema de interconexiones de un PED. Sitio web de MDPI.

A continuación, se analizan más detenidamente los sistemas de producción energética de aplicación en los PED.

2.1 Autoconsumo eléctrico colectivo: Comunidades Energéticas Locales

En cuanto a la generación eléctrica, los PED apuestan por el modelo de autoconsumo eléctrico colectivo, también conocido bajo la denominación de "Comunidades Energéticas Locales" o CEL.

El Consejo y el Parlamento Europeos han definido legalmente las Comunidades Energéticas Locales de la siguiente manera:

"Comunidad ciudadana de energía: una entidad jurídica de participación voluntaria y abierta que esté efectivamente controlada por accionistas o miembros que sean personas físicas, autoridades locales, incluidos los municipios, o pequeñas empresas, cuyo objetivo principal sea ofrecer beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus miembros o a la localidad en la que desarrolla su actividad, más que generar una rentabilidad financiera. Una comunidad ciudadana de energía puede participar en la generación, incluida la energía procedente de fuentes renovables, la distribución, el suministro, el consumo, la agregación, el almacenamiento de energía, la prestación de servicios de eficiencia energética, la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos a sus accionistas o miembros."[5]

Dicho con otras palabras, este sistema consiste en la unión virtual de un conjunto de instalaciones de autoconsumo particulares, formando parte de una red comunitaria en la que los miembros pueden intercambiar energía. De esta forma, los usuarios de la red ganan protagonismo en la gestión energética y se convierten en "prosumidores[6]", teniendo la capacidad de producir, consumir, vender y almacenar su propia energía.

Además, dichas instalaciones de autoconsumo están orientadas al aprovechamiento de recursos locales para la generación de energía limpia, siendo las más recurrentes las instalaciones fotovoltaicas debido a:

- Gran disponibilidad de recurso solar.
- Modularidad de los paneles, permitiendo su adaptación a diversas casuísticas urbanas.
- Montaje y mantenimiento sencillos.
- Reducción constante de todos sus costes.

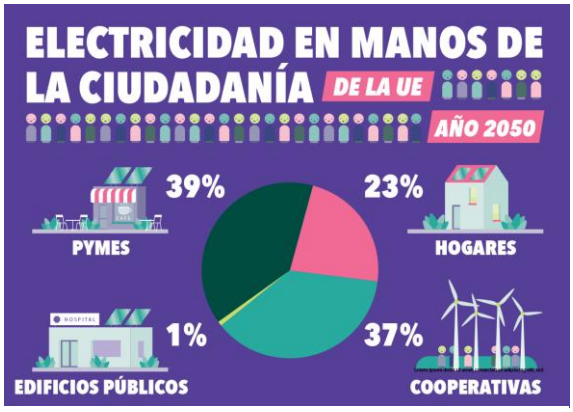


Ilustración 5. Perspectivas generación eléctrica 2050. Greenpeace.

[5] Definición expuesta en la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo (5076/19) sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, 2019.

[6] Prosumidor: Usuario de la red eléctrica que, además de consumir, inyecta energía procedente de una instalación renovable privada (generalmente para autoconsumo) a la red.

La ventaja de este sistema es que la instalación de cada vivienda o edificio es privada, lo que significa que cada individuo hace su inversión, sin que esta recaiga en las Instituciones o en grandes inversores.

En función de las necesidades de cada usuario a lo largo del día, se establece el reparto de energía, que se ejecuta automáticamente. De esta forma, según el momento, la energía puede entrar o salir de un hogar, por ejemplo. Todas las transacciones quedan registradas mediante contadores inteligentes y centrales de datos remotas que, a posteriori, realizan el cómputo global de cada mes a fin de facturar la energía consumida o vendida a cada miembro de la comunidad.

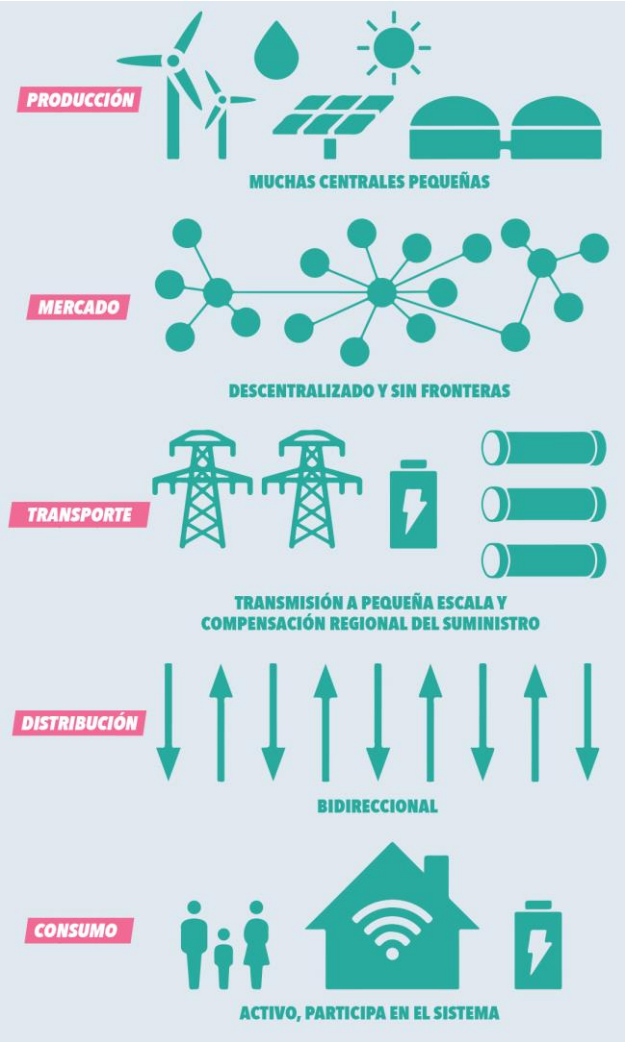


Ilustración 6. Nuevo modelo energético. Greenpeace

El control inteligente es, por lo tanto, un elemento clave para garantizar la interoperabilidad de las redes de energía, de manera que funcionen como un todo. Su función es la de dirigir la energía de la comunidad allá donde se necesita. Por ejemplo, las horas de sol en las que se produce energía termo solar, suelen coincidir con la demanda de refrigeración en verano. De igual manera, los vehículos eléctricos pueden cargarse con energía fotovoltaica a las horas laborales, en las que suelen estar estacionados. También los sistemas de ventilación forzada de los edificios tipo Passivhaus pueden poner a circular el aire a horas en las que haya excedente de energía. Gracias a todos estos pequeños ajustes gestionados por el control inteligente, la comunidad consigue suavizar los picos y valles de demanda y producción, obteniendo un sistema energético estable y optimizado, que garantiza el suministro cuando es necesario.

Además de beneficios económicos por la compra-venta de energía, las CEL suponen grandes ventajas sociales y medioambientales. Por una parte, el hecho de cubrir una parte de la demanda con sistemas de autoconsumo hace que la factura eléctrica se reduzca notablemente. La escasa energía necesaria restante se obtendrá de sistemas vecinos a precios inferiores a los de mercado, lo que hará posible combatir la pobreza energética de manera efectiva. Por otra parte, se fomenta el uso de fuentes renovables, contribuyendo a la descarbonización de la zona.

Un factor a tener en las CEL son los vehículos eléctricos, que ya constituye una realidad en los núcleos urbanos. Como se ha comentado anteriormente, la carga de los vehículos puede convertirse en una herramienta de gestión del excedente de energía en determinados momentos, funcionando a modo de almacenamiento energético.

Debido a que las CEL empiezan a implantarse en bastantes lugares, ya se dispone de los primeros datos que ponen de manifiesto ciertas barreras que entorpecen el desarrollo de las mismas:

- La ausencia de un marco normativo o un grado suficiente de su desarrollo
- La excesiva complejidad de los procedimientos administrativos
- Dificultades con la financiación
- La gestión antidemocrática de las redes
- Falta de información y/o de interés local
- Dificultad de acceso a los conocimientos técnicos necesarios

Tras estudiar los distintos casos existentes, se ha concluido que el éxito de las CEL radica en que el rol y las responsabilidades de cada agente implicado debe estar definido desde el principio, a ser posible de la siguiente manera:

Agente	**Rol**	**Responsabilidades**
Administraciones públicas	Crear marco regulatorio. Generar consciencia social. Incentivos económicos / beneficios fiscales. Facilitar trámites administrativos.	Promover operaciones con impacto social y medioambiental positivo.
Sector privado	Asesoría técnica. Ofrecer nuevos esquemas financieros. Desarrollo de nuevos modelos de negocio.	Integrar al ciudadano en el diseño y toma de decisiones. Dar garantía.
Ciudadanos	Encabezar la iniciativa. Solicitar ayuda a sector público y privado.	Consumo energético responsable. Participación y compromiso.

Tabla 1. Roles de los agentes en una CEL. Información del IDAE.

2.2 Energía térmica urbana: Redes de climatización de distrito

La gestión de la energía térmica en los PED es muy distinta a la de la electricidad. En vez de buscar la interconexión de múltiples sistemas de producción distribuidos, se tiende a sistemas de producción centralizados que cubran la demanda de una zona geográficamente próxima.

Estos sistemas se denominan “Redes de climatización de distrito” o “District Heating and Cooling” (DHC), y consisten en el calentamiento de un fluido mediante equipos centralizados para, a continuación, ser distribuido a través de redes urbanas a los puntos de consumo, donde, con un intercambiador, se extrae el calor y se le da las características oportunas de presión y temperatura. Además, es posible generar y distribuir tanto calefacción como refrigeración y ACS mediante la misma infraestructura.

Los núcleos urbanos implican una mayor concentración de la demanda térmica en distancias muy reducidas, lo cual es perfecto para el aprovechamiento de los recursos locales, como pueden ser la energía solar térmica, la geotermia y la biomasa, así como el aprovechamiento del calor excedente de procesos industriales, el calor producido por centrales de cogeneración o el calor procedente de la incineración de residuos. Mientras que en un equipo de climatización individual estos recursos serían difícilmente gestionables, un sistema centralizado sí tiene la capacidad de integrarlos.

Así mismo, el hecho de que las redes de distrito se gestionen de forma local en vez de individual, permite el aprovechamiento de recursos poco convencionales, como pueden ser las aguas subterráneas, el agua superficial, las aguas de alcantarillado, etc.

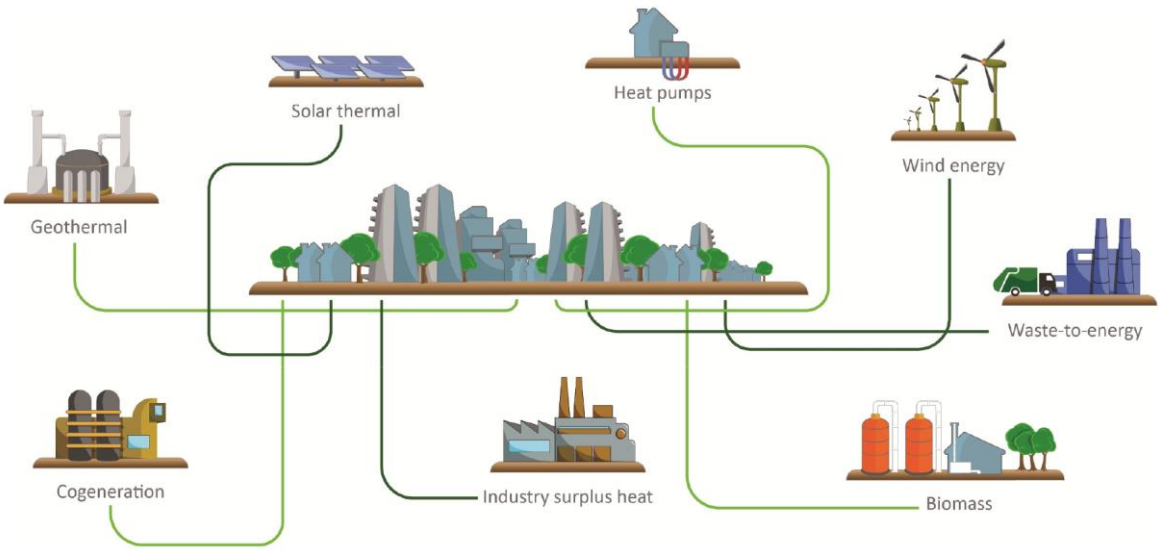


Ilustración 4. District Heating. SmartReFlex guide

El rendimiento de los equipos centralizados es entre un 10% y un 40% mayor que el de los equipos individuales, lo que deriva en un considerable ahorro energético y reducción de emisiones de CO_2.

En el caso de la calefacción y el ACS, la tendencia de estos sistemas es a operar cada vez a temperaturas más bajas gracias al aumento de la eficiencia energética, tanto de los puntos de consumo (es decir, de los edificios consumidores) como de las propias redes, lo que se traducirá en menores pérdidas térmicas. Es decir, ya no será necesario suministrar agua caliente en los edificios a una temperatura de 90° para que acabe saliendo por el grifo a 50°, si no que con suministrarla a 60º será suficiente gracias a las reducidas pérdidas térmicas del sistema de distribución.

Respecto de las redes de frío urbanas renovables, el funcionamiento es el mismo que para el suministro de calor: se distribuye agua fría, generalmente a una temperatura de 6ºC y, una vez llega a los puntos de consumo, se extrae el frío del fluido para, a continuación, distribuirlo por todas las estancias y disminuir así su temperatura.

Las redes de refrigeración operan a través de la misma infraestructura que las redes de calor urbanas, es decir, son igualmente susceptibles de integrar el tipo de energía renovable que mejor se adapte en cada momento o situación geográfica en función de los recursos disponibles.

Los sistemas de producción de frío centralizados son de 5 a 10 veces más eficientes que los equipos de aire acondicionado individuales, por lo que, dado que la demanda de refrigeración va en aumento debido al calentamiento global, las redes de frío urbanas supondrán la mejor opción en términos de eficiencia energética, garantía de suministro y optimización de recursos.

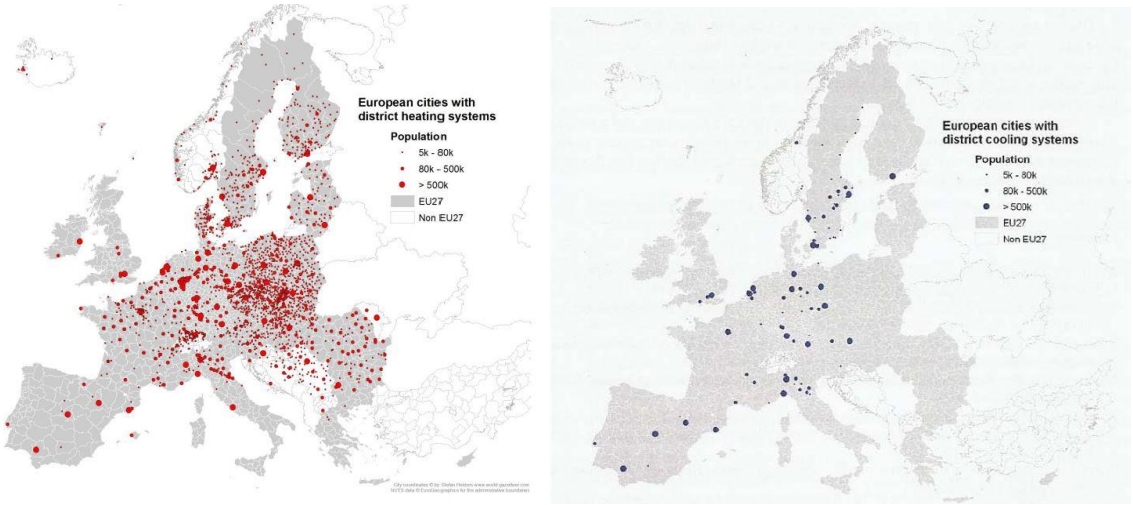


Ilustración 7. Ciudades europeas con calefacción y refrigeración urbanas. Base de datos DHC de la Universidad de Halmstad.

Las redes de climatización urbanas vienen utilizándose de manera generalizada desde la década de 1970, cuando la crisis del petróleo obligó a buscar métodos alternativos de generación, aunque existen numerosos casos anteriores. Sin embargo, pese a su antigüedad, aún no disponen de un marco normativo en nuestro país, por lo que la energía producida carece de un mercado regulado y de precios de referencia. Por el momento, son las localidades las que están tomando la iniciativa de implantar estos sistemas, que gestionan a partir de la experiencia de casos ya existentes y el asesoramiento del sector privado.

2.2 Marco normativo

2.2.1 Unión Europea

Los PED son un tema de máxima actualidad, tanto que se está trabajando con cierta urgencia en la creación de un marco normativo que los regule para así incentivar su desarrollo e implantación, ya que juegan un papel fundamental en la transformación energética de las ciudades.

A nivel europeo se han creado dos organismos específicamente orientados al estudio y fomento de los PED. El primero es el "Strategic Energy Technology (SET) Plan, aprobado en el año 2015 y enfocado a apoyar la planificación, implementación y desarrollo de 100 Distritos de Energía Positiva para el año 2025. El segundo es el JPI Urban Europe[7], un instrumento creado por la Comisión Europea destinado a la innovación e investigación con el objetivo de estudiar el comportamiento y la viabilidad técnica y económica de los PED, para, a raíz de la experiencia, crear un marco regulatorio. En la actualidad está haciendo un seguimiento cercano de varios proyectos piloto distribuidos en diferentes países de la UE, a los que pretende dar difusión para que sus beneficios lleguen a oídos de toda la sociedad.

Por otra parte, la Comisión Europea ha financiado el proyecto MAKING-CITY[8] gestionado por la institución de investigación sin ánimo de lucro CARTIF, con el objetivo de demostrar la viabilidad de implementación de los PED. Para ello, en 2018 se puso en marcha la transformación de una serie de ciudades europeas, entre las que se encuentra la ciudad de León, en Distritos de Energía Positiva, con la idea de estudiar su comportamiento durante 60 meses, extraer conclusiones y darles difusión.

Mientras que la regulación de los PED se encuentra actualmente bajo estudios preliminares, las Comunidades Energéticas Locales ya pueden presumir de contar con una definición legal[9]. Dentro del paquete de medidas "Energía limpia para todos los europeos", ya se han incluido dos figuras jurídicas nuevas:

- Las comunidades de energía renovable: Directiva 2018/2001.
- Las comunidades ciudadanas de energía: Directiva 2019/944.

[7] Joint Programming Inititiative (JPI) o Iniciativa de Programación Conjunta.

[8] Proyecto incluido dentro del European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) de la UE.

[9] LA UE define como Comunidad Energética una "entidad jurídica de participación voluntaria y abierta controlada por accionistas o miembros que sean personas físicas o jurídicas (entre otras: asociaciones, cooperativas, organizaciones sin ánimo de lucro, empresas) y también administraciones locales autonómicas o nacionales". Cita recogida en el IDAE.

2.2.2 España

En España, al igual que en la UE, se le ha dado prioridad a la definición de las Comunidades Energéticas Locales. Se han traspuesto a la legislación española las dos directivas de la UE mediante el Real Decreto-Ley 23/2020, publicado el 23 de junio de 2020, donde queda recogido el concepto de Comunidades Energéticas.

La Secretaría de Estado de Energía, perteneciente al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, está trabajando actualmente en la elaboración de una norma sobre Comunidades Energéticas Locales como consecuencia de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, donde "establece la obligación a los Estados miembros de garantizar que los consumidores tengan derecho a participar en una comunidad de energías renovables, a la vez que mantienen sus derechos u obligaciones como consumidores finales. De igual forma establece que las comunidades de energía renovable tengan derecho a producir, consumir, almacenar, o vender energías renovables, o bien, compartir en el seno de la comunidad la energía renovable que generen las unidades de producción propiedad de dicha comunidad y acceder a todos los mercados de energía. Así mismo, establece como mandato para los Estados miembros el proporcionar un marco que permita fomentar y facilitar el desarrollo de las comunidades de energías renovables".

Por esta razón, las autoridades españolas han incluido en el PNIEC 2021-2030 la Medida 1.13, en la que se establecen las directrices para desarrollar un marco normativo al respecto. Actualmente el MITECO se encuentra trabajando en esta nueva norma, que ya ha pasado la fase de consulta pública.

El IDAE está jugando un papel fundamental al respecto, ya que traslada de manera ágil los conceptos europeos a nuestro país, aunque sea a modo de guía. Con el objetivo de impulsar las Comunidades Energéticas, el IDAE ha definido una serie de pasos a seguir para su constitución y, además, ofrece la posibilidad de financiar proyectos piloto. El principal objetivo de esta iniciativa es que las Comunidades Energéticas tengan mayor visibilidad y aceptación social. Esto fomentará la inversión en más proyectos piloto, mediante los cuales quedará demostrada la viabilidad de las nuevas tecnologías, acelerando de esta manera la transición energética.

Por otra parte, la cooperativa energética de no lucro Ecooo ha creado una "Oficina municipal para la promoción de Comunidades Energéticas" con el objetivo de asesorar y apoyar a las autoridades locales. Su función es la de guiar a los ayuntamientos durante todo el proceso: en la gestión técnica a nivel jurídico, administrativo, de diseño, instalación, puesta en marcha y gestión.

Respecto de los PED, por lo general se están tomando en consideración sus criterios de diseño en los nuevos planteamientos urbanísticos, pero aún no cuentan con regulación y son una figura desconocida para la sociedad.

Un factor que puede favorecer la implantación de PED en España es el cumplimiento de la nueva versión del CTE, que exige que los edificios residenciales que se construyan a partir de diciembre de 2020 tengan consumo energético casi nulo (nZEB). Esto implica que los edificios incorporen energías renovables a fin de que puedan generar y autoconsumir energía. De esta manera, surge la posibilidad de gestionar y optimizar los flujos de energía de este tipo de edificios.

En algunas ciudades españolas ya existen iniciativas propias de implantación de PED, como es el caso de Valencia, que quiere convertirse en una ciudad pionera con la transformación simultánea de tres barrios que funcionen de manera autónoma y, al mismo tiempo, puedan intercambiar energía entre ellos. Estarán constituidos por el barrio de Algirós, el campus de Vera y el espacio de la Marina del puerto de Valencia, tres espacios muy diferentes en los que se estudiará y comparará su comportamiento energético.

2.3 Ejemplos de Distritos de Energía Positiva

Pese a que el término de Distritos de Energía Positiva ha surgido recientemente, algunos de sus criterios de diseño se aplican desde hace décadas e incluso siglos, como es el caso de las redes de calefacción urbana, por ejemplo.

A continuación, se exponen una serie de proyectos de diversas tipologías, tanto existentes como por construir, de PED en diferentes países.

2.3.1 El caso de Dinamarca

Dinamarca lleva décadas encabezando la transición energética en Europa. De hecho, el país dispone de sus propios objetivos, aún más ambiciosos que los que se han acordado en la Agenda 2030 y en la Estrategia a largo plazo para 2050: su plan es conseguir un consumo eléctrico 100% renovable en 2030 y un consumo de energía térmica 100% renovable en 2035.

Las ciudades danesas cuentan con una larga experiencia en el uso de redes de calefacción urbanas. Las primeras instalaciones datan de la década de 1900, cuando empezaron a utilizar el calor excedente de las centrales eléctricas para calentar grandes edificios. En los años 70, estos sistemas tuvieron una gran expansión como consecuencia de la crisis del petróleo, lo que favoreció la experimentación con fuentes de energía renovables. Fue entonces cuando el gobierno decidió desarrollar una política energética sólida que estableciese un marco para la planificación del suministro de calor. Para asegurar el retorno de la inversión, las instituciones establecieron medidas como la obligatoriedad de conectarse al sistema de suministro colectivo o la prohibición de la calefacción eléctrica, que resultaba mucho menos eficiente.

A día de hoy el país cubre con energías renovables el 50% del consumo eléctrico (principalmente con energía eólica y fotovoltaica) y suministra calor mediante las redes urbanas al 75% de sus habitantes.

2.3.3.1 Isla de Samsø

La isla de Samsø, situada a unos 150 kilómetros al norte de Copenhague, es conocida como la isla de las energías renovables debido a que, en el año 1997, sus habitantes iniciaron un proyecto con el que pretendían ser autosuficientes, objetivo que están a punto de cumplir.

A nivel comunitario, disponen de un parque eólico de 11 aerogeneradores de 1 MW, con el que cubren la totalidad de la demanda eléctrica de la isla. Respecto a la demanda térmica, disponen de centrales de biomasa y de un parque de 2.500 m^2 de colectores solares, obteniendo el 70% del calor que necesitan.

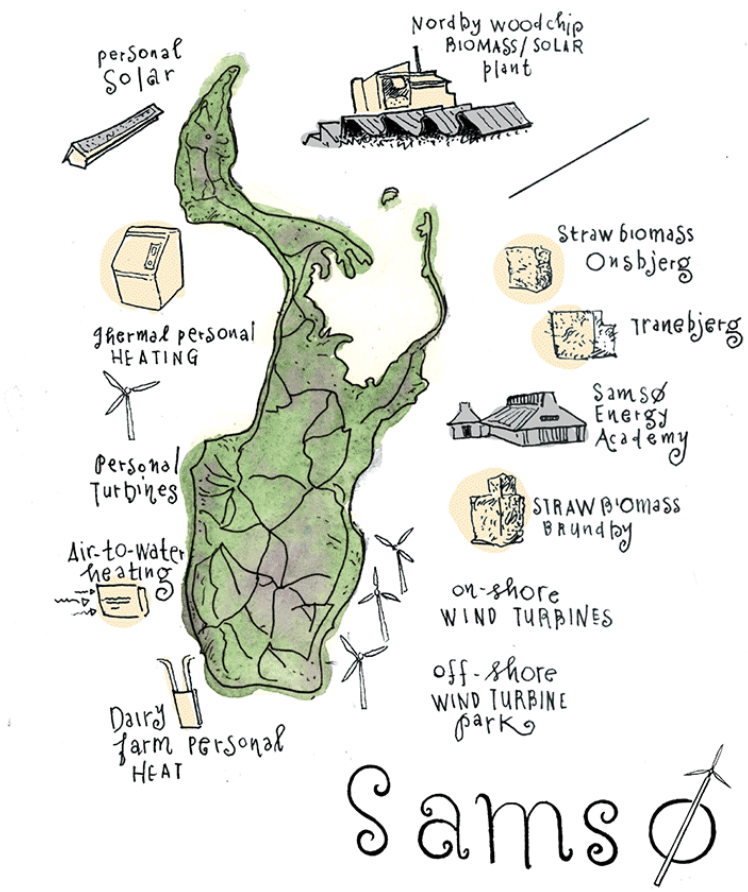


Ilustración 8. Isla de Samsø en Dinamarca. Ilustración de Steve Brodner.

Por otra parte, cada habitante dispone de sistemas individuales en su propia vivienda, tales como instalaciones termosolares, geotérmicas o calderas de biomasa, que ayudan a suplir la energía restante que necesitan.



Ilustración 9. Isla de Samsø en Dinamarca. Vista aérea.

Adicionalmente cuentan con 10 aerogeneradores de tipo offshore de 2,3 MW, por lo que, aunque siguen conectados a la red eléctrica del país por si se encuentran sin recurso eólico, habitualmente es mucho mayor la cantidad de energía que sale de la isla que la que entra. De esta manera, sus habitantes han encontrado en las energías renovables un negocio local muy próspero.

Isla de Samsø	
País	Dinamarca
Fecha de implantación	1997
Superficie	11.400 Ha / 4.100 habitantes
Generación energía eléctrica	• Parque eólico onshore de 11 aerogeneradores, 1MW. • Parque eólico offshore de 10 aerogeneradores, 2,3 MW.
Generación energía térmica	• Central de biomasa de 900kW • Parque de colectores solares de 2.500m² • Sistemas individuales de geotermia, biomasa o termo solar.

Tabla 2. Resumen de características Isla de Samsø.

2.3.3.2 Avedøre Green City

Este proyecto surgió en el año 2020 a partir de una iniciativa popular: los habitantes querían que su comunidad fuese más sostenible. Esto fue determinante para lograr el éxito del proyecto, ya que desde el principio se constituyó un comité en el que los ciudadanos eran los protagonistas y participaron en todo el proceso de diseño.



Ilustración 10. Avedøre, Dinamarca. Google Earth.

El proyecto llevado a cabo a en el barrio de Avedøre consistió en la implantación de medidas de eficiencia energética y de un sistema de calefacción urbana en un barrio ya consolidado.

Contaban, de antemano, con una central térmica en el municipio, por lo que el proyecto consistió en la transformación de la instalación existente en una red de calefacción urbana, para lo cual sustituyeron todos sus radiadores, sistemas de ventilación y bombas de calor por terminales compatibles con el nuevo sistema. De esta manera consiguieron reducir la demanda energética en un 10%, ya que el sistema de distrito era notablemente más eficiente que las instalaciones individuales.

A continuación, llevaron a cabo una rehabilitación energética de 210.000 m^2 de edificios, que consistió en mejorar el aislamiento de las envolventes, sustituir las carpinterías, instalar contadores inteligentes y reducir la temperatura de suministro de calor de 90ºC a 60ºC. Este conjunto de medidas dio como resultado una reducción de la demanda energética del 40%.

Por último, llevaron a cabo instalaciones de energía solar térmica y fotovoltaica para cubrir la escasa demanda restante, con lo que consiguieron reducir un 50% más la demanda energética, lo que les llevará a convertirse en un PED para el año 2040.

Barrio de Avedøre	
País	Dinamarca
Fecha de rehabilitación	2020
Superficie	70 Ha
Generación energía eléctrica	• Autoconsumo fotovoltaico • Central de cogeneración
Generación energía térmica para calefacción	• Central de cogeneración alimentada con gas natural y biomasa • Autoconsumo con paneles termosolares • Producción final de energía anual: 0,5 GWh
Medidas adicionales	• Rehabilitación energética de edificios (envolvente, carpinterías, reducción Tª suministro).

Tabla 3. Resumen de características del barrio de Avedøre

2.3.2 Friburgo

La ciudad de Friburgo, en Alemania, fue reconstruida tras los bombardeos sufridos durante la Segunda Guerra Mundial con un objetivo: ser la urbe más sostenible del momento.

Aprovechando que esta región es una de las más soleadas de Alemania, la mayoría de edificios, ya sean municipales, residenciales, PEDortivos e incluso de culto, están cubiertos por paneles fotovoltaicos a fin de garantizar el suministro eléctrico renovable.

Las edificaciones aplican medidas de eficiencia energética muy restrictivas con el objetivo de reducir la demanda energética al mínimo: actualmente consumen un promedio de 65kWh/año, cifra muy inferior a la del resto de Alemania.

La ciudad cuenta a parte con una gran diversidad de energías renovables en su entorno inmediato: aerogeneradores en los cerros de la Selva Negra, geotermia para refrigeración y calefacción, una central de biomasa que aprovecha los residuos de la industria maderera para generación de calor y producción de biogás a partir de la fermentación de residuos orgánicos.

Alrededor de la ciudad histórica han ido surgiendo multitud de barrios que han continuado con esta filosofía, aplicando las tecnologías renovables más pioneras de cada momento.

2.3.6.1 Barrio de Vauban

Vauban es un barrio de nueva construcción situado a 4 km al sur de Friburgo. Se desarrolló entre los años 1990 y 2001 bajo el estándar de construcción *Passivhaus.*

La demanda térmica del barrio se cubre gracias a una central de biomasa que quema residuos forestales.

Los tejados de los edificios están cubiertos en su totalidad con paneles fotovoltaicos, logrando generar cuatro veces más energía de la que consumen, lo que les permite vender energía eléctrica a núcleos urbanos cercanos.



Ilustración 11. Barrio de Vauban. Sitio web Visit Freiburg.

Barrio de Vauban	
País	Alemania
Fecha de construcción	1990 - 2001
Superficie	41 Ha / 5.500 habitantes
Generación energía eléctrica	• Autoconsumo fotovoltaico
Generación energía térmica para calefacción	• Red de calefacción urbana alimentada por planta de cogeneración de biomasa (residuos forestales)
Medidas adicionales	• Estándar de construcción Passivhaus

Tabla 4. Resumen de características del barrio de Vauban.

2.3.3 Distrito 22@

En el año 2000, el Ayuntamiento de Barcelona desarrolló un plan para modernizar el suelo industrial del barrio de Poblenou, a fin de convertirlo en un distrito innovador. En él se concentraron edificios empresariales, universidades, centros de investigación, viviendas y zonas verdes, todos ellos diseñados atendiendo a criterios de eficiencia energética.

Dado que el proyecto comprendía la reurbanización de todas las calles, se aprovechó para crear una red de calefacción y refrigeración urbana. Para ello se construyeron una serie de galerías de servicios, transversales a las calles y situadas a nivel subterráneo, que unen las manzanas entre sí. Para poder acceder de manera sencilla a las instalaciones sin necesidad de levantar el pavimento urbano, se crearon puntos de acceso estratégicos.



Ilustración 12. Vista aérea del Distrito 22@.

El barrio dispone de varias centrales térmicas, una de las cuales aprovecha el vapor producido por la planta de incineración de residuos para producir calor. El frío se produce mediante una máquina de absorción, que evapora el agua a baja presión y luego la condensa, para después refrigerar los equipos. En este proceso se utiliza agua del mar, aprovechando su proximidad.

Desde las centrales de climatización, la energía es conducida mediante conductos ubicados en las nuevas galerías subterráneas hasta las subestaciones instaladas en cada edificio, donde se intercambia la energía de la red con la de los circuitos internos y, a continuación, repartirla por todo el edificio.

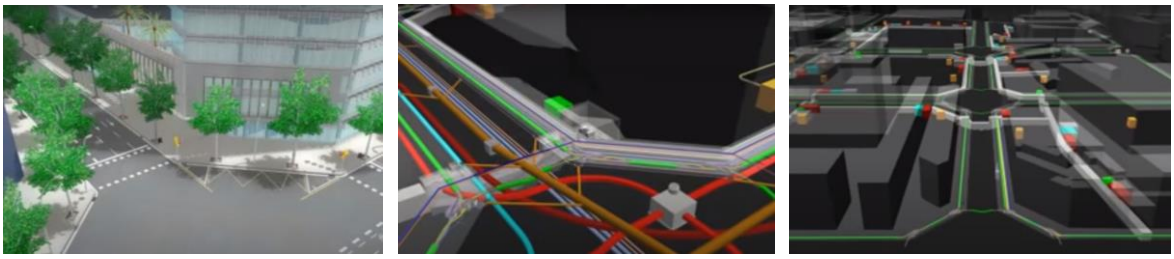


Ilustración 13. Simulaciones de la red de District Heating del Distrito 22@ en Barcelona. Youtube 22arrobabcn.

Gracias a este sistema se reducen las emisiones de gases contaminantes, se eliminan los ruidos y calentamiento producido por equipos individuales, se minimizan los riesgos sanitarios producidos por la legionella y se reducen los costes de inversión, explotación y mantenimiento de los equipos de producción.

Aparte de esto, la mayoría de edificios cuenta con placas fotovoltaicas en sus cubiertas que utilizan para autoconsumo. Gracias a todas estas medidas, el distrito obtuvo en su momento un 40% de ahorro energético en comparación con barrios similares de la ciudad.

Distrito 22@	
País	España
Fecha de construcción	2000
Superficie	200 Ha
Generación energía eléctrica	• Autoconsumo fotovoltaico
Generación energía térmica	• Red de calefacción y refrigeración urbana

Tabla 5. Resumen de características del Distrito 22@.

2.3.4 Drake Landing Solar Comunity

Ubicado en la ciudad de Okotoks, Canadá, se encuentra el barrio de Drake Landing Solar Community, conocido por su innovador sistema de almacenamiento térmico comunitario. Se trata de un barrio de nueva creación compuesto por hileras de viviendas adosadas combinadas con hileras de garajes, sobre los que hay instalados un total de 800 paneles termosolares. Las viviendas fueron diseñadas y construidas bajo estrictos estándares de calidad y eficiencia energética con el fin de aumentar su eficiencia en un 30% respecto de las construcciones habituales de la época.



Ilustración 7. Fotografía aérea de DLSC

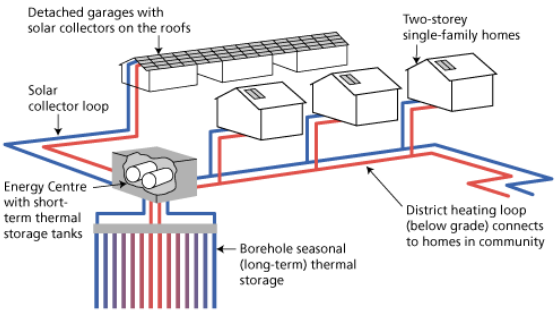


Ilustración 8. Esquema de funcionamiento de DLSC

Todas las viviendas están conectadas a la red de calefacción urbana, que es capaz de producir hasta 1,5MW/día a través de los paneles termosolares. La energía excedente es almacenada en un sistema formado por 144 pozos geotérmicos de 37m de profundidad, donde se almacena el calor en verano para su posterior consumo en los meses de invierno, llegando así a cubrir más del 90% de la demanda de calefacción de los hogares.

El almacenamiento estacional es posible gracias a que el calor se transmite a la tierra que rodea los pozos, llegando a alcanzar unos 80°C al final del verano. Para evitar la disipación del calor, el terreno se cubre con arena, aislamiento R-40 de alta densidad, una membrana impermeable y arcilla.

El sistema opera a baja temperatura, suministrando calor a las viviendas entre los 37°C y 50 °C, en función del exterior. Esto deriva en una considerable reducción de las pérdidas y hace que el rendimiento de los receptores solares aumente.

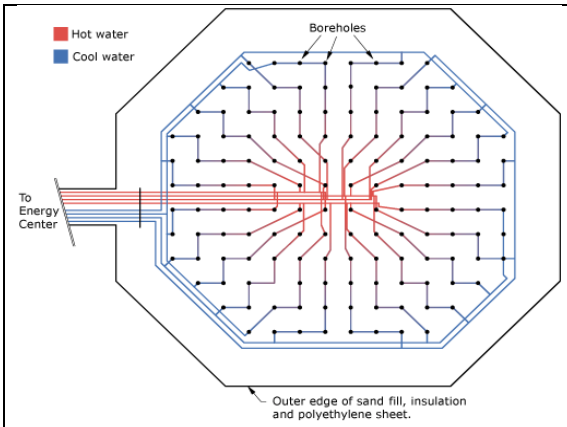
	Comprende un total de 144 pozos a una profundidad de 37m. Los pozos están separados entre ellos a 2,25m.
	El campo de pozos ocupa un área de 35m de diámetro.
	Los conductos son de 25mm PEX, tienen forma de U y se unen en serie en grupos de 6, irradiando calor desde el centro a los extremos (facilita la estratificación).
	Lleva aproximadamente 3 años conseguir cargar al completo el campo de BTES. El corazón llega a alcanzar los 80ºC.

Tabla 6. Sistema de almacenamiento estacional de energía térmica. Drake Landing Solar Community.

Drake Landing Solar Community	
País	Canadá
Fecha de construcción	2007
Superficie	3,32 Ha
Generación energía térmica	• Centralizada con 2.293 m2 de paneles termosolares. • Sistema de almacenamiento geotérmico. • Red de calor de distrito.
Medidas adicionales	• Viviendas diseñadas con criterios de alta eficiencia energética.

Tabla 7. Resumen de características del barrio Drake Landing Solar Community.

2.3.5 Madrid Nuevo Norte

Este proyecto, anteriormente conocido como Operación Chamartín, consiste en una prolongación del Paseo de la Castellana de Madrid hacia el norte, soterrando para ello las vías ferroviarias que salen de la estación de Chamartín. Albergará un centro de negocios, 10.500 viviendas, un gran parque y la nueva estación de tren.



Ilustración 14. Madrid Nuevo Norte. Vista de planta.

El proyecto ha sido diseñado en su totalidad con la intención de obtener las certificaciones LEED y BREEAM, los dos grandes sellos a nivel mundial en sostenibilidad.

La demanda térmica se resolverá mediante redes de calor y frío que interconectarán todos los edificios mediante redes subterráneas alimentadas, en este caso, mediante energía termo solar y geotérmica. La gestión será público-privada al igual que en el caso del Distrito 22@, constituyendo un ente energético que se encargará de la generación y la distribución.

Respecto de la producción eléctrica, cada edificio instalará el doble de energías renovables de lo exigido en la nueva modificación del CTE de 2019, con el objetivo de sacar el máximo partido a las superficies susceptibles de situar paneles fotovoltaicos. El plan es adoptar el modelo de autoconsumo eléctrico colectivo de forma que todos los edificios se beneficien de la energía producida en el propio distrito.



Ilustración 15. Madrid Nuevo Norte. Vista aérea.

La movilidad es también un aspecto relevante del proyecto, por lo que dentro de este contexto se está estudiando la posibilidad de instalar un sistema de carga de vehículos eléctricos con la energía que producen los trenes al frenar.

Estos sistemas pretenden complementarse con medidas pasivas que minimizarán la demanda térmica de los edificios – tales como tratamiento solar de cristales, fachadas ventiladas y cubiertas vegetales - así como con la generación de microclimas urbanos que aseguren en todo momento el confort de los usuarios. Así mismo, se están considerando estrategias adicionales como el aprovechamiento de residuos orgánicos en plantas de compostaje y la reutilización de agua reciclada de los edificios para zonas verdes y el huerto urbano.

Madrid Nuevo Norte	
País	España
Fecha de construcción	2021 - 2026
Superficie	300 Ha
Generación energía eléctrica	• Autoconsumo compartido con módulos fotovoltaicos.
Generación energía térmica	• Centralizada con termo solar y geotermia. • Redes urbanas de calor y frío.
Medidas adicionales	• Carga de vehículos eléctricos con energía obtenida de la frenada de los trenes • Microclimas urbanos • Compostaje con residuos orgánicos

Tabla 8. Tabla resumen de las características principales de Madrid Nuevo Norte

2.3.6 Toyota Woven City

La compañía Toyota ha lanzado su primer desarrollo inmobiliario en colaboración con el estudio de arquitectura danés BIG, que se situará a los pies del monte Fuji en Japón, en los terrenos de una antigua fábrica.



Ilustración 16. Toyota Woven City, Japón. Vista aérea.

Las 70 hectáreas de terreno serán consideradas un “laboratorio vivo” en el que se instalarán investigadores de Toyota junto con sus familias, con el fin de estudiar in situ nuevas estrategias de movilidad, de inteligencia artificial, de robótica y de autonomía energética.

La ciudad se ha diseñado de manera que sea neutra en cuanto a emisiones de carbono. Para ello ha integrado módulos fotovoltaicos en el diseño de las cubiertas de los edificios que, junto con la energía generada por celdas de combustible de hidrógeno, cubrirán la demanda eléctrica de toda la ciudad. En el caso de la energía térmica, se han decantado por un sistema de producción mediante geotermia.

En cuanto a los edificios, se utilizarán métodos constructivos tradicionales japoneses combinados con elementos generados mediante robótica, empleando como material principal la madera local.

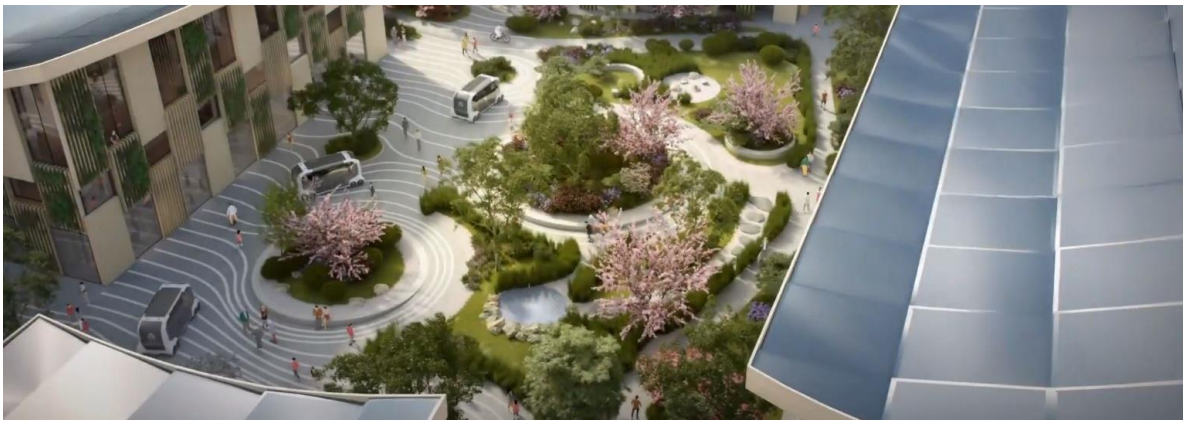


Ilustración 17. Toyota Woven City, Japón. Detalle módulos fotovoltaicos.

Toyota Woven City	
País	Japón
Fecha de construcción	2021 - 2026
Superficie	70 Ha
Generación energía eléctrica	• Autoconsumo fotovoltaico • Celdas de combustible de hidrógeno
Generación energía térmica	• Geotermia
Medidas adicionales	• Edificios pasivos • Inteligencia artificial

Tabla 9. Tabla resumen de las características principales de Toyota Woven City

2.4 Análisis y conclusiones

La implantación de PED no es exclusiva de los nuevos planeamientos urbanísticos, como se ha analizado en los ejemplos anteriores, sino que también es susceptible de aplicarse en barrios existentes o incluso mixtos: con una parte existente y una nueva. De hecho, la tendencia es, precisamente, la de implantarlos en barrios mixtos, donde se pueden aprovechar instalaciones o centrales preexistentes, tanto renovables como no renovables, mejorándolas y complementándolas para ampliar su servicio.

Como se puede apreciar en los siguientes gráficos [10], basados en el análisis de PEDs en funcionamiento, queda patente que la prioridad es la de transformar el sector residencial, en el que existe mayor capacidad de ahorro y supone un mayor impacto para los ciudadanos.

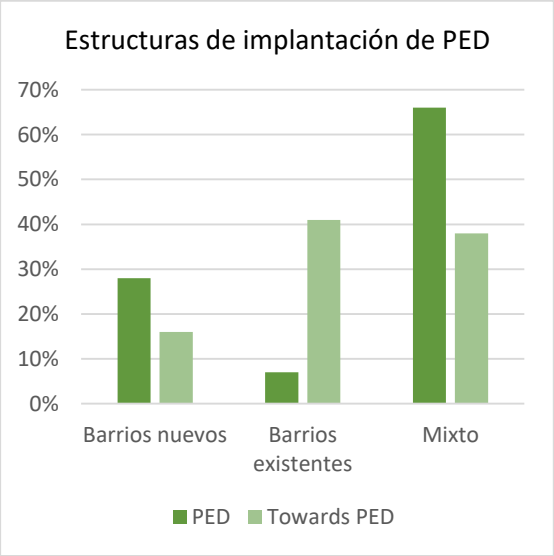


Ilustración 18. Gráfico de PED en función del lugar de implantación.

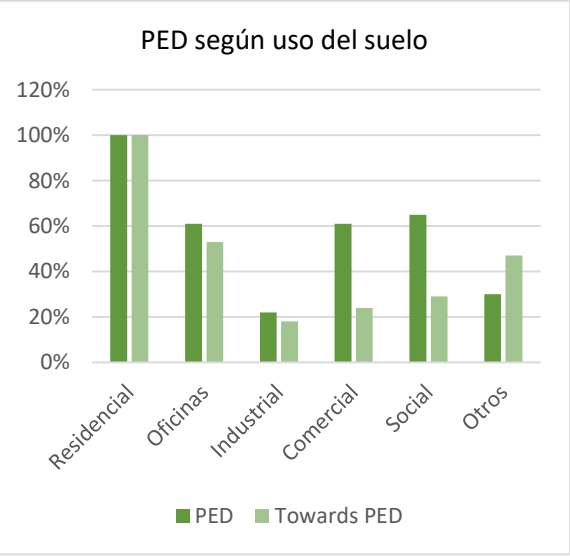


Ilustración 19. Gráfico de PED en función del uso del suelo en el que se implantan.

En cuanto a la producción de energía, las redes de climatización urbanas juegan un papel crucial en los PED. La geotermia, las bombas de calor y la energía termosolar son las fuentes más recurrentes a la hora de generar calor, seguidas de la biomasa y el calor residual de procesos industriales. De cara a la generación de electricidad, la fotovoltaica es la principal fuente energética, seguida por otras tecnologías como la cogeneración y la eólica.

[10] Gráficos obtenidos de un estudio denominado "Towards 100 Positive Energy Districts in Europe: Preliminary Data Analysis of 61 European Cases" publicado en noviembre de 2020, en el que se extraen conclusiones de una serie de casos reales de PED, analizando las barreras existentes, las claves de su éxito y la tendencia que siguen.

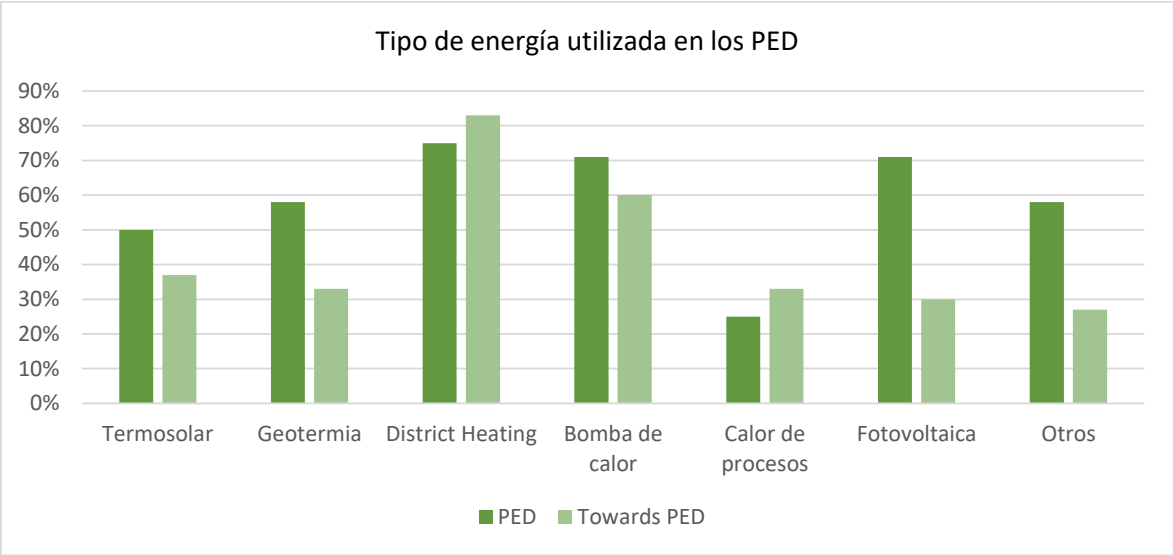


Ilustración 20. Gráfico de los tipos de energía empleada en los PED.

Lo que sí es una constante es la mezcla de tecnologías de generación energética dentro del mismo PED. Generalmente, se emplean de entre dos a cinco tipos distintos de energías renovables, lo que facilita la generación de excedentes que poder exportar a zonas próximas.

Puesto que los PED se encuentran a día de hoy en plena expansión, aún no disponen de una base de experiencia sólida que facilite su implantación. De hecho, son muchas las barreras a las que se enfrentan las ciudades o barrios en los que se implanta un PED. Las principales son:

- Barreras económicas:
  - Elevados costes de las construcciones pasivas y de las rehabilitaciones energéticas de edificios existentes.
  - Elevados costes de las instalaciones de producción de energía renovables.
  - Ausencia de beneficios económicos por consumir energía producida localmente.
  - Dificultades para atraer inversión privada.
  - Ausencia de beneficios fiscales o económicos que incentiven la involucración ciudadana.

- Barreras de gestión:
  - Complejidad y falta de agilidad de trámites burocráticos entre administraciones públicas implicadas.
  - Falta de compromiso político para impulsar la creación de PED e involucración por parte de los socios implicados.
  - Presiones en cuanto a tiempos de ejecución, necesidad de una rigurosa planificación de las obras por tramos o zonas.

- Barreras técnicas:

- Necesario garantizar la durabilidad y viabilidad de la instalación en el tiempo: dimensionado de las nuevas instalaciones en base a cálculos que prevean la demanda energética futura.
- Dificultades a la hora de localizar lugares de implantación de las nuevas instalaciones renovables, especialmente en áreas urbanas ya consolidadas.
- Necesidad de reducción de la distancia entre el punto de producción y el punto de consumo de la energía por razones prácticas y económicas.
- Restricciones en la ubicación de paneles FV en edificios históricos o protegidos.
- Falta de expertos asesores en el diseño y ejecución del PED desde el momento de su concepción hasta su puesta en marcha.

- Barreras legales:
  - Necesidad de contar con un marco legal y normativo sólido.

- Barreras sociales:
  - Falta de concienciación e implicación ciudadana.

Por lo tanto, se extrae la conclusión de que aún son muchos los factores que cabe mejorar para agilizar el proceso de implantación de un PED. Desde el punto de vista de la gestión, la implicación temprana de los organismos públicos en el proyecto, así como su apoyo, agiliza notablemente las gestiones administrativas y burocráticas. De igual manera, es fundamental el desarrollo tanto de un marco normativo que reconozca y ampare los PED, como de un sistema de ayudas e incentivos, que consista, por ejemplo, en beneficios fiscales, financiación directa, cesión de terrenos, etc.

Como consecuencia de lo anterior, será más fácil abordar la financiación del PED, notablemente más costoso que un modelo de ciudad tradicional.

Por otra parte, un gran porcentaje del éxito radica en la aceptación social y en que el proyecto surja a partir de una iniciativa local. Por esta razón es imprescindible dar difusión a los beneficios económicos, sociales y medioambientales, a fin de convencer a los ciudadanos de que un PED supondrá una mejora tangible.

Además, los PED constituyen una herramienta para combatir la pobreza energética, ya que se reducen los costes de la energía y hacen posible el acceso universal a las redes de climatización.

La gestión local de la energía genera riqueza local: fomenta el empleo mediante la creación de nuevos modelos de negocio y al mismo tiempo ataja la dependencia energética, manteniendo el capital en la zona.

3. Transformación del Distrito de Chamberí en PED

Si bien es cierto que, en la actualidad, la mayoría de los nuevos desarrollos urbanísticos ya se diseñan bajo los criterios de un PED, en un futuro próximo se deberá abordar la transformación de los barrios existentes en Distritos de Energía Positiva con el fin de reducir su demanda energética y sus emisiones.

Por esta razón, se ha escogido como objeto de estudio el Distrito de Chamberí, situado en el centro de la ciudad de Madrid, con el fin de estudiar la viabilidad de su transformación en PED.

El distrito cuenta con una superficie de 4,69 km² y una población de 137.401 habitantes. En la actualidad, existen escasas instalaciones de autoconsumo fotovoltaico, siendo la principal fuente de energía eléctrica la procedente de la red. En el caso de la energía térmica, las fuentes principales suelen ser el gas natural o la electricidad, aunque aún existen incluso calderas de carbón.

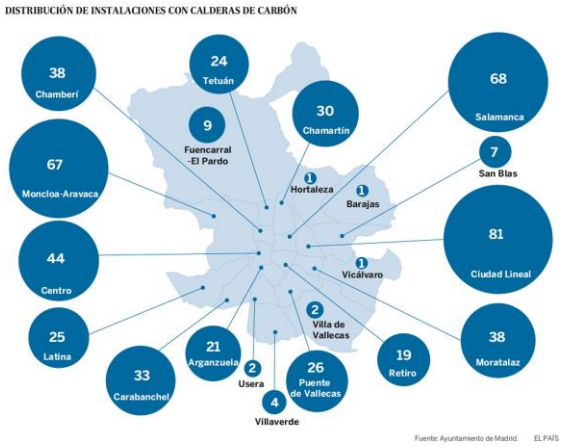


Ilustración 21. Calderas de carbón comunitarias en Madrid. Ayuntamiento de Madrid.



Ilustración 22. Cuarto de calderas en edificio residencial de Madrid. El Independiente.

Analizando detenidamente la demanda energética de los edificios, se observa que, en la mayoría de casos, la climatización supone el mayor foco de consumo energético.

	Iluminación (%)	Climatización (%)	ACS (%)	Otros (%)
Residencial	4	**48**	19	29
TiInstitucional	27	**48**	3	22
Cultural	19	**71**	4	7
Deportivo	11	**76**	10	3
Docente	16	**78**	1	5
Otros	8	**81**	3	8

Tabla 10. Distribución de la demanda energética según el uso de los edificios. Fuente: Hoja de Ruta Madrid 2030. Fundación Energías Renovables y el Ayuntamiento de Madrid. 2017.

Por este motivo, el presente estudio se centra en resolver, de una manera renovable y eficiente, la demanda térmica de todo el Distrito de Chamberí.

En la actualidad, los tipos de instalaciones térmicas existentes se distribuyen de la siguiente manera:

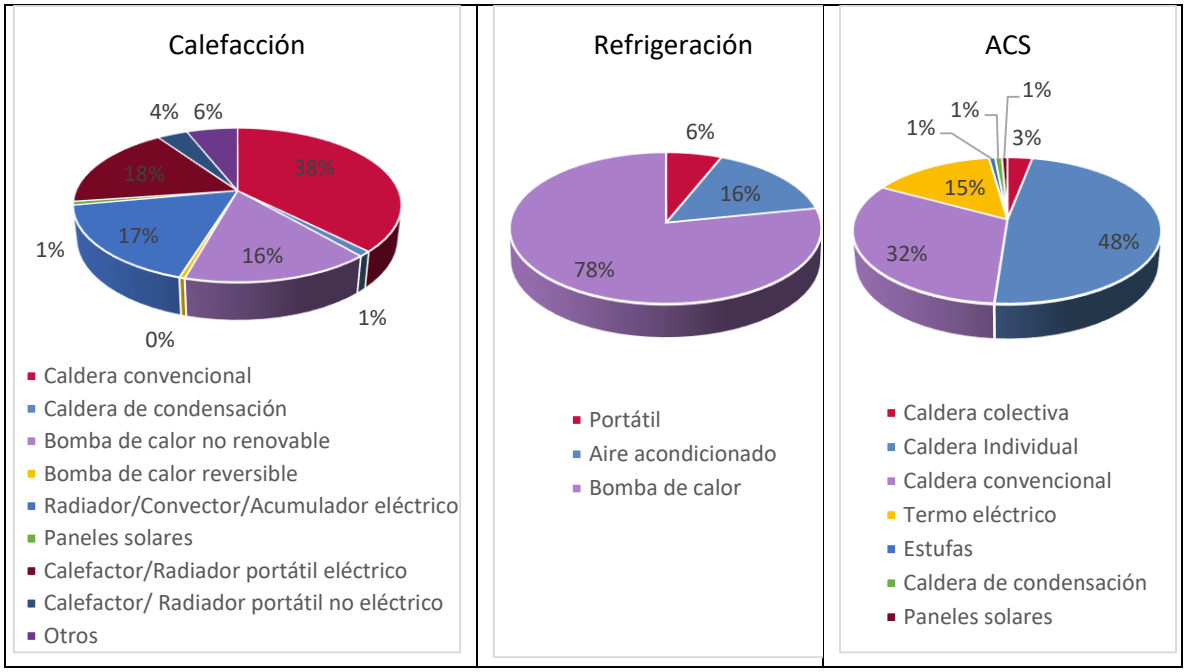


Tabla 11. Tipos de instalaciones térmicas en España. Consumos del sector residencial en España. Eurostat e IDAE.

Como se puede observar en los gráficos, los sistemas más comunes a día de hoy son las calderas convencionales alimentadas por gas natural, los radiadores eléctricos y las bombas de calor no renovables. Existe, por lo tanto, un inmenso potencial tanto de ahorro energético como de emisiones, si se sustituyen todos estos sistemas individuales por una red de climatización de distrito alimentada por fuentes renovables.

3.1 Estudio de la demanda energética

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la producción de energía térmica y de energía eléctrica se gestionan de manera diferenciada en el contexto de un PED a fin de obtener una mayor eficiencia, por lo que cabe hacer la misma diferenciación a la hora de estudiar la demanda energética.



Ilustración 23. Diferenciación entre demanda térmica y eléctrica en un PED. Elaboración propia.

3.1.1 Cálculo de la demanda térmica

3.1.1.1 Demanda térmica actual

La demanda de energía térmica de las ciudades se concentra principalmente en los edificios.

Con el fin de simplificar el cálculo de la demanda térmica de la edificación de Chamberí, se escogen las dos tipologías edificatorias más representativas: bloques de pisos residenciales y edificio terciario de gran volumen (mercados, gimnasios, iglesias, etc.), para calcular, mediante el software CE3X[11], la demanda energética y las emisiones de CO2 generadas por las mismos.

3.1.1.1.1 Demanda energética edificio tipo 1: Bloque residencial compartimentado

Según el Censo de Edificios y Viviendas del Ayuntamiento de Madrid[12], los bloques residenciales más frecuentes en Chamberí cuentan con las siguientes características:

- Uso residencial con locales comerciales en planta baja
- Siete plantas de media
- Entre 10 y 30 viviendas por bloque
- Construcción entre 1920 y 1960
- Estado de conservación bueno

[11] Software propiedad del IDAE y desarrollado por el CENER como herramienta para la Certificación Energética de Edificios Existentes.

[12] El Censo de Edificios y Viviendas del Ayuntamiento de Madrid consiste en una recopilación de los datos tomados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

- Con suministro de gas natural para calefacción y ACS

Se escoge, por lo tanto, como edificio de referencia, el situado en la calle Santa Engracia 105.

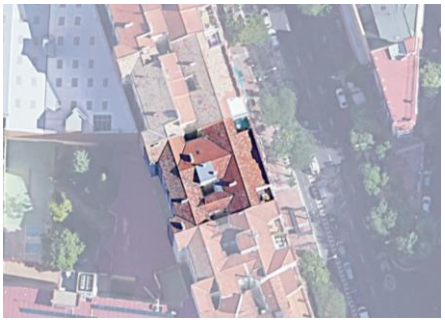
<table>
<tr><th colspan="3">BLOQUE RESIDENCIAL + COMERCIAL</th></tr>
<tr><td rowspan="6">  </td><td colspan="2">Ubicación: Santa Engracia 105</td></tr>
<tr><td colspan="2">Año de construcción: 1945</td></tr>
<tr><td colspan="2">Usos: 38 viviendas + 1 local comercial + 1 local restauración</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Superficie de parcela: 480 m^2</td><td>Patios: 55,75 m^2</td></tr>
<tr><td>Local 1: 170 m^2</td></tr>
<tr><td>Local 2: 84 m^2</td></tr>
<tr><td>Viviendas: 2.715,45 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Nº de plantas / ocupación: 7 plantas / 135 personas</td></tr>
<tr><td rowspan="10">  </td><td colspan="3">Instalaciones:
• Calefacción y ACS mediante caldera de gas natural
• Refrigeración: bomba de calor eléctrica</td></tr>
<tr><td colspan="3">SUPERFICIES:</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fachada este: 435,56 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fachada oeste: 540,28 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fachada patios: 647,58 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Medianera: 846 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Cubierta: 424,25 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Forjados: 424,25 m^2 x 6 = 2.545,5 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Suelo: 424,25 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Huecos fachada este: 161,46 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Huecos fachada oeste: 63,70 m^2</td></tr>
</table>

Tabla 12. Características del bloque residencial con bajo comercial.

Tras introducir todos estos datos en CE3X, así como la demanda de ACS, calculada con el Anexo F del CTE DB HE[13], y una estimación de la composición constructiva de los cerramientos en función de la época de construcción, se obtiene la siguiente certificación energética, que muestra el comportamiento actual del edificio[14]:

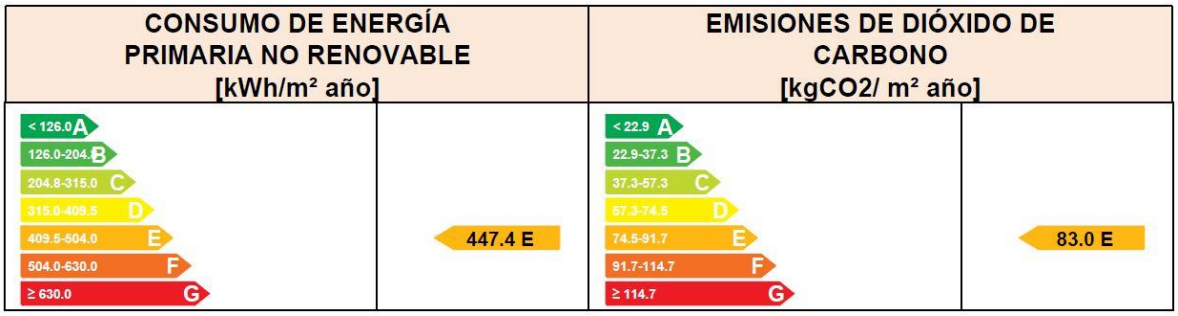


Ilustración 24. Certificación energética del bloque residencial con bajo comercial. Imagen de CE3X.

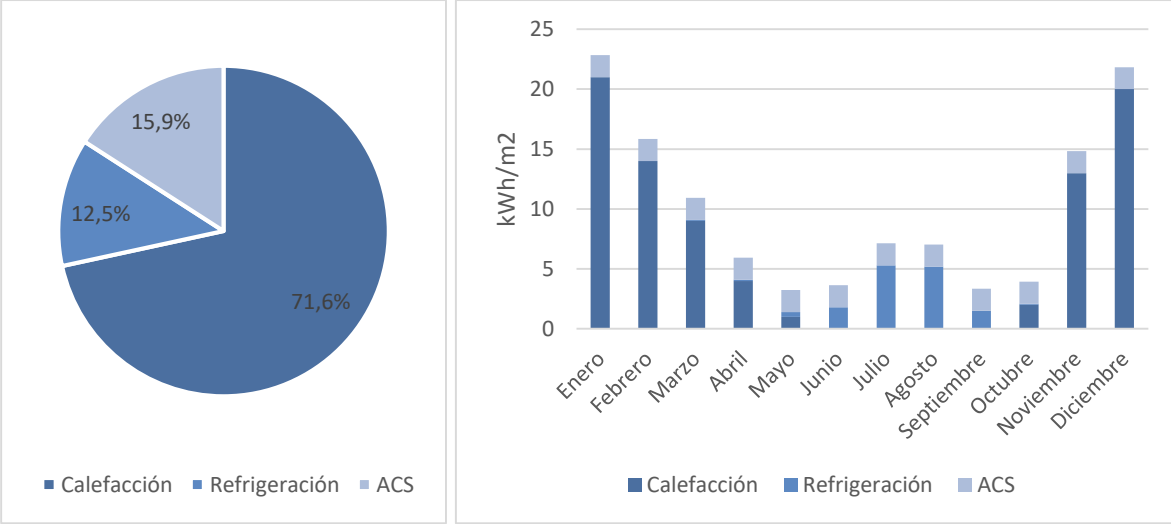


Ilustración 25. Gráficas de distribución de la demanda por meses en edificio en bloque residencial. Elaboración propia.

Los resultados del edificio de referencia se extrapolan al resto de edificaciones que, pese a tener usos distintos del residencial, tienen un comportamiento térmico similar por su composición arquitectónica. Se incluyen, por lo tanto, en esta categoría: establecimientos sanitarios, pequeños locales deportivos, pequeño comercio, hostelería, oficinas, centros docentes y edificios municipales.

[13] CTE DB HE: Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, versión de diciembre de 2019.

[14] El informe completo de la certificación energética se encuentra en el Anexo 6.2.

3.1.1.1.2 Demanda energética edificio tipo 2: Terciario de gran volumen

Para el estudio de esta tipología se escoge el Mercado de Chamberí, situado en la Calle Alonso Cano 10. El edificio tiene un marcado estilo industrial, con estructuras metálicas y pórticos de madera que cubren grandes luces, así como lucernarios en forma de diente de sierra. Comprende un mercado en la planta inferior y un gimnasio en la planta superior.

<table>
<tr><th colspan="3">MERCADO DE CHAMBERÍ + GIMNASIO</th></tr>
<tr><td rowspan="5">  </td><td colspan="2">Ubicación: Alonso Cano 10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Año de construcción: 1876. Reformado en 1943.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Usos: comercial + deportivo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Superficie de parcela: 2.350 m^2</td><td>Mercado: 2.350 m^2</td></tr>
<tr><td>Gimnasio: 2.350 m^2</td></tr>
<tr><td rowspan="8">  </td><td colspan="2">Nº de plantas: 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Instalaciones:
• Calefacción y refrigeración: bomba de calor eléctrica
• ACS: Caldera de gas natural</td></tr>
<tr><td colspan="2">SUPERFICIES:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fachada este: 494,64 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fachada oeste: 535,43 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Medianera: 1.840,35 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cubierta: 2.350 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Forjado: 2.350 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Suelo: 2.350 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Huecos fachada este: 108,10 m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Huecos fachada oeste: 72 m^2</td></tr>
</table>

Tabla 13. Características del bloque terciario de gran volumen.

De igual manera, se obtienen los siguientes resultados en la certificación energética del edificio actual[15]:

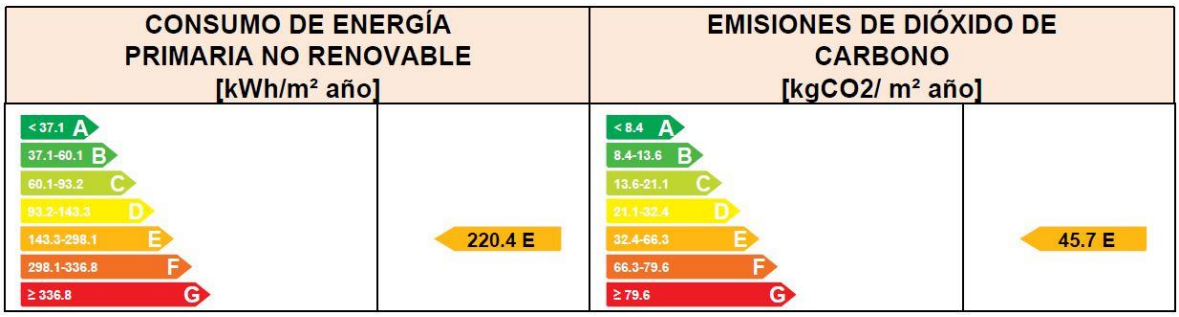


Ilustración 26.Certificación energética del bloque terciario de gran volumen. Imagen de CE3X.

[15] El informe completo de la certificación energética se encuentra en el Anexo 6.2.

Estos resultados son extrapolables al resto de edificaciones del distrito con características arquitectónicas similares, como son: grandes gimnasios, grandes mercados, centros comerciales, centros culturales y templos religiosos.

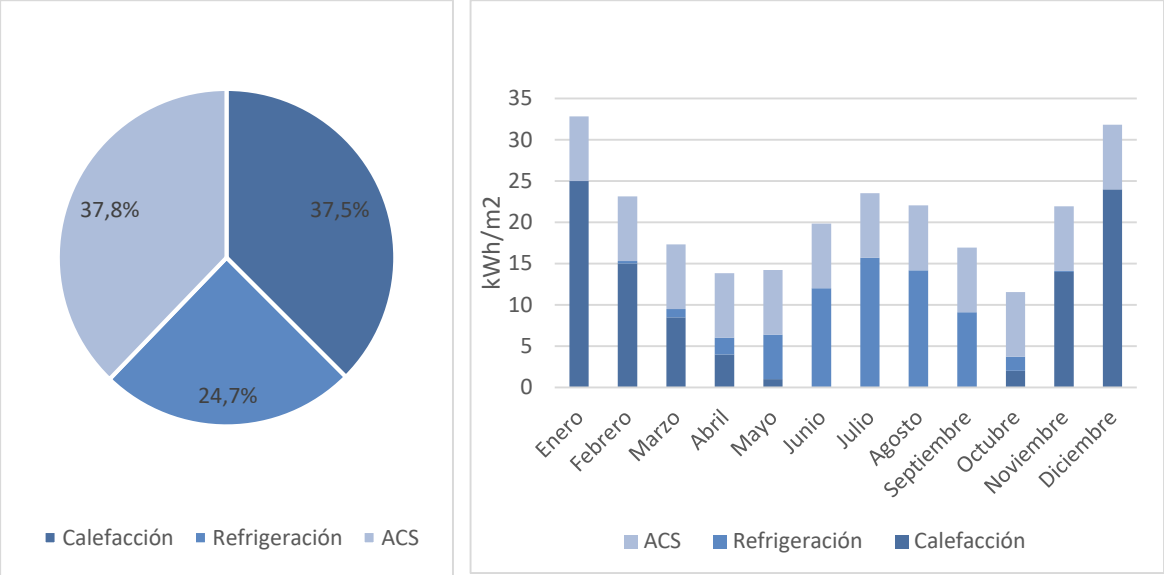


Ilustración 27. Gráficas de distribución de la demanda por meses en edificio terciario. Elaboración propia.

En resumen, tras analizar la situación actual de los edificios, se extraen los valores recogidos en la siguiente tabla:

Tipo de edificio		**Calefacción**	**Refrigeración**	**ACS**
Edificio tipo 1	Demanda (kWh/m²año)	83,96	14,66	22,02
	Emisiones (kgCO2/m²año)	34,24	3,85	7,61
Edificio tipo 2	Demanda (kWh/m²año)	93,54	61,45	94,03
	Emisiones (kgCO2/m²año)	24,81	13,32	35,90

Tabla 14. Demanda térmica y emisiones de CO2 actuales.

3.1.1.2 Reducción de la demanda de los edificios: rehabilitación energética

Una de las primeras actuaciones en un futuro Distrito de Energía Positiva es reducir al máximo la demanda energética, en especial la demanda térmica de los edificios. A este respecto, la envolvente juega un papel fundamental, ya que de ella dependen los intercambios de temperatura con el exterior.

El Distrito de Chamberí goza de un gran valor patrimonial, razón por la cual la mayoría de fachadas están protegidas. Este dato es muy relevante, puesto que las medidas aplicadas en la envolvente no podrán alterar de manera alguna el aspecto de los edificios.

Teniendo esto en cuenta, se definen una serie de medidas de mejora que se aplican a los edificios de referencia, calculados con CE3X, para conocer el ahorro energético que conllevan:

- **Fachadas**: adición de aislamiento térmico sistema Knauf consistente en trasdosado autoportante colocado por el interior de cerramientos verticales, formado por placa de yeso laminado de 15mm de espesor y aislamiento con panel de lana de vidrio semirrígido de 85mm de espesor; resistencia térmica 2,65 m²K/W; conductividad térmica 0,032 W/(mK).
- **Cubierta**: adición de aislamiento térmico desde el interior, bajo el forjado de la última planta. Sistema Rockwool: Panel semirrígido de lana de roca volcánica de 80 mm de espesor; placa de yeso laminado de 12,5mm de espesor adosada; transmitancia térmica 0,35 W/(m^{2}K).
- **Sustitución de carpinterías**: Ventana de PVC, serie Kömmerling de 76mm de anchura; transmitancia térmica del marco Uh,m = 1,2 W/(m²K); clasificación de la permeabilidad al aire clase 4; acristalamiento de baja emisividad térmica + aislamiento acústico, 3+3/12/4, con corrector del factor solar: 1 en invierno y 0,5 en verano; dispositivos de control solar: persiana y/o toldo opaco con inclinación de 45º.
- **Nueva definición de las instalaciones**: equipos alimentados con energías renovables 100%.

La aplicación de estas medidas, tanto por separado como de manera conjunta, da como resultado los siguientes datos para el caso del edificio tipo 1, bloque residencial:

Tipo de mejora en bloque residencial	**Ahorro**			
	Demanda (%)		Emisiones (%)	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Aislamiento en fachada	29	24,3	29	24,3
Aislamiento en cubierta	12	5,4	12	5,4
Sustitución carpinterías	6,6	41,4	6,6	41,4
Sustitución de instalaciones por Equipos con renovables 100%	0	0	100	100
Conjunto de todas las medidas	**52%**	**84,1%**	**100%**	**100%**

Tabla 15. Ahorro obtenido mediante la aplicación de medidas de mejora en bloque residencial.

Para el caso del edificio tipo 2, terciario de gran volumen, los datos obtenidos tras la aplicación de las medidas de mejora son los siguientes:

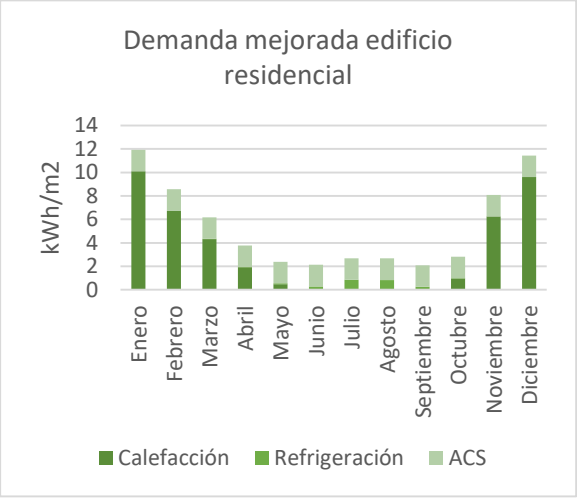
Tipo de mejora en edificio terciario de gran volumen	**Ahorro**			
	Demanda (%)		Emisiones (%)	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Aislamiento en fachada	2,3	-0,4	2,3	-0,4
Aislamiento en cubierta	21,9	-18,6	21,9	-18,6
Sustitución carpinterías	17,4	57,2	17,4	57,2
Sustitución de instalaciones por Equipos con renovables 100%	0	0	100	100
Conjunto de todas las medidas	**40,6%**	**60,9%**	**100%**	**100%**

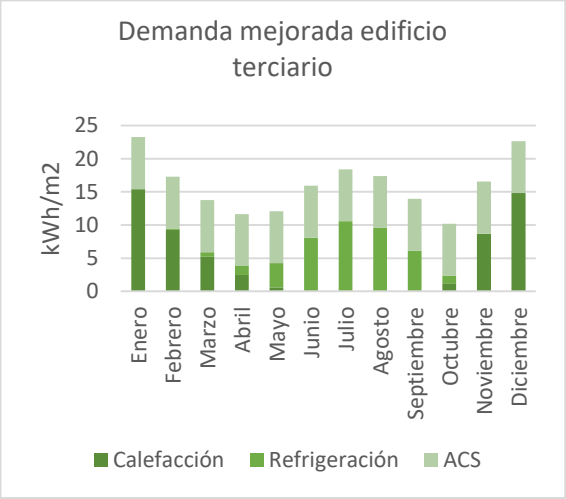
Tabla 16. Ahorro obtenido mediante la aplicación de medidas de mejora en edificio terciario de gran volumen.

En ambos casos, el conjunto de todas las medidas constituye un gran ahorro energético: en el caso de la calefacción, el ahorro es de entre el 40% y el 50% y, en el caso de la refrigeración, de entre el 60% y el 80%. Esto permitirá no sobredimensionar las nuevas instalaciones de generación de energía, que requerirán una potencia muy inferior a la actual.

Cabe mencionar que, en un estudio más pormenorizado, habría que tener en cuenta aspectos adicionales a la hora de aplicar las medidas de mejora, como, por ejemplo, distinguir entre los edificios de nueva construcción (cada vez más numerosos) y edificios sin rehabilitar o identificar las fachadas protegidas de las no protegidas para determinar cuáles permiten aislar por el exterior.

En resumen, los datos de demanda obtenidos tras aplicar las medidas de mejora en los edificios de referencia son los siguientes:





Tipo de edificio	**Demanda (kWh/m²año)**		
	Calefacción	Refrigeración	ACS
Edificio en bloque residencial	40,34	2,33	22,02
Edificio terciario gran volumen	57,66	41,36	94,03

Tabla 17. Resumen de demanda energética anual tras aplicar medidas de mejora

3.1.2 Cálculo de la demanda eléctrica

La demanda de energía eléctrica en el contexto de un PED dista bastante de la demanda eléctrica de las ciudades de hoy en día. Por una parte, actualmente la energía eléctrica cubre la demanda térmica de muchos edificios, algo que los PED proponen evitar. Por otra parte, el sector del transporte se encuentra en un momento de transición en el que se pasará de utilizar combustibles fósiles a utilizar mayoritariamente electricidad. Es preciso tener todos estos detalles en cuenta para poder hacer una estimación acertada de la cantidad de energía eléctrica que consumirá el PED de estudio y determinar si es viable que la energía demandada se genere íntegramente en el propio distrito mediante fuentes renovables.

Las principales fuentes de consumo de energía eléctrica en las ciudades son los edificios, el transporte y los servicios urbanos, como el alumbrado público, las señales luminosas, etc. A continuación, se hace una estimación del consumo de todos estos sectores.

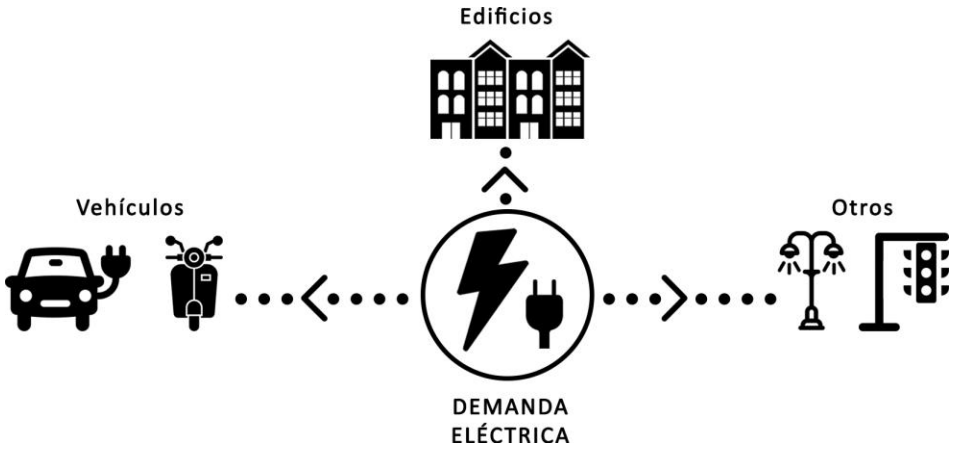


Ilustración 28. Elementos demandantes de energía eléctrica en las ciudades. Elaboración propia.

3.1.2.1 Transporte

El sector del transporte supone el mayor consumo energético urbano, representando en torno al 40% de la energía primaria consumida. En la actualidad, la energía demandada por este sector es mayoritariamente de origen fósil, pero la tendencia es a sustituir los productos petrolíferos por energías renovables, ya sea en forma de biocarburantes, de hidrógeno o de electricidad.

Puesto que la mayoría de la población se concentra en las ciudades y, por lo tanto, también los vehículos, es importante prever un importante incremento de la demanda eléctrica en las urbes cuando se haga efectivo el cambio de vehículos de gasolina a vehículos eléctricos.

3.1.2.1.1 Vehículos eléctricos

En este apartado se estudian únicamente los vehículos ligeros y turismos, puesto que la tendencia de vehículos más pesados como camiones, furgonetas, o autobuses es a utilizar otro tipo de combustibles que se ajustan mejor a sus necesidades como son los biocarburantes o el hidrógeno.

Según la Agencia Tributaria de Madrid, el parque de vehículos censados en el Distrito de Chamberí hasta el año 2017 es el que se muestra en la siguiente tabla. Así mismo, se hace el cálculo de la demanda energética que supondrían si todos ellos fuesen eléctricos.

Tipo de vehículo	Nº de vehículos	Consumo eléctrico (kWh/año)	
		Un vehículo	Total
Turismos	81.112	2.750	223.058.000
Motos y ciclomotores	12.162	630	7.662.060
TOTAL			**230.720.060**

Tabla 18. Demanda eléctrica en la recarga de vehículos censados en Chamberí.

Además de los vehículos censados en el distrito, habría que contar con los vehículos de las personas que acuden al distrito por motivos de trabajo u ocio, por lo que sería oportuno prever una cantidad adicional de vehículos eléctricos que precisarían recarga.

3.1.2.1.2 Servicio municipal de bicicletas eléctricas

En el distrito de Chamberí existen actualmente un total de 27 estaciones de bicicletas eléctricas gestionadas por el ayuntamiento bajo el servicio de BiciMAD. Cada estación cuenta con 24 puntos de estacionamiento y recarga, lo que hacen un total de 648 puntos en todo el distrito.

La autonomía de las bicicletas es de 70km. Teniendo en cuenta que la velocidad máxima a la que pueden circular es de 25km/h, la duración de la batería sería de unas 3 horas aproximadamente.

El periodo en el que se concentra el uso de las bicicletas es de unas 12 horas a día, por lo que las bicicletas requerirían cargarse 4 veces al día.

En el siguiente cuadro se determina el consumo eléctrico que supone la recarga de bicicletas eléctricas municipales en el distrito.

Estaciones BiciMAD	Puntos recarga	Potencia motor (W)	Duración recarga (h)	Cargas / día	Consumo eléctrico	
					kWh/día	kWh/año
27	648	250	3	4	3	**1095**

Tabla 19. Consumo eléctrico de recarga de bicicletas de BiciMAD en Chamberí.

3.1.2.2 Edificación

La edificación es el segundo sector que más energía consume en las ciudades. Además, la energía eléctrica consumida en los edificios se emplea, en porcentajes de en torno al 60%, para producir energía térmica, que es precisamente lo que los PED pretenden evitar.

Para conocer la demanda eléctrica a la que deberá hacer frente el PED del Distrito de Chamberí, es preciso disgregar la demanda actual por usos con el fin de determinar qué parte de la misma se destina a usos térmicos y cuál se destina exclusivamente a usos eléctricos en los edificios.

En la siguiente tabla se han tomado los valores del consumo eléctrico actual de edificios por tipologías en España y Madrid y, a continuación, se ha calculado la parte que correspondería a la demanda puramente eléctrica. Aplicándolo a las cifras de los edificios de Chamberí, se obtiene la demanda eléctrica anual del distrito.

CONSUMO ELÉCTRICO PARA USOS NO TÉRMICOS					
Tipo de edificio	**Cantidad**	**Superficie (m2)**	**Consumo eléctrico total actual (kWh/m2/año)**	**Consumo uso exclusivamente eléctrico (%)**	**Consumo uso exclusivamente eléctrico (kWh/año)**
Bloques residenciales	3.740	3360	96	33%	398.103.552
Bloques de oficinas	80	3360	169	53%	24.076.416
Centros educativos	63	3360	151	21%	6.712.373
Centros sanitarios	41	3360	183	34%	8.571.427
Hoteles	18	3360	151	33%	3.013.718
Centros institucionales	97	3360	169	49%	26.989.435
Centros deportivos	3	4700	200	14%	394.800
Centros culturales	33	4700	201	26%	8.105.526
Centros comerciales	11	4700	225,5	40%	4.663.340
Templos religiosos	24	4700	140	35%	5.527.200
TOTAL					**486.157.788**

Tabla 20. Consumo eléctrico anual del Distrito de Chamberí. Datos recopilados de la Guía de *Consumos, medidas y potenciales ahorros en edificios* de la Asociación de Empresas de Eficiencia Energética y de la *Hoja de Ruta Madrid 2030* de la Fundación Energías Renovables.

3.1.2.3 Elementos urbanos y servicios públicos

En esta categoría, cabría estudiar la demanda eléctrica de todos los elementos urbanos que consumen electricidad, como son el alumbrado público, las señales de tráfico luminosas, carteles publicitarios, bombas de riego de zonas ajardinadas, etc.

En este estudio se analiza con mayor detalle el consumo eléctrico del alumbrado público, en el que se incluyen viales, túneles, zonas peatonales, monumentos, plazas y parques.

Según el Área de Información Estadística del Ayuntamiento de Madrid, el distrito de Chamberí contaba, en el año 2019, con los siguientes datos:

Tipo de fuente de luz				**TOTAL**	
Vapor de sodio		**LED**		**Puntos de luz**	**Potencia instalada (kW)**
Puntos luz	Potencia total	Puntos luz	Potencia total		
4.062	627	1.988	116	**6.050**	**743**

Ilustración 29. Puntos de luz por tipos de fuente de luz en Chamberí.

A partir las horas de funcionamiento del alumbrado urbano publicadas por el Ayuntamiento de Madrid, se realiza un cálculo de la demanda por meses.

Meses	**Horas de funcionamiento**	**Potencia (kW)**	**Demanda (kWh)**
Enero	422	743	313.546
Febrero	367	743	272.681
Marzo	367	743	272.681
Abril	317	743	235.531
Mayo	293	743	217.699
Junio	266	743	197.638
Julio	283	743	210.269
Agosto	317	743	235.531
Septiembre	341	743	253.363
Octubre	393	743	291.999
Noviembre	413	743	306.859
Diciembre	447	743	332.121
ANUAL	4.226	743	**3.139.918**

Ilustración 30. Demanda eléctrica del alumbrado público por meses. Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

La suma de todos los consumos eléctricos contemplados supondría una demanda de energía eléctrica en el Distrito de Chamberí de en torno a los 600.000 MWh/año.

3.2 Sistemas de producción y distribución de energía renovable a nivel local

La implantación de instalaciones de generación de energía renovable en las ciudades ya consolidadas supone un enorme reto debido, principalmente, a la falta de espacio. Este es precisamente el problema que se presenta en el caso del Distrito de Chamberí, constituido por un denso tejido urbano.

Como se ha comentado ampliamente en apartados anteriores, en un PED cabe diferenciar entre los sistemas de producción de energía eléctrica y los sistemas de producción de energía térmica con el fin de aumentar la eficiencia.

En cuanto a la energía eléctrica, la mayoría de PEDs optan por implantar comunidades energéticas locales, donde cada edificio cuenta con su propia instalación fotovoltaica de autoconsumo interconectada con la del resto de edificios. En este proyecto se estudia, de una manera general, la viabilidad de implantar este sistema en el Distrito de Chamberí.

En cuanto a la energía térmica, cabría la posibilidad de instalar paneles termosolares en las cubiertas de los edificios, pero se ha preferido priorizar la utilización de estos espacios para la instalación de paneles fotovoltaicos, por lo que en este estudio se plantea, de manera más detallada, cubrir la demanda térmica del distrito mediante un sistema híbrido de geotermia y biomasa.

3.2.1 Generación de energía térmica: calefacción, refrigeración y ACS

Debido al problema que presentan los barrios consolidados en cuanto a espacio disponible, se plantea cubrir la totalidad de la demanda térmica, es decir, la calefacción, la refrigeración y el ACS, mediante un sistema híbrido de geotermia y biomasa.

Por una parte, siguiendo el ejemplo de Dinamarca, una central geotérmica de baja entalpía alimenta una red urbana de calor y frío, manteniendo despejada la superficie de la ciudad. Por otra parte, una central de biomasa da apoyo, especialmente en la generación de calor para calefacción, durante los momentos de mayor demanda, evitando tener que cubrir los picos de demanda con geotermia y garantizando que la operación sea económicamente viable.

3.2.1.1 Instalación geotérmica

Entre las ventajas de la geotermia, destacan su alta eficiencia en cuanto a generación de energía térmica, consumiendo en torno a un 70% - 80% menos de energía que un sistema convencional, los bajos costes de mantenimiento y su larga vida útil.

Sin embargo, la inversión es considerablemente más elevada que la de otros sistemas de generación de calor, por lo que la premisa principal a la hora de dimensionar la instalación será la de intentar reducir al máximo el número de perforaciones, intentando obtener al mismo tiempo la mayor cantidad de energía posible.

La geotermia es capaz de proporcionar calefacción, refrigeración y ACS mediante el intercambio de energía con el subsuelo, gracias a que éste mantiene una temperatura constante a partir de los 20 metros de profundidad aproximadamente.

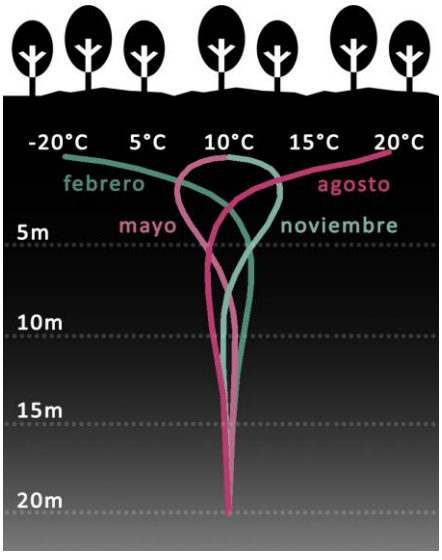


Ilustración 31. Temperatura del terreno en función de la profundidad y la época del año. Elaboración propia.

La forma de aprovechar este calor subterráneo es realizando perforaciones, en las que se introducen sondas por las que circula un fluido con la capacidad de intercambiar calor con el terreno. A continuación, el fluido llega a la bomba de calor geotérmica, donde el calor se transmite a un fluido frigorífico que se evapora, es aspirado por un compresor que aumenta su temperatura y presión, se condensa, cediendo su energía al sistema de distribución y, por último, se hace pasar el fluido por una válvula de expansión que reduce su temperatura y presión para que pueda absorber de nuevo el calor del terreno, volviendo a iniciar el ciclo. Invirtiendo este proceso se obtendría refrigeración en lugar de calefacción.

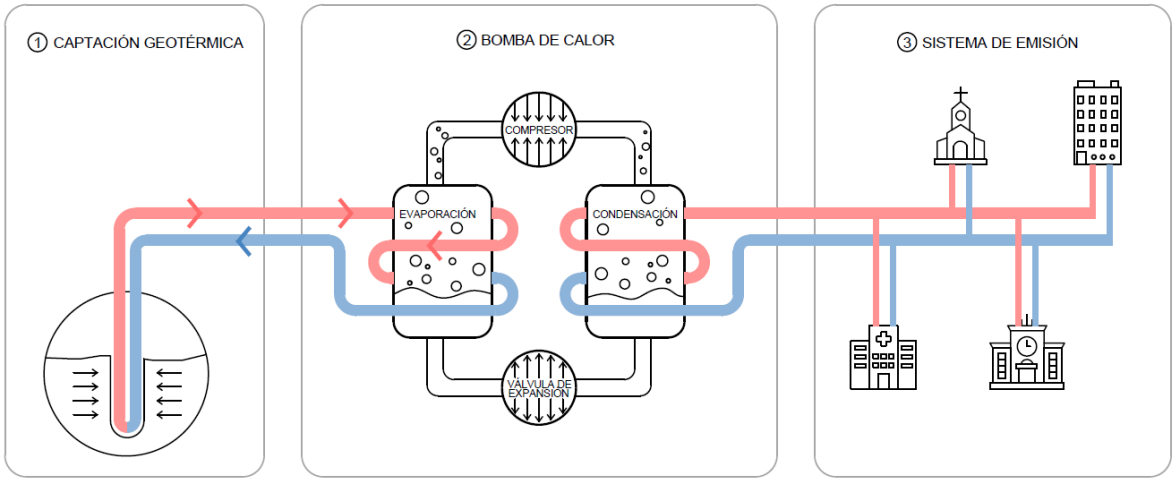


Ilustración 32. Funcionamiento de una red de climatización alimentada con geotermia. Elaboración propia.

3.2.1.1.1 Análisis de cargas

El primer dato necesario para poder dimensionar la instalación de geotermia es la carga térmica a la que deberá hacer frente.

Para ello, se parte de los datos calculados en el apartado 3.1.2. y se toma en consideración que, de manera estandarizada, en la ciudad de Madrid se hace un uso medio de la calefacción de 1400 horas anuales y un uso medio de la refrigeración de 600 horas anuales.

Teniendo estos aspectos en cuenta, se obtienen las siguientes cargas totales[16].

Tipo de edificio	Carga calefacción (MW)	Carga refrigeración (MW)	Carga ACS (MW)
Bloques residenciales	362,09	48,80	125,78
Bloques de oficinas	7,75	1,04	2,69
Centros educativos	6,10	0,82	2,12
Centros sanitarios	3,97	0,53	1,38
Hoteles	1,74	0,23	0,61
Centros institucionales	9,39	1,27	3,26
Centros deportivos	0,58	0,65	0,44
Centros culturales	6,39	7,13	4,86
Centros comerciales	2,13	2,38	1,62
Templos religiosos	4,65	5,18	3,54
TOTAL	**404,78**	**68,04**	**146,29**

Tabla 21. Carga térmica del Distrito de Chamberí.

Tras analizar las cargas obtenidas, se observa que la demanda de calor es considerablemente superior a la de frío. Puesto que en las instalaciones de geotermia es fundamental mantener un equilibrio entre el calor que se extrae del campo de captación (producción de calor) y el calor que se inyecta (producción de frío), se debe considerar la carga térmica inferior, es decir, la de refrigeración, a la hora de dimensionar la instalación.

De esta forma, la instalación de geotermia cubrirá la totalidad de la demanda de refrigeración y una fracción de la demanda de calor. Para completar ésta última, se precisa de un sistema renovable auxiliar, como es la biomasa.

[16] Los cálculos completos se encuentran en el Anexo 6.4.

	CARGA TÉRMICA (MWh)		
Meses	Demanda calefacción	**Demanda refrigeración**	Demanda ACS
Enero	142.009	**0**	27.518
Febrero	94.329	**67**	27.518
Marzo	60.405	**442**	27.518
Abril	26.892	**667**	27.518
Mayo	6.723	**2.084**	27.518
Junio	0	**6.618**	27.518
Julio	0	**15.081**	27.518
Agosto	0	**14.527**	27.518
Septiembre	0	**5.313**	27.518
Octubre	13.446	**600**	27.518
Noviembre	87.606	**22**	27.518
Diciembre	135.286	**0**	27.518
ANUAL	**566.697**	**45.422**	**330.212**

Tabla 22. Carga térmica del Distrito desglosada por meses.

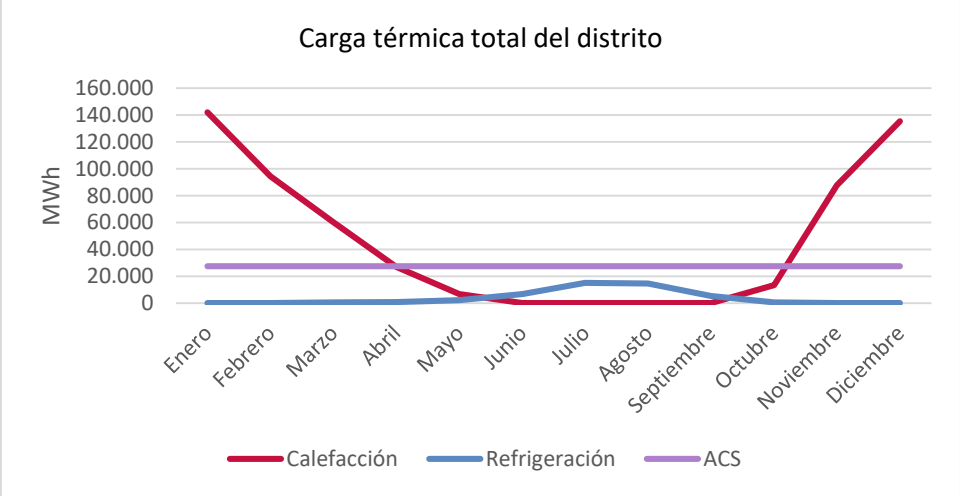


Ilustración 33. Gráfica de carga térmica del Distrito por meses.

3.2.1.1.2 Características del terreno

A continuación, se deben estudiar las características del terreno para determinar la energía que éste será capaz de proporcionar.

Dada la magnitud de la instalación de geotermia que se propone, el estudio del terreno requeriría de un Test de Respuesta Térmica (TRT) mediante el cual conocer de manera exacta tanto la

composición de los distintos estratos del terreno como su conductividad, capacidad térmica y difusividad.

En el presente caso, no obstante, se hace una estimación de las propiedades del terreno en base a fuentes de datos oficiales a las que se recurre cuando no es necesario realizar test de tipo TRT.

En primer lugar, se estudia la composición del suelo de Chamberí, para lo cual se recurre a la cartografía geológica que pone a disposición el Instituto Geográfico y Minero de España (IGME).

En la hoja número 559 se aprecia que la zona de estudio está compuesta principalmente por el tipo de suelo 11 y algunas zonas del tipo 4a:

- Tipo 11: Arenas arcósicas de grano grueso y arcillas pardas y rojizas.
- Tipo 4ª: Arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas arcósicas.

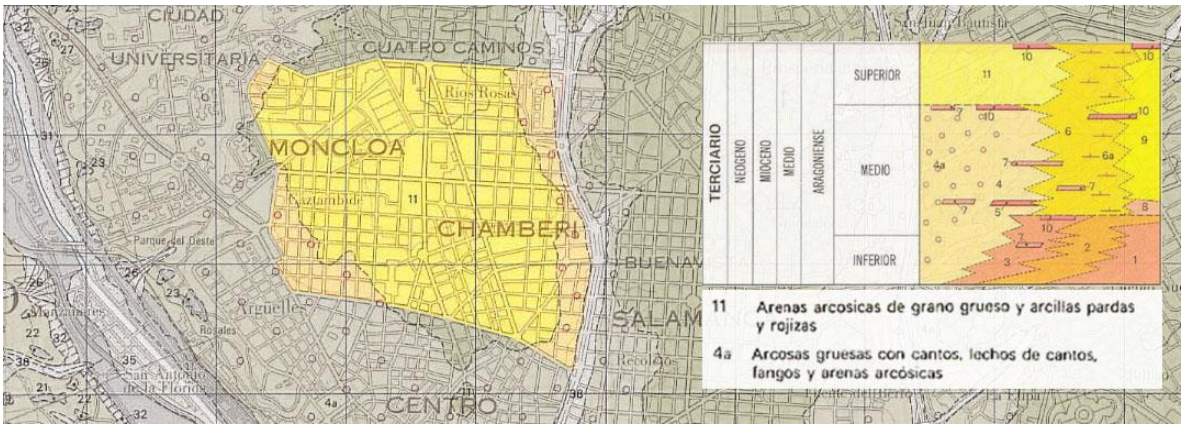


Ilustración 34. Mapa geológico de España. Hoja 559. IGME[17]

En segundo lugar, se recurre a los valores propuestos por la norma alemana VDI 6460 para poder hacer una estimación del poder calorífico del tipo de terreno del que se dispone.

En la península española el número de horas de media al año en las que se requiere calefacción se acerca más al valor de las 1800h, puesto que el clima es relativamente suave, sin temperaturas extremas, por lo que se toman los valores asociados a esta columna de la tabla.

El terreno se compone, en su mayoría, de arenas arcósicas, que son un tipo de piedra arenisca, con un mínimo del 25% de feldespato en su composición. Según la tabla de la norma VDI 6460, el poder calorífico de extracción de la piedra arenisca oscila entre los 65 W/m y los 80 W/m. No obstante, dado que la arenisca no es el único sustrato existente, sino que se encuentra mezclado con otro tipo de suelos, se toman en consideración valores de extracción más conservadores, de entre 50 – 60 W/m.

[17] En el Anexo 6.3 se encuentra la hoja cartográfica completa correspondiente al municipio de Madrid.

Extracción térmica captación vertical	Horas de funcionamiento por año	
Tipo de suelo. Valores generales	1800h	2400h
Sustrato pobre. Sedimento seco. Conductividad λ < 1,5 W/(mK).	25 W/m	20 W/m
Normal, lecho de roca con substratos y sedimentos saturados de agua. Conductividad λ = 1,5 – 3,0 W/(mK).	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada. Elevada conductividad térmica. Conductividad λ > 3,0 W/(mK).	84 W/m	70 W/m
Tipo de suelo		
Grava, arena. Seco.	< 25 W/m	< 20 W/m
Grava, arena. Con saturación de agua.	65 – 80 W/m	55 – 85 W/m
Zona freática de agua y arena.	80 – 100 W/m	55 – 85 W/m
Arcilla, limo. Húmedo.	35 – 50 W/m	30 – 40 W/m
Piedra caliza.	55 – 70 W/m	45 – 60 W/m
Piedra arenisca.	65 – 80 W/m	55 – 65 W/m
Granito.	65 – 85 W/m	55 – 70 W/m
Basalto.	40 – 65 W/m	35 – 55 W/m
Gneis.	70 – 85 W/m	60 – 70 W/m

Tabla 23. Valores de poder calorífico de extracción obtenidos de la norma VDI 6460.

Además del valor del poder calorífico de extracción, es necesario conocer otros fundamentos térmicos del terreno para poder realizar un cálculo lo más preciso posible. Para ello se recurre a la *Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado* del IDAE.

PROPIEDADES DEL TERRENO	
Tipo de suelo	Arenisca y otros
Poder calorífico de extracción (W/m)	60
Conductividad térmica (W/mK)	2,3
Capacidad térmica volumétrica (MJ/m3K)	2,2
Temperatura superficial del terreno (°C)	13,9
Flujo de calor geotérmico (W/m2)	0,08

Tabla 24. Propiedades del terreno de Chamberí.

Cuando se demandan al terreno grandes volúmenes de energía, como es el caso, es fundamental mantener un estricto equilibrio entre el calor extraído e inyectado en el subsuelo. Es decir, se debe considerar al terreno como un "almacén térmico estacional" en el que se inyecta calor o frío según la necesidad, pero siempre garantizando que en el cómputo global del año la temperatura del terreno se mantenga estable y dentro de un rango de operación seguro para la instalación. De lo contrario, el campo de intercambio geotérmico se calentaría o enfriaría en exceso y llegaría un punto en el que no sería capaz de aportar la energía requerida, poniendo en riesgo la instalación y el ecosistema.

3.2.1.1.3 Dimensionamiento de la instalación geotérmica

Una vez conocidos tanto los datos de la carga térmica como las características del terreno, se procede a calcular el número de perforaciones necesarias para cubrir la demanda, en este caso tomando como carga base la refrigeración, por los motivos mencionados anteriormente. Para ello se hace uso del software Earth Energy Designer (EED)[18], en el que es preciso introducir una serie de *inputs* o datos preliminares que le ayuden a realizar una estimación lo más precisa posible.

Uno de los datos que se deben introducir es el Coefficient of Performance, COP[19], de la bomba de calor geotérmica que se empleará, por lo que es necesario seleccionarla a priori.

La bomba de calor geotérmica se ha escogido atendiendo al criterio de que fuese reversible y contase con la mayor potencia posible para reducir el número de aparatos a instalar. Se trata del modelo WFI 9603 del fabricante Aermec, que cuenta con las siguientes características principales[20]:

BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	Aermec WFI 9603
Potencia frigorífica (kW)	2.406,5
Potencia absorbida (kW)	458,2
EER	5,25
Potencia calorífica (kW)	2.664,3
Potencia absorbida (kW)	573,6
COP	4,64
Caudal (l/h)	612.203
Q absorbido (kW)	2.090,7
Q inyectado (kW)	1.948,3



[18] EED es un software de cálculo de pozos verticales de intercambio de calor desarrollado por el Departament of Building Physics de la Universidad de Lund en Suecia.

[19] El COP indica el rendimiento de una bomba de calor, siendo habitual en geotermia tener un COP de 5, lo que significa que por cada 1kWh de electricidad que la bomba necesita para funcionar, se obtienen 5kWh de energía térmica.

[20] La ficha técnica completa de la bomba de calor se encuentra en el Anexo 6.4.

Los demás inputs que se introducen en el programa son los siguientes:

SONDEO E INTERCAMBIADOR DE CALOR	
Tipo	U-Doble
Resistencia contacto Tubería /Terreno (mK/W)	0
Conductividad térmica terreno (W/mK)	2,3
Caudal volumétrico (l/s)	4,4
Tubería en U	
Diámetro exterior (mm)	40
Espesor de la pared (mm)	3,7
Conductividad térmica tubería U (W/mK)	0,42
Distancia ejes tuberías (mm)	65

FLUIDO CALOPORTADOR	
Tipo de fluido	agua
Conductividad térmica (W/mK)	0,572
Capacidad calorífica másica (J/KgK)	4202
Densidad (Kg/m2)	1000
Viscosidad Kg/ms)	0,00152
Punto de congelación (°C)	0
Tasa de flujo por pozo (l/s)	4,4

BOMA DE CALOR GEOTÉRMICA	
COP calefacción (bomba de calor)	4,64
EER refrigeración (bomba de calor)	5,25

DEMANDA PICO	kW	horas
Enero	404.783	11,29
Julio	60.811	8,00

Tabla 25. Datos introducidos en el software EED para cálculo del campo de captación. Elaboración propia.

El dato de los picos de demanda es muy relevante a la hora de calcular el número de perforaciones necesarias ya que, si son demasiado elevados o continuados en el tiempo, pueden llevar a un sobredimensionamiento de la instalación que provoque que la operación deje de ser rentable.

Con el fin de determinar cómo afectaría al campo de captación el hacer frente a los picos de demanda, se realizan dos simulaciones: una que contempla la carga base de refrigeración y el pico de refrigeración, y otra que contempla únicamente la carga base.

- **Simulación 1**: Carga base de refrigeración cada mes del año y pico de demanda de refrigeración, consistente en 60.811 kW durante 8 horas en el mes de julio.

La simulación realizada arroja los siguientes resultados:

Perforaciones	
Número de pozos	1.156
Profundidad del pozo (m)	600
Longitud total del pozo (m)	693.600
Espaciado entre pozos (m)	12,00
Diámetro pozo (mm)	135

Tubería en U-Doble	
Diámetro de la tubería (mm)	40
Grosor de la tubería (mm)	3,7
Distancia entre ejes de las tuberías (mm)	65

Tabla 26. Resultados obtenidos con el software EED para la simulación 1 con picos de demanda. Elaboración propia.

Según la simulación realizada, para hacer frente al pico de demanda de frío, el campo de captación debería contar con 1.156 perforaciones de 600 metros de profundidad, manteniendo una interdistancia entre las mismas de 12 metros. Por lo tanto, la superficie necesaria para realizar las perforaciones sería de 166.500m² aproximadamente.

Logitud total sondas (m)	**Longitud sonda (m)**	**nº pozos**	**Interdistancia entre pozos (m)**	**Área necesaria total (m2)**
693.600	600	1156	12	**166.464**

Tabla 27. Cálculo de la superficie necesaria para el campo de captación geotérmico en la simulación 1. Elaboración propia.

El principal parámetro que se debe controlar en una instalación de geotermia, especialmente si es de grandes dimensiones, es la temperatura del terreno en el campo de captación.

En primer lugar, por razones medioambientales, se debe controlar que haya un equilibrio entre el calor inyectado y el calor extraído en el campo de captación, teniendo cuidado de no superar los +/- 17°C respecto de la temperatura natural del terreno.

En segundo lugar, desde el punto de vista técnico, es imprescindible que el fluido caloportador que circula por las sondas geotérmicas opere siempre dentro de un rango de temperatura que garantice que, por una parte, la instalación trabaje siempre a alto rendimiento y, por otra parte, no se degraden los materiales que componen la instalación. Una de las consecuencias de operar a temperaturas superiores a los 40°C es la posible rotura del polietileno del que están constituidas las sondas geotérmicas.

Por los motivos anteriores, el rango de temperaturas de operación se ha establecido, para este caso, entre 0°C y 38°C.

A través del software de cálculo, se estudia el comportamiento del fluido caloportador durante un periodo de 50 años de operación, que se estima tiempo suficiente para comprobar si la instalación provocaría alteraciones de temperatura indebidas. Los resultados son los siguientes:

CARGA PICO DE FRÍO: TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO (°C)					
Año	1	2	5	10	50
Enero	24,33	24,34	24,31	24,26	23,96
Febrero	24,33	24,39	24,38	24,32	24,02
Marzo	24,33	24,66	24,63	24,58	24,27
Abril	24,33	24,85	24,80	24,75	24,45
Mayo	24,33	22,681	22,64	22,58	22,29
Junio	24,33	24,26	24,23	24,18	23,87
Julio	24,33	40,56	40,53	40,48	**40,17**
Agosto	24,33	24,32	24,32	24,27	23,97
Septiembre	23,88	23,88	23,84	23,79	23,50
Octubre	24,74	24,70	24,70	24,65	24,35
Noviembre	24,36	24,31	24,31	24,27	23,96
Diciembre	24,34	24,30	24,30	24,26	23,95

Tabla 28. Temperatura media del fluido caloportador a final de mes en la simulación 1. Datos obtenidos del software EED.

Dado que en esta simulación se está considerando que la geotermia cubre el pico de frío en el mes de julio, se observa un enorme incremento de la temperatura del fluido en ese mes, debido al gran volumen de calor que se está inyectando en el campo de captación para hacer frente a la demanda.

La siguiente gráfica muestra la evolución de la temperatura media del fluido a lo largo del año 50 de operación. El radical aumento de temperatura en el mes de julio, donde se supera el límite operativo de la instalación de 38°C, da como resultado que esta simulación no sea viable desde el punto de vista técnico.

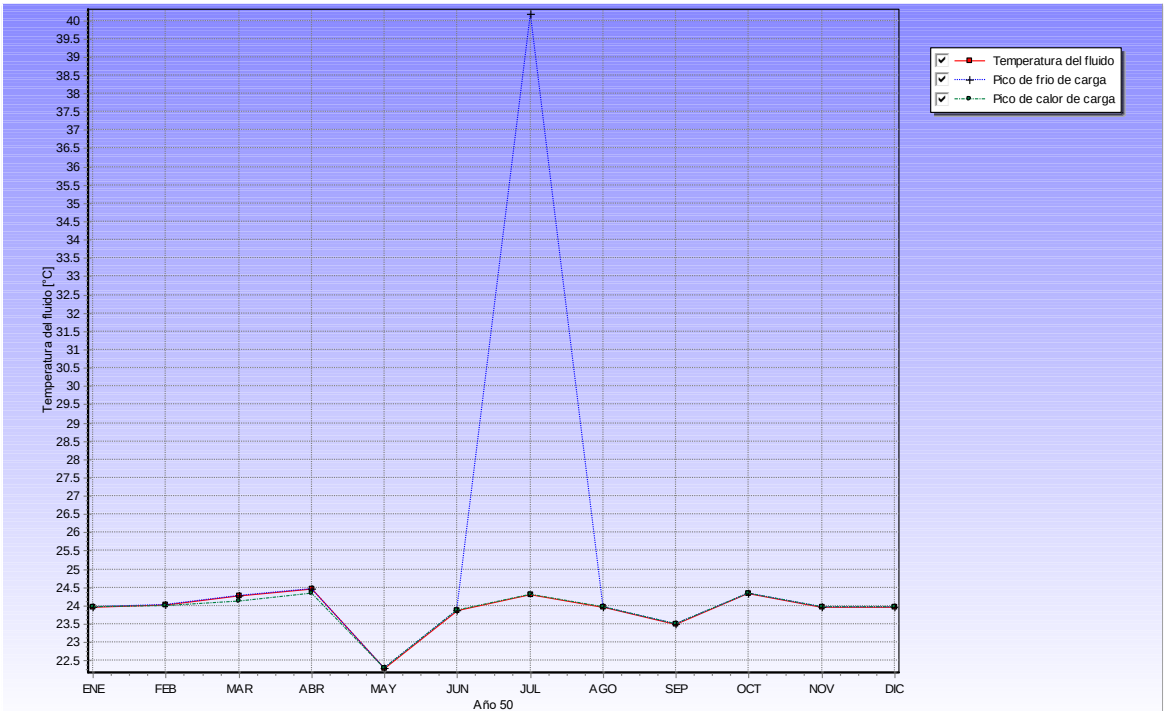


Ilustración 35. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 1. Obtenida del softare EED.

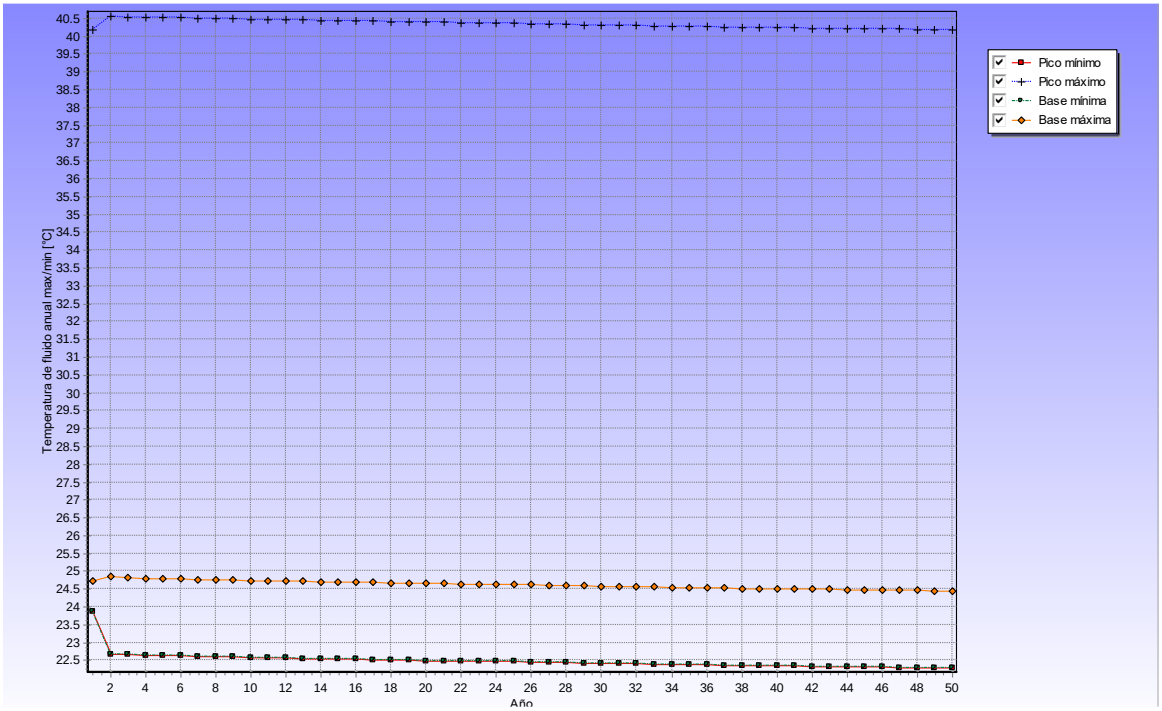


Ilustración 36. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 1. Obtenida del software EED.

- **Simulación 2**: Se considera únicamente la carga base de refrigeración en cada mes del año, sin tener en cuenta los picos de demanda, que se cubrirán con un sistema de refrigeración de respaldo.

La simulación realizada arroja los siguientes resultados:

Perforaciones	
Número de pozos	900
Profundidad del pozo (m)	328,44
Longitud total del pozo (m)	295.594,03
Espaciado entre pozos (m)	8,00
Diámetro pozo (mm)	135

Tubería en U-Doble	
Diámetro de la tubería (mm)	40
Grosor de la tubería (mm)	3,7
Distancia entre ejes de las tuberías (mm)	65

Tabla 29. Resultados obtenidos con el software EED para la simulación 2 sin picos de demanda. Elaboración propia.

Según la simulación realizada, el campo de captación ha de contar con 900 perforaciones de 328,44m de profundidad, manteniendo una interdistancia entre las mismas de 8 metros. Por lo tanto, la superficie necesaria para realizar las perforaciones es de 58.000m² aproximadamente.

Logitud total sondas (m)	**Longitud sonda (m)**	**nº pozos**	**Interdistancia entre pozos (m)**	**Área necesaria total (m2)**
295.594,03	328,44	900	8	**57.599,62**

Tabla 30. Cálculo de la superficie necesaria para el campo de captación geotérmico en la simulación 2. Elaboración propia.

La interdistancia entre pozos tiene especial relevancia, ya que, mientras que en un sistema en el que se extrae exclusivamente calor, se deben evitar las interferencias entre pozos, aumentando la interdistancia, en los casos en los que se utiliza el terreno como almacén térmico conviene que las perforaciones estén próximas entre sí para conservar la inercia térmica. En la simulación se ha estudiado este parámetro mediante EED hasta dar con la distancia óptima, de 8 metros en esta ocasión, evitando así sobredimensionar el campo de captación.

Esta segunda simulación, en la que no se considera el pico de frío, supone las siguientes ventajas respecto del caso anterior:

- El número de perforaciones se reduce en un 22,14%.
- La longitud de las perforaciones se reduce en un 45,26%.
- La superficie del campo de captación se reduce en un 65,4%.

Todas estas reducciones repercuten en el presupuesto de la instalación, que se ve enormemente aliviado, aumentando la rentabilidad del sistema.

Sin embargo, como contrapartida a esta opción, se debe considerar la incorporación de un sistema auxiliar que aporte el frío restante que requieran los edificios durante los picos de demanda en verano.

De igual manera que en la simulación anterior, se debe estudiar que la temperatura del fluido se encuentre dentro de los límites operativos estipulados:

CARGA BASE: TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO (°C)					
Año	1	2	5	10	50
Enero	19,61	19,62	19,44	19,22	18,03
Febrero	19,61	19,74	19,61	19,41	18,20
Marzo	19,61	20,37	20,30	20,14	18,89
Abril	19,61	20,82	20,83	20,60	**19,36**
Mayo	19,61	15,76	15,48	15,21	**13,99**
Junio	19,61	19,45	19,18	18,89	17,67
Julio	19,61	20,49	20,31	20,04	18,82
Agosto	19,61	19,57	19,40	19,12	17,92
Septiembre	18,55	18,43	18,22	17,97	16,78
Octubre	20,54	20,54	20,37	20,13	18,94
Noviembre	19,67	19,63	19,48	19,24	18,06
Diciembre	19,60	19,50	19,35	19,11	17,94

CARGA PICO DE FRÍO: TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO (°C)					
Año	1	2	5	10	50
Enero	19,61	19,62	19,44	19,22	18,03
Febrero	19,61	19,74	19,61	19,41	18,20
Marzo	19,61	20,37	20,30	20,14	18,89
Abril	19,61	20,82	20,83	20,60	19,36
Mayo	19,61	15,76	15,48	15,21	**13,99**
Junio	19,61	19,45	19,18	18,89	17,67
Julio	19,61	38,68	38,49	38,22	**37,00**
Agosto	19,61	19,57	19,40	19,12	17,92
Septiembre	18,55	18,43	18,22	17,97	16,78
Octubre	20,54	20,54	20,37	20,13	18,94
Noviembre	19,67	19,63	19,48	19,24	18,06
Diciembre	19,60	19,50	19,35	19,11	17,94

Tabla 31. Temperatura media del fluido caloportador a final de mes en la simulación 2. Datos obtenidos del software EED.

Como se puede observar en las tablas, en el año 50 de operación las temperaturas medias máximas y mínimas se encuentran dentro de los límites de operación establecidos, lo que garantiza la viabilidad técnica del sistema.

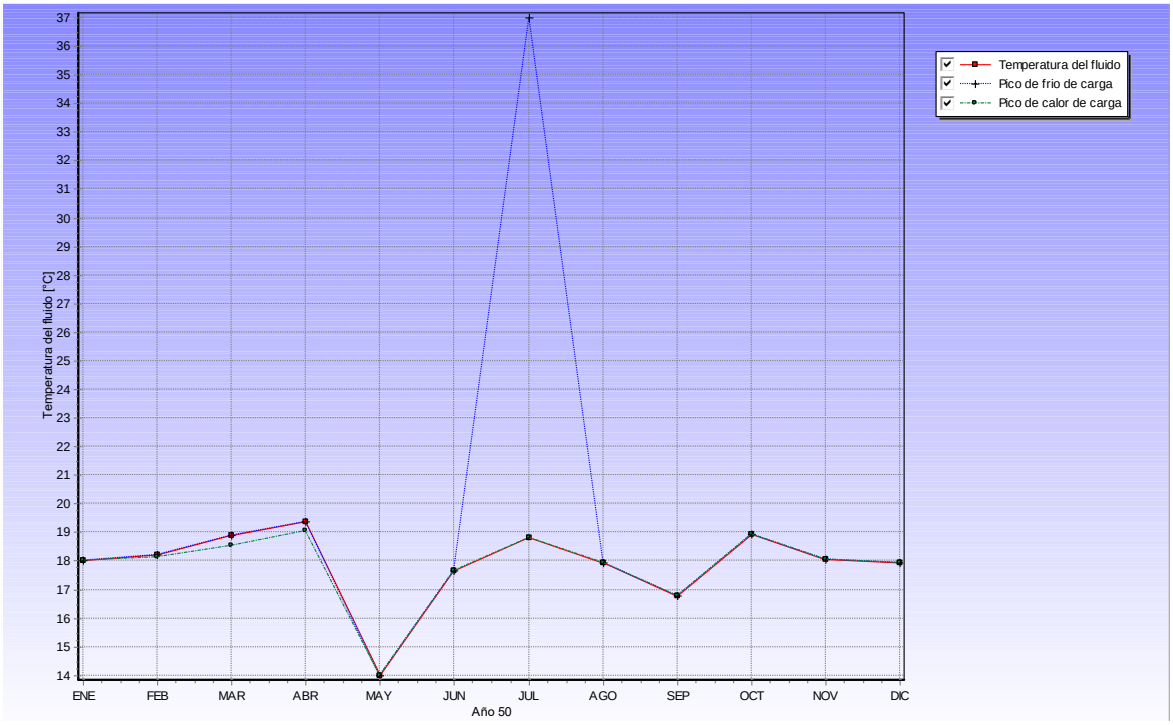


Ilustración 37. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 2. Obtenida del softare EED.

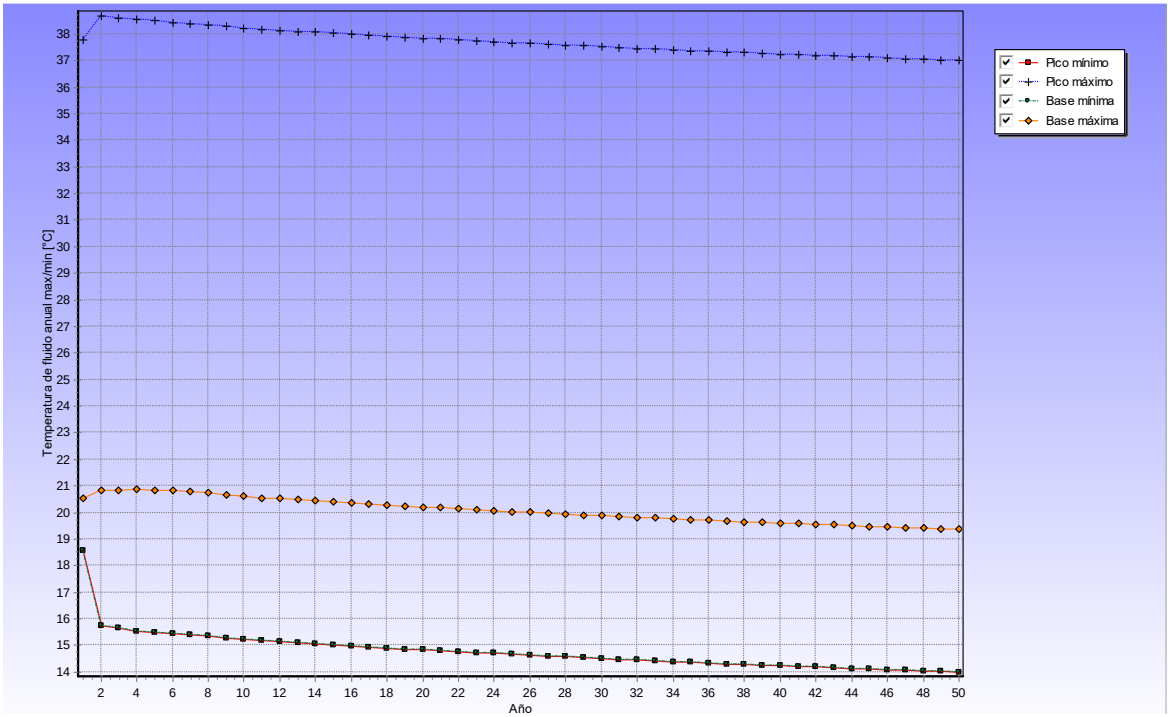


Ilustración 38. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 2. Obtenida del software EED.

Como consecuencia de los resultados obtenidos mediante las dos simulaciones realizadas, se concluye que la opción más viable desde el punto de vista técnico y económico es la simulación 2, en la que no se considera el pico de frío.

Con esta opción, la demanda base de refrigeración queda cubierta al 100% con geotermia. Sin embargo, en vez de almacenar de manera estacional el calor que se inyecta en la tierra para extraerlo más adelante en invierno, es más eficiente reaprovecharlo también en verano. De esta forma, se estaría extrayendo e inyectando calor de manera simultánea en el terreno, obteniendo tanto frío como calor, pudiéndose emplear éste último en generar ACS.

GENERACIÓN ENERGÍA GEOTÉRMICA (MWh)			
Meses	**Carga de calor**	**Carga de frío**	**Carga de suelo**
Enero	0	0	0
Febrero	0	67	-80
Marzo	0	442	-526
Abril	0	667	-794
Mayo	6.723	2.084	2.793
Junio	10.000	6.618	-34
Julio	22.000	15.081	-695
Agosto	22.000	14.527	-35
Septiembre	9.000	5.313	735
Octubre	0	600	-714
Noviembre	0	22	-26
Diciembre	0	0	0
ANUAL	**69.723**	**45.421**	**624**

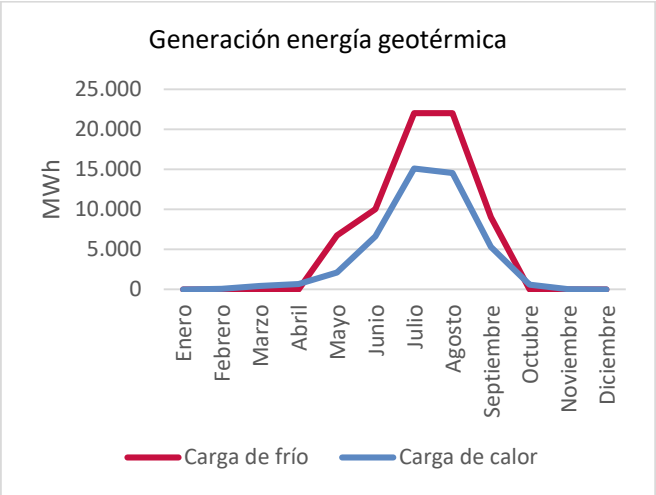


Tabla 32. Energía producida por la instalación geotérmica. Datos obtenidos de EED.

La instalación de geotermia sería capaz de cubrir el 21% de la demanda de ACS anual, llegando a cubrir hasta el 80% de la demanda de los meses de julio y agosto.

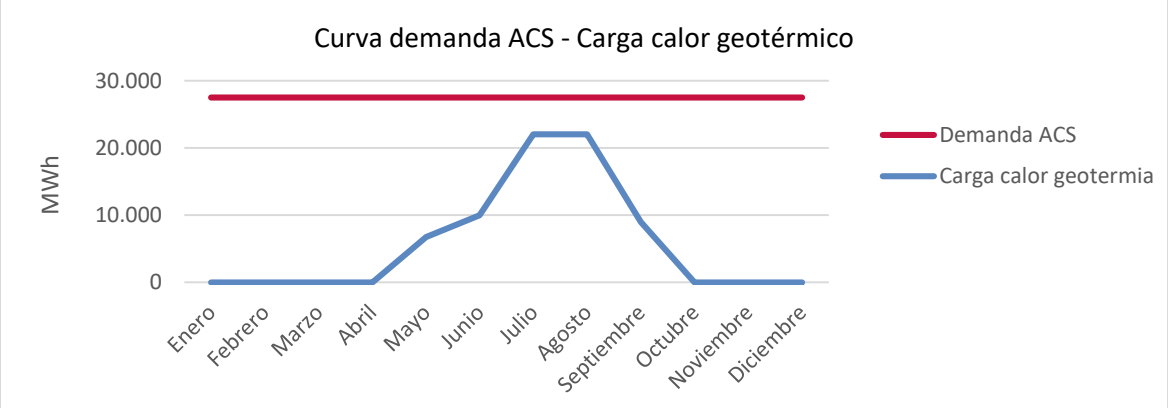


Ilustración 39. Gráfico de demanda de ACS y producción mediante geotermia. Elaboración propia.

3.2.1.2 Instalación de biomasa

3.2.1.2.1 Demanda térmica a cubrir con biomasa

Como se mencionó en el apartado anterior, es preciso disponer de una central adicional de biomasa que aporte el calor necesario para cubrir la demanda de calefacción y una parte del ACS. Para conocer la potencia que ha de tener la caldera, se procede a calcular la diferencia entre la demanda total del distrito y la carga que es capaz de aportar la geotermia, dando como resultado la cantidad de energía que tendrá que aportar la central de biomasa. El resultado se muestra en la siguiente tabla:

CARGA DE CALOR (MWh)			
Meses	**Carga calefacción**	**Carga ACS**	**Carga de calor total**
Enero	142.009	27.518	**169.526**
Febrero	94.329	27.518	**121.847**
Marzo	60.405	27.518	**87.923**
Abril	26.892	27.518	**54.410**
Mayo	6.723	20.795	**27.518**
Junio	0	17.518	**17.518**
Julio	0	5.518	**5.518**
Agosto	0	5.518	**5.518**
Septiembre	0	18.518	**18.518**
Octubre	13.446	27.518	**40.964**
Noviembre	87.606	27.518	**115.124**
Diciembre	135.286	27.518	**162.803**
ANUAL	**566.697**	**260.489**	**827.186**

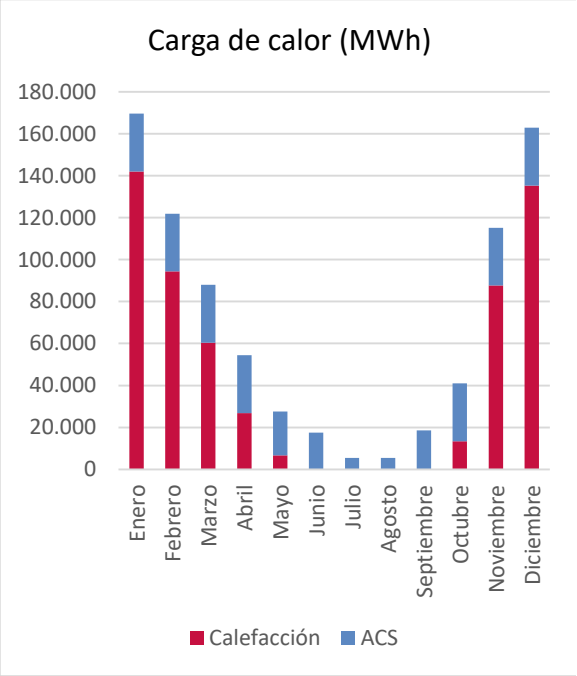


Tabla 33. Carga térmica a cubrir con la central de biomasa.

3.2.1.2.3 Dimensionamiento de la instalación

Los sistemas de generación de calor con biomasa, al igual que sucede con la geotermia, tienen una gran inercia térmica, lo que significa que siguen produciendo calor una vez que la instalación ha dejado de funcionar. Este calor se almacena en grandes depósitos para su posterior uso, lo que permite que la potencia instalada de la instalación sea menor que la de un sistema convencional, ya que durante los picos de demanda serán los depósitos los que aportarán la energía restante.

Cuando la potencia a instalar es elevada, superando los 200 kW, lo más frecuente es utilizar calderas mixtas o multicombustible, que admiten varios tipos de combustible, como pélets y astillas. Se trata de calderas con un rendimiento de en torno al 92% y totalmente automáticas, lo que reduce

considerablemente los costes de mantenimiento. Sin embargo, presentan la desventaja de que deben contar con un sistema de almacenamiento y alimentación para cada tipo de combustible.

En el apartado 3.2.1.1.1 ya se analizaron las cargas totales del distrito, por lo que, restando la energía que aporta la geotermia, la carga térmica demandada sería la siguiente:

CARGA TOTAL BIOMASA (MW)		
Calefacción	**ACS**	**TOTAL**
404,78	115,40	520,19

Tabla 34. Carga térmica a cubrir con la caldera de biomasa.

El modelo de caldera seleccionado es el DHX del fabricante Zozen Boilers, habitualmente utilizado para usos industriales. Cuenta con las siguientes características:

CALDERA DE COMBUSTIÓN MULTICOMBUSTIBLE	
Modelo	DHX series
Fabricante	Zozen Boilers
Combustible	Biomasa
Potencia (MW)	58/70/91/116
Rendimiento	89%
Presión de trabajo (MPa)	1,25 – 5,30
Temperatura de salida (°C)	90/70, 150/130
Automatización	Alta
NOx	≤ 100mg/Nm^3

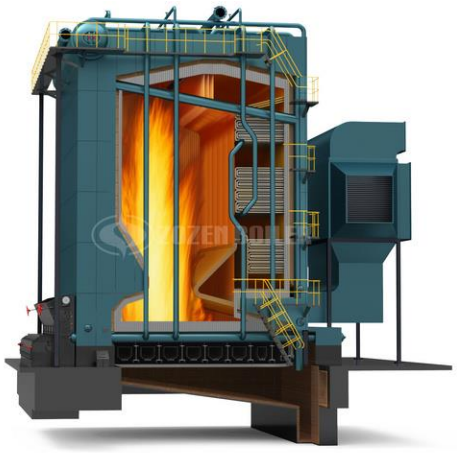


Tabla 35. Características técnicas de la caldera de biomasa.

CALDERAS DE BIOMASA NECESARIAS		
Potencia total (MW)	**Potencia de 1 caldera (MW)**	**Nº de calderas**
520,19	58	9

Tabla 36. Cálculo del número de calderas de biomasa necesarias.

Pese a contar con potencias de hasta 116MW, lo cual reduciría el número de calderas a instalar, se ha optado por calderas de menor potencia, 58MW, con el fin de que formen parte de un sistema modular que posibilite variar la potencia para adecuarla a la demanda existente en cada momento o estación.

3.2.1.2.2 Biomasa disponible

El tipo de caldera ha sido seleccionada con el requisito de que admita todos los tipos de biomasa, de forma que pueda utilizar como combustible los residuos forestales y agrícolas locales. No obstante, dichos recursos deben ser tratados en plantas peletizadoras con el fin de obtener un Poder Calorífico Inferior PCI elevado y extraer así la máxima energía durante posible durante su combustión.

Teniendo en cuenta que el rendimiento de las calderas es del 89% y que la red de distribución tiene unas pérdidas aproximadas del 4%, se calcula la necesidad de recursos de biomasa teniendo en cuenta que el combustible utilizado serán pélets.

CÁLCULO KG BIOMASA NECESARIOS					
Carga de calor anual (MWh)	**Rendimiento calderas (%)**	**Pérdidas red de distribución (%)**	**Consumo energético caldera (MWh)**	**PCI pélets (kWh/kg)**	**Combustible necesario (t/año)**
827.186	0,89	4	968.148	4,90	**197.581**

Tabla 37. Cálculo de la cantidad de biomasa necesaria para cubrir la demanda.

A través de la herramienta Bioraise[21], se analizan los residuos de biomasa potenciales en la Comunidad de Madrid, obteniendo los siguientes resultados:

RECURSOS DE BIOMASA POTENCIALES EN LA COMUNIDAD DE MADRID				
Tipo de biomasa	**Recursos potenciales (tMS/año)**	**Superficie de recursos (ha)**	**Coste medio de recolección (€/tMS)**	**Coste medio de transporte (€/tMS)**
AGRÍCOLA				
Secano	224.062,94	71.695,12	38,16	10,65
Regadío	87.831,99	6.355,65	19,24	11,35
Viñedo	6.362,10	8.957,86	47,00	12,53
Frutales	181,98	58,28	50,00	10,21
Olivo	10.055,56	23.016,78	38,00	11,72
Total agrícola	**328.494,57**			
FORESTAL				
Coníferas	51.689,02	55.651,22	60,28	13,32
Frondosas	55.120,59	48.830,78	46,72	12,36
Mixto	11.736,61	11.852,76	49,50	12,59
Dehesas	3.634,77	8.654,20	45,88	11,82
Matorral	151.842,55	214.891,02	41,49	12,89
Total forestal	**274.023,54**			
TOTAL	**602.518,11**			

Tabla 38. Biomasa disponible en la Comunidad de Madrid.

[21] Bioraise es una aplicación SIG online que pone a disposición el Ciemat para la evaluación de recursos de biomasa agrícola y forestal. Esta herramienta permite cuantificar los recursos de biomasa disponibles en el área seleccionada incluyendo sus propiedades energéticas y los costes asociados a su recolección y transporte.

Como se puede observar, en la Comunidad de Madrid hay suficiente cantidad de residuos forestales potenciales para surtir a la central de biomasa propuesta.

Por último, es recomendable prever un almacenamiento de pélets equivalente a dos semanas, por lo que sería preciso contar con el siguiente volumen de almacenamiento:

ALMACENAMIENTO NECESARIO					
Combustible necesario (t/año)	**Combustible necesario 2 semanas (t)**	**Densidad de los pélets (kg/m3)**	**Volumen de almacenamiento (m3)**	**Altura tanques almacenamiento (m)**	**Superficie tanques (m2)**
197.581	7.599	650	11.691	12	974

Tabla 39. Cálculo del almacenamiento necesario para la biomasa.

Se precisaría de una superficie de 974 m² para almacenaje de biomasa en forma de pélets.



Ilustración 40. Silos de 8.700m^3 para almacenamiento de biomasa en Huelva. Sitio web de Expobiomasa.

3.2.1.3 Resultados y modo de funcionamiento

El conjunto de la instalación de geotermia, de biomasa y el sistema de refrigeración auxiliar dan como resultado un sistema híbrido de generación de energía térmica que, ocupando una pequeña superficie del barrio para las centrales de producción, es capaz de cubrir la totalidad de la demanda del mismo con energías 100% renovables.

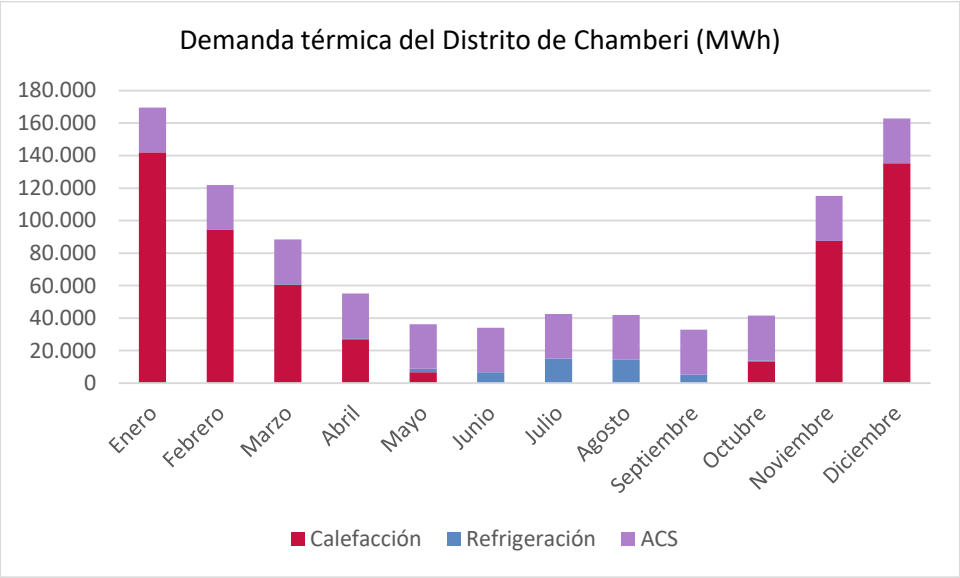


Ilustración 41. Gráfico de demanda de energía térmica en el Distrito de Chamberí. Elaboración propia.

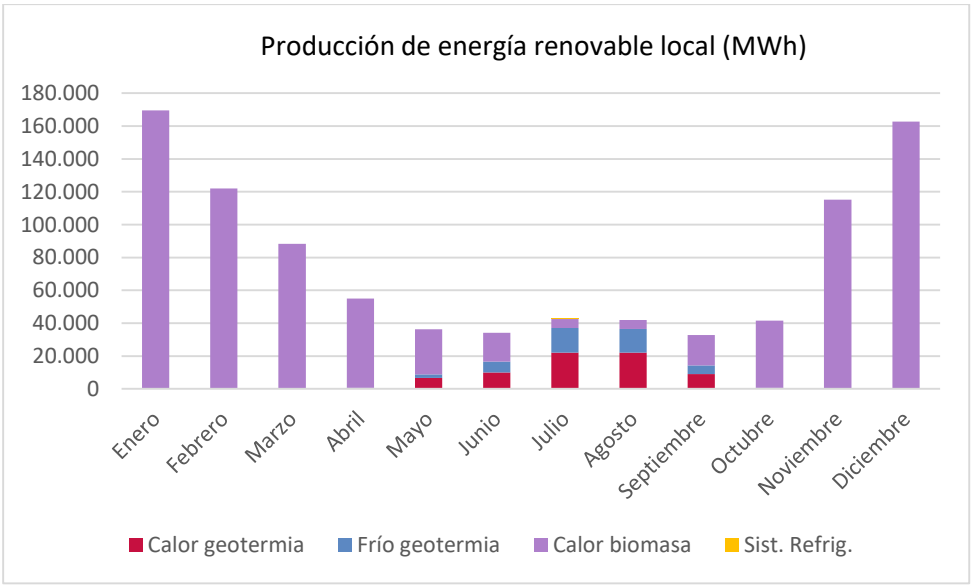


Ilustración 42. Gráfico de energía térmica producida para cubrir la demanda del Distrito de Chamberí. Elaboración propia.

Finalmente, la energía producida en el PED se distribuye de la siguiente manera:

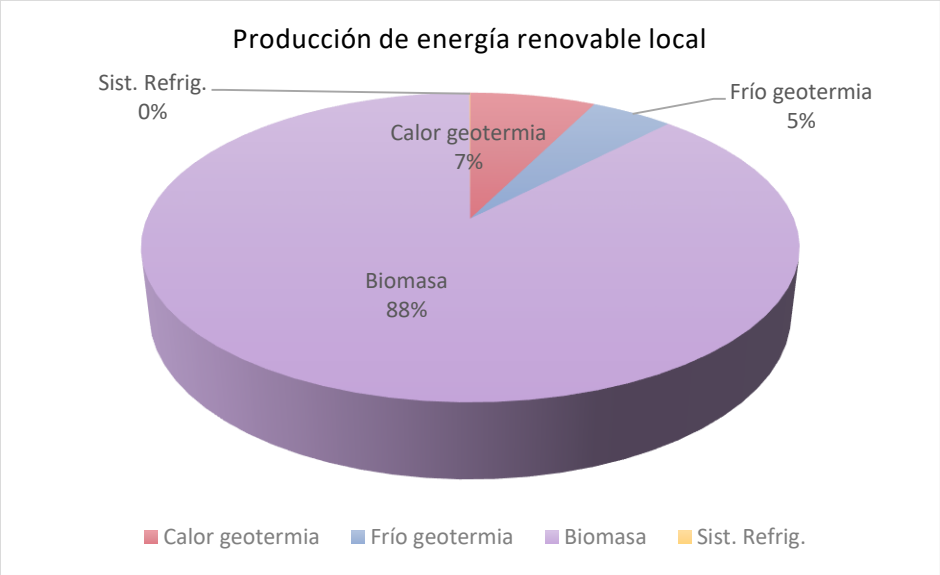


Ilustración 43. Porcentajes de producción de energía renovable de cada tecnología presente en el PED. Elaboración propia.

Geotermia	Biomasa	Sist. Refrigeración	TOTAL
115.144 MWh/año	827.186 MWh/año	486 MWh/año	942.816 MWh/año
12,21%	87,74%	0,05%	100,00%

Tabla 40. Porcentajes de producción de energía renovable de cada tecnología presente en el PED. Elaboración propia.

Es precisamente la combinación de los tres sistemas lo que garantiza la viabilidad técnica y económica de la operación, ya que permite que cada tecnología trabaje bajo su rendimiento óptimo y funcione de manera escalada en función de la evolución de la demanda. Además, tanto la central de biomasa como la de geotermia se caracterizan por su elevada inercia térmica, lo que significa que, tiempo después de haber dejado de funcionar, siguen produciendo energía. Si se aprovecha este calor residual mediante una buena gestión de la energía, el ahorro energético no sería nada despreciable.

Las tres instalaciones funcionan de manera conjunta formando parte de un mismo sistema, controlado a través de un gestor inteligente de la energía. Este sistema de gestión, da siempre prioridad a la generación mediante geotermia, y cuando la demanda supera la carga base que ésta puede aportar en condiciones de seguridad, ordena entrar a funcionar a los equipos auxiliares de calor y frío, constituidos por la central de biomasa y el sistema de refrigeración auxiliar.

El modo de funcionamiento consiste en el vertido del agua caliente generada tanto por la geotermia como por la biomasa a un mismo depósito, de forma que si se produjese un incremento en la demanda de calor que la geotermia no fuese capaz de asumir, sería la central de biomasa quien

incrementaría la temperatura del agua del depósito hasta alcanzar el nivel requerido y, a continuación, el fluido sería bombeado por las redes de distribución hacia los edificios. En el caso de la demanda de frío el funcionamiento sería similar salvo que sería el sistema de refrigeración el que reduciría la temperatura del agua del depósito de agua fría que comparte con la geotermia antes de ser bombeado hacia el distrito.

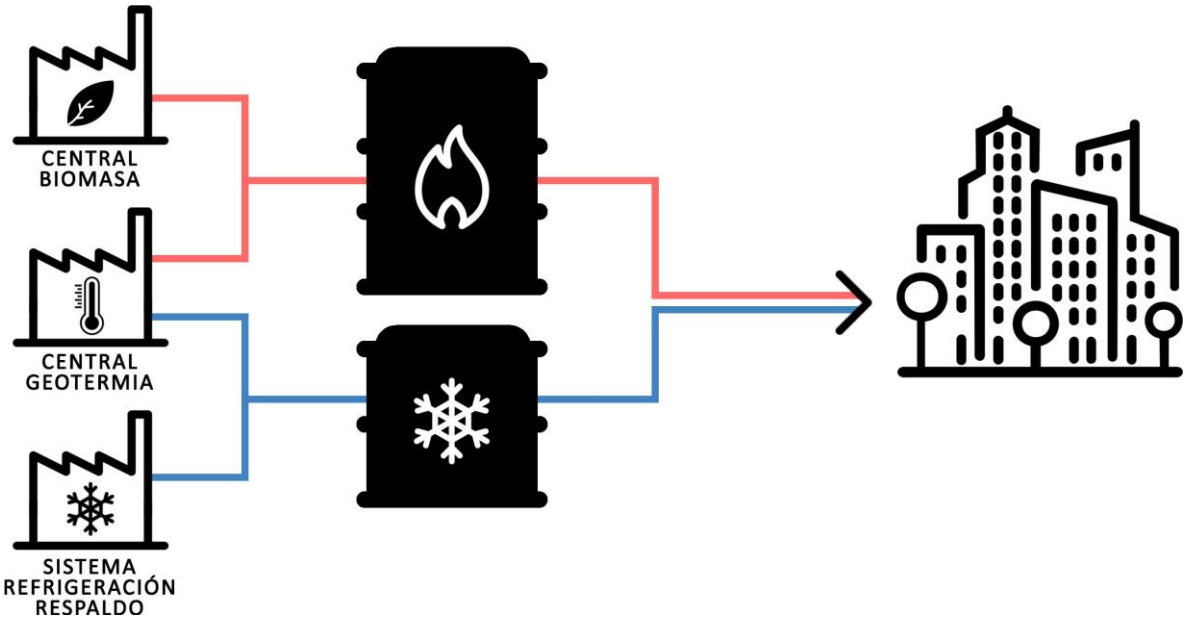


Ilustración 44. Esquema de funcionamiento conjunto de la instalación. Elaboración propia.

3.2.1.4 Localización de la instalación

La localización de la instalación supone un reto puesto que el campo de captación geotérmico, pese a estar enterrado, requiere de una gran área donde sea factible realizar las perforaciones.

Para ello, en primer lugar, es preciso analizar los elementos subterráneos que pudieran interferir con los pozos geotérmicos, para lo cual se estudian las líneas de metro, las redes de alcantarillado, cimentaciones próximas, etc.

A continuación, se busca un área despejada con una superficie mínima de 60.0000m², que es lo que requiere el campo de captación. Al no encontrar una superficie con estas características dentro del distrito, se estudian las áreas cercanas.

A unos pocos metros del distrito, en la Ciudad Universitaria, se encuentra el Parque Jaime del Amo, una extensión de bosque de 100.000 m² en la que, a priori, sería viable situar el campo de captación.

La operación, por supuesto, debería ser estudiada desde el punto de vista medioambiental, garantizando que, tras realizar las perforaciones convenientes, el bosque quedase en un estado, como mínimo, similar al original. Sin embargo, la instalación de un campo de captación geotérmica de tal magnitud bajo un parque, integrado en el centro de una ciudad como Madrid, supondría una actuación pionera que, lejos de alterar el medio ambiente, aportaría cuantiosos beneficios a la ciudad.

Además, el hecho de intervenir en un área verde, contribuiría al cuidado de dicha zona, favoreciendo la poda y recolección de desechos vegetales susceptibles de ser utilizados en la planta de biomasa propuesta.



Ilustración 45. Fotografías del deterioro del Parque Jaime del Amo debido a la falta de mantenimiento. Imágenes del diario Madrid Diario.

Por otra parte, al norte del distrito se encuentran las antiguas Cocheras del Metro de Cuatro Caminos, demolidas recientemente. Esta parcela podría albergar la central de biomasa y los tanques de almacenamiento. Su ubicación es idónea, puesto que está situada junto al eje central del distrito, lo que facilitaría la ramificación de las redes de distribución y suministro.

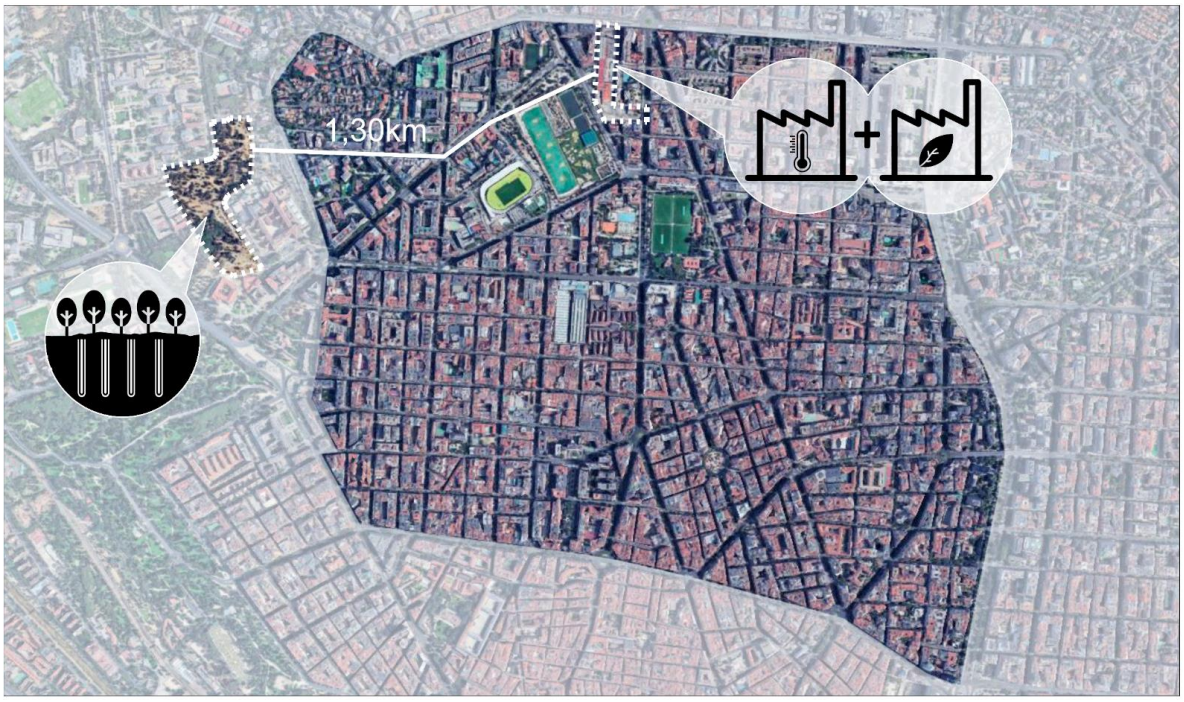


Ilustración 46. Plano de situación del Distrito de Chamberí y el Parque del Oeste. Imagen de Google Earth.

3.2.2 Generación de energía eléctrica

En cuanto a la generación de energía eléctrica, el modelo que empieza a imponerse en los núcleos urbanos es, como se vio anteriormente, el de las comunidades energéticas locales.

En el caso del Distrito de Chamberí, la alta densidad edificatoria ofrece una gran oportunidad para cubrir todos los tejados y azoteas no transitables con paneles fotovoltaicos.

Por este motivo, se estudia, de manera muy simplificada, la capacidad de generación de energía para autoabastecimiento que tiene el Distrito con el fin de determinar si se cubre la demanda o serían necesarias otras fuentes adicionales de suministro.

En primer lugar, el distrito cuenta con una superficie construida de 5.314.606 m2. Sin embargo, no toda la superficie es susceptible de instalar de paneles FV puesto que existen otro tipo de instalaciones, antenas, casetones, lucernarios, etc., con las que deberán coexistir. Tras analizar el tipo de cubierta de varias manzanas del distrito y sus elementos existentes, se determina que la superficie disponible para instalación de paneles es, de manera conservadora, de un 60% de la superficie total.

Los datos que se tienen en cuenta para realizar el cálculo simplificado son:

- Superficie disponible: 3.188.763 m².
- Tipo de módulo fotovoltaico: Monocristalino de 500W de potencia, superficie 2,36 m².
- Horas de luz solar anuales en la Comunidad de Madrid: 2.691 horas.
- Demanda de energía eléctrica del Distrito de Chamberí: 600.000 MWh/año.

Por lo tanto, la energía que produciría un panel sería de 1.345,5 kWh al año. Extrapolando este dato a la superficie total disponible se obtiene una producción de 675,6 MWh/año.

La instalación fotovoltaica queda muy lejos de cubrir la demanda del Distrito. Sin embargo, precisamente por representar un porcentaje tan reducido de la demanda, se garantizaría que la energía producida mediante esta instalación se aprovecharía en todo momento sin necesidad de sistemas de almacenamiento a través de la gestión de cesión de la energía a nivel comunitario.

Lo que sí es una evidencia, es que es necesario un sistema de producción de energía eléctrica que, inevitablemente, ha de proceder del exterior del Distrito. Este hecho no quiere decir que el distrito no pueda constituirse como PED, puesto que, dentro de la definición del mismo, se contempla que el suministro de energía proceda de zonas próximas siempre que su origen sea renovable.

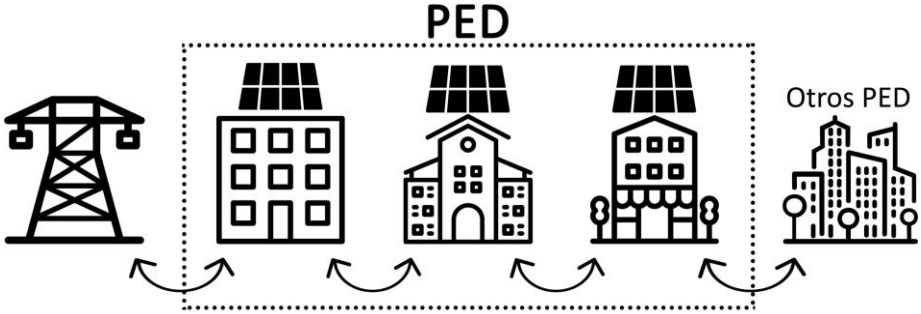


Ilustración 47. Comunidad energética local en un PED. Elaboración propia.

3.3 Medidas pasivas complementarias a nivel urbano

En muchos Distritos de Energía Positiva existentes, como se pudo comprobar en algunos de los ejemplos que se estudiaron al inicio de este documento, se implantan medidas complementarias que, de manera indirecta o pasiva, contribuyen a generar una atmósfera de confort a nivel urbano.

El objetivo principal de estas medidas sigue siendo, en definitiva, el de reducir la contaminación urbana a todos los niveles y aumentar la eficiencia energética.

Algunas de las medidas pasivas complementarias que se podrían implementar en el PED del Distrito de Chamberí serían:

- Incremento de la masa arbórea en las calles, principalmente de hoja caduca, con el fin de proporcionar sombra en verano y generar pequeños microclimas. Esta medida evitaría el sobrecalentamiento del asfalto, que desprende todo el calor absorbido a lo largo de las horas de sol durante la noche, impidiendo que el aire caliente llegue a evacuarse correctamente. Otro beneficio de la masa vegetal es su capacidad de absorber los ruidos urbanos, reduciendo la contaminación acústica. Por último, no se debe pasar por alto que las plantas absorben CO2 de manera natural.



Ilustración 48. Diferencia de temperatura entre calle con vegetación y sin vegetación. Fuente: Foro Ambiental.

- La constitución de supermanzanas en el centro de Madrid supondría una liberalización de espacio del 70% para el uso y disfrute de los peatones. La medida está siendo valorada actualmente por el Ayuntamiento de Madrid, y consiste en la agrupación de varias manzanas que pasarían a constituir una supermanzana en la que el tráfico rodado estaría restringido. De esta manera se reduciría la contaminación acústica y aumentaría la calidad de vida de los habitantes, que recuperarían el espacio que actualmente ocupan vehículos que pasan el 95% del tiempo estacionados de manera permanente.



Ilustración 49. Supermanzanas en Madrid. Imagen del diario El País.



Ilustración 50. Supermanzanas en Madrid. Imagen del diario El País.

3.4 Estudio económico

3.4.1 Presupuesto

El presupuesto para la conversión del Distrito de Chamberí en un PED comprende únicamente los costes que supondría la implantación de la red de climatización urbana, por ser la parte que se ha calculado con mayor detalle en este proyecto.

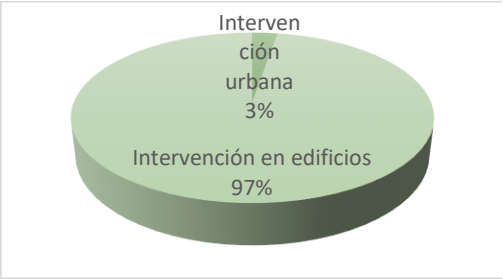
Además, el presupuesto queda dividido en dos partes: por un lado, la intervención urbana que se debería llevar a cabo bajo la responsabilidad de las autoridades locales y, por otro lado, lo que se consideraría intervención privativa cuya inversión deberían afrontar los propietarios de los edificios.[22]

CÓDIGO	INTERVENCIÓN URBANA	IMPORTE
01	TRABAJOS PREVIOS	224.864,00 €
02	DEMOLICIONES	104.625,00 €
03	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	594.925,00 €
04	CONSTRUCCIÓN EDIFICACIONES	10.018.351,35 €
05	URBANIZACIÓN EN ZONAS DE INTERVENCIÓN	731.148,00 €
06	INSTALACIÓN GEOTERMIA Y BIOMASA	69.064.922,56 €
07	SEGURIDAD Y SALUD	1.619.308,47 €
08	CONTROL DE CALIDAD	647.723,39 €
09	GESTIÓN DE RESIDUOS	647.723,39 €
	TOTAL	**83.653.591,16 €**

CÓDIGO	INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS	IMPORTE
01	INSTALACIONES	1.841.252.893,80 €
02	REHABILITACIÓN ENERGÉTICA	567.049.384,20 €
	TOTAL	**2.408.302.278,00 €**

Tabla 41. Resumen del presupuesto del proyecto.

Como se puede apreciar, la inversión urbana es considerablemente inferior a la inversión que se debe hacer en los edificios, tanto para hacerlos compatibles con la red de climatización urbana, como para disminuir su consumo energético mediante medidas de rehabilitación energética.



[22] El presupuesto completo desglosado se encuentra en el Anexo 6.7.

Teniendo en cuenta que los inmuebles del distrito pertenecen a unos 150.000 propietarios, se obtiene que cada propietario debería hacer una inversión de unos 16.050 € de media.

Dado que entre los inmuebles del distrito hay un porcentaje que son de propiedad pública, como es el caso de centros educativos, hospitales o templos religiosos, se excluyen los mismos para hacer una estimación de la inversión que debería realizar el propietario de un apartamento residencial tipo. En este caso, la inversión total sería de 13.000 €.

Puesto que la parte más cuantiosa de la conversión del distrito en PED recaería en los habitantes, sería preciso establecer un sistema de subvenciones y beneficios fiscales que hiciese posible la operación. Actualmente, el Plan Rehabilita Madrid 2021, promovido por el Ayuntamiento de Madrid, ofrece subvenciones de hasta 8.000 € por vivienda para cuestiones de eficiencia energética por lo que, acogiéndose a esta ayuda, los propietarios reducirían su inversión a 5.000 €.

Presupuesto total edificios distrito	Número edificios	Presupuesto por m2	Superficie media vivienda (m2)	Presupuesto medio por vivienda	Subvención por vivienda	Pago por vivienda
2.408.302.278 €	4.110	173,20 €	75	12.990 €	8.000 €	**4.990 €**

Tabla 42. Cálculo de la inversión particular con subvención.



Ilustración 51. Plan Rehabilita Madrid 2021. Información extraída del Área Delegada de Vivienda del Ayuntamiento de Madrid.

3.4.2 Análisis de rentabilidad

A la hora de analizar la rentabilidad del proyecto, se debe tener en cuenta que la operación debería resultar rentable tanto para los inversores (públicos o privados) que afronten la construcción de la nueva instalación, como para los propietarios de los edificios del distrito, que deberán afrontar el gasto de la rehabilitación energética y la adaptación de la instalación en sus propiedades.

En primer lugar, se debe establecer el precio de venta de la energía térmica producida con la nueva instalación renovable, que resultará determinante a la hora de que los propietarios de los edificios recuperen la inversión individual en un plazo razonable.

Para ello, se compara la cantidad que pagaría el propietario de una vivienda con las tarifas actuales de gas y electricidad, y la cantidad que pagaría si acometiese la rehabilitación energética propuesta y se le suministrase energía mediante la nueva red urbana. Se hace una simulación a lo largo de los primeros 25 años de operación.

RETORNO DE LA INVERSIÓN DE UN USUARIO TIPO	
Inversión inicial media por usuario	4.990,01 €

	Año	1	2	6	7	25
INSTALACIÓN ACTUAL	Demanda actual calor (kWh/año)	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50
	Demanda actual frío (kWh/año)	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50
	Tarifa gas (€/kWh)	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €
	Tarifa electricidad (€/kWh)	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €
	Término fijo energía (€/año)	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €
	Gastos mantenim. (€/año)[23]	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	Gasto actual (€/año)	**983,99 €**	**984,19 €**	**984,98 €**	**985,17 €**	**988,73 €**
INSTALACIÓN NUEVA	Energía geotermia (kWh/año)	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33
	Precio energía geotermia (€/kWh)	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €
	Energía biomasa (kWh/año)	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91
	Precio energía biomasa (€/kWh)	0,0515 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €
	Energía sist.refrig. (kWh/año)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Precio energía sist.refrig. (€/kWh)	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €
	Pérdidas en la red (%)[24]	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	Gasto nueva instalación (€/año)	**236,50 €**	**236,55 €**	**236,74 €**	**236,79 €**	**237,64 €**

[23] Los gastos de mantenimiento tienen en cuenta las revisiones bianuales de la caldera de gas, que suponen un gasto de unos 100€, una sustitución de la caldera en el plazo de 25 años, que supone unos 1800€ y una sustitución de dos equipos de aire acondicionado, que supone un gasto de unos 1200€.

[24] Las pérdidas en la red se ven repercutidas en el precio de venta de la energía producida por la nueva instalación.

Ahorro nueva instalación (€/año)	747,49 €	747,64 €	748,24 €	748,39 €	751,08 €
VAN	-4.242,52 €	-3.494,88 €	**-502,83 €**	**245,55 €**	13.742,13 €

Tabla 43. Cálculo del retorno de la inversión de un usuario tipo para la intervención en edificios[25].

El precio del kWh de la nueva instalación renovable se ha calculado a partir del precio de la energía procedente de la geotermia, de la biomasa y del sistema de refrigeración de respaldo, en función de la cantidad de energía que aporta cada una de estas tecnologías y de su rendimiento. El resultado es de 0,0487 €/kWh, precio considerablemente inferior al que pagan los usuarios a día de hoy por la energía, por lo que la inversión individual de cada propietario del distrito se recuperaría al séptimo año desde la puesta en marcha del PED. A partir de entonces, se pasaría a ahorrar unos 750 € cada año respecto a lo que se venía pagando antes del PED.

Además, el IDAE estima que el periodo de retorno de una inversión renovable para el usuario final debería situarse entre los 5 y los 8 años para ser atractiva, por lo que se puede afirmar que la viabilidad económica de esta parte del proyecto quedaría garantizada.

En cuanto a la intervención urbana, adoptando el precio anterior por kWh suministrado, el análisis económico resultaría de la siguiente manera:

RETORNO DE LA INVERSIÓN INSTALACIÓN URBANA					
Año	**1**	**2**	**10**	**11**	**25**
NUEVA INSTALACIÓN					
Presupuesto intervención urbana	83.653.591 €				
Demanda energética mejorada (MWh/año)	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36
Precio venta energía PED (€/MWh)	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €
Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Ingresos venta energía (€/año)	45.891.537 €	45.900.715 €	45.974.208 €	45.983.403 €	46.112.324 €
Coste total energía (€/año)	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €
Costes O&M (€/año)	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €
Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
OPEX (€/año)	37.967.093 €	37.974.686 €	38.035.488 €	38.043.095 €	38.149.755 €

[25] Los cálculos completos sobre el estudio económico se encuentran en el Anexo 6.7.2.

Flujo de caja (€/año)	-75.729.147 €	7.926.028 €	71.391.354 €	79.331.662 €	190.662.854 €
VAN (€/año)	-75.729.147 €	-67.795.524 €	**-3.995.905 €**	**4.020.403 €**	117.215.230 €
TIR (%)	8,15%				

Tabla 44. Cálculo del retorno de la inversión de la intervención urbana para transformación en PED.

El onceavo año desde la implantación del PED, los inversores de la red urbana verían recuperada su inversión y comenzarían a tener ganancias. Comparando este dato con el de otros District Heating instalados en España, como el de la ciudad de Móstoles, que pretende ver recuperada su inversión a los 15 años, se determina que el periodo de retorno es razonable. Por otra parte, las instalaciones de geotermia individuales suelen amortizar la inversión entre los 6 y los 12 años, por lo que, tratándose de un distrito entero, se puede concluir que el plazo es correcto.

La TIR se he encuentra dentro del rango razonable para instalaciones renovables. Además, para simplificar, se ha calculado para un periodo de 25 años, pese a que la vida útil de la instalación, en especial la parte de geotermia, se estima alrededor de los 100 años, por lo que la operación sería todavía más rentable.

3.4.3 Estudio de sistemas de financiación

La financiación es, como se mencionó anteriormente, una de las principales barreras a las que se enfrentan las ciudades o barrios que desean implantar un PED.

Si bien es cierto que, en los marcos regulatorios que empiezan a surgir, se hace especial hincapié en la colaboración entre actores locales, es decir, ciudadanos, autoridades locales y PYMES, las grandes empresas pueden jugar un importante papel en la financiación, siempre y cuando respeten los roles de la comunidad.

La atracción de inversión privada puede suponer un reto, ya que es necesario reducir el riesgo de la inversión o, en el caso de un préstamo, garantizar cierta solvencia, lo cual es difícil de justificar al inicio del proyecto. Por esta razón, no es viable contar exclusivamente con fondos privados, sino que es más conveniente contar con un modelo mixto en el que se incluyan fondos públicos, en forma de subvenciones a fondo perdido o de créditos blandos por parte de instituciones financieras públicas, o mancomunados público-privados.

El IDAE resume los principales modelos de cooperación en el siguiente cuadro, en el que analiza las debilidades y fortalezas de cada uno de ellos:

Tipo de modelo	Fortalezas	Debilidades
Cooperativo (Empresa social propiedad de la comunidad)	Las cooperativas son voluntarias y democráticas (típicamente un miembro=un voto). Se pueden cumplir objetivos económicos, sociales y culturales comunes.	Conseguir suficiente capital puede ser complicado. Falta de familiaridad con las energías renovables y habilidades/conocimientos técnicos
Modelo híbrido comunidad/gobierno local	Las autoridades locales pueden ayudar a reducir el riesgo de la inversión inicial en proyectos, otorgar subvenciones y colaborar en ofertas de financiamiento externo. Las autoridades locales pueden proporcionar apoyo práctico de planificación y compartir tierras públicas	Las autoridades locales varían en términos de su comprensión de los beneficios de la energía de la comunidad. Aplicación inconsistente de las reglas de planificación y consentimiento en diferentes autoridades locales.

Modelo híbrido comunidad/privado	Aumenta la aceptación por parte de la comunidad de instalaciones a mayor escala, que ofrecen un potencial para obtener fuertes retornos de inversión. Las organizaciones comunitarias se benefician de las habilidades y la inversión de los desarrolladores comerciales.	Diferencias culturales y operativas entre organizaciones comunitarias y comerciales. Barreras de comunicación por falta de comprensión y transparencia.
Propiedad segregada	Soporta múltiples propietarios de un desarrollo de energías renovables de la comunidad en un solo sitio, donde una organización comunitaria posee una parte del desarrollo. Otras partes de la instalación de energía renovable pueden ser propiedad de un desarrollador comercial, una empresa de servicios públicos, un productor de energía independiente o un fondo de inversión.	La organización comunitaria todavía necesita recaudar fondos para construir o comprar parte del desarrollo de energía renovable. Organización comunitaria responsable de la operación, monitoreo y mantenimiento de sus equipos.

Ilustración 52. Modelos de propiedad en una Comunidad Energética. IDAE.

Por otra parte, el IDAE propone la puesta en marcha de ayudas mediante reducción de tasas e impuestos que incentive la participación ciudadana:

- Reducción del IVA en materiales y equipos de la nueva instalación y/o en rehabilitaciones energéticas.
- Eliminar el IVA en las transacciones de compra-venta de energía entre miembros de una Comunidad Energética.
- Deducciones en el IRPF.
- Reducción de tributos locales como el IBI o el ICIO.

Mientras que en la ejecución de redes urbanas de climatización la financiación es más compleja puesto que se requiere de inversores privados, en el caso de las Comunidades Energéticas la inversión ciudadana es mucho más sencilla y exitosa.

En países como Holanda y Alemania el modelo más extendido es el de las cooperativas, mediante el cual se financia más del 60% de la instalación.

En muchos municipios españoles ya se aplican algunas de las medidas propuestas por el IDAE en las instalaciones de generación eléctrica a partir de renovables, tales como:

- Deducciones en el IBI, suponiendo una bonificación en la mayoría de los casos del 50% entre 3 y 5 años.
- Deducciones en el ICIO, reduciendo entre un 8% y un 95% el importe de la tasa.

Respecto a las transacciones de compra-venta de electricidad entre miembros de una Comunidad Energética Local, el modelo Blockchain está teniendo mucho éxito en Holanda y EEUU, ya que permite hacer transacciones de manera directa entre el productor y el consumidor.

En el caso de estudio, tal y como se ha visto en el apartado anterior, la parte de inversión en la red urbana resulta bastante atractiva en cuanto a su rentabilidad. Además, parte de dicha inversión podría incluso ser financiada por los fondos FEDER[26], resultando todavía más ventajoso.

La parte de la inversión individual de cada propietario del distrito, pese a quedar cubierta en parte por las subvenciones del Ayuntamiento de Madrid, podría resultar más problemática debido a que el periodo de retorno es bastante prolongado.

Una posible solución que evitaría que los ciudadanos tuviesen que hacer esa cuantiosa inversión inicial, pero les permitiría acometer el cambio, sería adoptar el mismo modelo de negocio que están ofreciendo actualmente las comercializadoras eléctricas con los paneles fotovoltaicos. Una empresa privada o entidad financiera sería quien financiaría la rehabilitación energética a cambio de que los usuarios siguiesen abonando exactamente el mismo importe que venían haciendo a la empresa gasista, solo que el pago se le abonaría a esta nueva empresa renovable. En el momento en el que esta empresa o entidad financiera recuperase su inversión (al séptimo año según el estudio realizado), el usuario pasaría a pagar la nueva tarifa, que supondría un gran ahorro respecto de lo que venía pagando.

La ventaja de cara al usuario sería que, desde el primer día, se beneficiaría de la rehabilitación energética sin tener que pagar más por ello. En el caso de la empresa o entidad financiera que realizase la inversión, supondría un nuevo modelo de negocio bastante rentable.

[26] Ayudas económicas a la inversión en renovables térmicas y eléctricas cofinanciadas con fondos de la Unión Europea, por una cuantía total de 316 millones de euros a repartir por todo el territorio nacional.

4. Conclusiones

La transformación de un distrito ya consolidado y con un acceso sólido a la energía como es el caso de Chamberí en un PED presenta serias dificultades tanto operativas como de financiación. No resulta fácil encontrar parcelas libres donde realizar nuevas instalaciones, y, por otra parte, la operación de instalar una red de climatización urbana que alimente a todo el distrito supondría operar en prácticamente todas las calles, lo que provocaría incomodidades para sus habitantes.

Sin embargo, se ha demostrado que los beneficios que presentaría tanto una rehabilitación energética del distrito, que disminuyese su consumo energético, como la implantación de un sistema de producción de energía renovable a nivel local, superan con creces los inconvenientes.

En el caso de la producción de energía térmica renovable a nivel local, se ha estudiado abordar con geotermia tres situaciones:

- Cubrir la totalidad de la demanda de calefacción, refrigeración y ACS. Esta opción se descartó de inmediato tras conocer la carga térmica del distrito debido a que la instalación no sería viable tanto por cuestiones técnicas como económicas.
- Cubrir la demanda de refrigeración incluyendo los picos de demanda de frío. Esta opción también se descartó por ser poco ventajosa respecto de la tercera opción.
- Cubrir la demanda de refrigeración sin incluir los picos de demanda. Esta opción se ha postulado como la más viable ya que cubre el 100% de la demanda base de refrigeración y un 21% de la demanda de ACS, garantizando que la temperatura del terreno se mantiene estable durante los años de operación previstos. El campo de captación tiene unas dimensiones óptimas que permiten que la instalación trabaje siempre bajo el mayor rendimiento con la mínima inversión económica.

Este último sistema se ve complementado con una central de biomasa que produce calor para cubrir la demanda de calefacción y parte de la demanda de ACS, así como con un sistema auxiliar de refrigeración que actúa exclusivamente durante los picos de demanda de frío.

Por lo tanto, la demanda térmica del distrito queda cubierta en su totalidad mediante fuentes de energía 100% renovable, con la siguiente distribución:

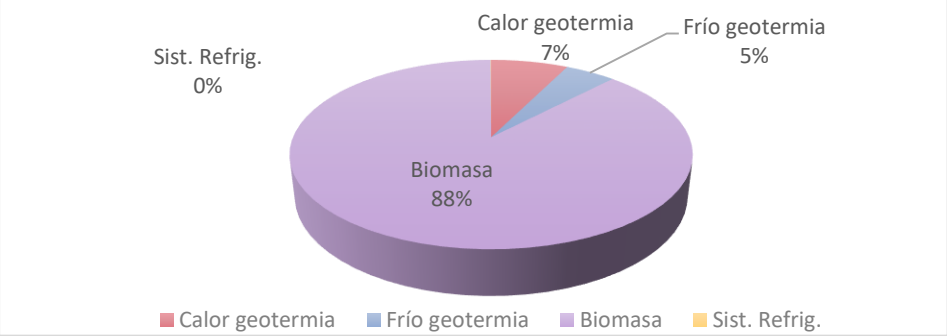


Ilustración 53. Fuentes de energía renovable que componen la red de climatización urbana del PED. Elaboración propia.

Entre los beneficios del uso de biomasa se encuentra que, fomentando este tipo de instalaciones que utilizan como combustible residuos forestales y agrícolas, se incrementa la poda y recolección y, por lo tanto, el cuidado de los bosques y demás zonas con vegetación salvaje. Esto reduce considerablemente el riesgo de incendios y la propagación de los mismos, además de generar empleo en zonas rurales.

Respecto a las ventajas medioambientales, además de lo mencionado anteriormente, se comprueba que mediante la implantación del PED, tanto la demanda energética como las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen de manera notoria, como se muestra en la siguiente tabla.

Meses	AHORRO CONSUMO (MWh)	AHORRO CONSUMO (%)	AHORRO EMISIONES (t CO2)	AHORRO EMISIONES (%)
Enero	151.326	47,16%	128,7	97,56%
Febrero	100.703	45,24%	89,2	97,47%
Marzo	65.819	42,69%	61,4	97,31%
Abril	30.084	35,33%	33,6	96,90%
Mayo	12.328	25,34%	17,8	94,16%
Junio	21.814	38,99%	17,3	92,37%
Julio	62.084	59,31%	29,0	91,69%
Agosto	60.781	59,11%	28,6	91,89%
Septiembre	18.080	35,51%	16,2	92,56%
Octubre	15.688	27,40%	22,4	96,49%
Noviembre	93.500	44,81%	83,6	97,45%
Diciembre	144.144	46,96%	123,1	97,55%
ANUAL	**776.352**	**45,17%**	**650,8**	**96,53%**

Tabla 45. Ahorro energético y de emisiones de CO2 que supone la implantación del PED. Elaboración propia.

Las emisiones de CO2 se reducen un 96% anual gracias a la aplicación de las medidas planteadas en este proyecto, lo que supondría una mejoría palpable para el distrito.

Por otra parte, si bien es cierto que las centrales de biomasa se consideran de emisiones neutras porque los gases emitidos durante la combustión quedan compensados con el CO2 que absorbieron los restos forestales durante su vida, si se llenasen las calles de vegetación ésta absorbería todavía más CO2.

El proyecto presenta también numerosos beneficios sociales, entre los que se encuentran:

- Participación ciudadana durante el proceso de diseño y a posteriori, teniendo un papel activo en la gestión de su propia energía.
- La creación de empleo para cuestiones de operación y mantenimiento de las instalaciones, así como de control y monitorización del sistema de gestión.

- Reducción de la pobreza energética, ya que, una vez amortizada la inversión, los costes de la energía producida a nivel local se situarán por debajo de los precios de mercado.

Por último, para garantizar que una operación como ésta sea exitosa, se debe seguir el ejemplo de los PED que se mostraron al inicio de este documento y llevar a cabo labores de concienciación ciudadana; asegurar que durante el proceso de diseño intervienen tanto inversores como administraciones públicas, como técnicos expertos, como ciudadanos; impulsar la inversión mediante acuerdos público-privados, subvenciones y beneficios fiscales para los ciudadanos.

Tras estudiar el caso del Distrito de Chamberí con detenimiento, se puede concluir que, pese a los inconvenientes que supone intervenir en un barrio ya consolidado y pese a los múltiples factores que se debe tener en cuenta, la operación es viable desde el punto de vista técnico y económico con los medios de los que se dispone hoy en día.

Sin embargo, dada la velocidad con la que se empieza a investigar a día de hoy gracias a los incentivos de la Unión Europea y los objetivos planteados tanto para el año 2030 como para el 2050, cabe esperar que las instalaciones propuestas en este proyecto incrementen su eficiencia y rendimiento, de forma que la potencia instalada requerida para cubrir la demanda energética pueda verse reducida aún más.

5. Bibliografía y referencias

5.1 Bibliografía

5.1.1 Páginas web

- Drake Landing Solar Community: https://www.dlsc.ca/
- Empresa encargada de la explotación del Sistema de climatización central del Distrito 22@: http://www.districlima.com/es
- Noticia de El Periódico de Catalunya del día 09/01/2006 titulada "La transformación del Poblenou: Las nuevas tecnologías.
- 22@Barcelona, Infraestructuras al servicio de la innovación:

  https://www.youtube.com/watch?v=Kr44bc-HXuk
- Plataforma científica *Frontiers*: https://www.frontiersin.org/
- Consumo energético en la ciudad de Madrid.

  https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Areas-de-informacion-estadistica/Energia-gas-y-electricidad/Electricidad/Infraestructura-y-consumo-electrico/?vgnextfmt=default&vgnextoid=3e48bb8d11a59210VgnVCM2000000c205a0aRCRD&vgnextchannel=c40a8131dd22a210VgnVCM1000000b205a0aRCRD
- Diario digital de Chamberí: https://www.chamberi30dias.es/
- https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/10318984/01/20/El-Gobierno-potenciara-el-autoconsumo-con-comunidades-de-energia-renovable.html
- https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/financiacion-del-idae/comunidades-energeticas-locales
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico. Secretaría de Estado de Energía: https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Paginas/DetalleParticipacionPublica.aspx?k=358
- Comisión Europea, comunicado de prensa sobre la publicación del paquete normativo *Energía limpia para todos los europeos,* 2016: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_16_4009
- Diario digital Energías Renovables, artículo sobre las comunidades energéticas locales: https://www.energias-renovables.com/panorama/las-comunidades-energeticas-locales-una-oportunidad-para-20210127
- Webinar organizado por aelec sobre las Comunidades Energéticas Locales: https://aelec.es/las-comunidades-energeticas-locales-son-una-oportunidad-para-involucrar-al-consumidor-en-la-transicion-energetica/

- Diario digital El Periódico de la Energía, artículo sobre las Comunidades Energéticas: https://elperiodicodelaenergia.com/ecooo-apuesta-por-impulso-de-oficinas-municipales-para-fomentar-las-comunidades-energeticas-locales-en-espana/
- Oficina municipal para la promoción de Comunidades Energéticas, gestionada por Ecooo: https://ecooo.es/oficina-municipal-comunidades-energeticas/
- European Green Cities, Avedøre Green City: http://greencities.eu/aved%C3%B8re-green-city
- Toyota Woven City: https://www.woven-city.global/
- Plataforma Arquitectura, Artículo sobre Toyota Woven City: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/932360/big-dio-a-conocer-su-primera-aventura-en-japon-toyota-woven-city
- Diario digital El País, artículo sobre la Isla de Samsø en Dinamarca: https://elpais.com/diario/2009/12/10/sociedad/1260399606_850215.html
- Ilustrador Steve Brodner, artículo sobre la Isla de Samsø: https://www.stevebrodner.com/2015/11/30/the-amazing-island-of-samso/
- Diario digital El País, artículo sobre Madrid Nuevo Norte: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/03/16/companias/1521227564_551179.html
- Sapiens Energía, Comunidad de Energías Renovables sin ánimo de lucro. Artículo sobre comunidades energéticas: https://sapiensenergia.es/2020/05/05/que-es-una-comunidad-energetica-conceptos-basicos/#Casos_de_exito_de_comunidades_energeticas
- Diario digital de la BBC. Artículo sobre la comunidad energética de Friburgo: https://www.bbc.com/mundo/noticias-41803115
- Enercoop. Proyecto Comptem: https://www.enercoop.es/el-ayuntamiento-de-crevillent-y-grupo-enercoop-situan-a-el-realengo-como-punto-de-partida-para-la-comunidad-energetica-comptem/
- Sitio web Comunidades Energéticas: https://comunidadesenergeticas.org/
- Naciones Unidas, Objetivos de Desarrollo Sostenible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/
- JPI Urban Europe: https://www.mitma.gob.es/areas-de-actividad/arquitectura-vivienda-y-suelo/urbanismo-y-politica-de-suelo/investigacion-sobre-temas-urbanos/jpi-urban-europe
- Proyecto MAKING-CITY: http://makingcity.eu/
- PED en la ciudad de Valencia: https://catenerg.webs.upv.es/hacia-primer-distrito-energia-positiva-valencia/
- Red Eléctrica de España, Seguimiento de la demanda eléctrica: https://www.ree.es/es/actividades/demanda-y-produccion-en-tiempo-real
- Cartografía del IGME: http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Default.aspx?language=es
- Climatización geotérmica, sitio web de Geoter: https://geoter.es/climatizacion-geotermica
- Artículo sobre la importancia de la vegetación en las ciudades, sitio web de Foro Ambiental: https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/recursos-naturales/1171-la-temperatura-en-las-calles-es-9-c-mas-alta-cuando-no-hay-arboles

5.1.2 PDF

- *Redes de Distrito de calor y frío inteligentes y flexibles con energías 100% renovables para ciudades europeas. Guía para las autoridades regionales.* SmartReFlex, 2015.
- *Guía para el Desarrollo de Instrumentos de Fomento de Comunidades Energéticas Locales*, IDAE, marzo 2019
- *Energy Communities in the European Union*, Frédéric Tounquet, Comisión Europea, mayo 2019. Informe elaborado en el marco del Proyecto ASSET (Advance System Studies for Energy Transition).
- *Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al foment del uso de energía procedente de fuentes renovables.*
- *Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.*
- *Enabling Positive Energy Districts across Europe: energy efficiency couples renewable energy,* Comisión Europea, 2020.
- *Desatando el potencial de la energía renovable comunitaria,* Greenpeace, marzo de 2019
- *Towards 100 Positive Energy Districts in Europe: Preliminary Data Analysis of 61 European Cases.* Silvia Bossi, Christoph Gollner y Sarah Theierling, 2020.
- Europe Towards Positive Energy Districts, JPI Urban Europe, febrero de 2020.
- Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios. IDAE. 2009.
- Informe sobre consumos del sector residencial en España. Eurostat e IDAE.
- Hoja de Ruta Madrid 2030. Fundación Energías Renovables y Ayuntamiento de Madrid. 2017.
- Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. IDAE. 2014.

5.2 Ilustraciones

Ilustración 1. Consumo de energía en las ciudades. Diario Urgente.Bo. 4

Ilustración 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con las urbes. Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. 5

Ilustración 3. PED. Sweden research intitute. 7

Ilustración 4. Esquema de interconexiones de un PED. Sitio web de MDPI. 8

Ilustración 5. Perspectivas generación eléctrica 2050. Greenpeace. 9

Ilustración 6. Nuevo modelo energético. Greenpeace 10

Ilustración 7. Ciudades europeas con calefacción y refrigeración urbanas. Base de datos DHC de la Universidad de Halmstad. 13

Ilustración 8. Isla de Samsø en Dinamarca. Ilustración de Steve Brodner. 19

Ilustración 9. Isla de Samsø en Dinamarca. Vista aérea. 19

Ilustración 10. Avedøre, Dinamarca. Google Earth. 20

Ilustración 11. Barrio de Vauban. Sitio web Visit Freiburg. 22

Ilustración 12. Vista aérea del Distrito 22@. 23

Ilustración 13. Simulaciones de la red de District Heating del Distrito 22@ en Barcelona. Youtube 22arrobabcn. 24

Ilustración 14. Madrid Nuevo Norte. Vista de planta. 26

Ilustración 15. Madrid Nuevo Norte. Vista aérea. 27

Ilustración 16. Toyota Woven City, Japón. Vista aérea. 28

Ilustración 17. Toyota Woven City, Japón. Detalle módulos fotovoltaicos. 29

Ilustración 18. Gráfico de PED en función del lugar de implantación. 30

Ilustración 19. Gráfico de PED en función del uso del suelo en el que se implantan. 30

Ilustración 20. Gráfico de los tipos de energía empleada en los PED. 31

Ilustración 21. Calderas de carbón comunitarias en Madrid. Ayuntamiento de Madrid. 33

Ilustración 22. Cuarto de calderas en edificio residencial de Madrid. El Independiente. 33

Ilustración 23. Diferenciación entre demanda térmica y eléctrica en un PED. Elaboración propia. 35

Ilustración 24. Certificación energética del bloque residencial con bajo comercial. Imagen de CE3X. 37

Ilustración 25. Gráficas de distribución de la demanda por meses en edificio en bloque residencial. Elaboración propia. 37

Ilustración 26.Certificación energética del bloque terciario de gran volumen. Imagen de CE3X..... 38

Ilustración 27. Gráficas de distribución de la demanda por meses en edificio terciario. Elaboración propia. 39

Ilustración 28. Elementos demandantes de energía eléctrica en las ciudades. Elaboración propia.42

Ilustración 29. Puntos de luz por tipos de fuente de luz en Chamberí. 45

Ilustración 30. Demanda eléctrica del alumbrado público por meses. Fuente: Ayuntamiento de Madrid. 45

Ilustración 31. Temperatura del terreno en función de la profundidad y la época del año. Elaboración propia. 47

Ilustración 32. Funcionamiento de una red de climatización alimentada con geotermia. Elaboración propia. 48

Ilustración 33. Gráfica de carga térmica del Distrito por meses. 50

Ilustración 34. Mapa geológico de España. Hoja 559. IGME..... 51

Ilustración 35. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 1. Obtenida del softare EED. 57

Ilustración 36. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 1. Obtenida del software EED..... 57

Ilustración 37. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 2. Obtenida del softare EED. 60

Ilustración 38. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 2. Obtenida del software EED..... 60

Ilustración 39. Gráfico de demanda de ACS y producción mediante geotermia. Elaboración propia. 61

Ilustración 40. Silos de 8.700m^3 para almacenamiento de biomasa en Huelva. Sitio web de Expobiomasa. 65

Ilustración 41. Gráfico de demanda de energía térmica en el Distrito de Chamberí. Elaboración propia. 66

Ilustración 42. Gráfico de energía térmica producida para cubrir la demanda del Distrito de Chamberí. Elaboración propia. 66

Ilustración 43. Porcentajes de producción de energía renovable de cada tecnología presente en el PED. Elaboración propia. 67

Ilustración 44. Esquema de funcionamiento conjunto de la instalación. Elaboración propia. 68

Ilustración 45. Fotografías del deterioro del Parque Jaime del Amo debido a la falta de mantenimiento. Imágenes del diario Madrid Diario. 69

Ilustración 46. Plano de situación del Distrito de Chamberí y el Parque del Oeste. Imagen de Google Earth. 70

Ilustración 47. Comunidad energética local en un PED. Elaboración propia. 71

Ilustración 48. Diferencia de temperatura entre calle con vegetación y sin vegetación. Fuente: Foro Ambiental. 72

Ilustración 49. Supermanzanas en Madrid. Imagen del diario El País. 73

Ilustración 50. Supermanzanas en Madrid. Imagen del diario El País. 73

Ilustración 51. Plan Rehabilita Madrid 2021. Información extraída del Área Delegada de Vivienda del Ayuntamiento de Madrid. 75

Ilustración 52. Modelos de propiedad en una Comunidad Energética. IDAE. 80

Ilustración 53. Fuentes de energía renovable que componen la red de climatización urbana del PED. Elaboración propia. 82

Ilustración 54. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 1, obtenida con EED. 116

Ilustración 55. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 1, obtenida con EED. 116

Ilustración 56. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 2, obtenida con EED. 121

Ilustración 57. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 2, obtenida con EED. 121

5.3 Tablas

Tabla 1. Roles de los agentes en una CEL. Información del IDAE..... 11

Tabla 2. Resumen de características Isla de Samsø. 20

Tabla 3. Resumen de características del barrio de Avedøre 21

Tabla 4. Resumen de características del barrio de Vauban. 23

Tabla 5. Resumen de características del Distrito 22@..... 24

Tabla 6. Sistema de almacenamiento estacional de energía térmica. Drake Landing Solar Community. 25

Tabla 7. Resumen de características del barrio Drake Landing Solar Community..... 26

Tabla 8. Tabla resumen de las características principales de Madrid Nuevo Norte 28

Tabla 9. Tabla resumen de las características principales de Toyota Woven City..... 29

Tabla 10. Distribución de la demanda energética según el uso de los edificios. Fuente: Hoja de Ruta Madrid 2030. Fundación Energías Renovables y el Ayuntamiento de Madrid. 2017. 33

Tabla 11. Tipos de instalaciones térmicas en España. Consumos del sector residencial en España. Eurostat e IDAE..... 34

Tabla 12. Características del bloque residencial con bajo comercial..... 36

Tabla 13. Características del bloque terciario de gran volumen..... 38

Tabla 14. Demanda térmica y emisiones de CO2 actuales. 39

Tabla 15. Ahorro obtenido mediante la aplicación de medidas de mejora en bloque residencial. . 40

Tabla 16. Ahorro obtenido mediante la aplicación de medidas de mejora en edificio terciario de gran volumen. 41

Tabla 17. Resumen de demanda energética anual tras aplicar medidas de mejora 41

Tabla 18. Demanda eléctrica en la recarga de vehículos censados en Chamberí. 43

Tabla 19. Consumo eléctrico de recarga de bicicletas de BiciMAD en Chamberí..... 43

Tabla 20. Consumo eléctrico anual del Distrito de Chamberí. Datos recopilados de la Guía de *Consumos, medidas y potenciales ahorros en edificios* de la Asociación de Empresas de Eficiencia Energética y de la *Hoja de Ruta Madrid 2030* de la Fundación Energías Renovables. 44

Tabla 21. Carga térmica del Distrito de Chamberí. 49

Tabla 22. Carga térmica del Distrito desglosada por meses. 50

Tabla 23. Valores de poder calorífico de extracción obtenidos de la norma VDI 6460. 52

Tabla 24. Propiedades del terreno de Chamberí. 52

Tabla 25. Datos introducidos en el software EED para cálculo del campo de captación. Elaboración propia. 54

Tabla 26. Resultados obtenidos con el software EED para la simulación 1 con picos de demanda. Elaboración propia. 55

Tabla 27. Cálculo de la superficie necesaria para el campo de captación geotérmico en la simulación 1. Elaboración propia. 55

Tabla 28. Temperatura media del fluido caloportador a final de mes en la simulación 1. Datos obtenidos del software EED. 56

Tabla 29. Resultados obtenidos con el software EED para la simulación 2 sin picos de demanda. Elaboración propia. 58

Tabla 30. Cálculo de la superficie necesaria para el campo de captación geotérmico en la simulación 2. Elaboración propia. 58

Tabla 31. Temperatura media del fluido caloportador a final de mes en la simulación 2. Datos obtenidos del software EED. 59

Tabla 32. Energía producida por la instalación geotérmica. Datos obtenidos de EED. 61

Tabla 33. Carga térmica a cubrir con la central de biomasa. 62

Tabla 34. Carga térmica a cubrir con la caldera de biomasa. 63

Tabla 35. Características técnicas de la caldera de biomasa. 63

Tabla 36. Cálculo del número de calderas de biomasa necesarias. 63

Tabla 37. Cálculo de la cantidad de biomasa necesaria para cubrir la demanda. 64

Tabla 38. Biomasa disponible en la Comunidad de Madrid. 64

Tabla 39. Cálculo del almacenamiento necesario para la biomasa. 65

Tabla 40. Porcentajes de producción de energía renovable de cada tecnología presente en el PED. Elaboración propia. 67

Tabla 41. Resumen del presupuesto del proyecto. 74

Tabla 42. Cálculo de la inversión particular con subvención. 75

Tabla 43. Cálculo del retorno de la inversión de un usuario tipo para la intervención en edificios. 77

Tabla 44. Cálculo del retorno de la inversión de la intervención urbana para transformación en PED. 78

Tabla 45. Ahorro energético y de emisiones de CO_2 que supone la implantación del PED. Elaboración propia. 83

Tabla 46. Resultado rápido obtenido con EED tras introducir datos de partida para la simulación 1. 112

Tabla 47. Datos introducidos en EED sobre el tipo de suelo del que se compone el Distrito de Chamberí. 112

Tabla 48. Datos introducidos en EED sobre el tipo de sondas a utilizar. 112

Tabla 49. Datos introducidos en EED sobre la carga base del Distrito de Chamberí. 113

Tabla 50. Datos introducidos en EED sobre la carga de calor y de frío demandada por el Distrito de Chamberí. 113

Tabla 51. Datos introducidos en EED sobre el pico de frío demandado por el Distrito de Chamberí. 113

Tabla 52. Datos introducidos en EED sobre el periodo de simulación. 113

Tabla 53. Datos obtenidos con EED sobre resistencias térmicas. 114

Tabla 54. Tasa de extracción de calor específico obtenida con EED. 114

Tabla 55. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función de la carga base, obtenidas con EED. 114

Tabla 56. Carga base el año 50 de operación, obtenida con EED. 114

Tabla 57. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de calor, obtenidas con EED. 115

Tabla 58. Carga pico de calor el año 50 de operación, obtenida con EED. 115

Tabla 59. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de frío, obtenidas con EED. 115

Tabla 60. Carga pico de frío el año 50 de operación, obtenida con EED. 115

Tabla 61. Resultado rápido obtenido con EED tras introducir datos de partida para la simulación 2. 117

Tabla 62. Datos introducidos en EED sobre el tipo de suelo del que se compone el Distrito de Chamberí. 117

Tabla 63. Datos introducidos en EED sobre el tipo de sondas a utilizar. 117

Tabla 64. Datos introducidos en EED sobre la carga base del Distrito de Chamberí. 117

Tabla 65. Datos introducidos en EED sobre la carga de calor y de frío demandada por el Distrito de Chamberí. 118

Tabla 66. Datos introducidos en EED sobre el pico de frío demandado por el Distrito de Chamberí. 118

Tabla 67. Datos introducidos en EED sobre el periodo de simulación..... 118

Tabla 68. Datos obtenidos con EED sobre resistencias térmicas. 118

Tabla 69. Tasa de extracción de calor específico obtenida con EED. 119

Tabla 70. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función de la carga base, obtenidas con EED. 119

Tabla 71. Carga base el año 50 de operación, obtenida con EED. 119

Tabla 72. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de calor, obtenidas con EED..... 120

Tabla 73. Carga pico de calor el año 50 de operación, obtenida con EED. 120

Tabla 74. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de frío, obtenidas con EED. 120

Tabla 75. Carga pico de frío el año 50 de operación, obtenida con EED. 120

5.4 Acrónimos

- ACS: Agua Caliente Sanitaria
- CAPEX: capital expenditure
- CEL: Comunidades Energéticas Locales
- CENER: Centro Nacional de Energías Renovables
- DH: District Heating
- DHC: District Heating and Cooling
- FV: Fotovoltaica
- GB: Gigavatio
- GBh: Gigavatio hora
- IBI: Impuesto de Bienes Inmuebles
- ICIO: Impuesto de Construcciones Instalaciones y Obras
- IGME: Instituto Geológico y Minero de España
- INE: Instituto Nacional de Estadística
- kW: Kilovatio
- kWh: Kilovatio hora.
- MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- MW: Megavatio
- MWh: Megavatio hora
- Nzeb: Near Zero Energy Buildings
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- OPEX: Operational expenditures
- PCI: Poder calorífico inferior
- PED: Positive Energy District
- PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima
- TIR: Tasa Interna de Rentabilidad
- TIR: Tasa Interna de Retorno
- TRT: Test de Respuesta Térmica
- UE: Unión Europea
- VAN:
- VAN: Valor Actual Neto
- ZED: Zero Energy District

6. Anexos

6.1 Hojas de cálculo de la demanda

6.1.1 Demanda de calefacción

CALEFACCIÓN								
	EDIFICIO TIPO 1: Bloque residencial compartimentado				EDIFICIO TIPO 2: Terciario de gran volumen			
Meses	**Demanda actual (kWh/m2)**	**Demanda mejorada (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Demanda actual (kWh/m2)**	**Demanda mejorada (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**
Enero	21	10,09	350	0,03	25	15,42	374	0,04
Febrero	14	6,72	233	0,03	15	9,25	225	0,04
Marzo	9	4,32	150	0,03	8,5	5,24	127	0,04
Abril	4	1,92	67	0,03	4	2,47	60	0,04
Mayo	1	0,48	17	0,03	1	0,62	15	0,04
Junio	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Julio	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Septiembre	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Octubre	2	0,96	33	0,03	2	1,23	30	0,04
Noviembre	13	6,24	217	0,03	14	8,63	210	0,04
Diciembre	20	9,60	333	0,03	24	14,80	359	0,04
TOTAL	84	40,34	1400	0,03	93,5	57,66	1400	0,04

CALEFACCIÓN				
Tipo de edificio	**Cantidad**	**Superficie (m2)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Carga total (MW)**
Bloques residenciales	3740	3360	0,03	362,09
Bloques de oficinas	80	3360	0,03	7,75
Centros educativos	63	3360	0,03	6,10
Centros sanitarios	41	3360	0,03	3,97
Hoteles	18	3360	0,03	1,74
Centros institucionales	97	3360	0,03	9,39
Centros deportivos	3	4700	0,04	0,58
Centros culturales	33	4700	0,04	6,39
Centros comerciales	11	4700	0,04	2,13
Templos religiosos	24	4700	0,04	4,65
TOTAL DISTRITO				**404,78**

6.1.2 Demanda de refrigeración

REFRIGERACIÓN								
	EDIFICIO TIPO 1: Bloque residencial compartimentado				EDIFICIO TIPO 2: Terciario de gran volumen			
Meses	**Demanda actual (kWh/m2)**	**Demanda mejorada (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Demanda actual (kWh/m2)**	**Demanda mejorada (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**
Enero	0,00	0,00	0	0,000	25	15,42	374	0,04
Febrero	0,00	0,00	0	0,000	15	9,25	225	0,04
Marzo	0,10	0,02	4	0,004	8,5	5,24	127	0,04
Abril	0,10	0,02	4	0,004	4	2,47	60	0,04
Mayo	0,40	0,06	17	0,004	1	0,62	15	0,04
Junio	1,80	0,29	74	0,004	0	0,00	0	0,00
Julio	5,30	0,85	219	0,004	0	0,00	0	0,00
Agosto	5,20	0,84	215	0,004	0	0,00	0	0,00
Septiembre	1,50	0,24	62	0,004	0	0,00	0	0,00
Octubre	0,10	0,02	4	0,004	2	1,23	30	0,04
Noviembre	0,00	0,00	0	0,000	14	8,63	210	0,04
Diciembre	0,00	0,00	0	0,000	24	14,80	359	0,04
TOTAL	14,50	2,33	600	0,004	93,5	57,66	1400	0,04

REFRIGERACIÓN				
Tipo de edificio	**Cantidad**	**Superficie (m2)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Carga total (MW)**
Bloques residenciales	3740	3360	0,004	48,80
Bloques de oficinas	80	3360	0,004	1,04
Centros educativos	63	3360	0,004	0,82
Centros sanitarios	41	3360	0,004	0,53
Hoteles	18	3360	0,004	0,23
Centros institucionales	97	3360	0,004	1,27
Centros deportivos	3	4700	0,046	0,65
Centros culturales	33	4700	0,046	7,13
Centros comerciales	11	4700	0,046	2,38
Templos religiosos	24	4700	0,046	5,18
TOTAL DISTRITO				**68,04**

6.1.3 Demanda de ACS

ACS						
	EDIFICIO TIPO 1: Bloque residencial compartimentado			EDIFICIO TIPO 2: Terciario de gran volumen		
Meses	**Demanda (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Demanda (kWh/m2)**	**Uso (horas/mes)**	**Carga térmica (kW/m2)**
Enero	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Febrero	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Marzo	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Abril	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Mayo	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Junio	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Julio	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Agosto	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Septiembre	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Octubre	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Noviembre	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
Diciembre	1,84	183	0,01	7,84	250	0,03
TOTAL	22,02	2200	0,01	94,03	3000	0,03

REFRIGERACIÓN				
Tipo de edificio	**Cantidad**	**Superficie (m2)**	**Carga térmica (kW/m2)**	**Carga total (MW)**
Bloques residenciales	3740	3360	0,010	125,78
Bloques de oficinas	80	3360	0,010	2,69
Centros educativos	63	3360	0,010	2,12
Centros sanitarios	41	3360	0,010	1,38
Hoteles	18	3360	0,010	0,61
Centros institucionales	97	3360	0,010	3,26
Centros deportivos	3	4700	0,031	0,44
Centros culturales	33	4700	0,031	4,86
Centros comerciales	11	4700	0,031	1,62
Templos religiosos	24	4700	0,031	3,54
TOTAL DISTRITO				**146,29**

6.2 Informes de CE3X para el cálculo de la demanda energética

6.2.1 Edificio tipo 1: Bloque residencial en Calle Santa Engracia 105

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	BLOQUE RESIDENCIAL - COMERCIAL		
Dirección	Calle Santa Engracia 105		
Municipio	Madrid	**Código Postal**	28010
Provincia	Madrid	**Comunidad Autónoma**	Comunidad de Madrid
Zona climática	D3	**Año construcción**	1945
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	Anterior a la NBE-CT-79		
Referencia/s catastral/es	0667608VK4706H		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:	
○ Edificio de nueva construcción	● Edificio Existente
● Vivienda ○ Unifamiliar ● Bloque ● Bloque completo ○ Vivienda individual	○ Terciario ○ Edificio completo ○ Local

ANEXO I
DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

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

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m²]	3360.0

Imagen del edificio	**Plano de situación**
	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Modo de obtención
Fachada este	Fachada	274.1	1.69	Estimadas
Fachada oeste	Fachada	476.58	1.69	Estimadas
Fachadas patio norte	Fachada	225.57	1.69	Estimadas
Fachadas patio este	Fachada	150.45	1.69	Estimadas
Fachadas patio oeste	Fachada	427.27	1.69	Estimadas
Fachadas patio sur	Fachada	219.87	1.69	Estimadas
Medianería	Fachada	846.0	0.00	
Cubierta con aire	Cubierta	424.25	2.63	Por defecto
Suelo con terreno	Suelo	424.25	0.63	Estimadas

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Ventanas este	Hueco	161.46	5.00	0.67	Estimado	Estimado
Ventanas oeste	Hueco	63.70	5.00	0.67	Estimado	Estimado

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	61.8	Gas Natural	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Sólo refrigeración	Maquina frigorífica		126.0	Electricidad	Estimado
TOTALES	Refrigeración				

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)	3179.85

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	61.8	Gas Natural	Estimado
TOTALES	ACS				

ANEXO II
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	D3	Uso	Residencial

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
< 8.4 A 8.4-13.6 B 13.6-21.1 C 21.1-32.4 D 32.4-66.3 E 66.3-79.6 F ≥ 79.6 G	45.7 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]	E	*Emisiones ACS [kgCO2/m² año]*	G
		34.24		7.61	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales [kgCO2/m² año]		*Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]*	D	*Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]*	-
		3.85		-	

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

	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	3.85	12940.71
Emisiones CO2 por otros combustibles	41.85	140615.17

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

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

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
< 37.1 A 37.1-60.1 B 60.1-93.2 C 93.2-143.3 D 143.3-298.1 E 298.1-336.8 F ≥ 336.8 G	220.4 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria calefacción [kWh/m²año]	E	*Energía primaria ACS [kWh/m² año]*	G
		161.67		35.95	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]		*Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]*	E	*Energía primaria iluminación [kWh/m²año]*	-
		22.74		-	

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

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
< 11.7 A 11.7-27.0 B 27.0-48.7 C 48.7-81.6 D 81.6-144.1 E 144.1-157.1 F ≥ 157.1 G	84.0 E	< 5.5 A 5.5-8.9 B 8.9-13.9 C 13.9-21.3 D 21.3-26.3 E 26.3-32.4 F ≥ 32.4 G	14.7 D
Demanda de calefacción [kWh/m² año]		*Demanda de refrigeración [kWh/m² año]*	

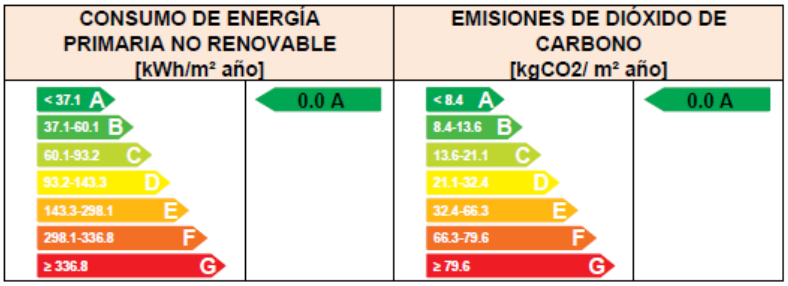
2.e. Demanda energética

Nombre	kWh/m^{2}año
Demanda de calefacción	83.96
Demanda de refrigeración	14.66
Demanda de ACS	18.67

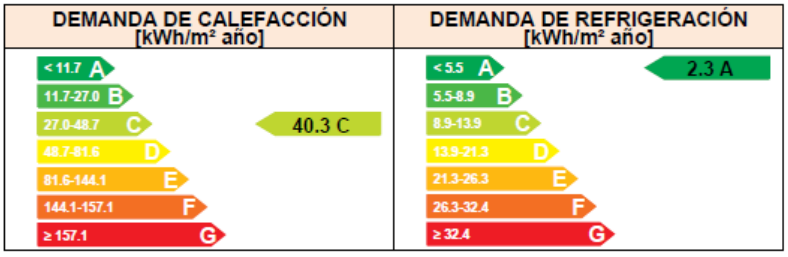
ANEXO III
RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

MEDIDAS DE MEJORA 1: Conjunto de medidas

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL



CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES



ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción			Refrigeración			ACS			Iluminación			Total		
	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m² año]	0.00		100.0%	0.00		100.0%	0.00		100.0%	-		-%	0.00		100.0%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m² año]	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	-	-	-%	0.00	A	100.0%
Emisiones de CO2 [kgCO2/m² año]	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	-	-	-%	0.00	A	100.0%
Demanda [kWh/m² año]	40.34	C	52.0%	2.33	A	84.1%									

ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie actual [m²]	Transmitancia actual [W/m² K]	Superficie post mejora [m²]	Transmitancia post mejora [W/m² K]
Fachada este	Fachada	274.10	1.69	274.10	0.31
Fachada oeste	Fachada	476.58	1.69	476.58	0.31
Fachadas patio norte	Fachada	225.57	1.69	225.57	0.31
Fachadas patio este	Fachada	150.45	1.69	150.45	0.31
Fachadas patio oeste	Fachada	427.27	1.69	427.27	0.31
Fachadas patio sur	Fachada	219.87	1.69	219.87	0.31
Medianería	Fachada	846.00	0.00	846.00	0.00
Cubierta con aire	Cubierta	424.25	2.63	424.25	0.35
Suelo con terreno	Suelo	424.25	0.63	424.25	0.63

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie actual [m²]	Transmitancia actual del hueco[W/m² K]	Transmitancia actual del vidrio[W/m² K]	Superficie post mejora [m²]	Transmitancia post mejora [W/m² K]	Transmitancia post mejora del vidrio [W/m² K]
Ventanas este	Hueco	161.46	5.00	5.70	161.46	1.52	1.60
Ventanas oeste	Hueco	63.70	5.00	5.70	63.70	1.52	1.60

INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	61.8%	-	-	-	-	-	-
Geotermia: Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		500.0%	-	-
TOTALES									

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Sólo refrigeración	Maquina frigorífica		126.0%	-	-	-	-	-	-
Geotermia: Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		500.0%	-	-
TOTALES		-		-		-		-	-

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendi-miento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	61.8%	-	-	-	-	-	-
Geotermia: Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		400.0%	-	-
TOTALES		-		-		-		-	-

ENERGÍAS RENOVABLES

Post mejora

Nombre	Consumo de Energía Final, cubierto en función del servicio asociado [%]			Demanda de ACS cubierta [%]
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Contribuciones energéticas	100	100	100	-
TOTALES	100.0	100.0	100.0	-

6.2.2 Edificio tipo 2: Edificio terciario de gran volumen Mercado de Chamberí

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	MERCADO DE CHAMBERÍ - GIMNASIO		
Dirección	Alonso Cano 10		
Municipio	Madrid	**Código Postal**	28010
Provincia	Madrid	**Comunidad Autónoma**	Comunidad de Madrid
Zona climática	D3	**Año construcción**	1876
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	Anterior a la NBE-CT-79		
Referencia/s catastral/es	0966712VK4706F		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:	
○ Edificio de nueva construcción	● Edificio Existente
○ Vivienda ○ Unifamiliar ○ Bloque ○ Bloque completo ○ Vivienda individual	● Terciario ● Edificio completo ○ Local

ANEXO I
DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

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

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m²]	4700.0

Imagen del edificio	**Plano de situación**
	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Modo de obtención
Cubierta	Cubierta	1853.0	2.56	Estimadas
Fachada este	Fachada	386.54	0.63	Estimadas
Fachada oeste	Fachada	463.43	0.63	Estimadas
Medianería	Fachada	1840.35	0.00	
Suelo con terreno	Suelo	2350.0	0.30	Estimadas

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Lucernario	Lucernario	497	5.70	0.69	Estimado	Estimado
Huecos este	Hueco	108.10	5.70	0.69	Estimado	Estimado
Huecos oeste	Hueco	72	5.70	0.69	Estimado	Estimado

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y refrigeración	Bomba de Calor		124.8	Electricidad	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y refrigeración	Bomba de Calor		152.7	Electricidad	Estimado
TOTALES	Refrigeración				

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)	22400.0

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Equipo ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0	Gas Natural	Estimado
TOTALES	ACS				

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN (sólo edificios terciarios)

Espacio	Potencia instalada [W/m²]	VEEI [W/m²·100lux]	Iluminación media [lux]	Modo de obtención
Edificio Objeto	7.61	1.52	500.00	Estimado
TOTALES	7.61			

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN (sólo edificios terciarios)

Espacio	Superficie [m²]	Perfil de uso
Edificio	4700.0	Intensidad Media - 12h

ANEXO II
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	D3	Uso	Intensidad Media - 12h

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
< 22.9 A 22.9-37.3 B 37.3-57.3 C 57.3-74.5 D 74.5-91.7 E 91.7-114.7 F ≥ 114.7 G	83.0 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción [kgCO2/m² año] 24.81	G	*Emisiones ACS [kgCO2/m² año]* 35.90	G
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales [kgCO2/m² año]		*Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]* 13.32	F	*Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]* 8.94	A

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

	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	47.07	221218.56
Emisiones CO2 por otros combustibles	35.90	168741.89

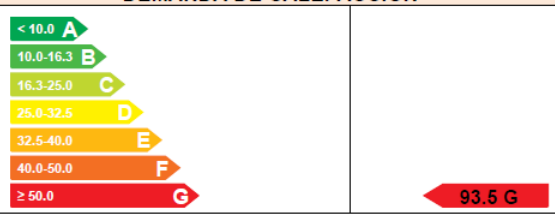
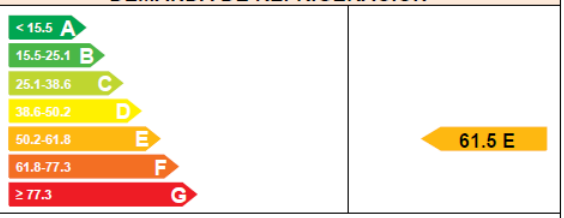
2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

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

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
< 126.0 A 126.0-204.8 B 204.8-315.0 C 315.0-409.5 D 409.5-504.0 E 504.0-630.0 F ≥ 630.0 G	447.4 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria calefacción [kWh/m²año] 146.46	G	*Energía primaria ACS [kWh/m² año]* 169.54	G
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]		*Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]* 78.64	F	*Energía primaria iluminación [kWh/m²año]* 52.76	A

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

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	
Demanda de calefacción [kWh/m² año]	*Demanda de refrigeración [kWh/m² año]*

2.e. Demanda energética de los distintos servicios técnicos del edificio (calefacción, refrigeración, ACS)

Nombre	kWh/m^{2}año
Demanda de calefacción	93.54
Demanda de refrigeración	61.45
Demanda de ACS	94.03

3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

El procedimiento de cálculo utilizado ha sido CEXv2.3

Este procedimiento de cálculo permite desglosar el consumo energético de energía final en función del vector energético utilizado (tipo de combustible o electricidad) para satisfacer la demanda energética de cada uno de los servicios técnicos (calefacción, refrigeración, ACS y, en su caso, iluminación).

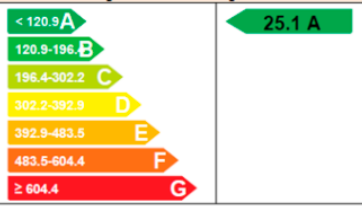
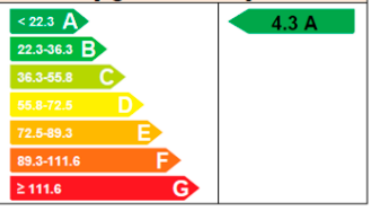
La siguiente tabla recoge el consumo energético de energía final en función del vector energético.

Combustible	Calefacción (kWh/m^{2}año)	Refrigeración (kWh/m^{2}año)	ACS (kWh/m^{2}año)	Iluminación (kWh/m^{2}año)
Gas Natural	0.0	0.0	142.47	0.0
Electricidad	74.95	40.24	0.0	27.0

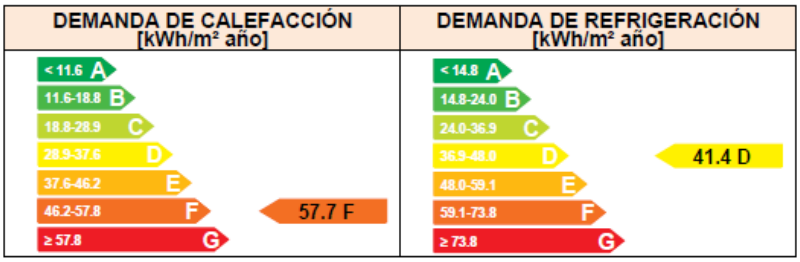
ANEXO III
RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

MEDIDAS DE MEJORA 5: Conjunto de medidas

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m² año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO2/ m² año]
	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES



ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción			Refrigeración			ACS			Iluminación			Total		
	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original	Valor		ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m² año]	0.00		100.0%	0.00		100.0%	0.00		100.0%	12.85		52.4%	12.85		95.5%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m² año]	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	25.11	A	52.4%	25.11	A	94.4%
Emisiones de CO2 [kgCO2/m² año]	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	0.00	A	100.0%	4.25	A	52.4%	4.25	A	94.9%
Demanda [kWh/m² año]	57.66	F	38.4%	41.36	D	32.7%									

ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie actual [m²]	Transmitancia actual [W/m² K]	Superficie post mejora [m²]	Transmitancia post mejora [W/m² K]
Cubierta	Cubierta	1853.00	2.56	1853.00	0.36
Fachada este	Fachada	386.54	0.63	386.54	0.63
Fachada oeste	Fachada	463.43	0.63	463.43	0.63
Medianería	Fachada	1840.35	0.00	1840.35	0.00
Suelo con terreno	Suelo	2350.00	0.30	2350.00	0.30

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie actual [m²]	Transmitancia actual del hueco[W/m² K]	Transmitancia actual del vidrio[W/m² K]	Superficie post mejora [m²]	Transmitancia post mejora [W/m² K]	Transmitancia post mejora del vidrio [W/m² K]
Lucernario	Lucernario	497.00	5.70	5.70	497.00	1.52	1.60
Huecos este	Hueco	108.10	5.70	5.70	108.10	1.52	1.60
Huecos oeste	Hueco	72.00	5.70	5.70	72.00	1.52	1.60

INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Calefacción y refrigeración	Bomba de Calor		124.8%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		500.0%	-	-
TOTALES									

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Calefacción y refrigeración	Bomba de Calor		152.7%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		500.0%	-	-
TOTALES		-		-		-		-	-

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Estimación Energía Consumida anual [kWh/m²año]	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora [kW]	Rendimiento estacional post mejora [%]	Estimación Energía Consumida anual Post mejora [kWh/m²año]	Energía anual ahorrada [kWh/m²año]
Equipo ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor		400.0%	-	-
TOTALES		-		-		-		-	-

ENERGÍAS RENOVABLES

Post mejora

Nombre	Consumo de Energía Final, cubierto en función del servicio asociado [%]			Demanda de ACS cubierta [%]
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Contribuciones energéticas	100	100	100	-
TOTALES	100.0	100.0	100.0	-

6.3 Cartografía Magna 50 en el municipio de Madrid

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

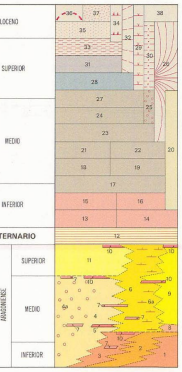
E. 1:50.000

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MADRID

559
19-22

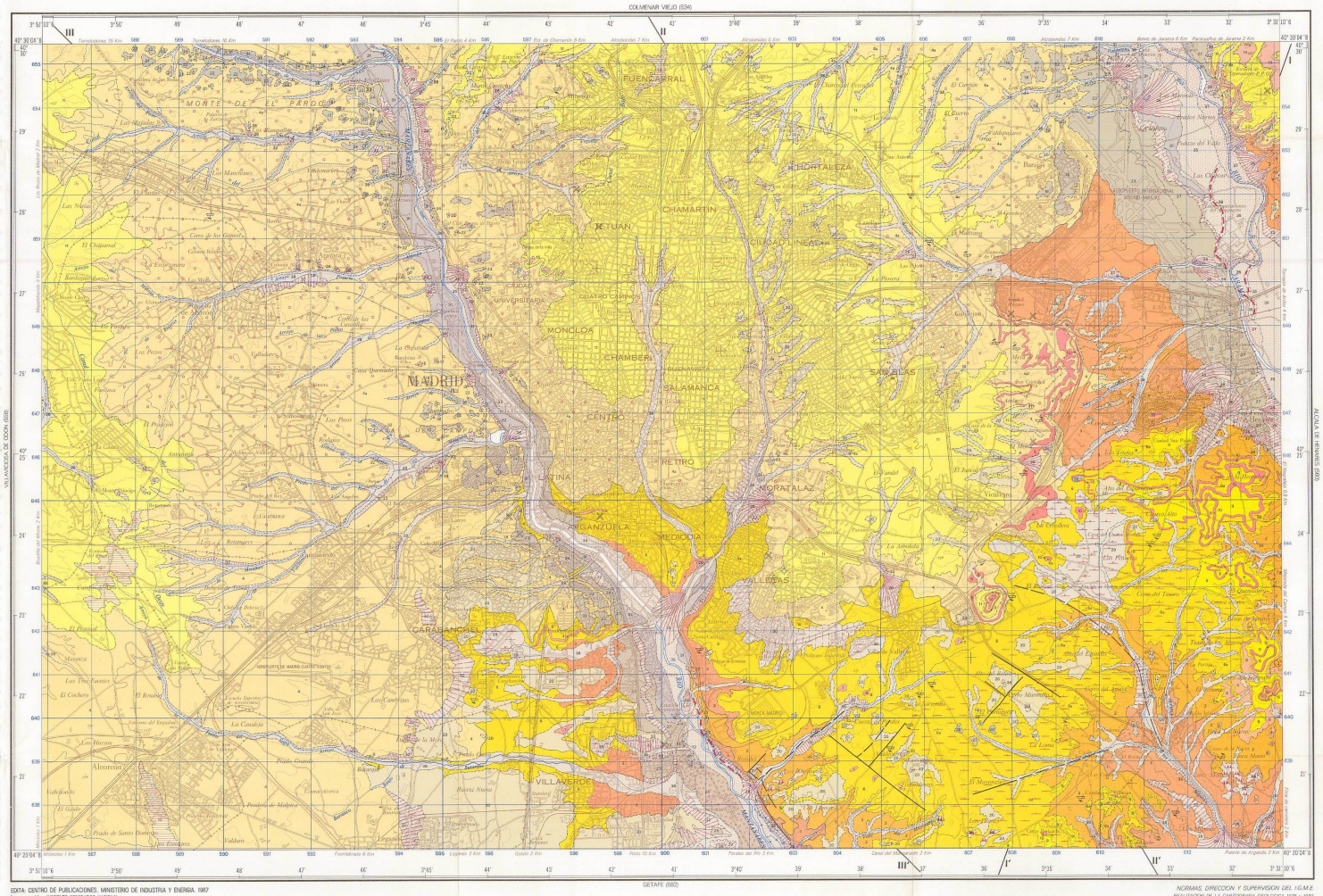
LEYENDA



38 Arenas cuarzo-feldespáticas, arcillas y limos arenosos con gravas dispersas (fondos de valle, lechos de canales y cauces abandonados)
37 Gravas, cantos y arenas (barras aluviales)
35 Limos oscilosos, arenas, gravas y cantos poligénicos (llanuras aluviales)
34 Limos yesíferos
33 Arcillas arenosas con fragmentos de roca (rellenos kársticos)
32 Arenas y limos con cantos dispersos (coluviones, derrames y conos aluviales)
30 Arcillas arenosas (fondos endorreicos)
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
Cantos y gravas poligénicos, arenas, limos y arcillas (terrazas)
20 Arenas cuarzo-feldespáticas con gravas y cantos (glacis y superficies)
12 Arenas arcósicas de grano grueso y arcillas pardas y rojizas
11
10 Niveles de sílex
9 Calizas dolomíticas y arcillas verdosas. Seudomorfos de yeso. Niveles finos de sepiolita
8 Yesos diclínicos, arcillas verdosas y carbonatos, localmente yeso zoliánico
7 Niveles de carbonatos (dolomías y calcretas)
6 Arcillas verdes y rosadas, arenas micáceas, margas y niveles de carbonatos y sílex
6a Arcillas con intercalaciones frecuentes de bancos carbonáticos, en parte silicificados
5 Niveles de sepiolita
4 Arenas arcósicas de grano medio o fino, limos y arcillas marrones
4a Arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas arcósicas
3 Arcillas verdosas y marrones, localmente arenas micáceas, niveles de carbonatos y sílex
2 Yesos tableados y nodulares entre arcillas grises y marrones
1 Yesos masivos

SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto discordante erosivo
- Contacto por cambio de facies
- Falla
- Falla supuesta
- Cauces de los ríos Jarama y Manzanares
- Estratificación subhorizontal
- Dolina
- Yacimiento paleontológico (vertebrados)
- Flora
- Cantera activa
- Cantera inactiva
- Sondeo



EDITA: CENTRO DE PUBLICACIONES. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA. 1987
Base topográfica: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL
Cartografía: SIEVERSATLAS S.A.
Autorizado: C.S.N. 1972 Depósito legal: M-4824-1989
Impresión: INDUSTRIAS GRAFICAS MARTE
NIPO: 232-89-010-2

Escala 1:50.000

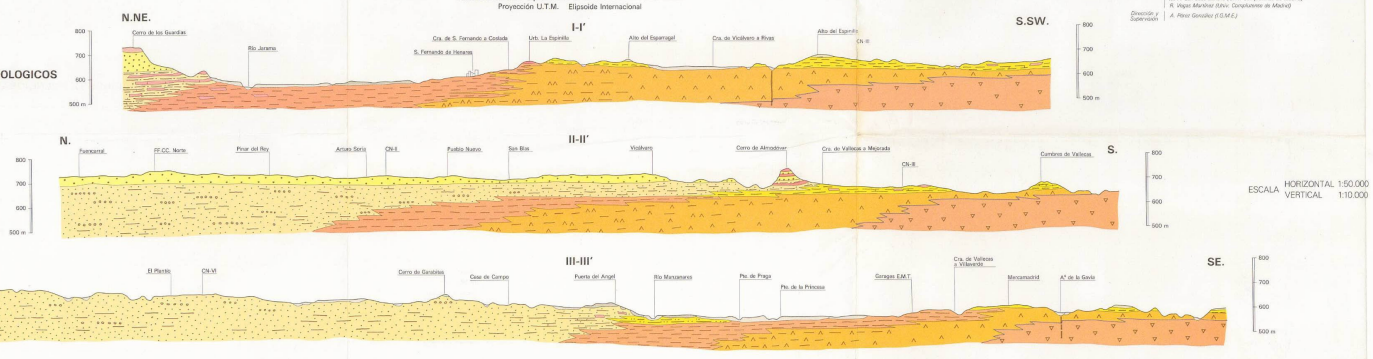
Las altitudes se refieren al nivel medio del Mediterráneo en Alicante
Cuadrícula Lambert. Equidistancia de las curvas de nivel, 20 metros
Proyección U.T.M. Elipsoide Internacional

NORMAS DIRECCION Y SUPERVISION DEL I.G.M.E.
REALIZACION DE LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA 1978 y 1983

Autores:
CUATERNARIO
J. L. Goy Goy (Univ. Complutense de Madrid)
A. Pérez-González (I.G.M.E., Madrid)
C. Zazo Cardeña (Univ. Complutense de Madrid)
TERCIARIO
J. P. Calvo Sorando (Univ. Complutense de Madrid)
M. A. San José Lancha (Univ. Complutense de Madrid)
R. Vegas Martínez (Univ. Complutense de Madrid)
A. Pérez González (I.G.M.E.)

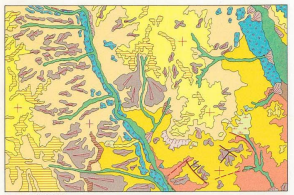
Dirección y Supervisión:

CORTES GEOLOGICOS



ESCALA HORIZONTAL 1:50.000
VERTICAL 1:10.000

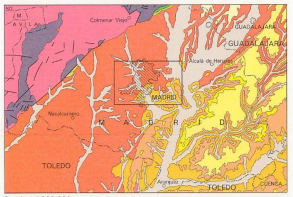
ESQUEMA MORFOESTRUCTURAL Y DE FACIES



Escala 1:250.000

Superficies Sp. estructurales
Glacis
Terrazas
Coluviones
Falla
Alineamiento morfológico
Conos aluviales
Fondos endorreicos
Fondos de valle y llanuras aluviales
Derrames
Escarpe de falla
Yesos
Arcillas verdes y carbonatos
Arcosas
Arcosas gruesas
Estratificación subhorizontal

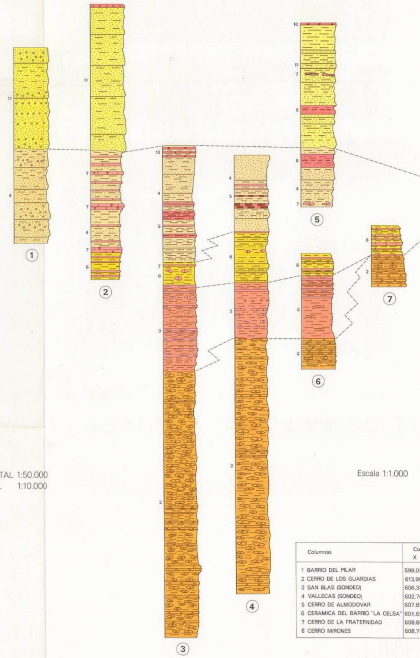
ESQUEMA REGIONAL



Escala 1:1.000.000

CUATERNARIO: Depósitos aluviales y de terraza
PLIO-CUATERNARIO: Depósitos fluviales del padeamonte de la raña
MIO-PLIOCENO: Facies carbonatadas lacustres, arcillas rojas y encostramientos
MIO-PLIOCENO: Facies detríticas fluviales
MIOCENO: Facies evaporíticas
MIOCENO: Facies heterolíticas (margocalcáreas, evaporíticas y detríticas)
OLIGOCENO Y MIOCENO: Facies detríticas
CRETACICO SUPERIOR-PALEOGENO: Facies ovoloníticas
CRETACICO SUPERIOR: Facies carbonatadas
CRETACICO SUPERIOR: Facies detríticas
Rocas metamórficas
Rocas plutónicas

COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS EN LAS PRINCIPALES UNIDADES ESTRUCTURALES O ZONAS



Escala 1:1.000

Columnas	Co.
1 BARRIO DEL PILAR	599.0
2 CERRO DE LOS GUARDIAS	613.9
3 SAN BLAS (SONDEO)	606.3
4 VALLECAS (SONDEO)	602.7
5 CERRO DE ALMODOVAR	607.0
6 CERAMICA DEL BARRIO "LA CELSA"	601.0
7 CERRO DE LA FRATERNIDAD	609.8
8 CERRO MIRANDA	606.7

6.4 Cálculo del campo de captación geotérmico con el software EED

6.4.1 Simulación 1: Carga base de refrigeración y pico de demanda de refrigeración

6.4.1.1 Datos de partida introducidos en EED

DATOS RÁPIDOS OBTENIDOS	
Número de pozos	1.156
Profundidad del pozo	600,00 m
Longitud total del pozo	693.600,00 m

Tabla 46. Resultado rápido obtenido con EED tras introducir datos de partida para la simulación 1.

Suelo	
Conductividad térmica del suelo	2,300 W/(m·K)
Capacidad calórica del suelo	2,200 MJ/(m³·K)
Temperatura de la superficie del suelo	13,90 °C
Flujo de calor geotérmico	0.0800 W/m²

Tabla 47. Datos introducidos en EED sobre el tipo de suelo del que se compone el Distrito de Chamberí.

Sondeo	
Configuración	761 (1156 : 34 x 34, rectángulo)
Profundidad del sondeo	600,00 m
Distancia entre sondeos	12.00 m
Tipo de instalación del sondeo	U-Doble
Diámetro del sondeo	135,00 mm
Diámetro exterior de la tubería en U	40,000 mm
Espesor de la pared de la tubería en U	3,700 mm
Conductividad térmica de la tubería en U	0,420 W/(m·K)
Distancia entre ejes de las tuberías en U	65,000 mm
Conductividad térmica del relleno	2,100 W/(m·K)
Resistencia de contacto tubería / relleno	0,0000 (m·K)/W
Resistencias térmicas	
Número de multipolos	10
La Transferencia de calor interna entre los canales superior e inferior es considerada.	
Fluido caloportador	
Conductividad térmica	0,5720 W/(m·K)
Capacidad calórica específica	4.202,000 J/(Kg·K)
Densidad	1.000,000 Kg/m³
Viscosidad	0,001520 Kg/(m·s)
Punto de congelación	0,0 °C
Tasa de flujo por pozo	4,400 l/s

Tabla 48. Datos introducidos en EED sobre el tipo de sondas a utilizar.

Carga base	
ACS	3,5
Factor de rendimiento por estación (calentamiento)	4,64
Factor de rendimiento por estación (enfriamiento)	5,25

Tabla 49. Datos introducidos en EED sobre la carga base del Distrito de Chamberí.

Valores de energía mensual [MWh]			
Mes	**Carga de calor**	**Carga de frío**	**Carga de suelo**
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,00	67,00	-79,762
Marzo	0,00	442,00	-526,190
Abril	0,00	667,00	-794,048
Mayo	6.723,00	2.084,00	2793,125
Junio	10.000,00	6.618,00	-33,744
Julio	22.000,00	15.081,00	-694,951
Agosto	22.000,00	14.527,00	-35,427
Septiembre	9.000,00	5.313,00	735,345
Octubre	0,00	600,00	-714,286
Noviembre	0,00	22,00	-26,190
Diciembre	0,00	0,00	0,000
TOTAL	**69.723,00**	**45.421,00**	**623,872**

Tabla 50. Datos introducidos en EED sobre la carga de calor y de frío demandada por el Distrito de Chamberí.

Pico de potencia mensual [kW]		
Mes	**Pico de frío**	**Duración [h]**
Julio	60.811,00	8,0

Tabla 51. Datos introducidos en EED sobre el pico de frío demandado por el Distrito de Chamberí.

Periodo de simulación	
Número de años de simulación	50
Primer mes de operación	Septiembre

Tabla 52. Datos introducidos en EED sobre el periodo de simulación.

6.4.1.2 Resultados obtenidos tras calcular con EED

Valores calculados	
Longitud total del pozo	693.600,00 m
Resistencia térmica interior del pozo	0,1698 (m·K)/W
Número de Reynolds	56.529
Resistencia térmica fluido/tubería	0.0017 (m·K)/W
Resistencia Térmica tubería/llenado	0.0775 (m·K)/W
Resistencia de contacto tubería/llenado	0.0000 (m·K)/W
Resistencia térmica fluido/suelo del pozo	0.0586 (m·K)/W
Resistencia térmica efectiva del pozo	0.0592 (m·K)/W

Tabla 53. Datos obtenidos con EED sobre resistencias térmicas.

Tasa de extracción de calor específico [W/m]			
Mes	**Carga base**	**Pico de calor**	**Carga de suelo**
Enero	0,00	0,00	-0,00
Febrero	-0,16	0,00	-0,00
Marzo	-1,04	0,00	-0,00
Abril	-1,57	0,00	-0,00
Mayo	5,52	0,00	-0,00
Junio	-0,07	0,00	-0,00
Julio	-1,37	0,00	-104,37
Agosto	-0,07	0,00	-0,00
Septiembre	1,45	0,00	-0,00
Octubre	-1,41	0,00	-0,00
Noviembre	-0,05	0,00	-0,00
Diciembre	0,00	0,00	-0,00

Tabla 54. Tasa de extracción de calor específico obtenida con EED.

Carga base: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	24,33	24,34	24,31	24,26	23,96
Febrero	24,33	24,39	24,38	24,32	24,02
Marzo	24,33	24,66	24,63	24,58	24,27
Abril	24,33	24,85	24,80	24,75	24,45
Mayo	24,33	22,68	22,64	22,58	22,29
Junio	24,33	24,26	24,23	24,18	23,87
Julio	24,33	24,70	24,67	24,62	24,31
Agosto	24,33	24,34	24,32	24,27	23,97
Septiembre	23,88	23,88	23,84	23,79	23,50
Octubre	24,74	24,74	24,70	24,65	24,35
Noviembre	24,36	24,34	24,31	24,27	23,96
Diciembre	24,34	24,33	24,30	24,26	23,95

Tabla 55. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función de la carga base, obtenidas con EED.

Carga base: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	22,29 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	24,45 °C al final de abril

Tabla 56. Carga base el año 50 de operación, obtenida con EED.

Carga pico de calor: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	24,33	24,34	24,31	24,26	23,96
Febrero	24,33	24,36	24,36	24,29	23,99
Marzo	24,33	24,51	24,49	24,43	24,13
Abril	24,33	24,72	24,67	24,62	24,32
Mayo	24,33	22,68	22,64	22,58	22,29
Junio	24,33	24,26	24,23	24,18	23,87
Julio	24,33	24,70	24,67	24,62	24,31
Agosto	24,33	24,34	24,32	24,27	23,97
Septiembre	23,88	23,88	23,84	23,79	23,50
Octubre	24,74	24,74	24,70	24,65	24,35
Noviembre	24,35	24,34	24,30	24,26	23,95
Diciembre	24,34	24,33	24,30	24,26	23,95

Tabla 57. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de calor, obtenidas con EED.

Carga pico de calor: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	22,29 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	24,35 °C al final de octubre

Tabla 58. Carga pico de calor el año 50 de operación, obtenida con EED.

Carga pico de frío: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	24,33	24,34	24,31	24,26	23,96
Febrero	24,33	24,39	24,38	24,32	24,02
Marzo	24,33	24,66	24,63	24,58	24,27
Abril	24,33	24,85	24,80	24,75	24,45
Mayo	24,33	22,68	22,64	22,58	22,29
Junio	24,33	24,26	24,23	24,18	23,87
Julio	24,33	40,56	40,53	40,48	40,17
Agosto	24,33	24,32	24,32	24,27	23,97
Septiembre	23,88	23,88	23,84	23,79	23,50
Octubre	24,74	24,70	24,70	24,65	24,35
Noviembre	24,36	24,31	24,31	24,27	23,96
Diciembre	24,34	24,30	24,30	24,26	23,95

Tabla 59. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de frío, obtenidas con EED.

Carga pico de frío: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	22,29 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	40,17 °C al final de julio

Tabla 60. Carga pico de frío el año 50 de operación, obtenida con EED.

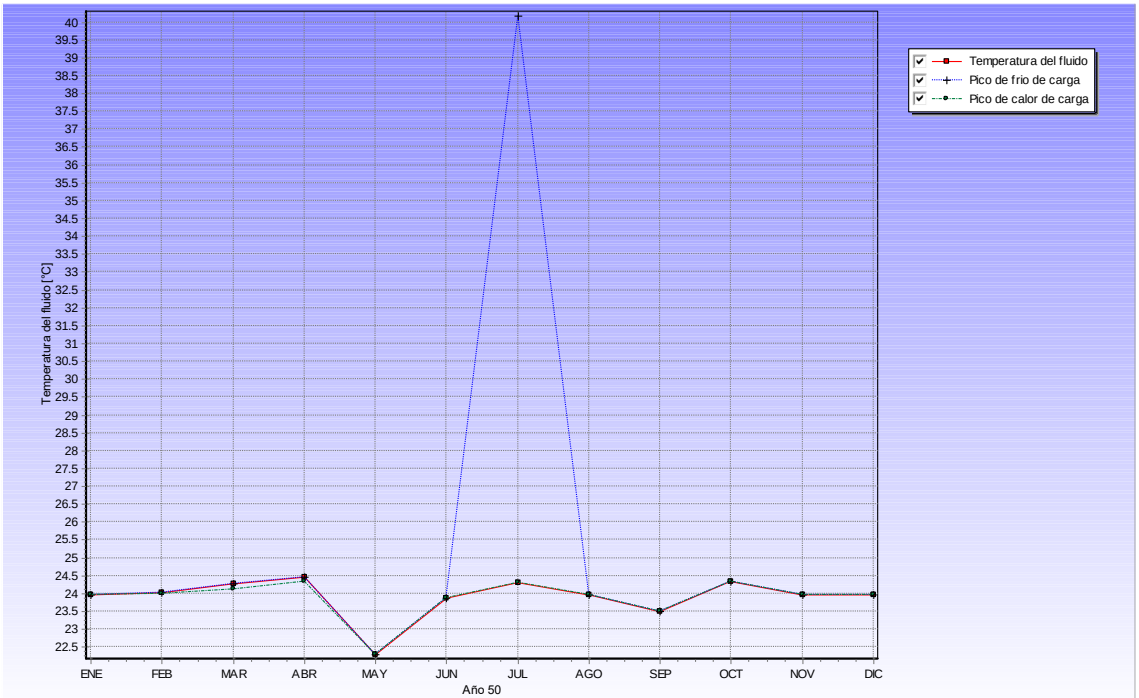


Ilustración 54. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 1, obtenida con EED.

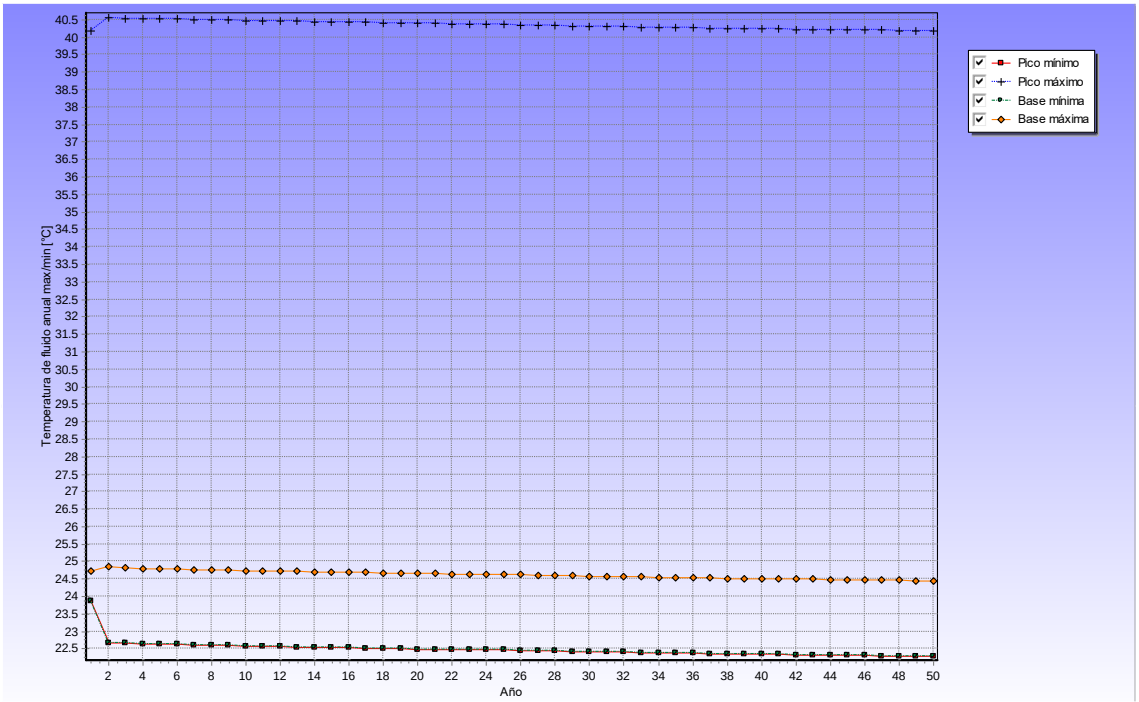


Ilustración 55. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 1, obtenida con EED.

6.4.2 Simulación 2: Carga base de refrigeración, sin picos de demanda

6.4.2.1 Datos de partida introducidos en EED

DATOS RÁPIDOS OBTENIDOS	
Número de pozos	900
Profundidad del pozo	328,44 m
Longitud total del pozo	295.594,03 m

Tabla 61. Resultado rápido obtenido con EED tras introducir datos de partida para la simulación 2.

Suelo	
Conductividad térmica del suelo	2,300 W/(m·K)
Capacidad calórica del suelo	2,200 MJ/(m³·K)
Temperatura de la superficie del suelo	13,90 °C
Flujo de calor geotérmico	0.0800 W/m²

Tabla 62. Datos introducidos en EED sobre el tipo de suelo del que se compone el Distrito de Chamberí.

Sondeo	
Configuración	757 (900 : 30 x 30, rectángulo)
Profundidad del sondeo	328,44 m
Distancia entre sondeos	8.00 m
Tipo de instalación del sondeo	U-Doble
Diámetro del sondeo	135,00 mm
Diámetro exterior de la tubería en U	40,000 mm
Espesor de la pared de la tubería en U	3,700 mm
Conductividad térmica de la tubería en U	0,420 W/(m·K)
Distancia entre ejes de las tuberías en U	65,000 mm
Conductividad térmica del relleno	2,100 W/(m·K)
Resistencia de contacto tubería / relleno	0,0000 (m·K)/W
Resistencias térmicas	
Número de multipolos	10
La Transferencia de calor interna entre los canales superior e inferior es considerada.	
Fluido caloportador	
Conductividad térmica	0,5720 W/(m·K)
Capacidad calórica específica	4202,000 J/(Kg·K)
Densidad	1000,000 Kg/m³
Viscosidad	0,001520 Kg/(m·s)
Punto de congelación	0,0 °C
Tasa de flujo por pozo	4,400 l/s

Tabla 63. Datos introducidos en EED sobre el tipo de sondas a utilizar.

Carga base	
ACS	3,5
Factor de rendimiento por estación (calentamiento)	4,64
Factor de rendimiento por estación (enfriamiento)	5,25

Tabla 64. Datos introducidos en EED sobre la carga base del Distrito de Chamberí.

Valores de energía mensual [MWh]			
Mes	**Carga de calor**	**Carga de frío**	**Carga de suelo**
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,00	67,00	-79,762
Marzo	0,00	442,00	-526,190
Abril	0,00	667,00	-794,048
Mayo	6.723,00	2.084,00	2793,125
Junio	10.000,00	6.618,00	-33,744
Julio	22.000,00	15.081,00	-694,951
Agosto	22.000,00	14.527,00	-35,427
Septiembre	9.000,00	5.313,00	735,345
Octubre	0,00	600,00	-714,286
Noviembre	0,00	22,00	-26,190
Diciembre	0,00	0,00	0,000
TOTAL	**69.723,00**	**45.421,00**	**623,872**

Tabla 65. Datos introducidos en EED sobre la carga de calor y de frío demandada por el Distrito de Chamberí.

Pico de potencia mensual [kW]		
Mes	**Pico de frío**	**Duración [h]**
Julio	30.405,00	8,0

Tabla 66. Datos introducidos en EED sobre el pico de frío demandado por el Distrito de Chamberí.

Periodo de simulación	
Número de años de simulación	50
Primer mes de operación	Septiembre

Tabla 67. Datos introducidos en EED sobre el periodo de simulación.

6.4.2.2 Resultados obtenidos tras calcular con EED

Valores calculados	
Longitud total del pozo	295.594,03 m
Resistencia térmica interior del pozo	0,1698 (m·K)/W
Número de Reynolds	56.529
Resistencia térmica fluido/tubería	0.0017 (m·K)/W
Resistencia Térmica tubería/llenado	0.0775 (m·K)/W
Resistencia de contacto tubería/llenado	0.0000 (m·K)/W
Resistencia térmica fluido/suelo del pozo	0.0586 (m·K)/W
Resistencia térmica efectiva del pozo	0.0592 (m·K)/W

Tabla 68. Datos obtenidos con EED sobre resistencias térmicas.

Tasa de extracción de calor específico [W/m]			
Mes	**Carga base**	**Pico de calor**	**Carga de suelo**
Enero	0,00	0,00	-0,00
Febrero	-0,37	0,00	-0,00
Marzo	-2,44	0,00	-0,00
Abril	-3,68	0,00	-0,00
Mayo	12,94	0,00	-0,00
Junio	-0,16	0,00	-0,00
Julio	-3,22	0,00	-122,45
Agosto	-0,16	0,00	-0,00
Septiembre	3,41	0,00	-0,00
Octubre	-3,31	0,00	-0,00
Noviembre	-0,12	0,00	-0,00
Diciembre	0,00	0,00	-0,00

Tabla 69. Tasa de extracción de calor específico obtenida con EED.

Carga base: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	19,61	19,62	19,44	19,22	18,03
Febrero	19,61	19,74	19,61	19,41	18,20
Marzo	19,61	20,37	20,30	20,14	18,89
Abril	19,61	20,82	20,83	20,60	19,36
Mayo	19,61	15,76	15,48	15,21	13,99
Junio	19,61	19,45	19,18	18,89	17,67
Julio	19,61	20,49	20,31	20,04	18,82
Agosto	19,61	19,57	19,40	19,12	17,92
Septiembre	18,55	18,43	18,22	17,97	16,78
Octubre	20,54	20,54	20,37	20,13	18,94
Noviembre	19,67	19,63	19,48	19,24	18,06
Diciembre	19,60	19,50	19,35	19,11	17,94

Tabla 70. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función de la carga base, obtenidas con EED.

Carga base: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	13,99 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	19,36 °C al final de abril

Tabla 71. Carga base el año 50 de operación, obtenida con EED.

Carga pico de calor: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	19,61	19,62	19,44	19,22	18,03
Febrero	19,61	19,69	19,55	19,35	18,14
Marzo	19,61	20,04	19,97	19,81	18,56
Abril	19,61	20,53	20,54	20,31	19,07
Mayo	19,61	15,76	15,48	15,21	13,99
Junio	19,61	19,45	19,18	18,89	17,67
Julio	19,61	20,49	20,31	20,04	18,82
Agosto	19,61	19,57	19,40	19,12	17,92
Septiembre	18,55	18,43	18,22	17,97	16,78
Octubre	20,54	20,54	20,37	20,13	18,94
Noviembre	19,65	19,62	19,47	19,23	18,04
Diciembre	19,60	19,50	19,35	19,11	17,94

Tabla 72. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de calor, obtenidas con EED.

Carga pico de calor: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	13,99 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	19,07 °C al final de abril

Tabla 73. Carga pico de calor el año 50 de operación, obtenida con EED.

Carga pico de frío: temperaturas medias del fluido (a final de mes) [°C]					
Año	**1**	**2**	**5**	**10**	**50**
Enero	19,61	19,62	19,44	19,22	18,03
Febrero	19,61	19,74	19,61	19,41	18,20
Marzo	19,61	20,37	20,30	20,14	18,89
Abril	19,61	20,82	20,83	20,60	19,36
Mayo	19,61	15,76	15,48	15,21	13,99
Junio	19,61	19,45	19,18	18,89	17,67
Julio	19,61	38,68	38,49	38,22	37,00
Agosto	19,61	19,57	19,40	19,12	17,92
Septiembre	18,55	18,43	18,22	17,97	16,78
Octubre	20,54	20,54	20,37	20,13	18,94
Noviembre	19,67	19,63	19,48	19,24	18,06
Diciembre	19,60	19,50	19,35	19,11	17,94

Tabla 74. Temperaturas medias del fluido a final de mes en función del pico de frío, obtenidas con EED.

Carga pico de frío: año 50	
Temperatura de fluido mínima media	13,99 °C al final de mayo
Temperatura de fluido máxima media	37,00 °C al final de julio

Tabla 75. Carga pico de frío el año 50 de operación, obtenida con EED.

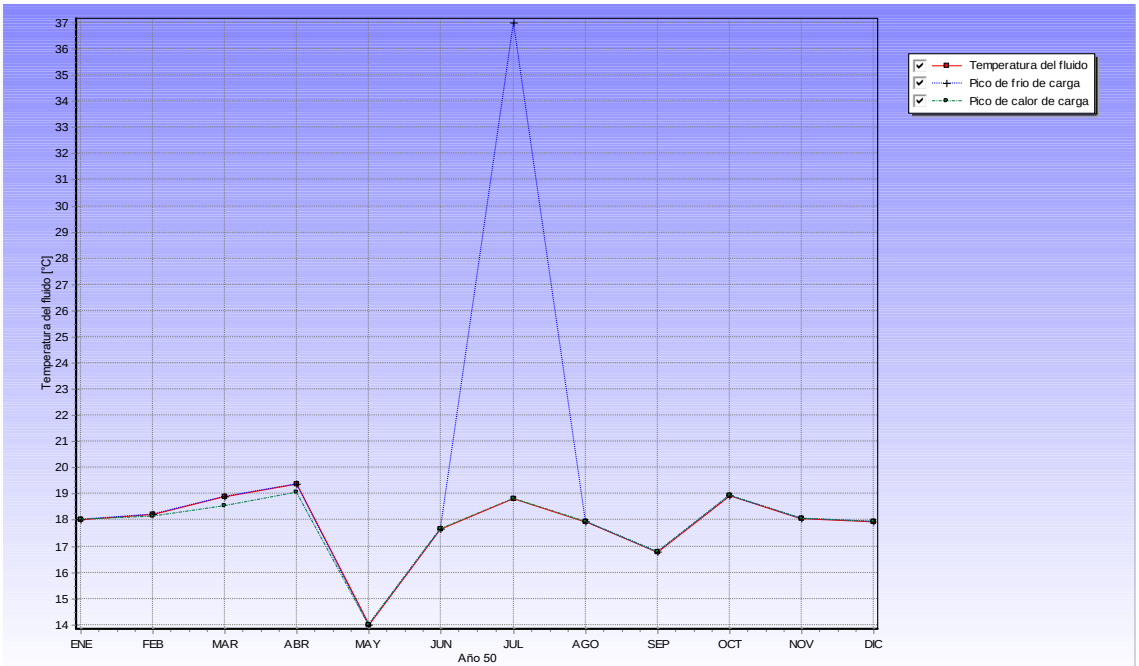


Ilustración 56. Gráfica de evolución de la temperatura media del fluido caloportador a lo largo del año en la simulación 2, obtenida con EED.

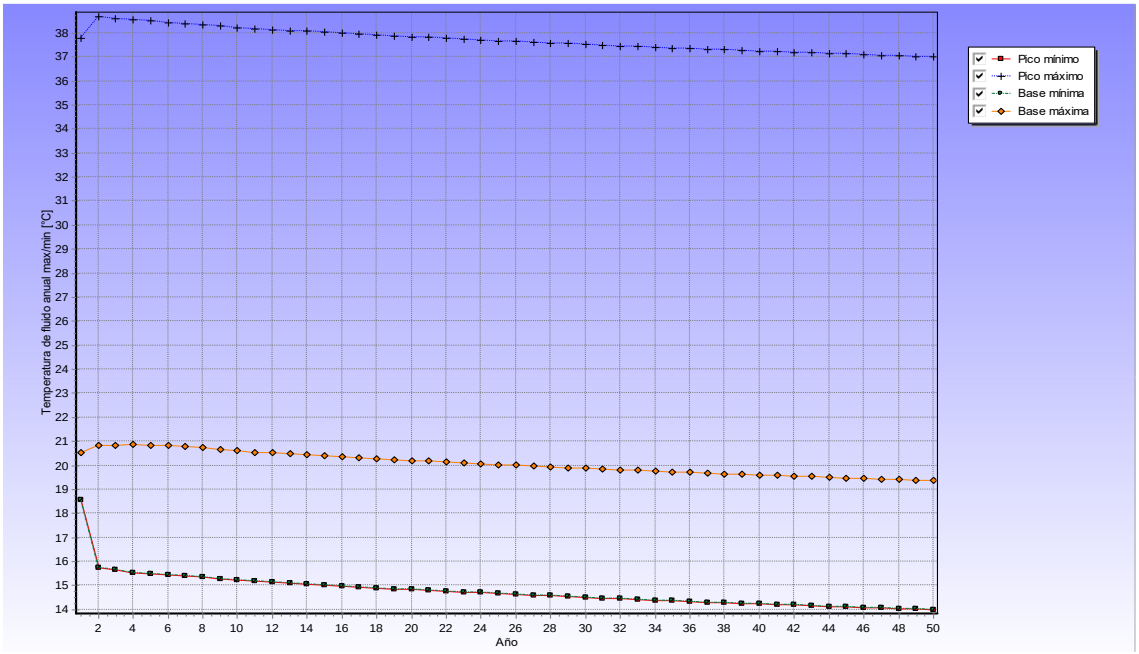


Ilustración 57. Gráfica de la evolución de la temperatura del fluido a lo largo de los primeros 50 años de operación en la simulación 2, obtenida con EED.

6.5 Planos

LEYENDA

	USOS DE LA EDIFICACIÓN	SUPERFICIE
	Centro sanitario: centro de salud, dentista, óptica, centro de estética, veterinario, etc.	83.201 m2
	Centro docente: colegio, instituto, universidad, academia, guardería, escuelas varias.	380.000 m2
	Centro cultural: museo, sala de exposiciones, etc.	84.213 m2
	Centro deportivo: gimnasio, escuelas varias.	23.030 m2
	Centros institucionales	560.000 m2
	Residencial	3.840.000 m2
	Oficinas	210.000 m2
	Comercial: pequeño comercio, centro comercial, mercados, supermercados, tiendas.	33.358 m2
	Hoteles, hotales, residencias, conventos.	37.146 m2
	Religiosos	63.658 m2
	TOTAL EDIFICACIÓN	5.314.606 m2

Túneles de la red de Metro de Madrid

Transformación del Distrito de Chamberí en Distrito de Energía Positiva

Máster Energías Renovables y Medio Ambiente

Autor: Cristina Aragón Malo

PLANO DE USOS DE LA EDIFICACIÓN

escala: 1: 5.000

Tutor: Héctor Cano Esteban

Fecha: Septiembre 2021

0 50 100 150

POLITÉCNICA

MAQUINARIA DE PERFORACIÓN

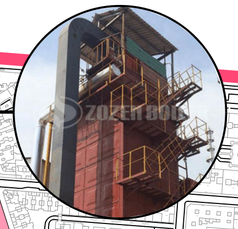


COCHERAS DEL METRO
ESTADO PREVIO

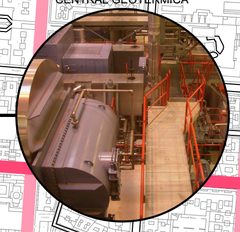


Ruta suministro biomasa

CENTRAL DE BIOMASA



CENTRAL GEOTÉRMICA



CENTRAL TÉRMICA

Universidad Complutense

CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA

PARQUE JAIME DEL AMO

Hospital Clínico San Carlos

ETSIAE UPM

ETSIN UPM

Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz

Museo de América



PARQUE JUAN DEL AMO
ESTADO PREVIO

LEYENDA

CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO	SUPERFICIE
Parque Jaime del Amo: Superficie disponible y apta para relizar perforaciones geotérmicas	110.000 m2
Campo de captación para el sistema geotérmico de climatización urbana de Chamberí	57.600 m2

REDES DE DISTRIBUCIÓN DE CLIMATIZACIÓN
Red de distribución primaria
Red de distribución secundaria
Red de distribución terciaria

Transformación del Distrito de Chamberí en Distrito de Energía Positiva

Máster Energías Renovables y Medio Ambiente

Autor: Cristina Aragón Malo

PLANO DE CLIMATIZACIÓN URBANA

escala: 1: 5.000

Tutor: Héctor Cano Esteban

Fecha: Septiembre 2021

0 50 100 150

POLITÉCNICA

6.6 Fichas técnicas

6.6.1 Bomba de calor geotérmica

AERMEC

NEW | 50Hz | R134a | R-513A XP10

WFI

Bombas de calor agua - agua revesibles en lado del agua

Potencia frigorífica 670 ÷ 2406 kW
Potencia térmica 741 ÷ 2664 kW

- **Producción de agua caliente en lado del condensador de hasta 60°C.**
- **Producción de agua negativa en lado del evaporador de hasta -8°C.**
- **También disponible con gas R513A**



EUROVENT CERTIFIED PERFORMANCE

DESCRIPCIÓN

Unidades interiores para la producción de agua refrigerada/calentada, diseñada y fabricada para satisfacer las necesidades de climatización en complejos residenciales y comerciales, o refrigeración en complejos industriales.
Máquina compacta y flexible que se adapta a las condiciones de carga más variopintas gracias a la precisa termorregulación.
El bastidor, la estructura y los paneles son de acero galvanizado tratado con pinturas de poliéster RAL 9003.

VERSIONES

° Estándar
A Elevada eficacia

CARACTERÍSTICAS

Campo de funcionamiento

Producción de agua refrigerada hasta 16°C en lado del evaporador, pero adecuada también para el uso con bomba de calor con temperatura del agua producida en el condensador de hasta 60°C dependiendo del modelo.

La unidad que posee la opción de una válvula termostática electrónica Z, puede producir también agua refrigerada a temperatura negativa desde -8°C a 10°C.

Unidad de circuito bi-tri

La gama consta de unidades con 2-3 circuitos frigoríficos diseñadas para suministrar el máximo rendimiento a plena carga, garantizando una eficiencia elevada incluso con cargas parciales y asegurando continuidad en caso de parada de uno de los circuitos.
Todas las unidades disponen de un compresor inverter combinado con un compresor on-off (tamaños para doble circuito) o dos compresores on-off (tamaños para triple circuito) con refrigerante R134a.
También está disponible con configuración con refrigerante R513A (XP10) con este tipo de gas las unidades tienen de media un rendimiento > del 2% y un EER < del 3%, respecto a los del mismo tamaño con R134a.

Para más detalles, consulte la documentación técnica o el programa de selección Magellano.

Válvula de expansiòn electrónica

Su uso de la válvula de expansiòn electrónica aporta notables beneficios, especialmente cuando la unidad trabaja con cargas parciales, pues mejora la eficiencia energética de la unidad. Estándar para todas los tamaños.

CONTROL PCO_5

Regulación por microprocesador, con teclado y pantalla LCD, que permite una consulta fácil y la intervención en la unidad mediante un menú disponible en varios idiomas.
La regulación comprende una gestión completa de las alarmas y de su historial.
La posibilidad de controlar dos unidades en paralelo Máster - Slave
La presencia de un reloj de programación permite configurar las franjas horarias de funcionamiento y un eventual segundo set-point.
La termorregulación se efectúa según la lógica proporcional integral, en función de la temperatura de salida del agua.

ACCESORIOS

AER485P1 x n° 2: Interfaz RS-485 para sistemas de super-visión con protocolo MODBUS.
AER485P1 x n° 3: Interfaz RS-485 para sistemas de super-visión con protocolo MODBUS.
AERNET: El dispositivo permite el control de la gestión y la monitorización remota de un refrigerador con un PC, smartphone o tablet mediante la conexión Cloud. AERNET desempeña la función de Máster, mientras que cada unidad conectada se configura como Slave hasta un máximo de 6 unidades; además, con un simple clic es posible guardare en el propio terminal un archivo log con todos los datos de las unidades conectadas para posibles post análisis.
MULTICHILLER_EVO: Sistema de control para mando, encendido y apagado de cada enfriadora en una instalación en la cual estén instalados varios aparatos simultáneamente, asegurando siempre el caudal constante hacia los evaporadores.

DATOS SOBRE LAS PRESTACIONES DEL MODELO (°) - PARA TEMPERATURAS DE CONDENSACIÓN DE HASTA 55°C

WFI - modelo (°) versión A - gas R134a

Tamaño		2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Modelo: °													
Rendimientos en enfriamiento 12 °C / 7 °C (1)													
Potencia frigorífica	kW	670,0	757,4	889,1	1002,3	1143,6	1304,6	1441,8	1621,2	1771,2	1940,6	2167,0	2406,5
Potencia absorbida	kW	127,4	144,9	168,9	192,8	218,4	244,5	275,3	309,9	327,6	362,0	410,0	458,2
Corriente total absorbida en frío	A	214,0	244,0	277,0	315,0	351,0	399,0	446,0	497,0	527,0	597,0	667,0	751,0
EER	W/W	5,26	5,23	5,26	5,20	5,24	5,34	5,24	5,23	5,41	5,36	5,29	5,25
Caudal de agua lado fuente	l/h	136129	154084	180866	204404	232973	264813	293658	330152	359034	393872	440716	490182
Pérdidas de carga lado fuente	kPa	55	58	48	46	44	47	48	48	38	31	32	40
Caudal de agua lado instalación	l/h	115215	130225	152866	172295	196591	224275	247834	278670	304461	333577	372486	413608
Pérdidas de carga lado instalación	kPa	53	43	38	27	31	44	31	39	45	54	57	33
Rendimientos en calefacción 40 °C / 45 °C (2)													
Potencia térmica	kW	746,2	839,5	979,7	1112,5	1270,4	1441,8	1597,0	1815,3	1951,6	2145,2	2391,0	2664,3
Potencia absorbida	kW	165,1	183,8	210,4	242,5	276,5	310,2	346,1	394,1	414,4	459,6	518,3	573,6
Corriente total absorbida en caliente	A	273,0	305,0	341,0	394,0	441,0	499,0	556,0	624,0	656,0	743,0	826,0	931,0
COP	W/W	4,52	4,57	4,66	4,59	4,59	4,65	4,61	4,61	4,71	4,67	4,61	4,64
Caudal de agua lado instalación	l/h	129578	145788	170162	193225	220670	250442	277422	315345	339051	372698	415418	462891
Pérdidas de carga lado instalación	kPa	50	51	42	41	40	42	43	44	34	28	28	36
Caudal de agua lado fuente	l/h	171302	192864	225753	254786	291203	332319	366559	417106	451025	495203	550498	612203
Pérdidas de carga lado fuente	kPa	118	95	82	60	67	97	69	88	98	118	125	73

(1) Datos 14511:2018; Agua lado instalación 12 °C / 7 °C; Agua lado fuente 30 °C / 35 °C
(2) Datos 14511:2018; Agua lado instalación 40 °C / 45 °C; Agua lado fuente 10 °C / 7 °C

Índices energéticos (Reg. 2016/2281 UE)

Tamaño			2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Modelo: °														
SEER - 12/7 (EN14825: 2018) (1)														
Eficiencia estacional	°	%	-	-	-	-	-	-	-	-	319.8%	319.2%	318.2%	313.6%
	A	%	339.2%	340.0%	341.7%	340.2%	337.9%	340.3%	343.5%	344.3%	343.1%	341,0%	340.5%	342.5%
SEER	°	W/W	-	-	-	-	-	-	-	-	8,07	8,06	8,03	7,92
	A	W/W	8,56	8,58	8,62	8,58	8,52	8,58	8,66	8,68	8,65	8,60	8,59	8,64

(1) Cálculo realizado con caudal de agua VARIABLE y temperatura de salida VARIABLE.

Datos eléctricos

Tamaño			2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Modelo: °														
Datos eléctricos														
Corriente máxima (FLA)	°	A	-	-	-	-	-	-	-	-	862,9	965,5	1077,5	1211,4
	A	A	354,5	395,1	447,5	511,1	576,7	647,2	724,3	824,0	862,9	965,5	1077,5	1211,4
Corriente de arranque (LRA)	°	A	-	-	-	-	-	-	-	-	1176,0	1301,0	1533,0	1744,0
	A	A	506,0	550,0	666,0	730,0	889,0	982,0	1179,0	1355,0	1176,0	1301,0	1533,0	1744,0

DATOS TÉCNICOS GENERALES

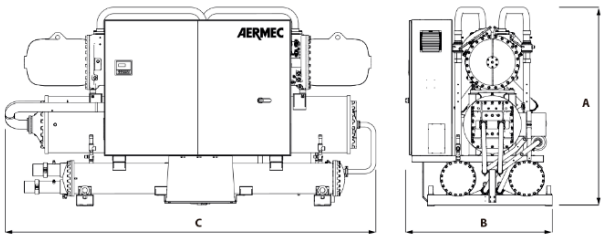
Tamaño			2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Compresor														
Tipo	°,A	tipo						Tornillos						
Regulación compresor	°,A	Tipo						Inverter+On/Off						
número	°,A	n°	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
Circuitos	°,A	n°	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
Refrigerante	°,A	tipo						R134a						
Carga de refrigerante del circuito 1	°	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	106,0	104,0	110,0	120,0
	A	kg	50,0	53,0	81,0	71,0	70,0	123,0	124,0	121,0	106,0	104,0	110,0	120,0
Carga de refrigerante del circuito 2	°	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	106,0	104,0	110,0	120,0
	A	kg	50,0	53,0	81,0	71,0	70,0	123,0	124,0	121,0	106,0	104,0	110,0	120,0
Carga de refrigerante del circuito 3	°,A	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	106,0	104,0	110,0	120,0
Intercambiador lado instalación														
Tipo	°,A	tipo						Hilera de tubos						
número	°,A	n°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Conexiones (in/out)	°,A	Tipo						Junta acanalada						
Intercambiador lado fuente														
Tipo	°,A	tipo						Hilera de tubos						
número	°,A	n°	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
Conexiones (in/out)	°,A	Tipo						Junta acanalada						

DATOS DE SONIDO

Datos sonoros calculados con funcionamiento en frío - gas R134a

Tamaño			2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Modelo: °														
Montaje estándar														
Nivel de potencia sonora (1)	°	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	99,2	98,9	100,0	100,5
	A	dB(A)	96,9	97,4	97,9	98,0	98,8	98,8	98,6	98,9	99,2	98,9	100,0	100,5
Montaje silencioso														
Nivel de potencia sonora (1)	°	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	92,3	91,3	92,8	93,0
	A	dB(A)	89,3	89,6	90,3	90,5	91,5	91,1	91,2	91,3	92,3	91,3	92,8	93,0
Montaje super-silencioso														
Nivel de potencia sonora (1)	°	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	89,4	88,4	89,8	90,0
	A	dB(A)	86,3	86,7	87,4	87,5	88,5	88,1	88,2	88,8	89,4	88,4	89,8	90,0

DIMENSIONES



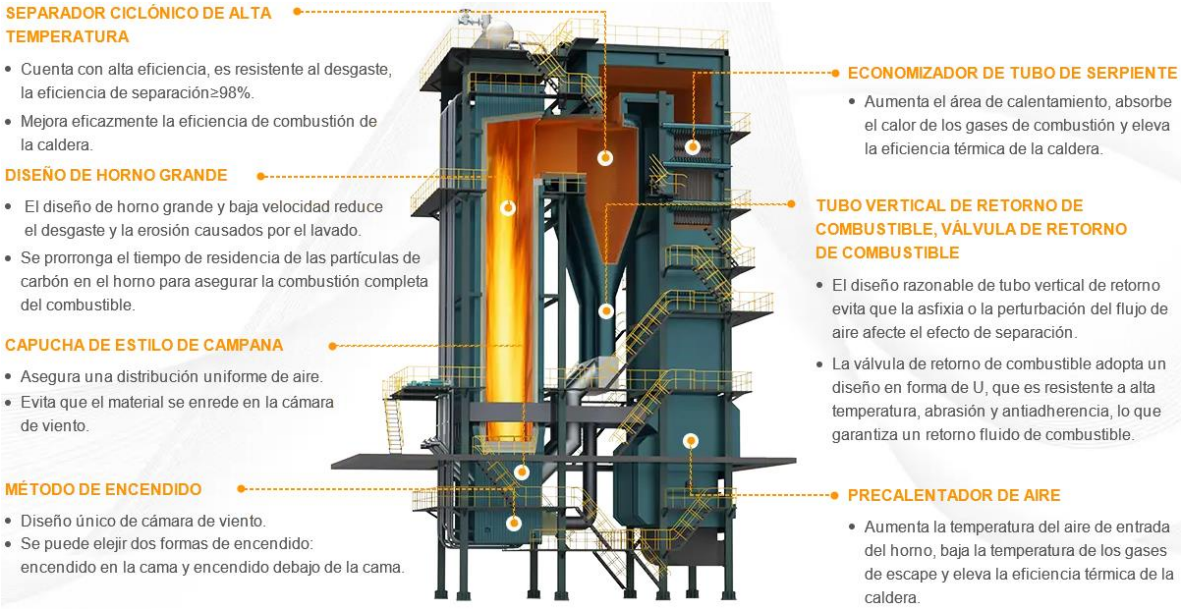
Dimensiones y pesos de la unidad °/H in configuración estándar

Tamaño			2502	2802	3202	3602	4202	4802	5602	6402	6703	7203	8403	9603
Modelo: °, H														
Dimensiones y pesos del equipamiento estándar														
A	°	mm	-	-	-	-	-	-	-	-	2250	2250	2250	2250
	A	mm	2131	2131	2195	2195	2340	2440	2440	2440	2250	2250	2250	2250
B	°	mm	-	-	-	-	-	-	-	-	2200	2200	2200	2200
	A	mm	1645	1645	1630	1630	1685	1875	1875	1875	2200	2200	2200	2200
C	°	mm	-	-	-	-	-	-	-	-	5650	5650	5650	5650
	A	mm	4320	4345	4395	4395	4395	4535	4565	4690	5650	5650	5650	5650
Peso en vacío	°	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	8740	9680	9900	10000
	A	kg	3710	3980	5160	5220	5710	6440	6680	6770	9730	11440	11980	12060

6.6.2 Caldera de combustión multicombustible

Introducción del producto

La tecnología de combustión de lecho fluidizado circulante (CFBC)como nueva tecnología de carbón limpio de alta eficiencia y baja contaminación tiene muchas ventajas que otros métodos de combustión . La combustión en lecho fluidizado circulante es una combustión a baja temperatura, por lo que la emisión de óxido de helio es menor que la del horno de carbón pulverizado, solo es de 200 ppm. CFBC puede desulfurar directamente durante el proceso de combustión, y la eficiencia de desulfuración es alta. La tecnología y el equipo son simples y económicos, y los costos de su inversión y operación iniciales son más bajos que los del horno de carbón pulverizado seco y la desulfuración de gases de combustión (PC + FCD).



SEPARADOR CICLÓNICO DE ALTA TEMPERATURA

- Cuenta con alta eficiencia, es resistente al desgaste, la eficiencia de separación≥98%.
- Mejora eficazmente la eficiencia de combustión de la caldera.

DISEÑO DE HORNO GRANDE

- El diseño de horno grande y baja velocidad reduce el desgaste y la erosión causados por el lavado.
- Se prorronga el tiempo de residencia de las partículas de carbón en el horno para asegurar la combustión completa del combustible.

CAPUCHA DE ESTILO DE CAMPANA

- Asegura una distribución uniforme de aire.
- Evita que el material se enrede en la cámara de viento.

MÉTODO DE ENCENDIDO

- Diseño único de cámara de viento.
- Se puede elejir dos formas de encendido: encendido en la cama y encendido debajo de la cama.

ECONOMIZADOR DE TUBO DE SERPIENTE

- Aumenta el área de calentamiento, absorbe el calor de los gases de combustión y eleva la eficiencia térmica de la caldera.

TUBO VERTICAL DE RETORNO DE COMBUSTIBLE, VÁLVULA DE RETORNO DE COMBUSTIBLE

- El diseño razonable de tubo vertical de retorno evita que la asfixia o la perturbación del flujo de aire afecte el efecto de separación.
- La válvula de retorno de combustible adopta un diseño en forma de U, que es resistente a alta temperatura, abrasión y antiadherencia, lo que garantiza un retorno fluido de combustible.

PRECALENTADOR DE AIRE

- Aumenta la temperatura del aire de entrada del horno, baja la temperatura de los gases de escape y eleva la eficiencia térmica de la caldera.

Ventajas del producto

Amplia adaptabilidad al combustibl

Las calderas son adecuadas para carbón, ganga, biomasa, basura, lodos, y muchos otros tipos de combustible.

Rendimiento excelente de protección ambiental

Emisiones bajas de azufre y nitrógeno, desulfuración directa durante la combustión, emisiones de óxido de nitrógeno≤100 mg / Nm³.

Sistema de caldera a medida

Podemos personalizar el sistema de alimentación, el sistema de descarga de escoria, el sistema de tratamiento de gas de cola, etc. para desechar las preocupaciones y ahorrar los costos para los clientes.

Alto nivel de mecanización

Sistema de control avanzado, alto nivel de automatización para el suministro de combustible, la descarga de cenizas y de escoria. La operación del sistema es fácil.

Parámetros de producto

Modelo	Capacidad de vapor (t/h)	Presión del trabajo (MPA)	Temperatura de vapor (°C)	Eficiencia térmica (%)
DHX35-1.25-AI	35	1.25	194	89
DHX50-1.25-AI	50	1.25	194	89
DHX75-1.25-AI	75	1.25	194	89
ZZ-35/3.82-AI	35	3.82	450	89
ZZ-50/3.82-AI	50	3.82	450	89
ZZ-65/3.82-AI	65	3.82	450	91
ZZ-75/3.82-AI	75	3.82	450	91
ZZ-75/5.3-AI	75	5.3	485	91

CARACTERÍSTICAS

Producto	de agua caliente
Tipo de alimentación	de biomasa, de carbón
Hogar	con lecho fluidizado circulante
Potencia	58.000 kW, 70.000 kW, 91.000 kW, 116.000 kW (310.504,74 BTU/h)
Presión	12,5 bar, 16 bar (181,3 psi)





6.7 Estudio económico

6.7.1 Presupuesto

6.7.1.1 Presupuesto de la intervención urbana: red de climatización de distrito

	INTERVENCIÓN URBANA	UD	MEDICIÓN	PRECIO/UD	IMPORTE TOTAL
01	**TRABAJOS PREVIOS**				**224.864,00 €**
01.01	Estudio geotécnico	ud	1,00	3.000,00 €	3.000,00 €
01.02	Estudio topográfico y del subsuelo	ud	1,00	5.000,00 €	5.000,00 €
01.03	Ingeniería y cálculos previos	h	8.032	27,00 €	216.864,00 €
02	**DEMOLICIONES**				**104.625,00 €**
02.01	Demolición de pavimento de aglomerado asfáltico.	m2	45.000,00	1,71 €	76.950,00 €
	Demolición de pavimento de aglomerado asfáltico de 15 cm de espesor medio, mediante retroexcavadora con martillo rompedor, y carga mecánica sobre camión o contenedor.				
02.02	Demolición de pavimento exterior de adoquines.	m2	11.250,00	2,46 €	27.675,00 €
	Demolición de pavimento exterior de adoquines y capa de mortero, mediante retroexcavadora con martillo rompedor, y carga mecánica sobre camión o contenedor.				
03	**ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO**				**594.925,00 €**
03.01	**Limpieza y desbroce del terreno con arbustos**	m2	60.000,00	2,00 €	120.000,00 €
	Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas: arbustos, pequeñas plantas, tocones, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.				
03.02	**Excavación de zanjas, con medios mecánicos**		37.500,00	11,23 €	421.125,00 €
	Excavación de zanjas en tierra blanda, de hasta 1,25 m de profundidad máxima, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.				

03.03	**Excavación a cielo abierto con medios mecánicos**		10.000,00	5,38 €	53.800,00 €
	Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.				

04	**CONSTRUCCIÓN EDIFICACIONES**				**10.018.351,35 €**
04.01	**Muro de sótano**	m3	8.000	176,62 €	1.412.960,00 €
	Muro de sótano de hormigón armado, realizado con hormigón HRA-25/B/20/IIa, con un porcentaje máximo de áridos reciclados del 20%, fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 50 kg/m³. Incluso alambre de atar y separadores.				
04.02	**Forjado reticular con casetón recuperable y pila**	m2	48.000	102,82 €	4.935.360,00 €
	Estructura de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, con un volumen total de hormigón en forjado con casetón recuperable y pilares de 0,207 m³/m², y acero UNE-EN 10080 B 500 S en zona de ábacos, vigas, nervios, zunchos y pilares, con una cuantía total de 24 kg/m², compuesta de forjado reticular y pilares.				
04.03	**Fachada de una hoja, de fábrica de bloque de hormigón para revestir.**	m2	9.000	67,58 €	608.220,00 €
	Fachada de una hoja, de 22 cm de espesor, de fábrica de bloque de hormigón ligero con arcilla expandida, macizo acústico, 30x20x22 cm, para revestir, con juntas horizontales de 10 mm de espesor. Revestimiento de los frentes de forjado con plaquetas de hormigón y de los frentes de pilares con bloques cortados; montaje y desmontaje de apeo.				
04.04	**Sistema ETICS de aislamiento térmico de origen vegetal por el exterior de fachadas.**	m2	9.000	136,54 €	1.228.860,00 €
	Aislamiento térmico por el exterior de fachadas, de hoja de fábrica, con sistema ETICS, compuesto por: panel aislante de capa única, de fibras de madera, de 160 mm de espesor y 830x600 mm; capa de regularización de mortero seco de cemento reforzado con fibras; capa de acabado de mortero, acabado fratasado, color blanco, acabado mate.				

04.05	**Puerta seccional automática industrial, de paneles sándwich aislantes, de acero.**	ud	10	3.847,36 €	38.473,60 €
	Puerta seccional industrial, de 4x4 m, formada por panel sándwich, de 45 mm de espesor, de doble chapa de acero zincado con núcleo aislante de espuma de poliuretano, acabado lacado de color RAL 9016 en la cara exterior y de color RAL 9002 en la cara interior, con mirilla central de 610x180 mm, formada por marco de material sintético y acristalamiento de polimetilmetacrilato (PMMA).				
04.06	**Puerta giratoria automática, de acero inoxidable y vidrio.**	ud	3	26.298,25 €	78.894,75 €
	Puerta giratoria automática motorizada, de acero inoxidable y vidrio, de 2400 mm de altura, 1493 mm de anchura de paso y 2200 mm de diámetro, con sistema automático antibloqueo.				
04.07	**Carpintería exterior de PVC.**	ud	900	440,07 €	396.063,00 €
	Ventana de PVC, una hoja abatible con apertura hacia el interior, dimensiones 1500x900 mm, compuesta de marco, hoja y junquillos, acabado estándar en las dos caras, color blanco, perfiles de 70 mm de anchura, soldados a inglete, que incorporan cinco cámaras interiores, tanto en la sección de la hoja como en la del marco, para mejora del aislamiento térmico.				
04.08	**Cubierta de paneles sándwich aislantes, de acero.**	m2	8.000	68,41 €	547.280,00 €
	Cobertura de paneles sándwich aislantes de acero, con la superficie exterior grecada y la superficie interior lisa, de 100 mm de espesor y 1150 mm de anchura, formados por doble cara metálica de chapa estándar de acero, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de lana de roca de densidad media 145 kg/m³, y accesorios, colocados con un solape del panel superior de 200 mm y fijados mecánicamente sobre entramado ligero metálico, en cubierta inclinada, con una pendiente mayor del 10%.				
04.09	**Instalaciones: eléctrica, calefacción, climatización, ACS, iluminación, telecomunicaciones, saneamiento, ventilación forzada, PCI.**	m2	8.000	96,53 €	772.240,00 €

05	**URBANIZACIÓN EN ZONAS DE INTERVENCIÓN**				**731.148,00 €**
05.01	**Farola para alumbrado de zonas peatonales.**	ud	1.200	400,00 €	480.000,00 €
	Farola con distribución de luz radialmente simétrica, con luminaria cilíndrica de 140 mm de diámetro y 1400 mm de altura, columna cilíndrica de plástico de 2600 mm, para 2 lámparas LED de 12W, con cuerpo de aluminio inyectado, aluminio y acero inoxidable, clase de protección I, grado de protección IP65. Incluye la instalación.				
05.02	**Trasplante de árbol.**	ud	200	185,34 €	37.068,00 €
	Trasplante de árbol de 90 cm de diámetro, con trasplantadora.				
05.03	**Extendido de tierra vegetal.**	m3	6000	35,68 €	214.080,00 €
	Tierra vegetal cribada suministrada a granel, extendida sobre el terreno con medios manuales, en un radio máximo desde el lugar de descarga de hasta 100 m, para formar una capa de espesor uniforme de hasta 10 cm.				

06	**INSTALACIÓN GEOTERMIA Y BIOMASA**				**69.064.922,56 €**
06.01	**Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo para sondeo geotérmico.**	ud	30	1.122,00 €	33.660,00 €
	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo para la perforación, inyección y colocación de sondas geotérmicas formado por: equipo de perforación, compresor, bomba de agua (lodos), equipo de inyección, equipo para movimiento de material en obra, varillaje, entubación recuperable, mangueras, herramientas de perforación y de introducción de las sondas, y demás equipos auxiliares. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.				

06.02	**Sondeo geotérmico.**	m	315.000	29,92 €	9.424.800,00 €
	Perforación del terreno con máquina dotada de doble cabezal, para la realización de 900 sondeos de 350 m de profundidad y diámetro entre 130 y 180 mm, con entubación recuperable en terrenos inestables, extracción del varillaje y de la herramienta de perforación, introducción de la sonda geotérmica acompañada del tubo de inyección y las pesas necesarias para el lastrado de la sonda mediante utilización de guía mecánica para desenrollar la sonda, inyección del mortero y extracción de la tubería recuperable. Incluso mangueras para la conducción del detritus de perforación hasta los contenedores mediante el sistema Preventer. El precio no incluye el mortero geotérmico ni la sonda geotérmica.				
06.03	**Excavación de zanjas para instalaciones de geotermia.**	m3	33.750,00	29,36 €	990.900,00 €
	Excavación de zanjas para instalaciones de geotermia, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, bajo nivel freático, y carga a camión. Incluso utilización de bombas para bajar el nivel freático del terreno y poder trabajar en seco durante las labores de excavación y módulos metálicos compuestos por paneles de chapa de acero y codales extensibles metálicos para apuntalamiento y entibación metálica deslizante, para una protección del 100%. El precio incluye el transporte de los materiales excavados.				
06.04	**Sonda geotérmica vertical.**	ud	900	8.467,06 €	7.620.354,00 €
	Sonda geotérmica doble, para instalación vertical, de 300 m de longitud y 118 mm de diámetro, formada por tubo de polietileno de alta densidad (PE 100) de 40 mm de diámetro y 3,7 mm de espesor, SDR11, con tubo de inyección, conjunto de dos piezas en Y, distanciadores para tubos y mortero preparado de bentonita y cemento.				
06.05	**Bomba de calor geotérmica**	ud	27	260.000,00 €	7.020.000,00 €
	Bomba de calor geotérmica reversible, potencia nominal 2.600 kW.				

06.06	**Arqueta prefabricada con colector.**	ud	18	7.466,43 €	134.395,74 €
	Arqueta para la conexión de sondas geotérmicas, de polietileno (PE), dimensiones exteriores 1200x1200x1050 mm, con tapa, conexiones de 125 mm de diámetro y 11,4 mm de espesor, con la bomba de calor geotérmica y de 40 mm de diámetro y 3,7 mm de espesor con las sondas geotérmicas, para 50 circuitos, previa excavación con medios mecánicos y posterior relleno del trasdós con material granular.				
06.07	**Colector en sala técnica.**	m	1.000	1.157,83 €	1.157.830,00 €
	Colector modular de plástico reforzado con fibra de vidrio, de 60 mm de diámetro interior, con conexiones principales de 2" de diámetro, para 12 circuitos, para colocación en sala técnica, con conjunto de soportes y abrazaderas, llaves de corte de esfera, adaptadores 63 mm x 2", para las conexiones de alimentación del colector, adaptadores 32 mm x 1" para las conexiones de distribución del colector y termómetros con manómetro, instalados en el módulo de impulsión y en el módulo de retorno del colector.				
06.08	**Tubería para circuito de distribución de agua.**	m	22.500	22,73 €	511.425,00 €
	Tubería para circuito de conexión de bomba de calor con colector, enterrada, formada por tubo de polietileno PE 100, de 50 mm de diámetro exterior y 4,6 mm de espesor, SDR11, PN=16 atm.				
06.09	**Tubería para circuito de distribución de agua.**	m	1.500	8,32 €	12.480,00 €
	Tubería para circuito de conexión de colector con sonda geotérmica, formada por tubo de polietileno PE 100, de 50 mm de diámetro exterior y 4,6 mm de espesor, SDR11, PN=16 atm.				
06.10	**Grupo de impulsión con centralita, para refrigeración pasiva (free-cooling).**	ud	4.110	3.132,39 €	12.874.122,90 €
	Grupo de impulsión con centralita, para refrigeración pasiva (free-cooling), en instalación de geotermia, con kit de control termostático, termostato de control vía radio y sonda de humedad con conexión vía radio.				

06.11	**Caldera de biomasa multicombustible.**	ud	5	189.045,74 €	945.228,70 €
	Caldera para la combustión de astillas y pellets, potencia nominal de 58 MW, con cuerpo de acero soldado y ensayado a presión, aislamiento interior, doble alimentador de entrada motorizado, cámara de combustión con sistema automático de limpieza del quemador, intercambiador de calor de tubos verticales con mecanismo de limpieza automática, sistema de recogida y extracción de cenizas del módulo de combustión, sistema de parrilla móvil con limpieza automática, sistema motorizado con cinta de recogida automática y depósito, control de la combustión mediante sonda integrada, depósito para cenizas de la combustión, sistema de depuración de gases procedentes de la combustión, depósito para cenizas del ciclón de humos.				
06.12	**Sistema de alimentación de astillas de madera, para caldera de biomasa.**	ud	5	19.008,75 €	95.043,75 €
	Sistema de alimentación de astillas, para caldera de biomasa compuesto por conjunto agitador rotativo para extractor de 4 m de diámetro. Totalmente montado, conexionado y probado.				
06.13	**Sistema adicional de alimentación con elevación vertical, para caldera de biomasa.**	ud	5	11.997,36 €	59.986,80 €
	Sistema adicional de alimentación con elevación vertical y tramo superior inclinado. Totalmente montado, conexionado y probado.				
06.14	**Sistema de llenado de silo para biomasa.**	ud	5	6.402,39 €	32.011,95 €
	Sistema de llenado inclinado a 45° de silo para combustible de biomasa. Totalmente montado, conexionado y probado.				
06.15	**Depósito prefabricado para almacenaje de pellets.**	ud	5	2.000.000,00 €	10.000.000,00 €
	Depósito de superficie para almacenaje de pellets, de tejido sintético, con estructura y tolva de acero, de 7000 t de capacidad máxima. Totalmente montado, conexionado y probado.				
06.16	**Combustible.**	t/año	197.581	59,12 €	11.680.988,72 €
	Combustible en forma de astilla o pélet procedente de recursos forestales en la Comunidad de Madrid. Incluida recolección, tratamiento y transporte hasta planta de biomasa y almacenamiento en silo.				

06.17	**Subestaciones.**	MW	404	16.000,00 €	6.464.000,00 €
	Subestaciones.				
06.18	**Sistema de monitorización y control centralizado para producción de A.C.S., calefacción y refrigeración.**	ud	1	7.695,00 €	7.695,00 €
	Control centralizado, con conexiones para las unidades hidráulicas con protocolo Modbus, control de la temperatura ambiente mediante puesta en marcha en cascada de las unidades hidráulicas, control de las bombas de circulación de los circuitos secundarios, control de una unidad de calefacción auxiliar y control de la temperatura de A.C.S. de un depósito de centralizado. Totalmente montado, conexionado y probado.				
07	**SEGURIDAD Y SALUD**				**1.619.308,47 €**
07.01	**Seguridad y salud.**				
	Partida Alzada a justificar por el cumplimiento de la Normativa de Seguridad y Salud en la Construcción, tanto a nivel de protecciones individuales como colectivas, según estudio de seguridad y salud.	ud	1	1.619.308,47 €	1.619.308,47 €
08	**CONTROL DE CALIDAD**				**647.723,39 €**
08.01	**Control de calidad.**				
	Control técnico de calidad, conjunto de pruebas y ensayos realizados por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente.	ud	1	647.723,39 €	647.723,39 €
09	**GESTIÓN DE RESIDUOS**				**647.723,39 €**
09.01	**Gestión de residuos**				
	Partida Alzada a justificar para la correcta gestión de los residuos derivados de la construcción y embalajes, así como su tratamiento en vertederos y/o gestores autorizados, según estudio de gestión de residuos.	ud	1	647.723,39 €	647.723,39 €
	TOTAL				**84.367.375,40 €**

6.7.1.2 Presupuesto de la intervención en edificios: rehabilitación energética

CÓDIGO	INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS	UD	MEDICIÓN	PRECIO/UD	IMPORTE TOTAL
01	**INSTALACIONES**				**1.841.252.893,80 €**
01.01	**Conducción enterrada de agua para instalación centralizada de calefacción y A.C.S.**	m	113.400	168,56 €	19.114.704,00 €
	Conducción enterrada de agua para instalación centralizada de calefacción y A.C.S. de grupos de viviendas formada por tubería de polietileno para calefacción y A.C.S., de 175 mm de diámetro, compuesta por dos tubos de polietileno reticulado de 32 mm de diámetro y 2,9 mm de espesor, para calefacción y 3,5 mm de espesor, para A.C.S., colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor.				
01.02	**Conducción enterrada de agua para instalación centralizada de refrigeración.**	m	113.400	70,43 €	7.986.762,00 €
	Conducción enterrada de agua para instalación centralizada de refrigeración de grupos de viviendas formada por tubería para refrigeración y agua fría, de 140 mm de diámetro, compuesta por tubo de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE) de 40 mm de diámetro y 3,7 mm de espesor, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor.				
01.03	**Sistema de calefacción y refrigeración por techo radiante, con falso techo continuo.**	m2	13.904.740	130,47 €	1.814.151.427,80 €
	Sistema de calefacción y refrigeración por techo radiante, compuesto por paneles refrigerantes, de yeso laminado, para falso techo continuo, de 2000x1200 mm y 15 mm de espesor, con circuitos integrados de tubo de polietileno reticulado (PE-X), de 9,9 mm de diámetro y 1,1 mm de espesor. Totalmente montado, conexionado y probado.				

02	**REHABILITACIÓN ENERGÉTICA**				**567.049.384,20 €**
02.01	**Sistema "KNAUF INSULATION" de aislamiento termoacústico y trasdosado autoportante interior para cerramientos verticales.**	m2	4.110.000	38,74 €	159.221.400,00 €
	Adición de aislamiento térmico sistema Knauf consistente en trasdosado autoportante colocado por el interior de cerramientos verticales, formado por placa de yeso laminado de 15mm de espesor y aislamiento con panel de lana de vidrio semirrígido de 85mm de espesor; resistencia térmica 2,65 m²K/W; conductividad térmica 0,032 W/(mK).				
02.02	**Sistema de aislamiento por el interior de cubierta inclinada, bajo forjado.**	m2	2.877.000	41,23 €	118.618.710,00 €
	Adición de aislamiento térmico desde el interior, bajo el forjado de la última planta. Sistema Rockwool: Panel semirrígido de lana de roca volcánica de 80 mm de espesor; placa de yeso laminado de 12,5mm de espesor adosada; transmitancia térmica 0,35 W/(m2K).				
02.03	**Sustitución de carpintería exterior acristalada, por carpintería de PVC "KÖMMERLING" y acristalamiento con cámara.**	ud	632.940	456,93 €	289.209.274,20 €
	Ventana de PVC, serie Kömmerling de 76mm de anchura; transmitancia térmica del marco Uh,m = 1,2 W/(m²K); clasificación de la permeabilidad al aire clase 4; acristalamiento de baja emisividad térmica + aislamiento acústico, 3+3/12/4, con corrector del factor solar: 1 en invierno y 0,5 en verano; dispositivos de control solar: persiana y/o toldo opaco con inclinación de 45º.				
	TOTAL				**2.408.302.278,00 €**

6.7.2 Análisis de rentabilidad

RETORNO DE LA INVERSIÓN DE UN USUARIO TIPO

Inversión inicial media por usuario (€)	4.990,01 €

	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INSTALACIÓN ACTUAL	Demanda energética actual calor (kWh/año)	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50	7.951,50
	Demanda energética actual frío (kWh/año)	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50	1.087,50
	Tarifa energía (€/kWh) gas	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €	0,0807 €
	Tarifa energía (€/kWh) electridad	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €	0,1111 €
	Término fijo energía (€/año)	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €	51,12 €
	Gastos mantenimiento/sustituciones (€/año)	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	Gasto anual actual (€/año)	**983,99 €**	**984,19 €**	**984,39 €**	**984,58 €**	**984,78 €**	**984,98 €**	**985,17 €**	**985,37 €**	**985,57 €**	**985,76 €**	**985,96 €**	**986,16 €**	**986,36 €**	**986,55 €**	**986,75 €**	**986,95 €**	**987,15 €**	**987,34 €**	**987,54 €**	**987,74 €**	**987,94 €**	**988,13 €**	**988,33 €**	**988,53 €**	**988,73 €**
INSTALACIÓN NUEVA	Energía generada con geotermia (kWh/año)	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33	590,33
	Precio energía geotérmica (€/kWh)	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €	0,0288 €
	Energía generada con biomasa (kWh/año)	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91	4.258,91
	Precio energía biomasa (€/kWh)	0,0515 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €	0,0423 €
	Energía generada con sist.refrigeración (kWh/año)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Precio energía sist.refrigeración (€/kWh)	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €	0,0577 €
	Incremento precio por pérdidas en la red (%)	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	Gasto anual con nueva instalación (€/año)	**236,50 €**	**236,55 €**	**236,60 €**	**236,65 €**	**236,69 €**	**236,74 €**	**236,79 €**	**236,83 €**	**236,88 €**	**236,93 €**	**236,98 €**	**237,02 €**	**237,07 €**	**237,12 €**	**237,17 €**	**237,21 €**	**237,26 €**	**237,31 €**	**237,36 €**	**237,40 €**	**237,45 €**	**237,50 €**	**237,55 €**	**237,59 €**	**237,64 €**
	Ahorro con nueva instalación (€/año)	747,49 €	747,64 €	747,79 €	747,94 €	748,09 €	748,24 €	748,39 €	748,54 €	748,69 €	748,84 €	748,99 €	749,13 €	749,28 €	749,43 €	749,58 €	749,73 €	749,88 €	750,03 €	750,18 €	750,33 €	750,48 €	750,63 €	750,78 €	750,93 €	751,08 €
	VAN	-4.242,52 €	-3.494,88 €	-2.747,09 €	-1.999,15 €	-1.251,07 €	**-502,83 €**	**245,55 €**	994,09 €	1.742,78 €	2.491,61 €	3.240,60 €	3.989,73 €	4.739,02 €	5.488,45 €	6.238,03 €	6.987,77 €	7.737,65 €	8.487,69 €	9.237,87 €	9.988,21 €	10.738,69 €	11.489,33 €	12.240,11 €	12.991,04 €	13.742,13 €

RETORNO DE LA INVERSIÓN INSTALACIÓN URBANA

	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
NUEVA INSTALACIÓN	Presupuesto intervención urbana (€)	83.653.591,16 €																								
	Demanda energética mejorada (MWh/año)	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36	942.331,36
	Precio venta energía PED (€/MWh)	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €	48,7 €
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	Ingresos venta energía (€/año)	45.891.537,36 €	45.900.715,67 €	45.909.895,81 €	45.919.077,79 €	45.928.261,60 €	45.937.447,26 €	45.946.634,75 €	45.955.824,07 €	45.965.015,24 €	45.974.208,24 €	45.983.403,08 €	45.992.599,76 €	46.001.798,28 €	46.010.998,64 €	46.020.200,84 €	46.029.404,88 €	46.038.610,76 €	46.047.818,49 €	46.057.028,05 €	46.066.239,45 €	46.075.452,70 €	46.084.667,79 €	46.093.884,73 €	46.103.103,50 €	46.112.324,12 €
	Coste total energía (€/año)	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €	28.546.687 €
	Costes gestión y mantenimiento (€/año)	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €	9.420.407 €
	Inflación (%)	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	OPEX (€/año)	37.967.093 €	37.974.686,67 €	37.982.281,61 €	37.989.878,07 €	37.997.476,04 €	38.005.075,54 €	38.012.676,55 €	38.020.279,09 €	38.027.883,14 €	38.035.488,72 €	38.043.095,82 €	38.050.704,44 €	38.058.314,58 €	38.065.926,24 €	38.073.539,43 €	38.081.154,14 €	38.088.770,37 €	38.096.388,12 €	38.104.007,40 €	38.111.628,20 €	38.119.250,53 €	38.126.874,38 €	38.134.499,75 €	38.142.126,65 €	38.149.755,08 €
	Flujo de caja (€/año)	-75.729.147,06 €	7.926.028,99 €	15.853.643,19 €	23.782.842,91 €	31.713.628,47 €	39.646.000,19 €	47.579.958,38 €	55.515.503,36 €	63.452.635,46 €	71.391.354,98 €	79.331.662,24 €	87.273.557,56 €	95.217.041,27 €	103.162.113,67 €	111.108.775,08 €	119.057.025,83 €	127.006.866,22 €	134.958.296,59 €	142.911.317,24 €	150.865.928,50 €	158.822.130,67 €	166.779.924,09 €	174.739.309,07 €	182.700.285,92 €	190.662.854,97 €
	VAN (€/año)	-75.729.147,06 €	-67.795.524,65 €	-59.852.722,09 €	-51.900.737,56 €	-43.939.569,21 €	-35.969.215,21 €	-27.989.673,72 €	-20.000.942,90 €	-12.003.020,92 €	**-3.995.905,94 €**	**4.020.403,89 €**	12.045.910,40 €	20.080.615,42 €	28.124.520,81 €	36.177.628,40 €	44.239.940,02 €	52.311.457,53 €	60.392.182,76 €	68.482.117,55 €	76.581.263,75 €	84.689.623,20 €	92.807.197,74 €	100.933.989,21 €	109.069.999,46 €	117.215.230,33 €
	TIR (%)	**8,15%**																								