

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA A LA
RESIDENCIA BORGLUM KOLLEGIET MEDIANTE
VARIAS ENERGÍAS RENOVABLES***

Alumna: Manuela Luque Olano

Director: Víctor de la Peña Aranguren

Curso: 2017/2018

Contenido

1. Introducción	8
1.1. Contexto	9
1.1. Marco Europeo.....	9
2. Descripción de la residencia.....	11
2.1. Consumo energético actual	13
3. Energías Alternativas	15
3.1. Energía Térmica	15
3.1.1. <i>Biomasa</i>	15
3.1.2. <i>Energía Geotérmica</i>	18
3.1.3. <i>Energía Solar Térmica</i>	21
3.2. Energía eléctrica.....	24
3.2.1. <i>Energía Eólica</i>	24
3.2.2. <i>Energía Solar Fotovoltaica</i>	26
4. Alternativas seleccionadas	29
4.1. Biomasa.....	29
4.1.1. <i>Dimensionamiento de equipos y ubicación</i>	29
Caldera de biomasa	29
Chimenea de humos	32
Sistema de eliminación de partículas	33
Depósito de almacenamiento	33
Depósito de inercia.....	35
Cenizas	36
4.2. Geotérmica	36
4.2.1. <i>Dimensionamiento de equipos y ubicación</i>	36
Bomba de calor.....	36
Sistema de captación	37

Fluido caloportador	40
Sistema de distribución	40
4.3. Eólica.....	41
4.3.1. <i>Dimensionamiento de equipos y ubicación</i>	42
Aerogeneradores.....	42
Curva de potencia del aerogenerador	44
Torre soporte	45
5. Estudio económico	46
5.2.1. <i>Inversión Inicial</i>	46
Biomasa.....	46
Geotermia.....	47
Eólica.....	47
5.2.2. <i>Costes de Explotación</i>	48
Biomasa.....	48
Geotermia.....	48
Eólica.....	48
Operación y mantenimiento	48
Gasto Total.....	49
5.2.3. <i>Análisis de Rentabilidad</i>	49
6. Cronograma.....	52
7. Conclusión	54
Anexo I: Hojas de características técnicas	58
Anexo II: Cálculos	62

Resumen

El abastecimiento de energía a la residencia Borglum Kollegiet mediante varias Energías Renovables tiene un doble objetivo: contribuir a la conservación del medio ambiente y conseguir que sea autosuficiente en materia energética.

Para comenzar, se describe la residencia, así como el sistema de abastecimiento eléctrico y térmico actual. Además, se destacan algunos datos del modelo energético danés y sus metas más ambiciosas a corto plazo en lo que se refiere a energía y medio ambiente.

Asimismo, se realiza un estudio de las energías renovables predominantes hoy en día para el suministro de calor, ACS y electricidad en donde se incluyen sus principales ventajas y desventajas.

A continuación, se analiza la aplicabilidad de algunas de ellas a la residencia que es objeto de estudio y se dimensionan los equipos necesarios para el abastecimiento parcial con energía obtenida de la biomasa, energía geotérmica y energía eólica.

Para finalizar se lleva a cabo un estudio económico con el fin de conocer el tiempo requerido para la amortización del proyecto propuesto y los beneficios anuales que podrían obtenerse.

Abstract

Providing Borglum Kollegiet with power by using different renewable energies has a twofold objective: to contribute towards the conservation of the environment and natural resources and to achieve being self-sufficient in terms of energy.

Firstly, the residence is described together with the heating, hot water for sanitary use and electricity system supply. Some key features of the danish energy model are highlighted and the main objectives for the coming years are mentioned.

Besides, a detailed study of the primary renewable energies at global level is carried out and their advantages and drawbacks are explained.

Taking into account the characteristics of the place, three of them are chosen: biomass and geothermal energy for thermal power and wind energy for electric power; and the possibility of implementing them is analysed.

Finally, an economic study is undertaken which shows the feasibility of the project and the annual economic savings that it would generate.

Laburpena

Borglum Kollegiet erresidentziaren energia horniketa zenbait energia berriztagarrien bidez helburu bikoitza dauka: ingurumenaren kontserbazioa bermatzea eta energetikoki bere gai izatea lortzea.

Hasteko, erresidentzia deskribatzen da baita honen hornitze sistema elektriko eta termikoa. Gainera, Dinamarkako modelu energetikoaren zenbait datu ezartzen dira eta haien proiektuak denbora laburrean energia eta ingurumenerako .

Halaber, beroa eta elektrizitatea transmititzeko gaur egungo energia berriztagarri garrantzitsuen ikerketa bat egingo non hauen abantailak eta eragozpenak ezarriko dira.

Segidan, ikertzen hari garen erresidentziarako hauetako batzuen aplikagarritasuna aztertzen da eta energia geotermikoaren bidez eta biomasatik ateratako energiaren bidez hornitzeko ekipamenduak kalkulatu dira .

Azkenean, amortizazio denbora ezagutzeko ikerketa ekonomiko bat aurrera eramaten da. Izan ere hau ez da bere helburu bakarra; urteroko mozkinak ere lortu ahal dira.

Índice de figuras

Ilustración 1: Imágenes del interior de la residencia Borglum Kollegiet.-----	11
Ilustración 2: Vista en planta de la residencia y de uno de los múltiples diseños de habitación.-----	12
Ilustración 3: Esquema de funcionamiento de una caldera de biomasa para la producción de calor y electricidad. -----	16
Ilustración 4: Ciclo del CO2 en la producción de energía a partir de la biomasa. -----	17
Ilustración 5: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno. -----	19
Ilustración 6: Bomba de calor. -----	19
Ilustración 7: Esquema de una instalación geotérmica. -----	20
Ilustración 8: Paneles solares. -----	22
Ilustración 9: Esquema de una instalación solar térmica. -----	23
Ilustración 10: Partes de un aerogenerador. -----	25
Ilustración 11: Esquema de una instalación solar fotovoltaica. -----	26
Ilustración 12: Efecto fotovoltaico.-----	27
Ilustración 13: Dimensiones caldera Hergom THT 1200. -----	30
Ilustración 14: Ubicación del edificio de la caldera. -----	31
Ilustración 15: Esquema de un ciclón y un filtro de mangas.-----	33
Ilustración 16: Sistema de provisionamiento de astillas por gravedad para silo subterráneo. -----	34
Ilustración 17: Acumulador inercial Inerox ‘‘DSCE 5000 ACU’’.-----	35
Ilustración 18: Sistema de captación geotérmico vertical. -----	37
Ilustración 19: Sonda geotérmica vertical y tubo para conexiones de la marca Ferroplast. -----	39
Ilustración 20: Aerogenerador Enair 800. -----	41
Ilustración 21: Rosa de vientos de Aarhus.-----	43
Ilustración 22: Ubicación de los tres aerogeneradores. -----	43
Ilustración 23: Curva de potencia del aerogenerador Enair 800.-----	44
Ilustración 24: Diagrama de Gantt. -----	53

Índice de tablas

Tabla 1: Superficie total de la residencia.....	12
Tabla 2: Potencia total instalada en Borglum Kollegiet.	13
Tabla 3: Análisis de combustibles orgánicos.	31
Tabla 4: Propiedades físicas del fluido caloportador.....	40
Tabla 5: Generación anual de energía eléctrica.	45
Tabla 6: Precios de los equipos de la instalación de biomasa.	46
Tabla 7: Precios de los equipos de la instalación geotérmica.....	47
Tabla 8: Coste total de las tres instalaciones.	47
Tabla 9: Costes de explotación de la instalación de biomasa.....	48
Tabla 10: Costes de explotación anuales de la instalación geotérmica.	48
Tabla 11: Costes anuales totales.....	49
Tabla 12: Gastos de inversión y explotación y ahorro anuales.	50

Lista de acrónimos

ACS: Agua caliente sanitaria

ONU: Organización de las Naciones Unidad

RITE: Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

TIR: Tasa interna de retorno

VAN: Valor actual neto

BNA: Beneficio neto actualizado

GEI: Gases de efecto invernadero

1. Introducción

La idea de utilizar la residencia Borglum Kollegiet como objeto de análisis de mi trabajo de fin de grado surge tras mi estancia allí el semestre pasado. Cuando me dieron la oportunidad de realizar un estudio sobre las energías renovables más utilizadas hoy en día y su posible aplicabilidad a una urbanización, me pareció interesante llevarlo a cabo en un edificio real y qué mejor idea que la residencia donde viví la experiencia de Erasmus.

La residencia Borglum Kollegiet se sitúa en la ciudad de Aarhus y fue construida a principios de los años 60. Aarhus es una ciudad principalmente de estudiantes por lo que una gran parte de ella está ocupada por complejos residenciales como éste.

En el momento de su construcción no se conocía una evidencia tan clara acerca del impacto medioambiental que la utilización de combustibles fósiles podía tener a corto y largo plazo. Como consecuencia, su fuente de energía térmica es un conjunto de calderas de gas natural. Por otro lado, la energía eléctrica es absorbida de la red eléctrica general, lo que lleva asociado unos sobrecostes significativos.

El proyecto comienza con la descripción de los principales objetivos medioambientales tanto de Dinamarca como a nivel europeo y el análisis de las energías renovables de mayor importancia en la actualidad. Además, se describe la residencia, se estima el consumo energético actual y se estudia brevemente su sistema de abastecimiento.

A continuación, con el propósito de convertir la residencia en autosuficiente en materia energética y contribuir al cuidado del medio ambiente, se integra la energía geotérmica, eólica y la obtenida a partir de la biomasa para sustituir parcialmente el sistema de suministro térmico y eléctrico.

Para terminar, se estudia el valor de la inversión y los beneficios anuales que se obtendrían al utilizar las energías renovables y se realiza una representación gráfica de la planificación del proyecto.

1.1. Contexto

Dinamarca es un país que lleva años marcándose ambiciosos objetivos nacionales de energía. Además de ajustarse a las obligaciones climáticas internacionales, cumple con unos propósitos más restrictivos en el sector energético y esto le convierte en un líder en lo relativo a energía renovable, eficiencia energética y cambio climático.

Su principal meta para 2050 es convertirse en una sociedad autosuficiente a partir de energías renovables e independizarse por completo del uso de combustibles fósiles.

Algunos de los datos que evidencian que el modelo energético danés es líder en este sector son los siguientes:

- En la actualidad más del 50 % de la energía eléctrica consumida proviene de energías renovables, principalmente de la energía eólica.
- Tiene una potencia eólica instalada de aproximadamente 5 GW.
- En las dos últimas décadas las emisiones de CO₂ se han reducido en un 40%.
- El 70 % el calor distribuido a través del sistema de District Heating, que abastece al 60 % de los hogares, es generado en plantas de cogeneración.

Se trata de un claro ejemplo que muestra que el crecimiento económico y los altos niveles de vida pueden ir acompañados de la mitigación del cambio climático, la disminución de emisiones de GEI y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

1.1. Marco Europeo

Desde hace décadas existe una creciente sensibilización respecto al denominado “cambio climático”. En 1997 la ONU aprueba el protocolo de Kioto cuyo objetivo principal era el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través del esfuerzo colectivo y global de los gobiernos de aquellos países que lo ratificaron. Para llevar a cabo la disminución de emisiones según el Protocolo de Kioto, se tomaron como base las emisiones generadas en el año 1997 y se propuso su reducción en un 8% para 2012.

En diciembre de 2012, se celebra en Doha (Qatar) la 18ª Cumbre de Naciones Unidas sobre Cambio Climático en la que se prorroga hasta 2020 el periodo de compromiso de Kioto para evitar el calentamiento global.

El protocolo señalaba a los combustibles fósiles (gas natural, petróleo y carbón) como los principales causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero y cuyas reservas, al ritmo de consumo actual, se agotarían en las próximas décadas.

Algunas de las metas establecidas para 2020 fueron la reducción de emisiones de GEI en un 20%, el ahorro del 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética, el abastecimiento en un 10% las necesidades de transporte en cada país mediante biocombustibles y la recuperación de al menos el 15% de los ecosistemas degradados.

De esta manera surge la necesidad de cambiar los sistemas de producción energética actuales con el fin de asegurar un desarrollo sostenible de futuro y de mejorar la calidad, la eficiencia y la fiabilidad del suministro energético.

2. Descripción de la residencia

La residencia Borglum Kollegiet está situada en el distrito de Risskov, al norte de Aarhus. Este complejo residencial tiene cabida para alrededor de 500 personas y está destinado exclusivamente a estudiantes. Con el fin de fomentar la vida social dentro de ella, cuenta con una serie de comodidades como un bar, un gimnasio y varias salas para realizar múltiples actividades como tocar instrumentos y jugar al billar o fútbolín.



Ilustración 1: Imágenes del interior de la residencia Borglum Kollegiet.

Una peculiaridad que presenta la residencia es que parte de las estancias y pasillos son subterráneos. Se trata de una práctica común en países caracterizados por un clima agresivo ya que, gracias a esto, los efectos del mal tiempo tienen un impacto menor que en las casas convencionales y las temperaturas en el interior son más estables a lo largo del año.

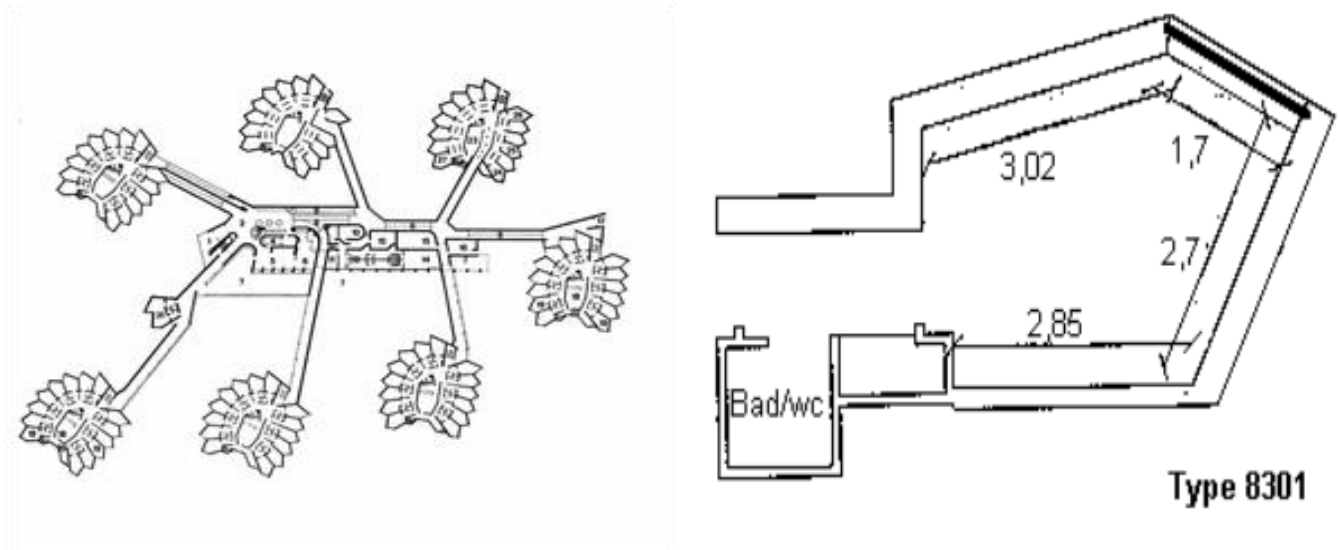


Ilustración 2: Vista en planta de la residencia y de uno de los múltiples diseños de habitación.

En cuanto a la distribución de habitaciones, Borglum Kollegiet consta de “siete brazos” de cuatro pisos con catorce habitaciones cada uno. Cada habitación cuenta con un pequeño baño propio y en todas las plantas hay una sala común formada por cocina y sala de estar. Estos bloques están conectados a un edificio central.

Con el propósito de calcular el consumo energético actual, se ha estimado la superficie total de la residencia teniendo en cuenta el tamaño aproximado de sus estancias. En la tabla siguiente se muestran las diferentes áreas.

Nº personas	500
Superficie habitaciones [m ² /habitación]	12
Superficie habitaciones [m ²]	6000
Nº salón-cocina	28
Superficie [m ²]	24
Superficie total [m ²]	672
Sauna [m ²]	15
Bar [m ²]	90
Gimnasio [m ²]	50
Salas (música, pin-pon...) [m ²]	105
Pasillos [m ²]	980
Superficie total [m²]	8476

Tabla 1: Superficie total de la residencia.

2.1. Consumo energético actual

Todas las instalaciones que conforman la residencia contribuyen al consumo energético, ya sea por alumbrado, ACS (Agua Caliente Sanitaria), calefacción o aire acondicionado.

En la actualidad, la residencia se abastece de calefacción y ACS gracias a una instalación de calderas de gas natural. Teniendo en cuenta algunas simplificaciones estructurales de los edificios y considerando un consumo de $3\text{kW}_t/25\text{m}^2$ y una demanda de ACS de $40\text{ L/persona}\cdot\text{día}$, se puede concluir que la potencia térmica instalada es de 1050 kW_t . Los datos utilizados para el cálculo se muestran en la tabla.

Calor	
Calefacción [kW térmicos/m^2]	0,12
Superficie total [m^2]	8476
Calefacción [kW]	1017
ACS [$\text{l/día}\cdot\text{persona}$]	40
Calor específico agua [$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$]	4,18
Salto temperatura agua [K]	30
Potencia ACS [kW]	29,03
Potencia total [kW]	1046

Tabla 2: Potencia total instalada en Borglum Kollegiet.

La sala de calderas consta de tres calderas BAXI modelo CPA 395-BT de potencial nominal útil de 395 kW y con un rendimiento útil próximo al 92% trabajando a plena carga y alta temperatura. A pesar de ser el combustible fósil con menor impacto medioambiental, la combustión del gas natural provoca grandes emisiones de CO_2 , óxidos de nitrógeno y metano, lo que contribuye al incremento del efecto invernadero, la lluvia ácida y el “smog” fotoquímico. Concretamente, en la hoja de características técnicas de esta caldera se especifica una emisión de $\text{NO}_x < 120\text{ mg/kWh}$ y de $\text{CO} < 40\text{ mg/kWh}$. A fin de contribuir a la conservación del medio ambiente, se analiza el reemplazo del sistema de abastecimiento actual por energía obtenida a partir de la combustión de biomasa y energía geotérmica.

Con relación a la potencia eléctrica, se estima que se requieren 700 kW_e de potencia instalada que engloban la iluminación de todas las estancias, el bombeo, los cuartos de lavadoras y secadoras, etc.

En este trabajo se propone la sustitución parcial del sistema de suministro eléctrico por un conjunto de aerogeneradores. Como se ha mencionado anteriormente, Dinamarca es uno de los países en los que la mayor parte de la electricidad es generada en parques eólicos. Por esta razón, el cambio está enfocado tanto a la protección del medio ambiente como a conseguir que la residencia pueda autoabastecerse.

Además del beneficio medioambiental, el cambio en el sistema de abastecimiento supondrá un ahorro económico considerable ya que los precios del gas natural y la electricidad en Dinamarca son notablemente altos como se expone a continuación.

En 2017, Dinamarca fue uno de los países de la Unión Europea donde el precio del gas natural era más elevado con un coste de 0,09 €/kWh. A partir de datos estadísticos, se ha observado cual ha sido la variación del precio y se estima que el coste medio desde 2010 hasta 2017 ha sido de 0,086 €/kWh

Por otro lado, Dinamarca junto con Alemania lideran el mercado europeo en el precio de la electricidad. En 2016 el precio era de 0,3014 €/kWh, pero sólo el 30 % era el coste de la electricidad en sí, estando el 70 % restante asociado a impuestos y tasas.

3. Energías Alternativas

De un tiempo a esta parte las energías renovables han cobrado mucha importancia en los planes energéticos de numerosos países lo que está llevando a la sustitución de las fuentes de energía no renovables como el carbón, gas natural o uranio por fuentes de energía limpias.

En esta sección se analizarán y describirán detalladamente las diferentes energías renovables cuya utilización es creciente año tras año en el marco mundial dentro de las cuales se distinguen la biomasa, eólica, geotérmica y solar, entre otras.

3.1. Energía Térmica

3.1.1. Biomasa

Se denomina biomasa a toda la materia orgánica de origen animal o vegetal, o procedente de cualquier transformación de estas con la que se puede producir energía mediante procesos térmicos o químicos. Se pueden distinguir dos tipos de biomasa: la Biomasa Natural es la creada en la naturaleza sin intervención del ser humano, se trata principalmente de derivados de la limpieza de bosques y de plantaciones, leñas, ramas y astillas, entre otros; y la Biomasa Residual es generada a partir de cualquier actividad humana. Dentro de esta categoría se pueden diferenciar los excedentes de cultivos agrícolas y ganaderos y los humanos como basuras y aguas residuales.

La biomasa puede proporcionar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos que se denominan, en general, biocombustibles. Este trabajo se centrará en los biocombustibles sólidos. Una gran parte de la biomasa con finalidad energética es utilizada directamente, pero sus nuevas aplicaciones requieren tratamientos previos con el fin de hacer uso de ellas en forma de astillas, serrín, pellets y briquetas.

La biomasa está principalmente compuesta por carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo o sulfuro.

Para producir energía a partir de ésta, es necesaria su combustión en una caldera. En primer lugar, se requiere de un sistema de extracción de combustible conectado a un almacén en el que se acumulan astillas, pellets u otro tipo de biomasa. El sistema de alimentación a la caldera consiste en un dispositivo que introduce biomasa cuando la temperatura dentro de la caldera es inferior a un límite establecido. Los combustibles se depositan en la parrilla y mediante un sistema de ignición, se proporciona la energía de

activación necesaria para que comience la reacción. Una vez iniciada, es necesario un comburente que proporcione el oxígeno necesario y por ello, las calderas suelen tener una entrada de aire.

Además, la caldera consta de un intercambiador de calor por el que circula un fluido frío. A medida que la biomasa se combustiona, el aire se calienta y fluye a través del intercambiador, cediendo el calor al fluido. La altura de la caldera tiene que ser tal que las astillas dispongan del tiempo suficiente para cambiar a estado gaseoso antes de llegar a los tubos por donde circula el agua a calentar.

A medida que el fluido se calienta, el aire se enfría y es evacuado por la chimenea de humos que lleva incorporado un separador de particular para cumplir con los requisitos de calidad de gases emitidos. Por otro lado, al ser quemada, la biomasa se reduce en tamaño y la parte no combustionable, denominada ceniza, es almacenada en la parte inferior de la caldera para su posterior evacuación.

Otro elemento importante es el vaso de expansión que es un depósito que recoge las variaciones de volumen experimentadas por el fluido que recorre el intercambiador de calor. Al sufrir un calentamiento, éste puede aumentar su volumen por dilatación y será amortiguado por el vaso y al enfriarse y sufrir una contracción, el volumen que requiere será aportado por la fracción de calor almacenada en el depósito.

El esquema de funcionamiento de las calderas de biomasa es muy similar en todos los casos, en la figura se muestra uno que representa las etapas consecutivas en la producción de calor y electricidad.

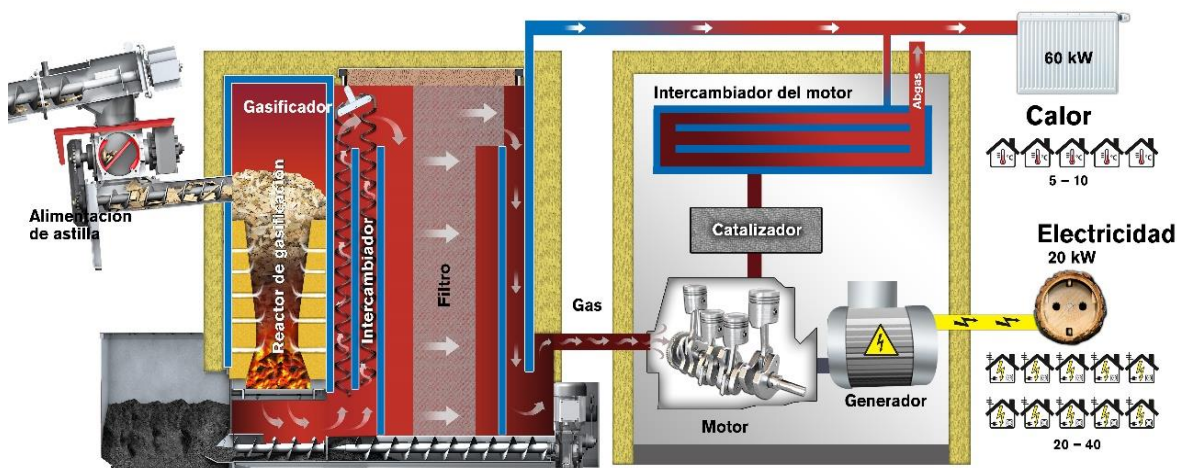


Ilustración 3: Esquema de funcionamiento de una caldera de biomasa para la producción de calor y electricidad.

Se trata de un tipo de energía renovable que reemplaza el uso de combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural que, debido a sus limitadas reservas y los elevados precios que ello conlleva, son cada vez más inaccesibles. La biomasa es utilizada no sólo para fines energéticos sino para otros sectores como el del transporte y cuentan con gran apoyo en virtud de sus beneficios ambientales y sociales. Además, el coste de este tipo de energía es hasta 3 o 4 veces más barato y la tecnología de las calderas utilizadas para la combustión se encuentra muy avanzada.

Por un lado, se trata de una fuente de energía que apenas contamina ya que se considera que su emisión neta de dióxido de carbono es nula debido a que la cantidad producida en la combustión de la biomasa es la que previamente se utiliza en el proceso de fotosíntesis para su producción. Además, el uso de cultivos energéticos contribuye a la limpieza de montes y evita la erosión y degradación del suelo de tierras abandonadas.

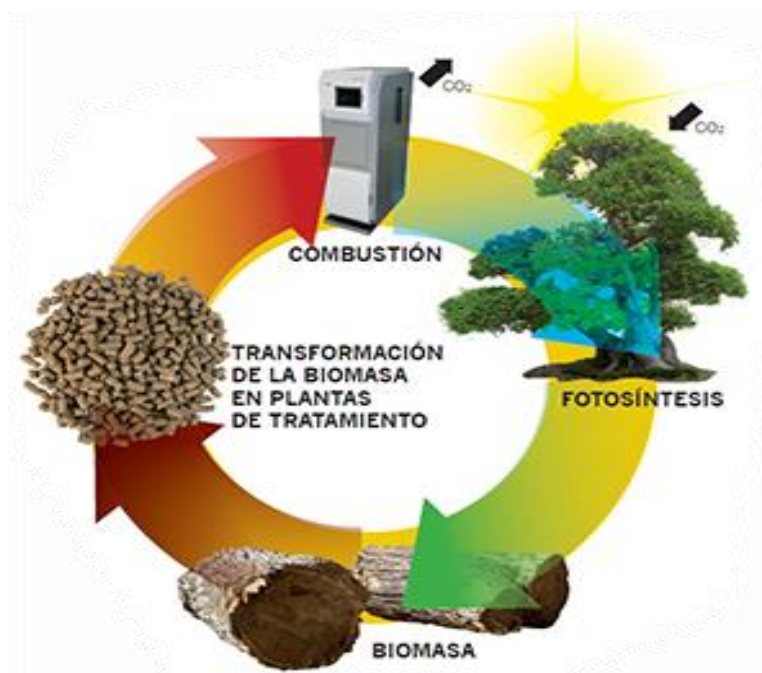


Ilustración 4: Ciclo del CO2 en la producción de energía a partir de la biomasa.

Por otro lado, una ventaja indiscutible es que, países energéticamente dependientes de otros por carecer de combustibles fósiles, tienen ahora la oportunidad de convertirse en productores eficientes.

Sin embargo, la explotación de este recurso debe ser controlada ya que determinados países están iniciando programas de cultivos para la producción de biocombustibles lo

que ha provocado el alza del precio de los alimentos, debido a la creciente competencia por la tierra y el agua.

Además, implica una serie de inconvenientes como son el almacenamiento de combustible requerido debido a la baja densidad energética de este recurso y los costes de operación y mantenimiento de las calderas y de los complejos sistemas de eliminación de cenizas.

Las ventajas mencionadas están contribuyendo a su impulso y a que la biomasa sea una de las principales alternativas utilizadas.

3.1.2. Energía Geotérmica

Un yacimiento geotérmico es una zona del subsuelo cuyo calor puede ser aprovechado para la producción de energía eléctrica y calor útil para el ser humano. En función de la temperatura, el contexto geológico, el modo de explotación y el tipo de utilización, se distinguen diferentes tipos de yacimientos. En Dinamarca, como ejemplo interesante por ser el país donde está ubicada la residencia Borglum Kollegiet, la energía geotérmica es obtenida del calor almacenado en rocas calientes y capas superficiales o de agua marina caliente contenida en acuíferos poco profundos.

Se trata de yacimientos de muy baja temperatura que son los más abundantes en la corteza terrestre. La baja temperatura de las diferentes capas terrestres en esta zona imposibilita la producción de energía eléctrica. Sin embargo, este recurso es ampliamente utilizado para la obtención de calor. Además de la energía geotérmica de baja temperatura, también se pueden utilizar recursos de alta y media temperatura.

Al uso de la energía geotérmica de baja temperatura o entalpía para la obtención de calefacción, refrigeración o aire acondicionado se le conoce como utilización directa o inmediata. En estos casos, los equipos de transferencia de calor utilizados son las bombas de calor. Éstas pueden incorporar una válvula que permite su reversibilidad de manera que se puede obtener una climatización integral, es decir, calefacción en invierno refrigeración en verano y ACS durante todo el año. Además, estas plantas están provistas de equipamiento necesario para el almacenamiento de calor en los casos en que la obtención supere la demanda.

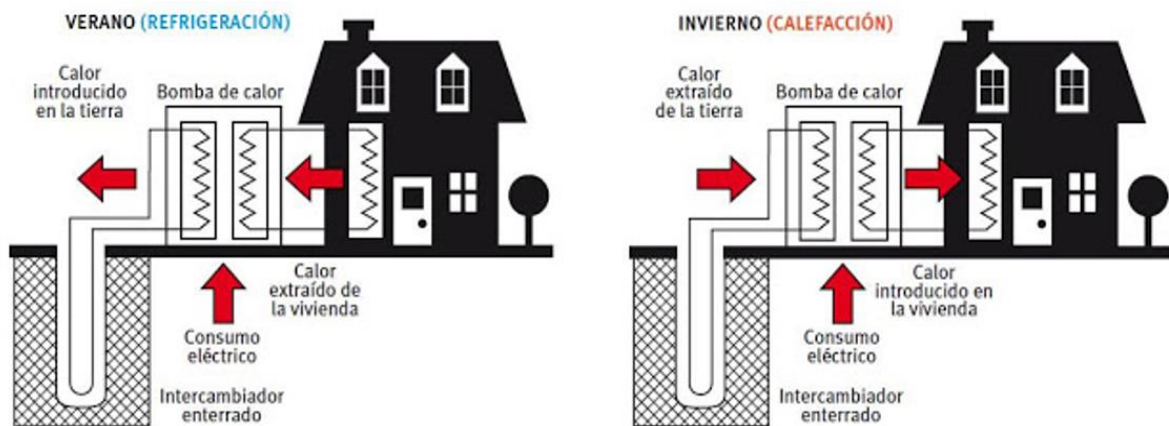


Ilustración 5: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno.

El funcionamiento de la bomba de calor se basa en el enunciado de Clausius de la segunda ley de la termodinámica que dice que para que una máquina transfiera calor de un foco frío a uno caliente es necesario un trabajo adicional.

Las bombas de calor constan de un circuito cerrado formado por un evaporador, un condensador, una válvula de expansión y un compresor. Este circuito es recorrido por un fluido refrigerante que está sometido a cambios de temperatura, presión y estado de manera continuada. En la figura se muestra el esquema de una bomba de calor.

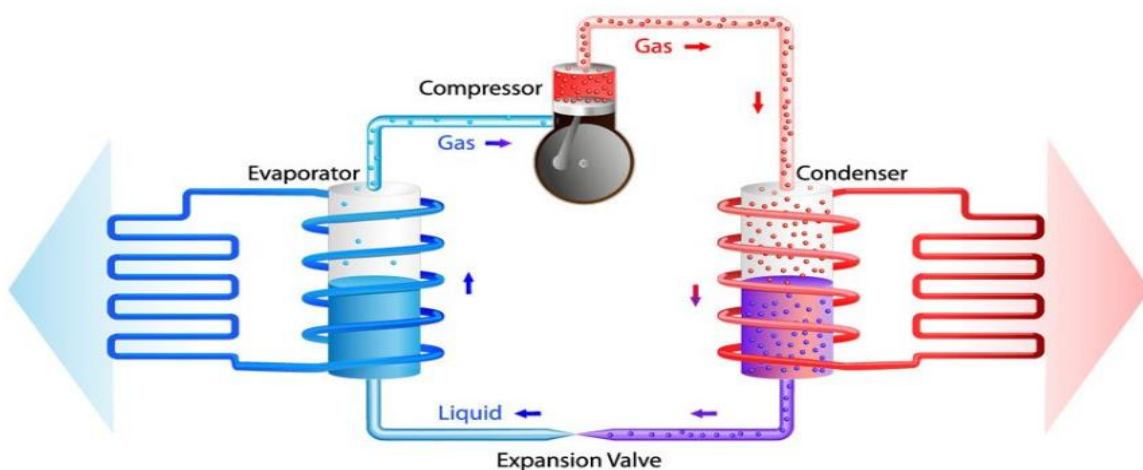


Ilustración 6: Bomba de calor.

En primer lugar, se hace pasar el fluido refrigerante en estado líquido a baja temperatura por el evaporador y absorbe calor del circuito primario por el que fluye el fluido caliente procedente del sistema de captación geotérmico. Tras el intercambio de calor, el fluido se somete a un incremento de presión con el consecuente aumento de temperatura. Después de esto, el fluido atraviesa el segundo intercambiador y cede su calor al circuito de

calefacción, lo que le lleva a condensarse. Tras ceder su energía en el condensador, pasa por la válvula de expansión volviendo a su estado inicial.

Los sistemas de captación se engloban en dos grandes grupos: sistemas geotérmicos abiertos y cerrados. En los sistemas abiertos, el fluido caliente es el agua extraída del acuífero. Tras ceder el calor al fluido refrigerante, el agua es inyectada de nuevo al acuífero. Sin embargo, en los segundos, se dispone de una unidad cerrada de captación geotérmica por la que circula un fluido que capta y cede calor continuamente.

Los captadores geotérmicos pueden dividirse, a su vez, en horizontales y verticales.

La captación horizontal consiste en una serie de tubos enterrados a unos 0.8-1.5 m de profundidad por los que circula agua con anticongelante. Se puede decir que éste capta la energía de la radiación solar de forma directa y el terreno sirve de acumulador de esta energía. Este tipo de intercambiador es muy fácil de instalar y es adecuada para pequeñas potencias. La principal desventaja es que se necesita una superficie en torno a 1.5 veces la superficie a calefactar.

La captación vertical consiste en la ejecución de una serie de perforaciones en las cuales se introducen los captadores de energía geotérmica. La profundidad varía en función del terreno y se utilizan tubos de polietileno de alta densidad. Su principal ventaja es la estabilidad de temperaturas lo que conlleva una mayor eficiencia del sistema y los altos rendimientos que pueden obtenerse. Sin embargo, es una instalación que tiene un coste elevado y la ejecución es compleja.

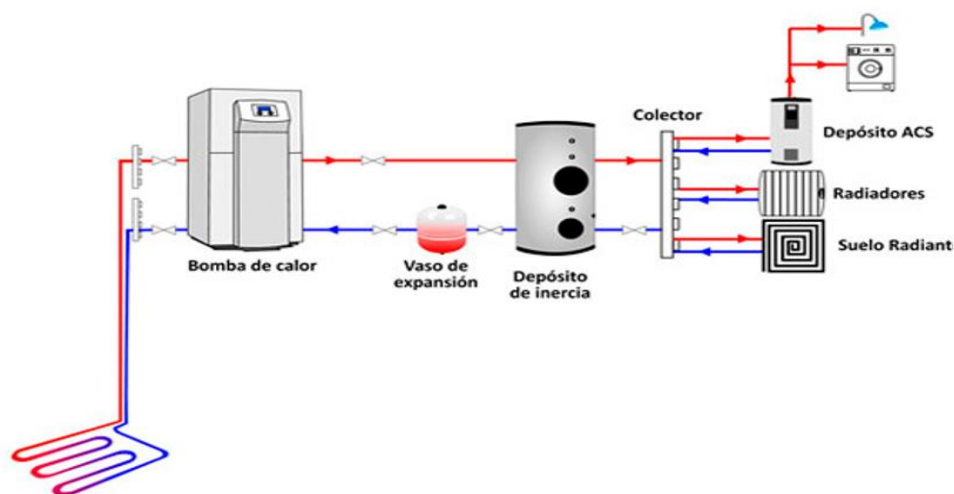


Ilustración 7: Esquema de una instalación geotérmica.

La energía geotérmica es una fuente de energía duradera ya que no depende de las condiciones climatológicas, de la estación anual o del momento del día. En cuanto a su impacto medioambiental, la huella de carbono es mínima, sin embargo, hay quienes se preocupan por las emisiones de dióxido de sulfuro y silica y por el procesado de algunos fluidos geotérmicos que contienen niveles, aunque bajos, de material tóxico. Por lo tanto, el desarrollo de esta tecnología puede considerarse favorable para el medio ambiente ya que la contaminación producida es insignificante comparada con las plantas térmicas convencionales.

Es importante mencionar que los yacimientos geotermales de alta y media temperatura a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica son escasos y están muy localizados.

Su disponibilidad varía en función de la localización ya que el terreno adquiere una temperatura estable a diferentes profundidades. Sin embargo, una vez alcanzada esa profundidad el suministro está garantizado. Esto se traduce en que las bombas de calor geotérmicas proporcionan una eficiencia superior a la de otros tipos de bombas de calor cuyas condiciones de funcionamiento dependen de las condiciones del ambiente exterior.

A pesar de que se estima que los reservorios geotermales del interior de la tierra podrían durar billones de años es necesario hacer un uso responsable del potencial existente en la tierra.

3.1.3. Energía Solar Térmica

El sol es la principal fuente de energía para todos los procesos que tienen lugar en nuestro planeta. La energía solar térmica consiste en transformar la radiación solar en calor para su uso directo, no obstante, éste también puede utilizarse para producir energía mecánica mediante un ciclo termodinámico y, a través de un alternador, generar energía eléctrica.

Hoy en día, la mayor parte de los paneles solares instalados tienen como objetivo la producción de ACS, siendo su segundo uso principal el aporte de energía a sistemas de calefacción.

En esta sección, se describirá exclusivamente el aporte de energía generado por instalaciones solares térmica de baja temperatura que es la que suele utilizarse en el ámbito doméstico. El principio elemental en el que se fundamentan es el de absorber la

energía térmica contenida en los rayos solares mediante captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento, del que se obtendrá en el momento necesario.



Ilustración 8: Paneles solares.

Una instalación solar consta de captadores solares que, por lo general, son planos y cuyo funcionamiento se basa en conseguir combinar el efecto del cuerpo negro con el efecto invernadero a fin de que la absorptividad y emisividad sean máximas en la región del espectro electromagnético ocupada por la radiación solar. Se trata de placas absorbedoras multicapa fabricadas de materiales complejos y su interior se compone de una serie de tubos por los que circula el fluido (agua o aire) que capta el calor de la radiación solar. Es imprescindible un aislamiento térmico eficaz para evitar su posterior enfriamiento.

Por otro lado, están los sistemas de distribución que se encargan de transportar el fluido caliente hasta el punto de consumo. Existen diferentes tipos de sistemas: instalaciones de circuito abierto en los que el agua caliente producida en el captador es transferida directamente al depósito de acumulación; instalaciones de circuito cerrado en las que existen dos circuitos: el circuito primario del sistema captador y el circuito secundario donde se encuentra el sistema de almacenamiento; sistemas de circulación forzada basados en una bomba de impulsión cuya función es transferir el fluido circulante más rápidamente, impidiendo que pueda perder parte de las calorías; y sistemas de circulación natural o con termosifón, utilizados en áreas geográficas con climas cálidos, que aprovechan la circulación natural del agua caliente, que por naturaleza tiende a ascender.

Como la demanda energética no tiene por qué coincidir con las horas de mayor radiación, es necesario un sistema de almacenamiento. Según las características del tanque y los materiales, el tiempo que se puede conseguir guardarlas calorías varía de unas horas hasta aproximadamente dos días. Los materiales más utilizados son el acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzado y están recubiertos de un material aislante.

En la figura se muestra el esquema de aprovechamiento solar térmico de en el que el sistema de distribución es una instalación de circuito cerrado.

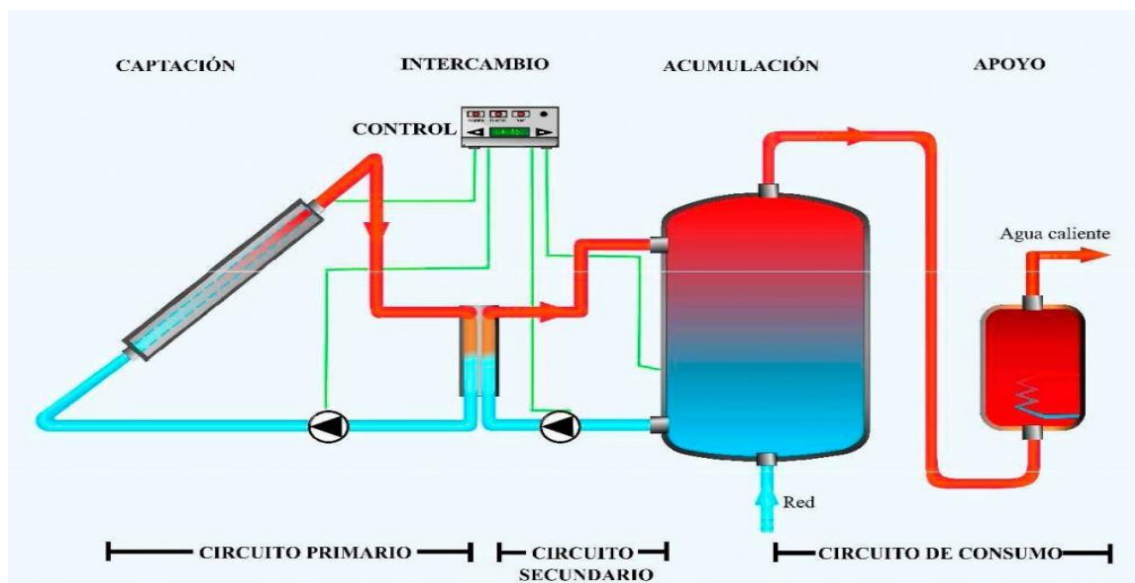


Ilustración 9: Esquema de una instalación solar térmica.

A pesar de que la contribución de la solar térmica al consumo energético mundial siga siendo escasa, ésta ofrece una solución idónea para la producción de ACS. La principal desventaja que presenta es que necesitan un sistema de energía auxiliar para evitar sufrir restricciones energéticas en momentos en los que la radiación es insuficiente, o el consumo supera la demanda prevista. La mayor parte de los sistemas de apoyo utilizan las formas de energía convencionales como el gas, la electricidad o el gasóleo. Aun así, se estima que una instalación solar térmica puede abastecer del 50% al 80% de la demanda de ACS de una vivienda, que es un porcentaje elevado. Además, es muy apropiada para la generación de ACS porque los niveles de temperatura que se requieren oscilan los 40-50 °C, que coinciden con lo más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares más comercializados.

Por otro lado, permite disminuir la dependencia energética del exterior por lo que los precios no se ven afectados por las fluctuaciones de mercado y, además, existen

condiciones de financiación por parte de las administraciones para incentivar el uso de este tipo de energía.

La principal ventaja medioambiental de la energía solar térmica es que no corre peligro de agotarse. Asimismo, no emite gases contaminantes perjudiciales para la salud ni gases de efecto invernadero y no produce ningún tipo de residuo peligroso ni efectos significativos sobre la fauna y flora. Por lo tanto, se puede concluir que su impacto sobre el medio ambiente es mínimo.

3.2. Energía eléctrica

3.2.1. *Energía Eólica*

La energía eólica ha desempeñado un papel esencial a lo largo de la historia y consiste en el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica, bombeo u otras aplicaciones. El movimiento del aire se debe principalmente al calentamiento dispar de la superficie terrestre que origina corrientes de aire caliente que tienden a ascender y de aire frío que descienden, ocupando su lugar. Además, la circulación está incentivada por la rotación del planeta.

El dispositivo más importante en las instalaciones eólicas es la turbina eólica o aerogenerador que tiene como función la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica. El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen.

El aire incidente sobre las palas se divide en dos corrientes que circulan por ambas partes del perfil a diferente velocidad y, en consecuencia, se genera una diferencia de presiones que da origen a una fuerza resultante que actúa sobre el perfil. Dicha fuerza se descompone en la fuerza de sustentación y la fuerza de arrastre, de direcciones perpendicular y paralela al viento, respectivamente. Las formas de las palas se diseñan de manera que sean idóneas desde el punto de vista aerodinámico con el propósito de incrementar el par motor producido por la fuerza de sustentación.

Aunque existen dos tipos: los de eje vertical y los de eje horizontal, su principio de operación es el mismo.

El rotor es el conjunto formado por las palas y el eje lento, al que están unidas a través de una pieza denominada buje. Las palas capturan la fuerza del viento y transmiten su potencia hacia el buje. Para la producción de electricidad, es necesario que el eje gire a

mayor velocidad, por ello, éste se conecta a una multiplicadora que aumenta su velocidad y la transmite al eje rápido (hasta más de 1500 rpm). A su vez, dicho eje se encuentra acoplado a un generador eléctrico cuyo principio se fundamenta en la Ley de Faraday transformando la energía mecánica del mismo en energía eléctrica. La multiplicadora y el generador eléctrico se encuentran en la góndola.

La energía eléctrica producida es de frecuencia y tensión variables por lo que se requiere un sistema de acondicionamiento de potencia. En el caso de aerogeneradores para sistemas aislados de la red se necesita un convertidor CA/CC y un regulador de carga, y en el caso de conexión a la red el regulador se sustituye por un convertidor CC/CA que convierte esta corriente en alterna con las características adecuadas para poder ser inyectada.

Además, con el propósito de obtener un rendimiento óptimo, se procura situarlos lejos de obstáculos que creen turbulencias en el aire y en lugares donde el viento sopla con una intensidad constante la mayor parte del tiempo.

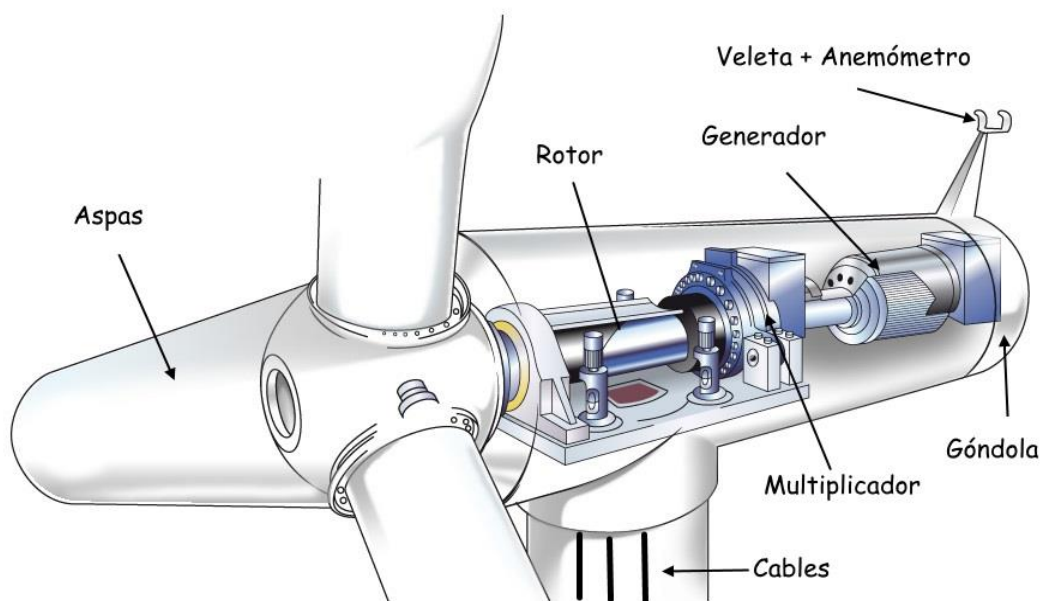


Ilustración 10: Partes de un aerogenerador.

Se trata de una energía que, además de no generar emisiones dañinas para el medio ambiente ni residuos, evita las emisiones de CO₂, el gas que más contribuye al calentamiento de la Tierra. Por otro lado, a diferencia de los combustibles fósiles y las centrales nucleares, la energía eólica tiene una de las huellas de consumo de agua más bajas, lo que la convierte en clave para la preservación de los recursos hídricos.

La energía eólica es una opción viable para aquellas comunidades en las que no existe la infraestructura necesaria para el abastecimiento mediante otros tipos de energías ya que no requiere el acceso a la red de suministro de electricidad. De esta manera, se evitan los altos costos de extender las redes de suministro y las pérdidas energéticas que tienen lugar durante el transporte.

Cabe señalar que los costes de producción son cada vez menores debido al desarrollo de las tecnologías y una vez fabricados y puestos en funcionamiento, los costes de mantenimiento son muy pequeños. Asimismo, el ruido generado por las turbinas eólicas ha disminuido debido a las mejoras en el diseño y ha dejado de ser un gran problema. Además, los lugares en los que se establecen los parques eólicos no son perturbados en gran medida y pueden ser utilizados para otras finalidades.

La única desventaja que presenta es que es un tipo de energía que no puede ser utilizada como única fuente de abastecimiento eléctrico y necesita el respaldo de otras energías, convencionales o renovables, para aquellos momentos en los que el viento no es suficiente para abastecer la demanda. Por otro lado, si bien en un futuro se espera contar con los avances tecnológicos necesarios para su almacenamiento, hoy por hoy, la energía eléctrica producida no es almacenable.

3.2.2. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica radica en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. En este proceso se lleva a cabo el aprovechamiento de las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas.

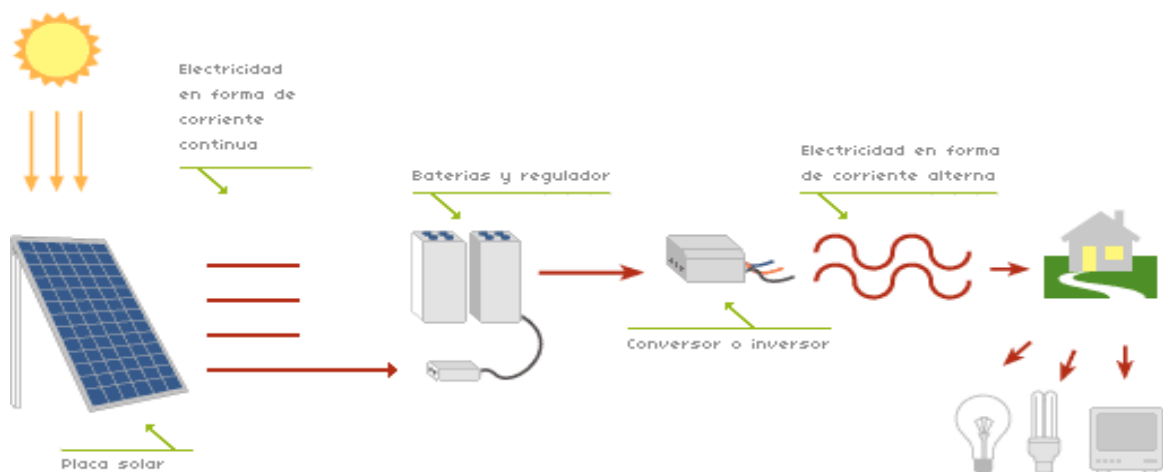


Ilustración 11: Esquema de una instalación solar fotovoltaica.

Las células convencionales se fabrican de silicio cristalino. El campo eléctrico es generado a partir de la diferente polarización de dos zonas de la célula fotovoltaica. Se consigue así que una parte tenga defecto de electrones, semiconductor tipo p, y la otra, exceso de electrones, semiconductor tipo n.

Debido a la diferencia de carga eléctrica se produce un campo eléctrico. Cuando la célula se encuentra en funcionamiento, la luz solar incide en la célula y la energía de los fotones absorbidos es transferida a los electrones. Con esta nueva energía, los electrones son capaces de escapar de su posición y son atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica.

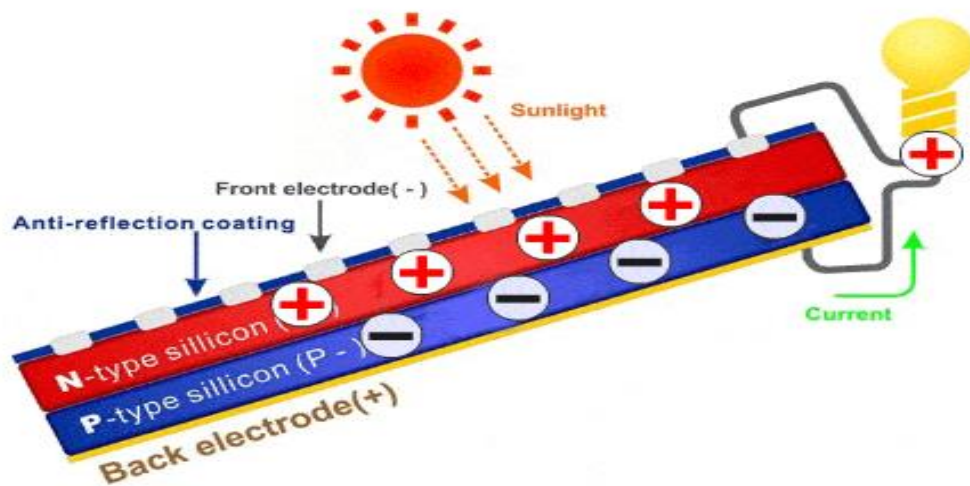


Ilustración 12: Efecto fotovoltaico.

Los colectores solares fotovoltaicos, conocidos como paneles solares, están formados por un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí con el fin de suministrar la tensión y corriente deseadas. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y posteriormente, se unen en paralelo varias asociaciones serie de células con el fin de alcanzar el nivel de corriente deseado.

Además, una instalación fotovoltaica cuenta con un inversor cuya función es transformar la energía recibida del generador fotovoltaico en forma de corriente continua y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente corriente alterna y el posterior suministro a la red. Otros elementos son el equipo de medida, la puesta a tierra, el cableado de interconexión, etc.

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia que no genera residuos, no produce ruidos y es inagotable. Con relación a las ventajas socioeconómicas, no requieren mantenimiento y las células pueden durar décadas, ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente y permite la independencia de los países productores de combustibles fósiles. Esta clase de instalación puede ser vendida a compañías eléctricas o instalarse en zonas rurales alejadas de la red eléctrica general.

Por otro lado, la energía solar fotovoltaica presenta algunas desventajas. La producción varía según la climatología del lugar y época del año de manera que tiene que ser amparada por otros sistemas energéticos. Además, hoy por hoy, los rendimientos finales obtenidos en los elementos captadores son bajos lo que la convierte en una energía económicamente no competitiva con otras energías actuales entre las cuales están algunas de las que se han descrito anteriormente.

4. Alternativas seleccionadas

En esta sección se procede a estudiar la aplicabilidad de tres de las alternativas previamente descritas para abastecer a la residencia Borglum Kollegiet de potencia calorífica y eléctrica. La elección se ha llevado a cabo tomando en consideración las características geográficas, físicas y climatológicas de la zona en la que está situada.

Con relación al suministro de energía térmica, se instalarán una caldera de biomasa y un sistema de captación geotérmica.

A causa de los procesos de operación y mantenimiento requeridos, el tiempo de funcionamiento de una caldera de biomasa no supera las 8.000 horas anuales. Además, las fuertes nevadas características del clima nórdico limitarán el recurso geotérmico durante los meses de invierno. Por consiguiente, las calderas de gas natural actuales se mantendrán en la residencia como equipos de seguridad que podrán ser empleados en circunstancias desfavorables.

La demanda de electricidad se abastecerá con energía mini eólica. Se busca mediante la instalación de tres aerogeneradores el suministro parcial de energía eléctrica disminuyendo la dependencia de la red eléctrica general y aumentando la explotación del recurso eólico del país.

4.1. Biomasa

La bioenergía o energía de biomasa es la fuente de energía renovable más utilizada en Dinamarca. Este tipo de energía garantiza el suministro energético en cualquier época del año a diferencia, por ejemplo, de la energía solar que es muy limitada en este país dadas las condiciones climatológicas. Además, esta energía puede ser almacenada para hacer frente a los periodos con alta demanda energética.

Por estas razones se ha escogido una instalación de biomasa como principal fuente de abastecimiento de la residencia Borglum Kollegiet.

4.1.1. Dimensionamiento de equipos y ubicación

Caldera de biomasa

El equipo que se ha seleccionado es una caldera de la marca Hergom, una de las principales empresas de productos de calor para el hogar a nivel mundial.

Se trata de una caldera de la serie THT diseñada para la producción de ACS y calefacción para grandes espacios mediante la combustión de combustibles sólidos como pellets, astillas y otros tipos de biomasa. Dentro de esta gama de productos que comprende modelos de 100 kW a 1600 kW, se ha escogido el modelo THT 1200 dado que la potencia instalada es aproximadamente de 1050 kW.

El funcionamiento de la caldera Hergom THT 1200 es totalmente automático y se pueden llegar a conseguir rendimientos del 87 %. Además, posee un depósito de combustible de gran capacidad y el mecanismo de retirada de cenizas es muy sencillo. Otras características de la caldera pueden encontrarse en la hoja de características.

Las dimensiones de la caldera escogida aparecen en la imagen. Debido a su altura, el edificio donde estará ubicada deberá tener al menos 4-5 m de altura y una planta de 40 m².

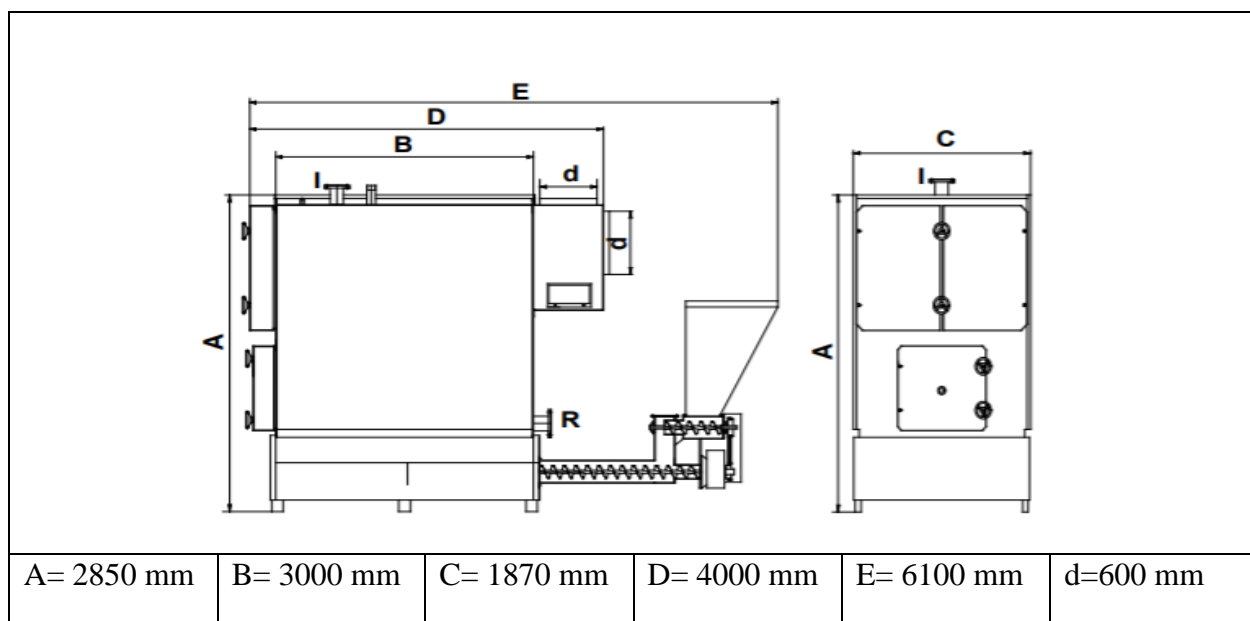


Ilustración 13: Dimensiones caldera Hergom THT 1200.

La caldera se ubicará en un edificio que deberá ser construido en el espacio señalado en el mapa. Como se puede apreciar, el área señalizada tiene acceso directo a la carretera de manera que se simplifican las operaciones de carga del almacén, de evacuación de cenizas y de mantenimiento de la caldera.



Ilustración 14: Ubicación del edificio de la caldera.

Selección del tipo de biomasa

Para el adecuado funcionamiento del sistema de calefacción con biomasa es imprescindible que el combustible cumpla con los requerimientos de la caldera. La caldera THT 1200 está diseñada para el uso de pellets, hueso de aceituna y cáscara de almendra.

Dada la situación geográfica y las características del país se considera que la mejor opción es la utilización de astillas de eucalipto o pino ya que poseen unas características semejantes y sus precios son similares. A continuación, se presenta el análisis de los dos combustibles orgánicos.

PARAMETRO (% masa base seca)	EUCALIPTO	PINO
Volátiles	81	81
Cenizas	1,3 a 3	1,75 a 2,25
Carbono fijo	16,3	16
Humedad (%)	30	30
PCI (base húmeda) (kJ / Kg)	11.900	13.150

Tabla 3: Análisis de combustibles orgánicos.

En este caso se han escogido las astillas de eucalipto. Como paso previo a su utilización es necesario realizar una serie de tratamientos: adecuación de humedad, reducción granulométrica y densificación, entre otros.

Bajo condiciones normales de trabajo, la caldera posee un rendimiento del 85%. La potencia de la caldera es de 1200 kW y el PCI del residuo forestal elegido es de 12000kJ/kg, a partir de estos datos y utilizando la siguiente fórmula, se calcula la cantidad necesaria de astillas por segundo.

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_t}{\dot{m}_c * PCI}$$
$$\dot{m}_c = \frac{1200}{0,85 * 12000} = 0.1 \frac{kg}{s}$$

Debido a que el funcionamiento de la caldera no es uniforme, se establece un tiempo equivalente de operación de 5000 h/año correspondiente al periodo de tiempo en el que ésta funciona a potencia máxima. Este dato se utiliza para obtener las astillas requeridas por año.

$$\dot{m}_c = 0.1 \frac{kg}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 5000 \frac{h}{año} = 1800 \frac{t}{año}$$

Por otro lado, para asegurar la combustión de la biomasa, es necesario introducir aire en exceso. La cantidad recomendada es $\lambda = 1.4$, es decir, se debe suministrar 1.4 veces el oxígeno estequiométrico dado por la combustión completa de las astillas. Es un valor mayor que en el caso de gases y líquidos dado que la unión de moléculas de O₂ con otras moléculas de gas o con líquidos es más fácil que al tratarse de un sólido. Es importante subrayar que no debe superarse esta cantidad ya que el aire puede llevar al enfriamiento de la caldera y, por tanto, a la disminución de su eficiencia.

Chimenea de humos

Se trata de un componente imprescindible dentro del sistema de biomasa cuya finalidad es la de evacuar los humos producidos y asegurar una combustión eficiente. Según especificaciones del fabricante, el tiro debe sobrepasar la cumbre del techo por lo menos 50/150 cm. Por otro lado, en el caso de la biomasa hay que prever un volumen de gases superior al caso de utilizar combustible líquido o gaseoso debido a que la humedad de la biomasa se evapora en la caldera y da lugar a vapor de agua.

La chimenea será de acero inoxidable con un buen aislante térmico con el fin de evitar que la temperatura de los humos baje demasiado y se produzca su condensación dando lugar a una menor eficiencia de la caldera.

Sistema de eliminación de partículas

Con el objetivo de reducir la contaminación atmosférica y cumplir con los requisitos impuestos, se utilizan una serie de tecnologías que limpian la corriente de gases generados en la combustión antes de ser expulsados por la chimenea al exterior.

La composición de los gases emitidos será CO_2 y O_2 residual principalmente además de CO y NO_x en bajas concentraciones. Además, se emitirán partículas que son las que plantean el mayor problema y hacen que sea necesaria la utilización de mecanismos de retención.

Se escogen dos equipos de separación por vía seca que serán utilizados en combinación: ciclón y filtro de mangas. En el primero el mecanismo de separación son las fuerzas de inercia y en el segundo las fuerzas de adhesión. En general, el rendimiento de los ciclones es bajo para partículas de tamaño menor que $50 \mu\text{m}$, lo que hace necesario el uso de filtros de mangas que son capaces de retener hasta partículas de $2.5 \mu\text{m}$. A la hora de seleccionar la fibra o tela filtrante hay que tener en cuenta diferentes aspectos como la temperatura máxima que soportan o la resistencia química para maximizar el tiempo de vida de esta.

En las siguientes imágenes se puede ver el esquema de un ciclón y un filtro de mangas.

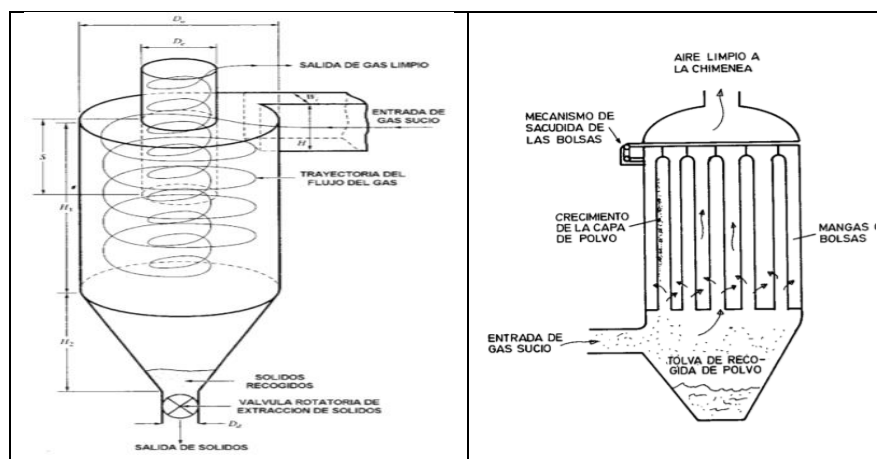


Ilustración 15: Esquema de un ciclón y un filtro de mangas.

Depósito de almacenamiento

Dado que el terreno disponible no es suficientemente grande para incluir el depósito de almacenamiento lindante con el edificio, se propone la excavación de un silo

subterráneo. Se ha elegido esta opción frente a otra clase de almacenes ya que el método de recarga por gravedad es considerablemente más simple.

Así mismo, las operaciones de transporte de combustible a la residencia se reducen frente a la edificación de un depósito externo al edificio ya que no existe ninguna limitación de espacio.

Para calcular las dimensiones de la excavación se ha procedido de la siguiente manera. En primer lugar, a partir de las astillas requeridas y su densidad se calcula el volumen de astillas que será necesario almacenar cada año:

$$\dot{V}_c = 1800 \frac{t}{\text{año}} * 1000 \frac{kg}{t} * \frac{1}{230} \frac{m^3}{kg} = 7826 \frac{m^3}{\text{año}}$$

El volumen mínimo exigido por el RITE para edificios de nueva construcción es un volumen capaz de abastecer dos semanas de consumo máximo de combustible. Así, se establece la necesidad de recargar la zanja completamente dos veces al mes con el propósito de que el volumen del depósito no sea desmedido.

$$V = \frac{7826}{24} m^3 = 326 m^3$$

Las dimensiones de la zanja serían las que se exponen a continuación: 2,5 m (alto)*12 m (ancho)*11 m (largo). En la siguiente imagen se presenta el funcionamiento del sistema de provisionamiento de astillas por gravedad.



Ilustración 16: Sistema de provisionamiento de astillas por gravedad para silo subterráneo.

En cuanto a la frecuencia de recepción del material combustible, si se esperase al vaciado completo del silo para el reaprovisionamiento, un contratiempo podría originar la falta de astillas. Por otro lado, la llegada de alrededor de 15 camiones de 20 L para llenar el

depósito completamente en un día supondría la alteración del tráfico de la zona. Por estas razones, se considera una mejor opción la recarga diaria de un camión ya que proporciona autonomía en el caso de que un día no pueda llevarse a cabo la operación de carga del almacén.

El transporte de astillas de la zanja subterránea a la entrada de alimentación de la caldera se realizará mediante un sistema neumático o tornillo sinfín.

Depósito de inercia

A pesar de que las calderas de biomasa sean de alta calidad y trabajen con un rendimiento óptimo, no son calderas instantáneas y tardan de 10 a 15 en las operaciones de arranque y parada. Para evitar interrupciones en el suministro se utilizan los depósitos de inercia que acumulan energía en forma de calor o agua caliente sanitaria. Bajo condiciones normales, el edificio consume del depósito de inercia y en el momento en que la temperatura baja de un mínimo establecido, la caldera de biomasa entra en funcionamiento para aumentarla.

De esta manera se reducen el número de paradas y arranques lentos de la caldera lo que se traduce en una gestión más eficiente de la demanda y en un aumento de la vida útil de los equipos.

Es recomendable un depósito de inercia de entre 10 y 15 litros por kW de potencia de la caldera. Tomando 12,5 litros/kW, el volumen será de 15.000 litros. Se trata de un volumen inmenso y no se dispone del espacio requerido por lo que se instalará un único acumulador de inercia de 5.000 litros fabricado de acero al carbono S235JR de la marca Inerox de referencia ‘DSCE 5000 ACU’.



Ilustración 17: Acumulador inercial Inerox ‘DSCE 5000 ACU’.

Cenizas

Para finalizar, hay que tener en cuenta la necesidad de recoger las cenizas generadas en la combustión. De acuerdo con las propiedades del residuo forestal, el volumen de cenizas producido será el 2 % del volumen de astillas quemado. Así, se obtiene la cantidad de cenizas que serán acumuladas en dos semanas.

$$V_{cenizas} = 0.2 * 326 = 6,52 \text{ m}^3$$

El mecanismo más común para la retirada de cenizas consiste en dos tornillos sinfín que transportan la ceniza generada de la cámara de combustión al contenedor donde se comprimen para facilitar su manejo. La retirada de cenizas puede ser llevada a cabo por el responsable de mantenimiento.

4.2. Geotérmica

El propósito de la instalación geotérmica es respaldar a la caldera de biomasa en el suministro de ACS y calefacción. El equipo utilizado en una instalación geotérmica para aportar calor o suministrar ACS es una bomba de calor o máquina térmica inversa cuyo principio de funcionamiento y elementos constitutivos han sido explicados en el apartado de Energías Alternativas.

4.2.1. Dimensionamiento de equipos y ubicación

Bomba de calor

Para estas características y con el objetivo de adaptarse mejor a las necesidades, se ha escogido la unidad Ecodan Power+ Geotérmica CRHV-P600YA-HPB de la gama Ecodan Industrial de la marca MITSUBISHI.

La bomba de calor Ecodan Power+ Geotérmica CRHV-P600YA-HPB tiene una capacidad de 60 kW térmicos y presenta un COP (coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción) de 4,23. Se trata de una bomba de calor reversible y destaca por ser una unidad compacta y con un nivel de producción fácilmente regulable.

El COP mide la eficiencia de la bomba de calor y establece la relación entre la potencia que se obtiene de la bomba y el consumo eléctrico en el compresor de la misma.

$$COP = \frac{Q}{\omega} \quad \omega = \frac{60}{4,23} = 14,2 \text{ kW}$$

La bomba de calor se instalará en la sala de calderas actual dado que sus dimensiones son adecuadas para el espacio disponible.

Sistema de captación

Dado que la superficie exterior disponible es limitada se escoge un sistema de captación vertical de circuito cerrado. Estos se caracterizan porque su eficiencia no dependerá del clima exterior y, además, se obtienen mayores rendimientos que empleando sistemas horizontales.

Se trata de una sonda vertical que está formada por los tubos o intercambiadores verticales, el material de relleno entre los tubos, las paredes del hueco perforado, etc. La profundidad puede variar de 50 a 500 m en función de las características del subsuelo.

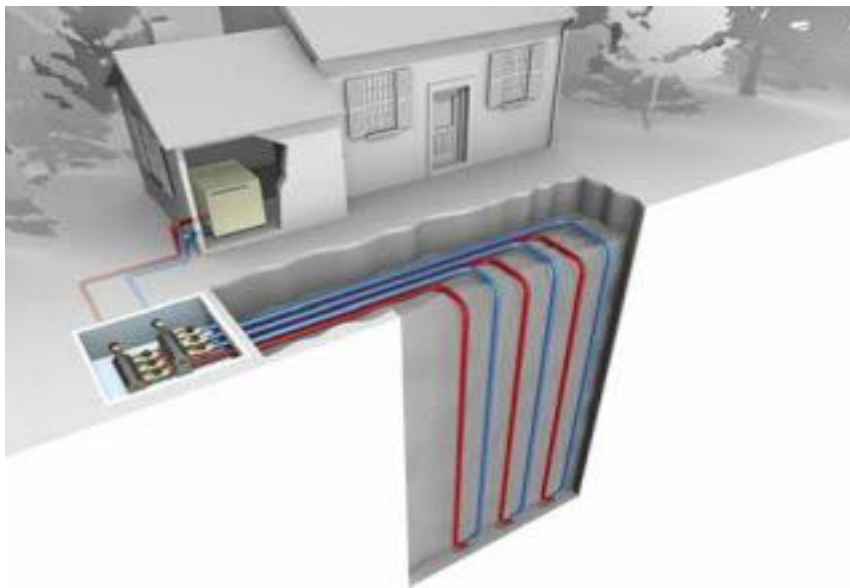


Ilustración 18: Sistema de captación geotérmico vertical.

Debido a que se trata de una instalación de 60 kW según la norma VDI-4640 es obligatorio llevar a cabo un test de respuesta térmica TRT para conocer el comportamiento térmico del terreno en detalle y obtener parámetros como la conductividad térmica efectiva o la difusividad λ . Esto permite optimizar el diseño de la instalación, evitar la pérdida de eficiencia energética y encontrar la localización más adecuada dentro del área disponible.

La perforación podría realizarse mediante diferentes métodos: sistema de rotopercusión con martillo neumático al fondo en el caso de tratarse de un terreno duro o sistema de rotación de circulación inversa apropiado para terrenos blandos y arcillosos, entre otros.

Los tubos o intercambiadores verticales más utilizados constan de un tubo (simple U) o de dos tubos (doble U) de polietileno unidos por la parte inferior. Éstos poseen un

excelente coeficiente de conductividad térmica, una elevada resistencia a impactos y son muy flexibles. En el momento de descenso de la sonda, se introduce un tubo que inyecta el material para rellenar el espacio anular que queda entre las tuberías del intercambiador y las paredes del hueco. El material suele ser arena silíceo o cemento.

Existen numerosos métodos de cálculo para realizar una primera aproximación de la longitud de sondeo necesaria. La ASHRAE, en la publicación “Comercial / Institucional GSHP Engineering Manual, (1995)”, ofrece un método simplificado basado en la cantidad de energía extraída del subsuelo. En él, se fija la temperatura del terreno, la temperatura mínima de entrada al intercambiador vertical en modo calefacción y la temperatura máxima de entrada en modo refrigeración.

Según bibliografía consultada, una de las condiciones que debe cumplirse para poder utilizar este método es que la diferencia entre la temperatura del terreno y la temperatura mínima de entrada del fluido no debe exceder de ± 15 K en condiciones de carga máxima. Teniendo en cuenta los siguientes datos:

$$\Delta T = T_{\text{entrada, mín}} - T_{\text{terreno}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{calefacción}} = 60 \text{ kW}$$

$$\text{COP}_{\text{cal}} = 4,23$$

$$\text{FPP}_{\text{cal}} = 800 \text{ h/año (horas de funcionamiento equivalente del sistema geotérmico)}$$

$$E_{\text{ext}} = \frac{Q_{\text{cal}} * \text{FPP}_{\text{cal}} * (\text{COP} - 1)}{\text{COP}} = \frac{60 * 800 * (4,23 - 1)}{4,23} = 36.652,5 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{ext}} = 36.652,5 \text{ kWh} = 131.949 \text{ MJ}$$

$$L_{\text{sondeo}} = \frac{0,05506 * E_{\text{ext}}}{\Delta T} = \frac{0,05506 * 131.949}{15} = 484,35 \text{ m}$$

A partir de las fórmulas se calcula que es necesaria una longitud de 484,35 m para extraer la cantidad de energía requerida.

Para determinar la profundidad de sondeo con la que se producirá el intercambio de calor requerido entre el terreno y el fluido es necesario conocer los resultados del TRT. Como no se dispone de esta información, se considera apropiado perforar hasta una profundidad de 200 m con el fin de asegurar que la temperatura es estable y próxima a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a lo largo del año independientemente de la temperatura exterior.

Para calcular el número de pozos, se tiene en cuenta que se utilizará un único tubo (simple U) y la profundidad del este.

$$N = \frac{L_{sondeo}}{400} = \frac{484,35}{400} = 1,2 \text{ pozos} \rightarrow 2 \text{ pozos}$$

Se puede concluir que será necesario perforar dos pozos que tendrán un diámetro mínimo de 140 mm con el fin de que haya espacio suficiente para los tubos intercambiadores y el tubo inyector de material de relleno.

Para elegir el diámetro de los tubos es necesario llegar a un equilibrio entre dos factores importantes. Por un lado, es necesario un diámetro pequeño para conseguir el régimen turbulento en el interior del tubo de manera que se facilite el intercambio térmico y, por otro lado, el diámetro debe ser lo suficientemente grande para minimizar las pérdidas de carga, lo que se traduce en menor potencia de la bomba de recirculación.

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \vartheta * D} > 2.300$$

De acuerdo con lo explicado, se escoge un sistema vertical de circuito cerrado de la gama Ferroterm de la marca Ferroplast en el que el fluido caloportador transcore por un conjunto de tubos de polietileno de alta densidad PE-100 de acuerdo con los criterios de la norma UNE EN 12201. Además, serán necesarios tubos de conexión de las sondas verticales a la bomba de calor. Se propone la utilización de tubos de polietileno de la misma marca. En las siguientes imágenes se muestran la sonda vertical en "U simple" y el tubo para conexiones.

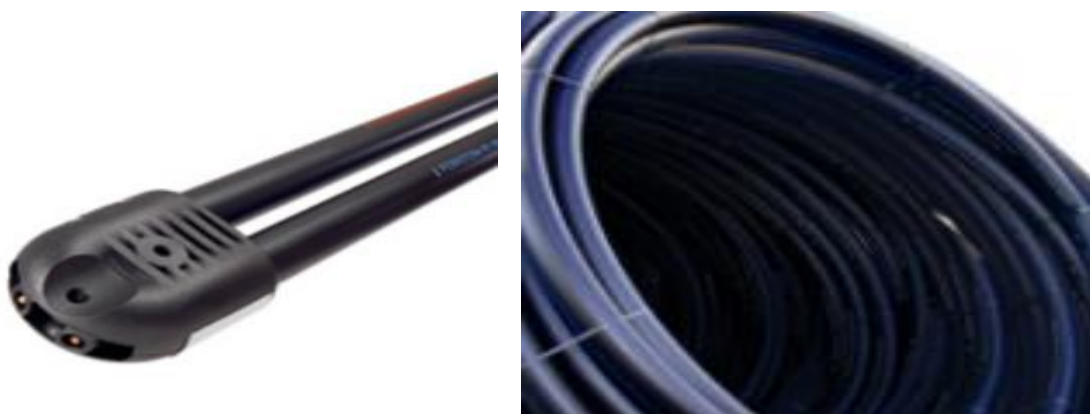


Ilustración 19: Sonda geotérmica vertical y tubo para conexiones de la marca Ferroplast.

Además, se necesita una bomba que impulse el agua por el tubo de captación hasta la bomba de calor.

El sistema de captación deberá ubicarse lo más próximo posible a la sala de calderas para minimizar las pérdidas de calor del fluido. El área en donde se propone construir el edificio para la caldera de biomasa es grande por lo que hay espacio suficiente para que la perforación pueda realizarse allí.

Fluido caloportador

El fluido que circula por los tubos del intercambiador geotérmico es una mezcla de agua con una sustancia anticongelante. Esta solución debe satisfacer los siguientes requisitos: impedir la formación de hielo en el evaporador de la bomba de calor durante su enfriamiento, proteger contra la corrosión el material de la propia sonda y ser biodegradable para no contaminar el terreno en caso de fuga.

Es común el uso de propilenglicol en instalaciones geotérmicas y, por tanto, se escoge una mezcla de agua con un 35 % de etilenglicol (especificado en los datos técnicos de la bomba de calor). Las propiedades físicas de estos fluidos se muestran en la tabla.

Propiedades	Agua	Etilenglicol
Densidad a 20 °C [g/cm ³]	1	1,116
Punto congelación [°C]	0	-13
Punto ebullición [°C]	100	197
Viscosidad a 20 °C [Pa.s]*10 ⁻³	1,01	19,83
Conductividad térmica a 20°C (kW/mK)*10 ⁻³	0,6	0,481

Tabla 4: Propiedades físicas del fluido caloportador.

Se estima que podrían necesitarse 350 L de anticongelante lo que equivale a 122,5 L de etilenglicol.

Sistema de distribución

Considerando que no se dispone de una preinstalación de conductos de climatización como falsos techos o rejillas en la pared, se ha optado por un sistema de climatización por Split o Multisplit.

El sistema de climatización MultiSplit está formado por aparatos compactos, fáciles de operar y que permiten climatizar varias estancias con diferentes necesidades térmicas.

Únicamente se instalarán unidades del sistema MultiSplit en las siguientes estancias de la residencia: gimnasio y salas de música y juegos.

Se trata de un sistema que conecta la bomba geotérmica, a varias unidades interiores colocadas en cada una de las estancias que se pretende calefactar. Mitsubishi Electric ofrece la gama más amplia y completa en equipos Inverter MultiSplit y posee una serie con diversas combinaciones: 1x1, 2x1, 3x1, 4x1, 5x1 y 6x1. Se escogen unidades interiores de conducto modelo PEAD-RP.

4.3. Eólica

Dinamarca fue el primer país del mundo que integró la energía eólica dentro de su sistema de producción energética y Aarhus, en concreto, es considerada “la capital mundial del viento” ya que en ella se encuentran muchas de las empresas más importantes de energía eólica a nivel mundial como Siemens o Vestas.

Por esta razón y dadas las condiciones climatológicas favorables, se ha considerado interesante asumir parte del gasto de energía eléctrica de la residencia con tres aerogeneradores de minieólica Enair 800 de 70 kW de potencia.



Ilustración 20: Aerogenerador Enair 800.

4.3.1. Dimensionamiento de equipos y ubicación

Aerogeneradores

Con relación a las características técnicas, el aerogenerador Enair 800 presenta una velocidad de arranque de 1,85 m/s y el corte de producción se produce al sobrepasar los 25 m/s. El diámetro del rotor es de 15,9 m y al área de barrido no supera los 200 m². Además, se trata de un sistema cuyo generador está capacitado para producir la potencia máxima desde el inicio de la rotación y presenta una eficiencia de generación y diseño que permite abastecer instalaciones con un alto rendimiento.

El equipo Enair 800 dispone de un sistema de orientación encargado de hacer girar automáticamente el rotor de modo que el viento incidente sea lo más perpendicular posible al plano de las palas. Sin embargo, es importante conocer de dónde provienen los vientos más frecuentes y más fuertes en el área donde se quiere instalar el aerogenerador. Para ello, se recurre a lo que se conoce como ‘rosa de vientos’.

Además, cuenta con un sistema de regulación de velocidad para evitar el giro descontrolado de las palas que podría poner en peligro la seguridad de las personas y bienes situados en las cercanías.

Por otro lado, la longitud de las palas es de 7,4 m y los materiales utilizados tanto en el interior como en el exterior, hacen que estos aerogeneradores sean apropiados para ambientes agresivos, como el que presenta Aarhus durante la época de invierno. Otras especificaciones técnicas generales se encuentran en el apéndice.

A fin de maximizar la eficiencia y evitar el efecto de estela entre los aerogeneradores, deberá existir entre ellos una separación cercana a tres veces el diámetro del rotor. El efecto de estela hace referencia a la larga cola de viento turbulenta y ralentizada creada por un aerogenerador en la dirección a favor del viento. En la siguiente imagen está señalado el terreno sobre el que podrían colocarse los aerogeneradores.

Además de tener en cuenta la distancia entre ellos, los aerogeneradores deben colocarse de manera que cuando el viento sopla en la dirección predominante no haya ningún aerogenerador a sotavento de otro. La rosa de vientos de Aarhus muestra que las direcciones predominantes son las de componente oeste por lo que la disposición más favorable es poner la línea de aerogeneradores perpendicular a esta dirección.

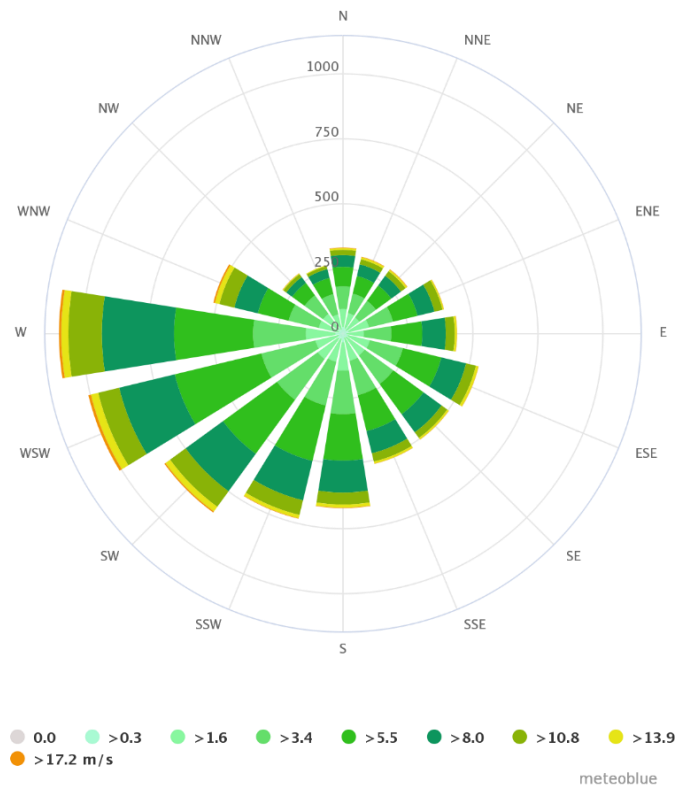


Ilustración 21: Rosa de vientos de Aarhus.

Risskov es una zona alejada del centro de la ciudad de Aarhus y tiene una altitud ligeramente superior al nivel del mar. Se trata de un área caracterizada por viviendas unifamiliares y edificios de baja altura, por ello, prácticamente no hay obstáculos que supongan un impedimento para el paso del viento. En la imagen se propone una configuración que se considera adecuada.

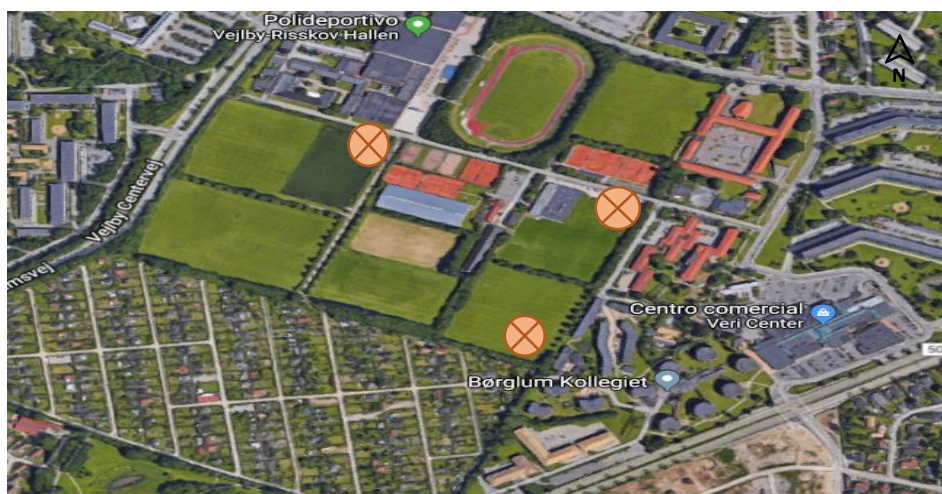


Ilustración 22: Ubicación de los tres aerogeneradores.

Curva de potencia del aerogenerador

Para calcular la potencia eléctrica que se obtendrá de los aerogeneradores Enair 800 se utilizan los diagramas de clima de meteoblue que están basados en 30 años de datos históricos meteorológicos. Se dispone de la duración media mensual de diferentes valores de velocidad a partir de las cuales se calcula el promedio anual.

La curva de potencia de un aerogenerador indica la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Dado que la del aerogenerador propuesto no está aún disponible, se han extrapolado los valores de la curva de potencia del aerogenerador Enair 70.

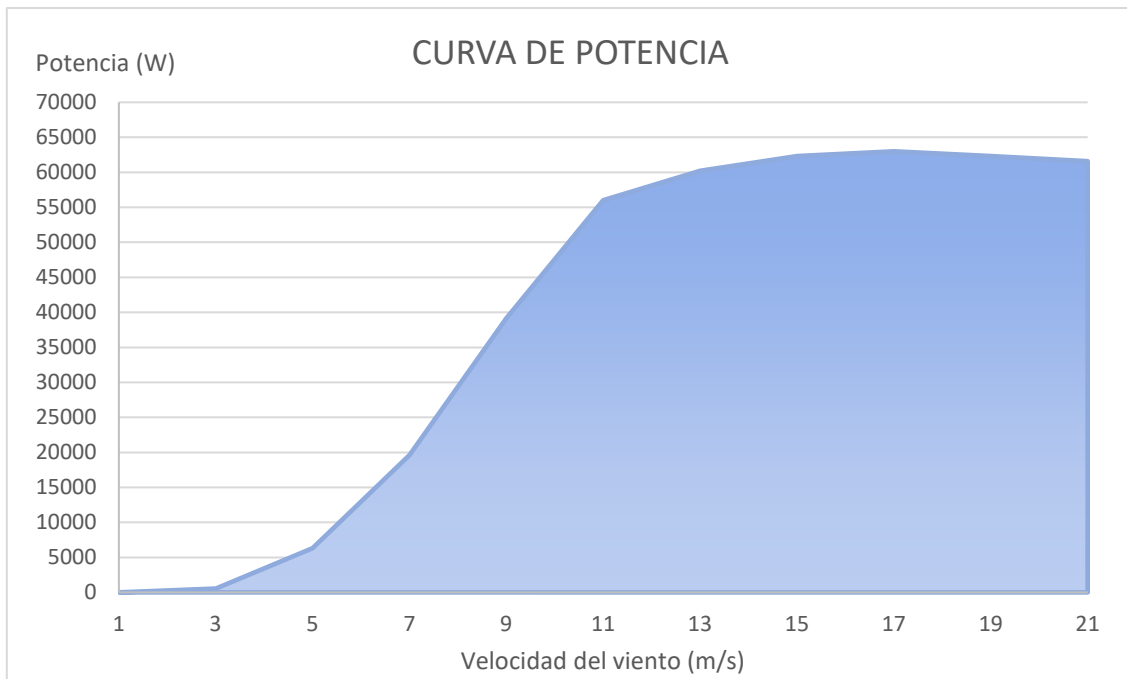


Ilustración 23: Curva de potencia del aerogenerador Enair 800.

A partir de la curva obtenida, se ha estimado cuál será la generación de energía eléctrica de la instalación eólica propuesta. Debido a la extrapolación de la curva de potencia y a la inexactitud en la medición de los vientos, entre otros factores, los cálculos que se obtienen son aproximados. A pesar de esto, se considera que permiten estimar con un margen de error aceptable la producción de energía de la instalación eólica a lo largo de los años.

Velocidad [m/s]	0,3	1,6	3,4	5,5	8	10,8	13,9	17,2
T (h/año)	0	307,2	1317,6	2488,8	2457,6	1478,4	532,8	194,4

Potencia [W]	0	0,5	2	9	31	56	61,5	63
Energía [MWh/año]	0	0,15	2,64	22,40	76,19	82,80	32,77	12,28

Tabla 5: Generación anual de energía eléctrica.

A partir de estos resultados se puede concluir que la productividad anual de cada aerogenerador será de 229.180 kWh. La producción neta anual de los tres aerogeneradores será de 687.540 kWh. Con la energía generada y la potencia instalada se obtiene que el tiempo de funcionamiento anual es de 3.274 horas.

Torre soporte

Los aerogeneradores de eje horizontal se soportan por mástiles o torres que se eligen en función de las características del viento del lugar y del equipo a instalar.

Es común el uso de mástiles o torres con o sin tirantes de acero galvanizado tratados superficialmente para evitar la corrosión. La elección depende del tipo de suelo que se disponga en el emplazamiento, de las restricciones medioambientales y del presupuesto. Al tratarse de suelo no rocoso, se puede hacer una cimentación y evitar la instalación de torres atirantadas que ocupan más espacio.

Éstos soportes deberán ser certificados siempre por ENAIR antes de la instalación para garantizar el correcto funcionamiento y se montarán de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante.

A la hora de determinar la altura de la torre hay que tener dos aspectos en cuenta. Por un lado, cada metro aumenta el coste de la instalación y, por otro, a medida que se incrementa la altura, la velocidad es mayor y la turbulencia menor por lo que aumenta la producción de energía eléctrica. Por ello, es importante definir una altura óptima. Los fabricantes aconsejan que la altura de la torre sea igual al diámetro del rotor. Siguiendo este criterio, las torres a utilizar son de 16 m de altura.

En cuanto a los sistemas de anclaje y sujeción, suelen estar especificados en los manuales de los aerogeneradores aportados por los fabricantes.

5. Estudio económico

En este apartado se lleva a cabo un estudio económico de las alternativas seleccionadas. Se estiman los costes de instalación y explotación y se calcula el ahorro en gas natural y energía eléctrica que supone la implantación de estas alternativas. Además, se calcula el “Pay-Back” o “tiempo de recuperación”, que indica el tiempo que tardará en amortizarse la inversión, junto con el VAN y el TIR que permiten analizar su rentabilidad.

5.1. Sistema actual

Como ya se ha mencionado, el sistema actual de abastecimiento de energía térmica (calefacción y ACS) es un conjunto de calderas de gas natural y la demanda eléctrica se abastece a través del sistema eléctrico nacional. Como se ha expuesto previamente, los precios son muy elevados y suponen un gran coste para la residencia.

5.2. Sistema nuevo

5.2.1. Inversión Inicial

Biomasa

Será necesaria una gran inversión inicial en esta instalación que incluye la caldera, depósito de almacenamiento de agua, sistema de suministro de aire, sistema de tratamiento de humos, bombas de agua de alimentación, etc. En la siguiente tabla se hace un desglose de los costes más significativos.

Producto	Unidades	Coste Unidad	Coste
Caldera Hergom THT 1200	1	101.535 €	101.535 €
Acumulador inercial Inerox DSCE 5000 ACU	1	7.471 €	7.471 €
Silo subterráneo	1	250.000 €	250.000 €
Otros	--	--	180.000 €
Total			540.000 €

Tabla 6: Precios de los equipos de la instalación de biomasa.

Dentro del coste de construcción del silo subterráneo se incluye la construcción, la evacuación de los restos, los camiones, el revestimiento de las paredes con hormigón, materiales que pueden tener que ser empleados para mantener la calidad del combustible, la mano de obra, etc.

En “Otros” se incluyen la chimenea de humos, filtro de mangas, ciclón, bombas de agua, tuberías, válvulas, sistemas de control, sistemas alimentación de aire y sistemas auxiliares, entre otros.

Geotermia

El coste de una instalación de geotermia es superior a otras instalaciones convencionales debido al elevado coste de los TRT, las pruebas de presión y la perforación de pozos de captaciones, entre otros. Es difícil estimar los costes ya que se trata de un tipo de energía que está aún en estudio.

Producto	Unidades	Coste Unidad	Coste
Bomba de calor Ecodan Power + Geotérmica CRHV-P600YA-HPB	1	24.000 €	24.000 €
Sonda vertical Ferroterm PE-100	2	850 €	1.700 €
Tubos inyección relleno Ferroterm PE-100	2	129,8 €	259,6 €
Tubos para conexiones Ferroterm PE-100	2	324 €	648 €
Etilenglicol	--	10 €/ L	1.225 €
Sistema Multisplit Mitsubshi Electric modelo PEAD-RP + obra	5	1.000 €	25.000 €
Obra	--	--	250.000 €
Total			302.832 €

Tabla 7: Precios de los equipos de la instalación geotérmica.

Eólica

Para estimar el coste de instalación de los parques eólicos a gran escala se utilizan ratios en donde se establece un coste por potencia instalada. Dentro de este se incluyen los aerogeneradores, obras, soportes, montaje y todas operaciones que implica su instalación. Se ha utilizado este mismo método para estimar el coste de la instalación en la residencia con una relación de 3.000 €/kW

$$3.000 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * (3 * 70 \text{ KW}) = 630.000 \text{ €}$$

Costes Totales Instalación	1.475.000 €
-----------------------------------	--------------------

Tabla 8: Coste total de las tres instalaciones.

5.2.2. Costes de Explotación

Biomasa

En relación con los costes anuales hay que considerar el gasto que implica el uso de astillas para la combustión, así como los costes de operación y mantenimiento que se consideran posteriormente.

	Unidades	Coste Unidad	Coste Anual
Astillas	1.800 toneladas	100 €/ tonelada	180.000 €

Tabla 9: Costes de explotación de la instalación de biomasa.

Geotermia

En el caso de abastecimiento térmico por medio de un sistema de geotermia el gasto anual está asociado a la energía eléctrica requerida por la bomba de calor. Teniendo en cuenta el COP de la bomba escogida:

$$COP = \frac{Q}{\omega} \quad \omega = \frac{60}{4,23} = 14,2 \text{ kW}$$

Se ha establecido que el tiempo de funcionamiento de esta instalación es de 800 h/año de manera que la energía requerida es de 14,2 kW*800 h/año= 11.360 kWh/año.

	Unidades	Coste Unidad	Coste Anual
Electricidad	11.360 kWh/año	0,3014 €/KWh	3.424€

Tabla 10: Costes de explotación anuales de la instalación geotérmica.

Eólica

Estos sistemas operan de forma autónoma sin requerir durante largo periodos de tiempo ningún tipo de intervención salvo en momentos puntuales. Se suelen llevar a cabo inspecciones básicas trimestral o semestralmente y una vez a año se realiza un programa de mantenimiento preventivo. El mantenimiento anual incluye la verificación e inspección de todos los elementos: palas, tornillos, sistema de anclaje, conexiones, sistemas de seguridad, etc.

Operación y mantenimiento

Se dispondrá de 5 operarios de formación profesional eléctrico- mecánicos cuyo trabajo consiste en supervisar las instalaciones, la recogida de las cenizas de la combustión, el control y ajuste de aire y combustible requerido por el quemador, la comprobación de los sistemas de control, etc. Además, habrá que contratar un Ingeniero de grado para supervisar todas las operaciones.

Dado que no se dispone de información acerca de los sueldos en Dinamarca, se han extrapolado los de España. Se estima que el ingeniero de grado podría tener un sueldo bruto de 90.000 €/año y cada F.P de 65.000 €/año. Pueden parecer cifras muy altas pero el nivel de vida en Dinamarca es considerablemente más caro.

Por otro lado, los distintos tipos de mantenimiento que se llevan a cabo en las instalaciones supondrán anualmente un coste próximo al 3 % de la inversión inicial.

Gasto Total

Recopilación de los costes anteriores:

Ingeniero de grado	90.000 €/año
5 F.P eléctrico-mecánicos	5*65.000 €/año= 325.000 €/año
Mantenimiento	0,03* 1.475.000 €= 44.250 €/año
Astillas	180.000 €/año
Electricidad	3.424 €/año
Total	642.674 €/año

Tabla 11: Costes anuales totales.

5.2.3. Análisis de Rentabilidad

La instalación de biomasa y geotermia suponen una disminución en el consumo de gas natural y la instalación eólica reduce la energía eléctrica que tiene que ser suministrada por la red eléctrica general.

Para estimar el ahorro que suponen las nuevas instalaciones, se calcula el coste que supondría generar mediante el sistema de abastecimiento actual la misma cantidad de energía térmica y eléctrica que son capaces de producir los nuevos equipos.

Teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera de gas natural que es próximo a 0,9, la potencia instalada con la bomba de calor y la caldera de biomasa y el tiempo equivalente anual de funcionamiento:

Biomasa:

$$1.200kW * 5.000 \frac{h}{año} * \frac{1}{0,9} = 6.666.667 \frac{kWh}{año} * 0,086 \frac{€}{kWh} = 573.333 \frac{€}{año}$$

Geotermia:

$$60kW * 800 \frac{h}{año} * \frac{1}{0,9} = 53.333 \frac{kWh}{año} * 0,086 \frac{€}{kWh} = 4.587 \frac{€}{año}$$

En cuanto a la instalación eólica, se calcula lo que costaría obtener de la red eléctrica general la electricidad que genera el conjunto de los aerogeneradores.

$$687.540 \frac{kWh}{año} * 0,3014 \frac{€}{kWh} = 207.225 \frac{€}{año}$$

En la siguiente tabla se recogen los gastos de inversión y explotación y el ahorro.

	Inversión	Ahorro anual	Gasto anual
Biomasa	540.000 €	573.333 €	180.000 €
Geotermia	302.832 €	4.587 €	3.424 €
Eólica	630.000 €	207.225 €	--
Operación y Mantenimiento	--	--	459.250 €
Total	1.475.000 €	785.145 €	642.674 €

Tabla 12: Gastos de inversión y explotación y ahorro anuales.

El "Pay-Back" o TRS (Tiempo de retorno simple) bruto es:

$$Pay - Back = \frac{Inversión}{Beneficio Anual} = \frac{1.475.000 €}{142.471 \frac{€}{año}} = 10,4 \text{ años.}$$

Hay que tener en cuenta que la inversión se amortizará en menos tiempo ya que el uso de energías renovables es subvencionado a fondo perdido por los gobiernos. En España las subvenciones suelen rondar el 25 % de la inversión inicial total y, además, se debe aplicar una desgravación fiscal próxima al 30 %.

Estas ayudas dependen de la normativa fiscal por lo que para conocer el "Pay-Back" neto o real habría que consultar las ayudas que se conceden en Dinamarca.

De la Tabla 12 se puede concluir que la instalación de biomasa y la eólica generan grandes beneficios anuales por lo que se amortizan en poco tiempo mientras que la energía geotérmica conlleva una obra civil importante que hace que este tiempo de recuperación del capital se incremente.

Otras herramientas financieras que se usan habitualmente para conocer si es viable la inversión es un determinado proyecto son el VAN y el TIR. Para el cálculo del VAN es necesario conocer la inversión y el BNA (Beneficio Neto Actualizado) o flujo de caja que tiene la empresa. Éste último valor se calcula a partir de los beneficios obtenidos a lo largo de los años y la tasa de descuento, con la que se refleja el valor actual de un pago futuro.

Para calcularlos se estima que el “Cash Flow”, o beneficio obtenido, aumenta en un 1,5 % cada año debido al aumento del precio de la electricidad y del gas natural con el paso del tiempo. Por otro lado, se utiliza una tasa de descuento del 1% y se establece un periodo para rentabilizar la inversión de 25 años.

Los valores se calculan a partir de las siguientes fórmulas:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t}$$

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+TIR)^t}$$

Q_t : flujo de caja en el año t

k : tasa de descuento

n : número de años

I : inversión inicial

Y los resultados obtenidos haciendo uso del programa Microsoft Excel son los siguientes:

$$VAN = 2.269.178 \text{ €}$$

$$TIR = 10 \%$$

El hecho de que el valor del VAN sea positivo indica que el proyecto generará un beneficio por encima de la tasa mínima exigida, es decir, el proyecto va a generar una ganancia adicional.

El TIR es la tasa de descuento “k” máxima que puede tener un proyecto para que sea rentable y es aquel que hace que la inversión sea igual al BNA. Como el valor está muy por encima de la tasa aplicada, se puede concluir que es un proyecto rentable.

6. Cronograma

Se utiliza un diagrama de Gantt como herramienta para modelar la planificación de las actividades necesarias en la realización del proyecto descrito. Se trata de una representación gráfica que da una visión aproximada acerca del progreso de este.

Se propone el inicio del proyecto en marzo de 2019. Las labores de Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle se estima que podrían prolongarse a un año. Se trata de una etapa que juega un papel fundamental ya que define los pilares en que se basarán las siguientes actividades. En ella se determinan detalladamente las especificaciones técnicas de los equipos: caldera de biomasa, silo de almacenamiento subterráneo, bomba de calor, sondeo geotérmico, aerogeneradores, etc. y se estudian las características del emplazamiento para concretar su ubicación física.

Simultáneamente, se procede a la adquisición de los equipos necesarios. El plazo de entrega de la caldera de biomasa es largo y puede extenderse a nueve meses.

Al mismo tiempo se inicia la obra civil que se centra principalmente en la instalación geotérmica previamente descrita. Se trata de la obra que más tiempo necesita debido al test de respuesta térmica previo y a la profundidad de la excavación. Dentro de la obra civil también se incluye la excavación del silo subterráneo para el almacenamiento de astillas, la construcción del edificio auxiliar donde se ubica la caldera de biomasa, la cimentación de las torres de los aerogeneradores y otras operaciones de menor relevancia.

A medida que terminan las operaciones relativas a la obra civil y se dispone de los equipos, comienza el montaje mecánico de los mismos y el montaje eléctrico y de sistemas de control.

Para finalizar, se lleva a cabo la puesta en marcha de los equipos que consiste en una serie de pruebas previas para realizar los ajustes que se consideren convenientes.

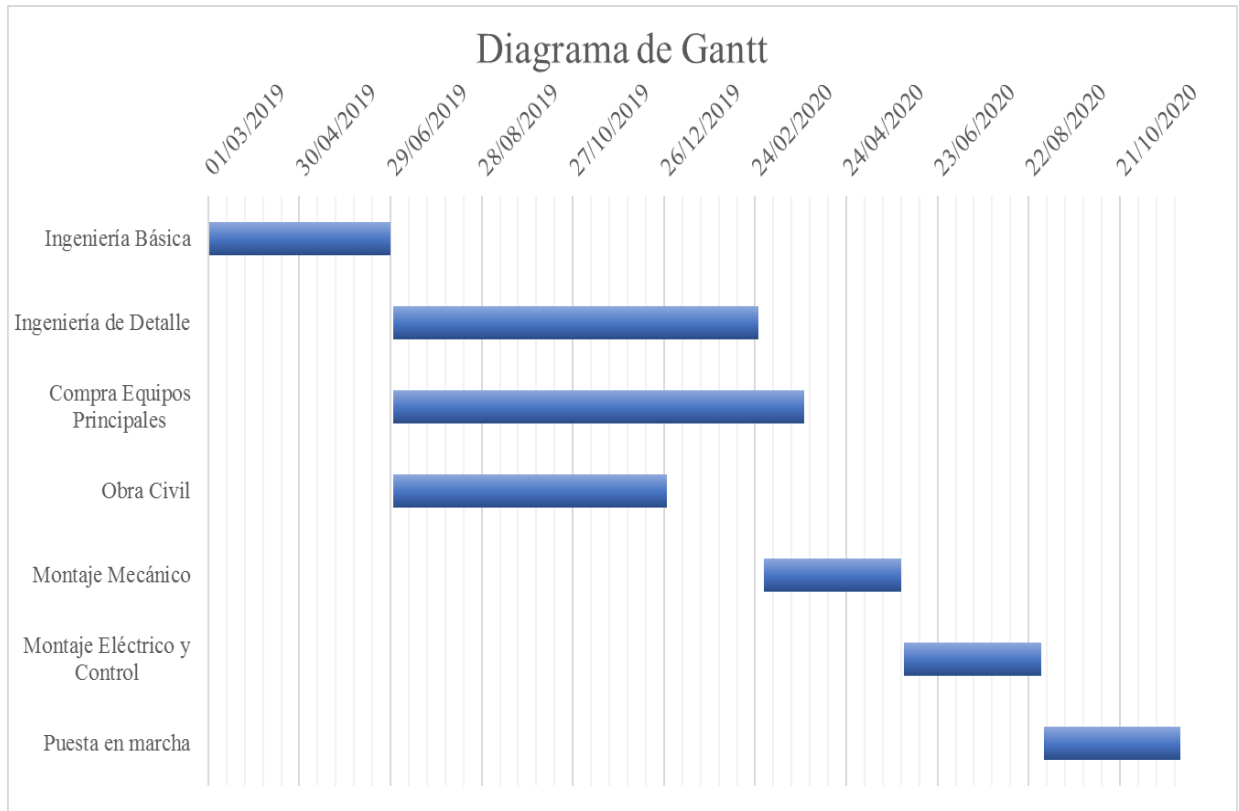


Ilustración 24: Diagrama de Gantt.

7. Conclusión

Dinamarca es un modelo a seguir cuando se trata de luchar contra el cambio climático y la evidencia más clara es que a nivel nacional se apuesta por la autosuficiencia energética a través de energías limpias para el año 2050.

Además de las nuevas construcciones ‘‘verdes’’ que generan un mínimo impacto sobre el planeta, es importante sustituir los sistemas de abastecimiento convencionales instalados en viviendas y construcciones antiguas para conseguir así una mayor eficiencia energética y contribuir al cuidado del medio ambiente.

Por esta razón y debido al desarrollo de las energías renovables en Dinamarca, se considera que Borglum Kollegiet es el lugar idóneo para la mejora propuesta.

La sustitución del sistema de gas natural para el suministro de calefacción y ACS por una caldera de biomasa respaldada por una instalación geotérmica es la mejor solución para la residencia. Tanto la energía obtenida de la biomasa como la geotérmica tienen la gran ventaja de no estar condicionadas por el clima exterior, de manera que se garantiza el suministro energético en cualquier situación adversa.

En cuanto a la parte económica del proyecto, cabe destacar que el elevado precio del gas natural hace que la inversión en la instalación de biomasa se amortice en muy poco tiempo. Sin embargo, la obra civil necesaria para el sistema de captación geotérmica tiene un alto coste. Aun así, se considera que es un proyecto económicamente viable que se amortizaría en un periodo máximo de 10 años.

Por otro lado, la instalación de tres aerogeneradores deja el camino abierto para que en un futuro la residencia se autoabastezca de electricidad lo que generaría grandes beneficios económicos.

Por último, es importante hacer hincapié en que el objetivo principal del proyecto es la mitigación del cambio climático y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual se consigue indudablemente con la nueva instalación.

Fuentes de información

- Danish Energy Agency. The Danish Energy Model.
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/the_danish_energy_model.pdf
- Eco inteligencia. La apuesta 20/20/20 para 2020.
<https://www.ecointeligencia.com/2011/03/la-apuesta-202020-para-2020/>
- Google Maps. Localización de la residencia Borglum Kollegiet.
<https://www.google.es/maps>
- Wordpress weblog. Plano de la residencia Borglum Kollegiet.
<https://adg5.wordpress.com/2010/04/28/ark-uge-4-cases/>
- Baxi CPA-BT. Instrucciones de Instalación, Montaje y Funcionamiento para el instalador. <https://www.baxi.es/-/media/inriver/8417-1086.pdf>
- Arturo Romero Salvador (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles.
<http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Hargassner. Generación de electricidad y calor con biomasa.
<https://www.hargassner.es/2016/07/11/generacion-de-electricidad-y-calor-con-biomasa/>
- Ensolnor. Energías Renovables y Eficiencia Energética.
<http://www.ensolnor.com/servicios/energias-renovables/biomasa/>
- Apuntes de la asignatura Energías Alternativas de cuarto curso del grado en Ingeniería de Tecnología Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.
- Solvento. Esquema de funcionamiento de instalación Geotérmica.
<http://solvento.es/servicios/energia-geotermia-madrid/>
- Hitachi Heat Pump News.
<http://www.hitachiheatpumps.co.nz/news/articles/what-is-a-heat-pump/>
- Energías Renovables. Energía Geotérmica: ventajas y desventajas.
<http://www.energiasrenovablesinfo.com/geotermica/energia-geotermica-ventajas-desventajas/>

- Fuentes de Energía Renovables (2018). Energía Solar Térmica.
<https://www.fuentesdeenergiarenovables.com/energia-solar/energia-solar-termica/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Manuales de Energías Renovables: Energía Solar Térmica.
http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.pdf
- Jaime Moragues y Alfredo Rapallini. Instituto Argentino de la Energía ‘‘General Mosconi’’(2003). Energía Eólica. <http://menteocupada.com/energia/energia-energia-eolica-instituto-argentino.pdf>
- Acciona. Energía Eólica. <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>
- Energías Renovables. Energía Eólica: ventajas e inconvenientes.
<http://www.energiasrenovablesinfo.com/eolica/energia-eolica-ventajas-inconvenientes/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Guía sobre Tecnología Minieólica. <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-minieolica-fenercom-2012.pdf>
- Soliclima. Energía solar. La instalación fotovoltaica autónoma: en qué consiste.
<https://news.soliclima.com/divulgacion/solar-fotovoltaica/la-instalacion-fotovoltaica-autonoma-en-que-consiste>
- Solar Energy Base. How does solar energy work?.
<https://www.solarenergybase.com/how-does-solar-energy-work/>
- Daniel Barberá Santos. Introducción a la Energía Fotovoltaica.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
- Hergom Alternative. Calderas de biomasa para calefacción. Serie THT. Manual de uso y mantenimiento. Dimensiones y características técnicas.
<http://www.hergomalternative.com/productos/10-serie-tht>
- Inerox. Catálogo de productos (2017). Acumulador Inercial Gama ‘‘DSCE ACU’’, Referencia: DSCE 5000 ACU. <http://inerox.com/Catalogo-Inerox-Industries.pdf>

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Energías Renovables. Guía Técnica: Instalaciones de biomasa térmica en edificios. http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Gu%C3%ADa_Instalaciones_Biomasa.pdf
- Mitsubishi Electric España. Ecodan Industrial. Ecodan power+ Geotérmica. <https://www.mitsubishielectric.es/aire-acondicionado//productos/ecodan-power-plus-geotermica>
- Mitsubishi Electric Tarifa (2018). <https://www.mitsubishielectric.es/aire-acondicionado/content/tarifa-mini-2018/6/>
- Ferroplast. Sistema de geotermia:Ferroterm. http://www.ferroplast.es/pdf/geotermia/Cat_Tec_Sistema_Geotermia_FERROT_ERM.pdf
- Ferroplast. Sistema de geotermia: Ferroterm. Tarifa. http://www.ferroplast.es/pdf/10_Sist_Geotermia_Ferroterm.pdf
- Sondas Geotérmicas. Longitud de tubería de sondas. <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45861/Flament.pdf?sequence=1>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Eficiencia y ahorro energético. Guía Técnica: Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado. [file:///C:/Users/manue/Downloads/documentos 14 Guia tecnica diseo de sistemas de intercambio geotermico de circuito cerrado_1a7cff37.pdf](file:///C:/Users/manue/Downloads/documentos%2014%20Guia%20tecnica%20dise%C3%B1o%20de%20sistemas%20de%20intercambio%20geotermico%20de%20circuito%20cerrado_1a7cff37.pdf)
- Enair. Aerogenerador Enair 800. Datos Técnicos. <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e800>
- Meteoblue. Climate Aarhus. Estadísticas de viento. https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/aarhus_denmark_2624652
- Danish Wind Industry Association. <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/turb.htm>
- Statista. The Statistics Portal. Natural gas prices for households in Denmark from 2010 to 2016. <https://www.statista.com/statistics/418005/natural-gas-prices-for-households-in-denmark/>
- Aahus- Capital of Wind Energy. https://www.windpower.org/download/854/vindmoellerapport_webpdf
- Statista. The Statistics Portal. Electricity prices for households in Denmark from 2010 to 2017. <https://www.statista.com/statistics/418075/electricity-prices-for-households-in-denmark/>

Anexo I: Hojas de características técnicas

Acumulador inercial referencia DSCE 5000 ACU

ACUMULADORES GAMA "DSCE ACU"

Acumuladores de Agua Caliente Sanitaria, fabricados en acero al carbono S235JR con recubrimiento sanitario apto para ACS

- Construido en Acero al carbono S235JR. Con pintado de protección exterior anticorrosión
- Recubrimiento interno apto ACS tecnología "Blue Tech"
- Aislados en 80 mm. de lana mineral de alto poder de aislamiento
- Revestimiento exterior en chapa de aluminio o Lona (consultar)
- Brida de inspección de gran tamaño para facilitar acceso a mantenimiento (DN450/530)

Depósito para la acumulación de Agua Caliente Sanitaria, con recubrimiento interno apto ACS tecnología "Blue Tech"

completo aislamiento de alta densidad.

Revestimiento chapa de Aluminio de 0,8 mm.

Ánodo de magnesio para la protección contra corrientes galvánicas

Brida de inspección de gran tamaño para facilitar acceso a mantenimiento (DN450/530)



VISTA FRONTAL



LEYENDA

- C Entrada de agua Sanitaria - (M)
- D Salida ACS Consumo - (M)
- E Recirculación ACS - (M)
- F Desagüe 1 1/2" - (M)
- G Purgador de aire 3/4" - (M)
- H Ánodo de magnesio 3/4" - (H)
- I Termómetro 3/4" - (M)
- J Boca de inspección DN450/530
- K Sonda de control 3/4" - (M)

* (M) Rosca "GAS" macho
(H) Rosca "GAS" Hembra

 85°C  8 bar

REFERENCIA	CAPACIDAD (litros)	DIMENSIONES (mm)		CONEXIONES (pulgadas)			PESO (Kg)	PNP (€)
		A	B	C	D	E		
DSCE 0750 ACU	750	1675	1090	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	185	2.175
DSCE 1000 ACU	1000	2175	1090	2"	2"	2"	230	3.042
DSCE 1500 ACU	1500	2210	1280	2"	2"	2"	285	3.528
DSCE 2000 ACU	2000	2225	1400	2"	2"	2"	335	4.089
DSCE 2500 ACU	2500	2275	1550	2"	2"	2"	470	4.735
DSCE 3000 ACU	3000	2475	1550	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	570	5.360
DSCE 4000 ACU	4000	2320	1860	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	770	6.567
DSCE 5000 ACU	5000	2620	1880	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	870	7.471

* Las fotografías pueden no corresponder al modelo referenciado.
 * Consultar siempre medidas antes de efectuar el pedido. INEROX INDUSTRIES S.L. se reserva el derecho a modificar cualquiera de estos datos por mejoras técnicas o de producción sin previo aviso.

Calle Pau Claris 162, 4º 1ª - 08037 Barcelona - 93 176 00 09 - <http://www.inerox.com> - info@inerox.com
08 / 09

Bomba de calor Ecodan Power + Geotérmica CRHV-P600YA-HPB

Ecodan Power+ Geotérmica : datos técnicos

Unidad exterior			CRHV-P600YA-HPB
Capacidad	B:0°C; W:35°C	[kW]	60,0
		[kW]	45,0
COP	B:0°C; W:35°C	[kW]	4.23
		[kW]	4.41
Eficiencia estacional	Baja T ^a (W:35°C)	[%]	153% (A++) / 149%
	Media T ^a (W:55°C)	[%]	127% (A++) / 123%
Rangos de T ^a	Fuente de calor (entrada)	[°C]	< +45
	Circuito hidráulico (mín/máx)	[°C]	+30 / +65
Ø tuberías	Circ. de calefacción (Imp-Ret)	[pul]	2 - 2
	Fuente de calor (Entrada-Salida)	[pul]	2 - 2
Alimentación eléctrica			3 Fases / 400V / 50Hz
Dimensiones	an x al x fon	[mm]	934 x 1.561 x 780
Gas refrigerante	Tipo x carga original		R410A x 4,5kg x 2
Caloportador en fuente de calor			Etilenglicol 35%
		[m ³ /h]	4,5 - 16,0

Tubos inyección relleno Ferroterm PE-100

04.2 Tubos de inyección

Tubo de polietileno de alta densidad **PE-100** según las exigencias y criterios de la norma **UNE EN 12201**, con una resistencia nominal a presión interna de **12,5 bar en Ø 25** y de **10 bar en Ø 32**, para la **inyección de material de relleno** en pozos de captación geotérmica vertical.

TUBO DE INYECCIÓN PE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso (Kg)	
246020	1	25	2,0	80	12	
246021	1	25	2,0	100	15	
246022	1	25	2,0	125	19	
246023	1	25	2,0	150	23	
246024	1	32	2,0	80	15	
246025	1	32	2,0	100	19	
246026	1	32	2,0	125	24	
246027	1	32	2,0	150	29	

Sonda vertical Ferroterm PE-100

04.1 Sistemas de captación

SONDAS VERTICALES



Fabricadas en polietileno de alta densidad **PE-100** según las exigencias y criterios de la norma **UNE EN 12201**, con una resistencia nominal a presión interna de **16 bar**.

Llevan un marcaje en rojo y otro en azul para diferenciar idas y retornos, y tapones en los mismos colores para proteger el interior de las tuberías.

Poseen un **excelente coeficiente de conductividad térmica** y una **elevada resistencia a los impactos y arañazos** que se puedan producir al introducir las en las perforaciones.

El pie de sonda está formado por una pieza en U de PE-100, con presión nominal 16 bar, electrosoldable, cuya soldadura es realizada y testada en fábrica.


Se suministran en rollos de sondas simples (2 tubos de Ø 40) o dobles (4 tubos de Ø 32 o 40). En el caso de las sondas dobles se incluye un tornillo para la unión de las U.

SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 SIMPLE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)	
246001	2	40	3,7	80	68	
246002	2	40	3,7	100	84	
246003	2	40	3,7	125	105	
246004	2	40	3,7	150	126	
SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 DOBLE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)	
246005	4	32	2,9	80	87	
246006	4	32	2,9	100	109	
246007	4	32	2,9	125	136	
246008	4	32	2,9	150	163	
246009	4	40	3,7	80	136	
246010	4	40	3,7	100	168	
246011	4	40	3,7	125	210	
246012	4	40	3,7	150	252	

Tubos para conexiones Ferroterm PE-100

04.3 Tubos para conexiones

Tubo de polietileno de alta densidad **PE-100** según las exigencias y criterios de la norma **UNE EN 12201**, con una resistencia nominal a presión interna de **16 bar**, para la **realización de conexiones** entre los elementos de la instalación.

TUBO PARA CONEXIONES PE-100						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso (Kg)	
246028	1	40	3,7	100	44	
246029	1	50	4,6	100	67	
246030	1	63	5,8	50	53	

Aerogenerador Enair 800 70 kW



AEROGENERADOR ENAIR 800

[OVERVIEW](#) [DATOS TÉCNICOS](#) [APLICACIONES](#) [CARACTERÍSTICAS](#) [INSTALACIONES](#)

DATOS TÉCNICOS

Desglose técnico de la serie Enair 800 punto por punto

	Características	Tipo de valores
GENERADOR	Potencia	70kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal, sotavento
	Potencia Nominal	60kW
	Clase de viento	CLASS III / IEC 61400-2 / NVN I - A
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad nominal de rotación	60rpm
	Inicio de Rotación	1,85m/s
	Corte de producción	25m/s
	Protección	IP65 / alta protección ambiental
	Peso	4.900Kg
Orientación	Orientación aerodinámica	
ROTOR	Diámetro	15,9m
	Área de barrido	< 200m ²
	Longitud de Pala	7,4m
	Material de la pala	Fibra de vidrio, resina flex con esqueleto interior de fibra de carbono
	Tipo de control	Paso variable activo, regulación electrónica y freno
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno hidráulico de seguridad
	Control electrónico de:	Velocidad de Viento <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Frecuencia • Voltaje • Fallo en la red • Fallo de Sensores
CONTROL DE LA TURBINA	Sistema Electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
	Software	Software personalizado. Pantalla general de datos (opc.)
INVERSOR	Inversor solar	Compatible con inversores solares de tensión constante a 500V

Anexo II: Cálculos

Extrapolación de la curva de potencia del aerogenerador Enair 70

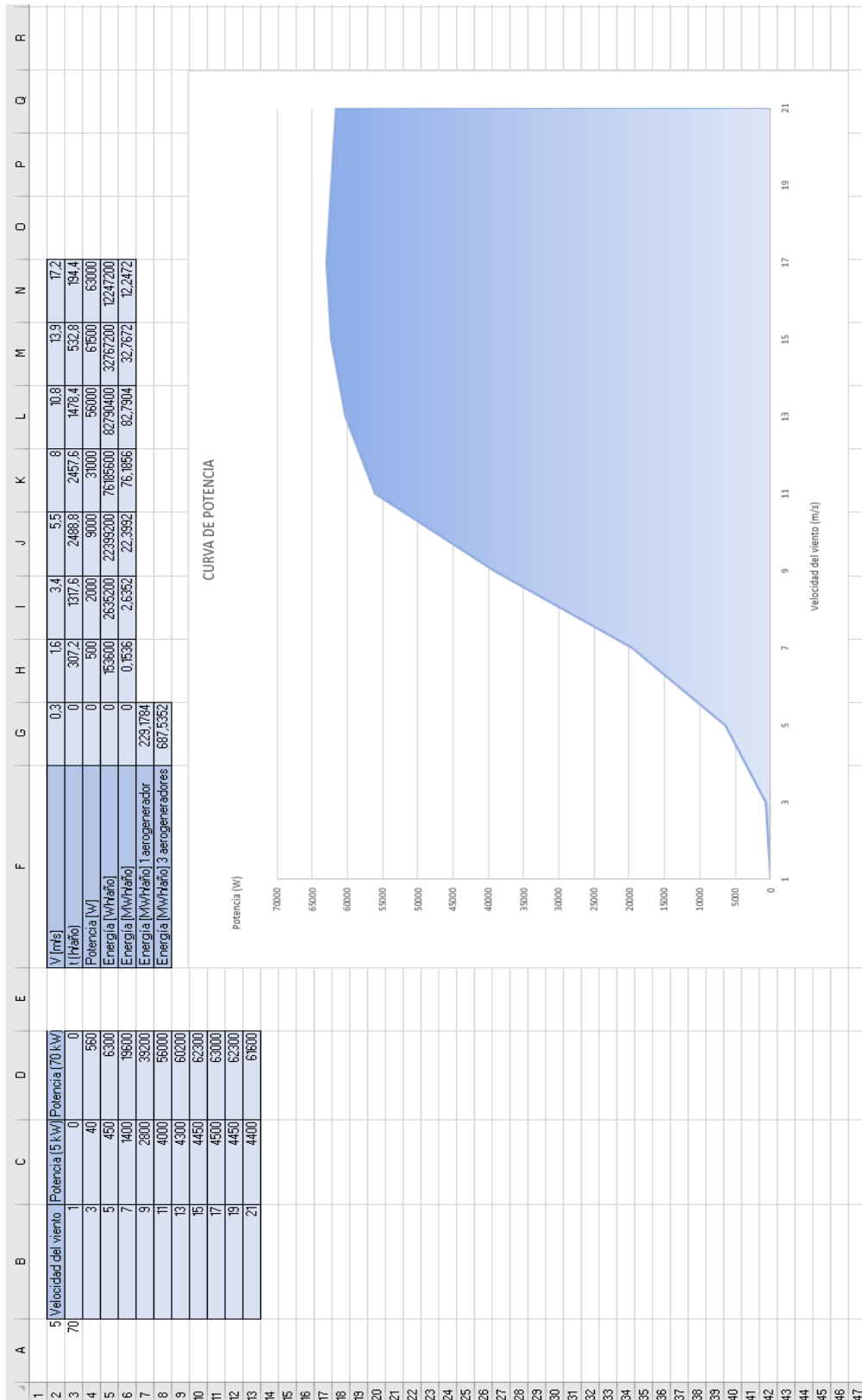
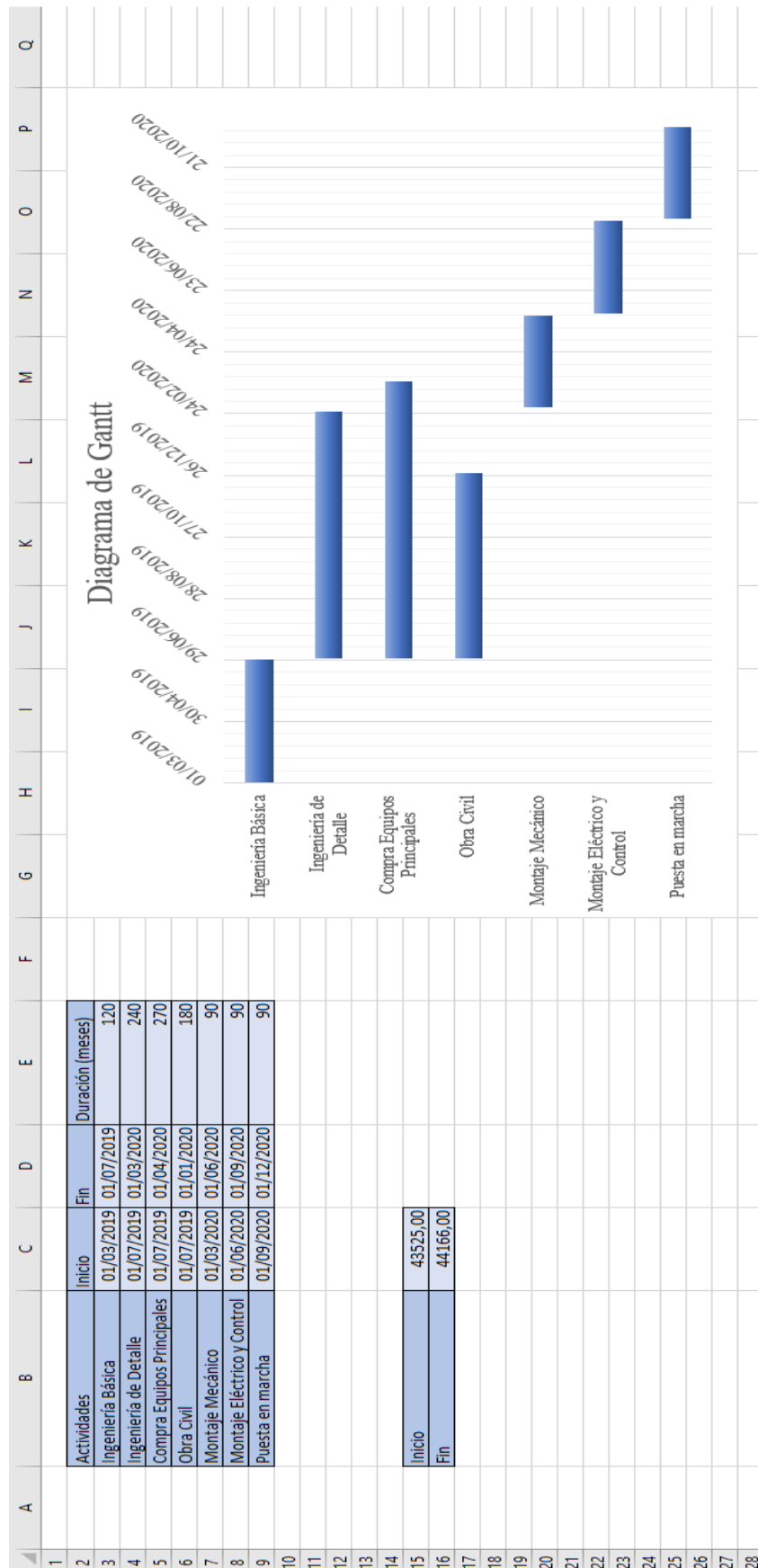


Diagrama de Gantt



VAN y TIR

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
	Año		0	1	2	3	4	5	6	7		
	Qt		-1475000	142471	144608,065	146777,186	148978,844	151213,526	153481,729	155783,955		
	Año		8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Qt		158120,7146	160492,525	162899,913	165343,412	167823,563	170340,917	172896,03	175489,471	178121,813	
	Año		17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Qt		180793,64	183505,545	186258,128	189052	191887,78	194766,096	197687,588	200652,902	203662,695	
	a [%]		1.5									
	k [%]		1%									
	I		1475000									
	t [años]		25									
	VNA		2.269.177,76 €									
	TIR		10%									