

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA Y
ELÉCTRICA A LA ESCUELA PÚBLICA DE IURRETA
MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES***

Alumno/Alumna: Sanchez Arrizabalaga, Ainhoa

Director/Directora: de la Peña Aranguren, Víctor

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 25/06/2019

Índice

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS Y ALCANCES	8
3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	9
4. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE CONSUMO.....	11
5. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL	13
6. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACUAL DE LA ENERGÍA CONSUMIDA	15
7. ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE EE.RR. ALTERNATIVAS.....	16
7.1. Biomasa	17
7.2 Minieólica	18
7.3 Solar térmica.....	19
7.4 Solar fotovoltaica.....	21
7.5 Geotermica.....	22
8. ALTERNATIVAS SELECCIONADAS	24
8.1 Instalación para el suministro de energía eléctrica.....	24
8.2 Instalación para el suministro de energía térmica	27
9. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	28
9.1 Instalación minieólica	29
9.1.1 El recurso eólico	29
9.1.2 Descripción de la instalación.....	31
9.1.3 Diseño y dimensionamiento del aerogenerador	33
9.2 Instalación solar fotovoltaica.....	37
9.2.1 Descripción de la instalación.....	37
9.2.2 Dimensionamiento de la instalación.....	39
9.4 Conexión de la instalación híbrida eólica-fotovoltaica	41
9.3 Instalación geotérmica	43
9.3.1 Descripción de la instalación.....	43
9.3.2 Dimensionamiento de la instalación.....	48
10. ESTUDIO ECONÓMICO	49
10.1. Gasto actual.....	49
10.2. Inversión inicial	50

10.3. Costes de operación y mantenimiento.....	51
10.4. Ahorro y amortización	52
11. CRONOGRAMA.....	53
12. REFERENCIAS.....	55
Índice de figuras.....	57
Índice de tablas	58
ANEXO 1:.....	59
ANEXO 2	62
ANEXO 3.....	63
ANEXO 4.....	64

RESUMEN

Las grandes emisiones de CO₂ contribuyen al efecto invernadero y así al cambio climático. Esto se ha convertido en uno de los grandes problemas de la actualidad y ha impulsado el desarrollo de tecnologías limpias, sostenibles y que apenas producen contaminación.

En este proyecto se describe el abastecimiento de energía actual a la escuela pública Maiztegi de Iurreta y se buscan nuevas alternativas sostenibles que reduzcan las emisiones de CO₂. Para ello, se analizan las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas renovables para el tipo de emplazamiento en el que se sitúa la escuela. Se opta por tres de las opciones más viables y se dimensionan los equipos y elementos necesarios para llevar a cabo la construcción de las instalaciones.

Finalmente, se hace un estudio económico para conocer el tiempo en el que se amortiza la inversión y el beneficio anual obtenido. También, se realiza un diagrama de Gantt donde se percibe la duración del proyecto en tiempo real.

ABSTRACT

Large CO₂ emissions contribute to the greenhouse effect and therefore to the climate change. This is one of the most important problems at the moment and has boosted the development of clean and sustainable technologies of free contamination.

In this project is described the actual energy supplying system at the public school Maiztegi of Iurreta and are found new sustainable alternatives to reduce CO₂ emissions. For it, advantages and disadvantages of the different renewable alternatives are analysed for the type of location in which the school is situated. Three of the most viable options are chosen and the required equipment and elements for the construction of the systems are dimensioned.

Finally, an economic study is done where the amortization time of the investment and the annual economic benefits are calculated. A Gantt diagram, also, shows real time in which the project will be finished.

LABURPENA

CO₂ isurpen handiek negutegi efektua eragiten dute eta ondoriozko klima aldaketa. Hau, gaur egungo arazo larrienetako batean bihurtu da eta teknologia garbi, jasangarri eta kutsadura eragiten ez dutenen garapena ekarri du.

Proiektu honetan, lurretako Maiztegi eskola publikoko gaur egungo energia hornitze sistema deskribatzen da eta CO₂ isurpenak gutxituko dituen sistema alternatibo iraunkorrak bilatzen dira. Horretarako, sistema berriztagarrien abantailen eta desabantailen azterketa egiten da eskolaren kokagunearen arabera. Horietatik hiru bideragarrienak aukeratzen dira eta instalazioak aurrera eramateko beharrezko ekipo eta elementuak dimentsionatzen dira.

Azkenik, azterketa ekonomiko bat burutzen da, inbertsioaren amortizazioa eta urteko irabaziak ezagutzeko. Gantt diagrama bat ere egiten da proiektuaren iraupen erreala ezagutzeko.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta el planeta tierra actualmente es el cambio climático, y es grande la preocupación hacia las consecuencias que puede tener para la vida tal y como se conoce. El principal causante del cambio climático es el calentamiento global producido por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que debido al incremento de la temperatura en unos pocos grados centígrados, está afectando y puede destruir la vida en la Tierra. El cambio climático es un reto global que no tiene fronteras y que para combatirlo requiere del trabajo coordinado por parte de todos los países. Ante este problema, expertos y políticos de todo el mundo intentan ponerse de acuerdo para adoptar medidas que reduzcan las causas y el impacto de este fenómeno.

Con el objetivo de disminuir los GEI responsables del cambio climático, los países industrializados acordaron lo que se denominó “El Protocolo de Kioto”, que fue aprobado en 1997 y tiene como objetivo equilibrar el nivel de concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera de manera que no influya en el clima mundial. En la conferencia de Paris sobre el cambio climático de 2005, 195 países firmaron un plan de acción ante un cambio climático peligroso. La Unión Europea también ha mostrado su preocupación ante este problema estableciendo un plan de acción hasta el año 2050. Su estrategia parte del propósito de conseguir una baja emisión de carbono a la atmosfera, buscando la neutralidad climática junto a una economía próspera, moderna y competitiva. Objetivo éste que se quiere lograr mediante la inversión en nuevas tecnologías compatibles con el cambio climático, en la formación y concienciación de los ciudadanos y en políticas medioambientales. Se quieren conseguir nuevos y mejores puestos de trabajo, una Europa competitiva a nivel económico e industrial y lidiar con otros problemas medioambientales como son la pérdida de la biodiversidad y la mala calidad de aire.

El Gobierno Vasco también está tomando medidas en este sentido, participando y realizando planes de acción para hacer frente al problema. Así, tiene como propósito

disminuir la emisión de GEI en el País Vasco en un 80% para el año 2050, junto con el aumento del uso de fuentes de energía naturales, inagotables y competitivas que cubran el 40% de la energía total consumida.

La implantación de energías renovables va aumentando paulatinamente en función del nivel de concienciación de los ciudadanos y las nuevas políticas medioambientales. Las diputaciones y los ayuntamientos están haciendo más hincapié que nunca en desarrollar las opciones más limpias, óptimas y eficientes a la hora de generar energía. Esto significa un desarrollo de las energías sostenibles en el sector público que junto con la concienciación en el ciudadano se verá reflejado en el sector privado.

El uso de estos sistemas energéticos de cero emisiones de GEI pueden darse desde en los puntos de mayor consumo hasta en los puntos de menor consumo energético, como es el caso de la escuela pública Maiztegi de Iurreta en Bizkaia. Este centro es uno de los edificios públicos dependientes del ayuntamiento de Iurreta con mayor consumo anual de energía eléctrica y térmica, situado en un área de grandes cantidades de emisión de gases de efecto invernadero como es la zona del duranguesado.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES

El proyecto a llevar a cabo parte del objetivo de analizar las diferentes alternativas de fuentes de energía naturales inagotables para dotar a la escuela pública Maiztegi de Iurreta de un suministro de energía eléctrica y térmica con cero emisiones de GEI, sostenible, eficiente y competitiva. De esta forma se pretende contribuir en el cumplimiento de las políticas medioambientales impuestas ante el problema que es el cambio climático y ayudar al ayuntamiento de Iurreta a adoptar el compromiso de desarrollar la implantación de las energías renovables en el sector público. Del mismo modo se quiere aprovechar el beneficio económico que estos innovadores sistemas energéticos traerán ante la subida de precio de los combustibles fósiles.

Para ello, se realizará un estudio previo del consumo de energía y del sistema energético actual en uso del centro a analizar. Tras ese análisis, se valorarán las diferentes alternativas de fuentes energéticas de emisiones no contaminantes teniendo en cuenta la orografía, meteorología y climatología en la que está situado el pueblo de Iurreta. En consecuencia, se elegirán las tres opciones más viables y se procederá al diseño y dimensionamiento de los equipos e instalaciones requeridas. También se hará un estudio que verifique la sostenibilidad económica aparte de la eficiencia energética de los sistemas elegidos. Este proyecto se llevará a cabo en un periodo de tiempo definido siguiendo el planteamiento más adecuado, que se verá reflejado mediante un cronograma.

3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

La escuela pública Maiztegi está situada en Iurreta en la cuenca del río Ibaizabal, en la comarca del duranguesado, provincia de Bizkaia. Ubicada en un amplio valle rodeado de varios montes, es una zona bastante boscosa con colinas de poca altura. Se encuentra en la vertiente atlántica del País Vasco y tiene un clima templado y húmedo, sin estación seca y sin grandes gradientes de temperatura entre verano e invierno.



Ilustración 1. Parte frontal de la escuela Maiztegi

Desde 1985 se imparten clases exclusivamente modelo D de educación infantil y primaria y se organizan actividades extraescolares fuera del horario lectivo. En total el horario de funcionamiento de la escuela es entre las 8:00 y 21:00 horas de lunes a viernes y de 8:00 a 15:00 los sábados con actividades deportivas. Acoge alumnos desde los 2 hasta los 12 años y dispone en la actualidad de un total de 307 alumnos y 53 trabajadores entre profesores y personal de servicios auxiliares.

El edificio a analizar dispone de 3 plantas, con una superficie por planta aproximada de 1.064 m², teniendo planta baja, planta primera y planta segunda. Las instalaciones y recursos se resumen a continuación:

- Despachos de dirección
- Secretaria
- Sala de profesores
- Biblioteca
- Gimnasio
- Vestuarios
- Comedor
- Cocina
- Aula de psicomotricidad
- Aula de orientación
- Aula de pedagogía terapéutica
- Aula de logopedia
- Aula de informática
- Aula de música
- Aulas de diferentes edades y cursos

En total dispone de 60 aulas donde se incluyen el comedor y el gimnasio, la cocina junto a la sala de calderas, vestuarios y aseos. Los planos que reúnen las instalaciones mencionadas se pueden observar en el Anexo 1. Además, contiene un patio exterior cubierto que funciona como frontón, campos deportivos y una zona de esparcimiento

cubierta para cuando llueve, junto a un campo de futbol y pista de baloncesto al aire libre.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE CONSUMO

A continuación, se hará un análisis de la distribución de consumo energético de la escuela, junto con la descripción de los puntos de mayor consumo.

Las diferentes aulas disponen de radiadores de agua caliente donde se consume la mayor parte de energía térmica. Estos radiadores constituyen el sistema de calefacción en todo el edificio. Están distribuidos por las diferentes aulas y el agua caliente no supera los 50°C de temperatura. Tiene un funcionamiento de entre 6 y 16 horas, y se ponen en marcha dos horas antes de la apertura de la escuela para compensar la bajada de temperatura que supone el frio nocturno junto con las pérdidas de calor que se dan a través de las ventanas mal aisladas y las paredes.

La mayor parte del consumo de energía eléctrica se da debido a la iluminación artificial con luminarias distribuidas por toda la escuela. El alumbrado del edificio se basa en diferentes tipos de luminaria, entre estas predominan los equipos fluorescentes clásicos, con otros equipos basados en tecnologías LED, bombillas incandescentes y otras lámparas de bajo consumo.

El suministro actual de energía térmica no cubre la demanda total de calefacción, es decir, no permite establecer una temperatura por encima de los 19°C. Por eso, se hace uso de radiadores eléctricos en las diferentes aulas en los meses de invierno. En total están en funcionamiento 10 radiadores de 2.000 W, durante 6h al día y unos 100 días al año aproximadamente.

Las diferentes aulas de ordenadores y otros equipos puntualmente conectados a la red eléctrica y que son necesarios para llevar a cabo tareas docentes de la actividad normal de la escuela son también otro de los puntos de consumo de electricidad.

Los vestuarios, aseos y cocina hacen uso de agua caliente sanitaria (ACS). Este consumo es muy puntual y se hace mediante bombonas de butano, que no se tendrá en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

El edificio tiene una gran superficie acristalada por la que se da importantes pérdidas de calor mediante los puentes térmicos debido a un aislamiento defectuoso y a holguras en los ajustes de cierre. Por eso se tiene previsto una remodelación y cambio de las ventanas. Aún y así, esto contribuye a un mayor consumo de energía ya que hay que cubrir las pérdidas térmicas a través de ellas.

Durante una auditoría realizada en el año 2011-2012, se analizó la distribución del consumo de energía eléctrica del edificio, dando unos resultados que se pueden apreciar en la Ilustración 2. Para el proyecto actual se supone una distribución de consumo similar, ya que no se han dado cambios relacionados con el consumo y suministro de energía durante los últimos años. Se observa como el mayor consumo de electricidad se da debido al alumbrado, seguido por el circuito fuerza donde se incluyen los radiadores eléctricos y aparatos conectados a la red. Dentro del apartado de climatización aparecen los equipos de bombeo y control de las calderas de calefacción, y bombas de achique del edificio, etc. siendo todo ello una pequeña parte del consumo eléctrico global.

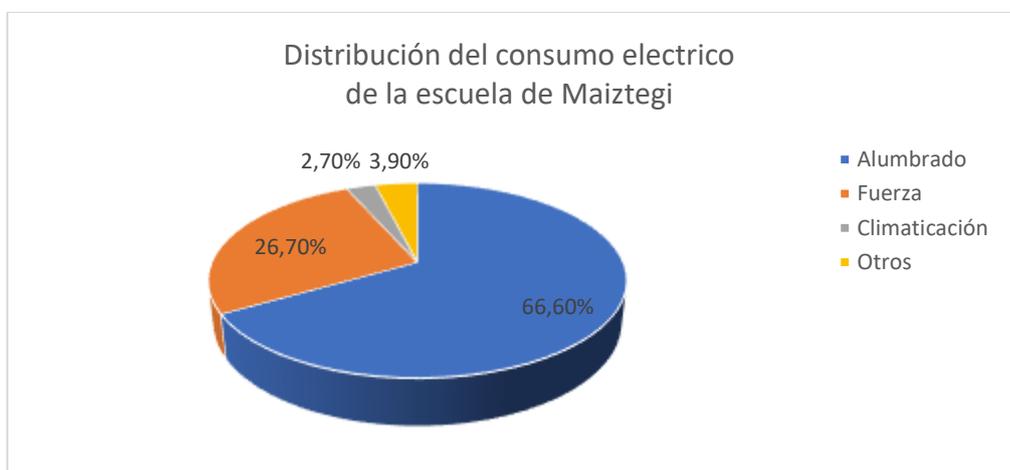


Ilustración 2. Gráfico de la distribución del consumo de energía eléctrica

5. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL

En este apartado se tomarán los datos de consumo correspondientes de la electricidad y recargas de gasóleo del año 2018 del edificio a analizar.

En la actualidad, el edificio objeto de estudio dispone de una instalación de caldera de gasóleo B de calefacción. Para abastecer la demanda de energía térmica de la escuela se han necesitado 15.000L de gasóleo, habiéndose realizado tres recargas en diferentes fechas de 5.000L, 6.000L y 4.000L a lo largo del año. Con estos datos se analizará la energía térmica anual consumida.

Para ello se tiene en cuenta un Poder Calorífico Inferior (PCI) del gasóleo B de 42,469 MJ/Kg con una densidad de 820 kg/m³ y un rendimiento de la caldera del 86,1%. Así concluimos que el consumo de energía térmica total de la calefacción de la escuela es:

$$15.000 \text{ L} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot 820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 42,469 \cdot 10^3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ KJ}} \cdot 0,861 = \mathbf{124.933,181 \text{ kWh}}$$

Por otro lado, el centro educativo tiene un consumo de electricidad que varía a lo largo del año. Tanto en la Tabla 1 como en la Ilustración 3, se observa que en los meses de más frío y con más actividad escolar como son los meses de febrero, marzo y noviembre el consumo sube considerablemente. En cambio, en los meses cálidos de verano en los que la escuela permanece cerrada dicho consumo se reduce. Por eso, el consumo de agosto se mide junto con el de septiembre porque llega a ser muy pequeño.

Sumando los consumos de todos los periodos facturados da un total de **57.537 kWh** de consumo de electricidad en el año 2018, con una media de 5.230,64 kWh por periodo facturado.

Consumo de electricidad 2018		
	Total (kWh)	Coste (€)
16 de enero	2.521	492,78
13 de febrero	7.001	1.173,91
13 de marzo	6.303	1.079,97
17 de abril	5.490	1.049,17
15 de mayo	5.431	992,78
12 de junio	5.712	1.040,2
11 de julio	3.611	790,13
13 de septiembre	3.924	781,01
10 de octubre	4.958	925,25
19 de noviembre	7.535	1.389,66
13 de diciembre	5.051	885,85
Anual	57.537	10.600,71

Tabla 1. Consumo de electricidad anual durante 2018

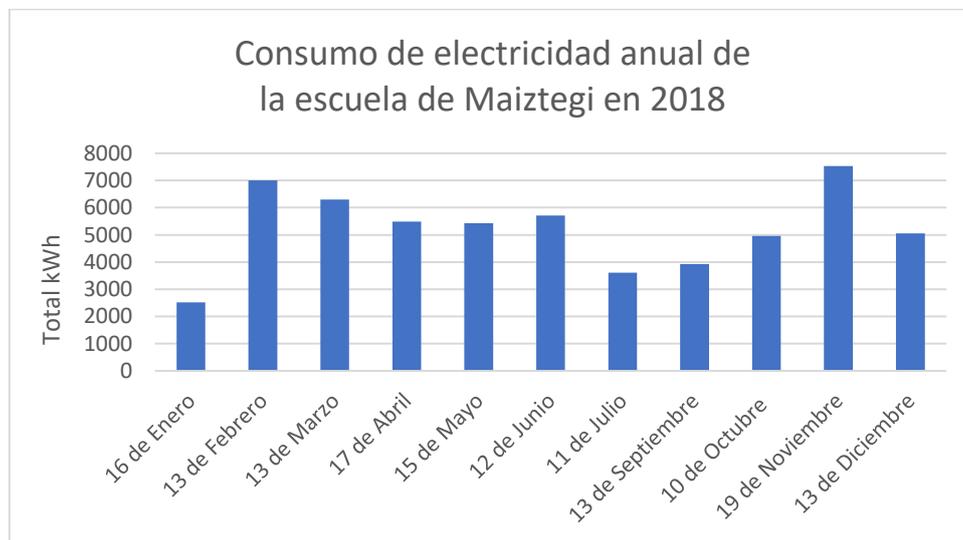


Ilustración 3. Gráfico de la distribución anual del consumo de electricidad mensual en 2018

Teniendo en cuenta ambos consumos de energía, tanto térmica como eléctrica, obtenemos un consumo total de **182.470 kWh**. Siendo la parte térmica un 68,47% y la parte eléctrica un 31,53%.

A continuación, en la Ilustración 4 se muestra el reparto de la energía térmica y eléctrica mencionado.

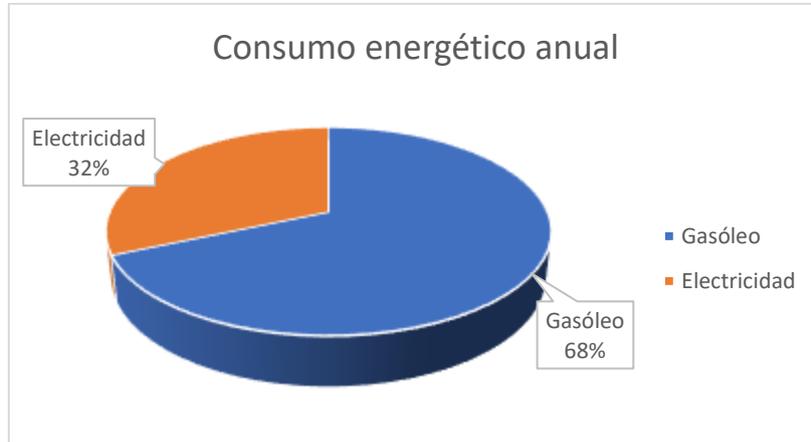


Ilustración 4. Gráfico de la distribución del consumo de energía eléctrica y térmica en 2018

6. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACUAL DE LA ENERGÍA CONSUMIDA

La demanda de energía térmica de la escuela, como anteriormente se ha mencionado, está cubierta mediante una caldera Joannes C28 de gasóleo B. En la Tabla 2 se muestran los datos del fabricante.

Quemador	Joannes C28
Potencia máxima	330 kW
Calor suministrado	275.000 kcal/h
Rendimiento	86,10%

Tabla 2. Datos del fabricante de la caldera actual

El suministro de gasóleo requerido para la calefacción durante el año 2018 se hizo mediante tres recargas de las cantidades y precios que se observan en la Tabla 3.

Tipo de combustible	Gasóleo B para calefacción			Total
Recargas (L)	5.000	6.000	4.000	15.000
Coste (€)	3.236,75	3.796,98	2.492,6	9.526,33
Consumo energético (kWh)				124.933,181

Tabla 3. Datos de facturas de 2018 del gasóleo B

El suministro eléctrico de la escuela de Maiztegi se hace a partir de una acometida a la red de suministro de la empresa Iberdrola con una potencia contratada de 50 kW. De las facturas de electricidad del año 2018 se observa un coste anual de electricidad de **10.600,71 €** (esto se puede ver en la Tabla 1, página 6).

Las emisiones de GEI debido al consumo de gasóleo y electricidad, teniendo en cuenta un número de 307 alumnos y 53 trabajadores, es de 55,82 toneladas de CO₂ según los cálculos realizados en la plataforma online de “carboon footprint”. La mayor parte de las emisiones de CO₂ se dan debido al consumo de gasóleo, con una huella de carbón de 38,04 toneladas de CO₂, ya que el mayor consumo de energía de la escuela se da debido a esta.

Uno de los propósitos de este proyecto va a ser el de disminuir estas emisiones de GEI de la forma más eficiente.

7. ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE EE.RR.

ALTERNATIVAS

En este apartado, se describirán las diferentes opciones de energías renovables que pueden ser más interesante, para posteriormente elegir la opción más viable para el caso particular de este proyecto.

Se van a analizar las siguientes opciones:

- a. Biomasa
- b. Minieólica

- c. Solar térmica
- d. Solar fotovoltaica
- e. Geotérmica

7.1. Biomasa

La biomasa es una fuente de energía no contaminante y es conocida por ser un recurso autóctono como es la materia de origen orgánico, vegetal o animal, es decir, recursos originarios del ecosistema. La energía procedente de la biomasa puede llegar a abastecer el suministro de instalaciones térmicas de viviendas, hospitales, polideportivos e industrias, e incluso instalaciones eléctricas de autoconsumo.

Se utilizan materias primas abundantes a nivel nacional reduciendo el coste de la importación de combustibles fósiles de impacto ambiental negativo y generando empleos relacionados con la limpieza y recogida de residuos.

La biomasa es transformada mediante diferentes procesos como son los mecánicos, termoquímicos y biológicos. Estos cambian las propiedades de la materia orgánica mediante reacciones químicas, cambios de temperatura y conversiones gobernadas por microorganismos entre otros. Después, se utilizan como combustible quemándolos y produciendo energía térmica y eléctrica. El CO_2 que se libera se compensa con el carbón que se absorbe en los cultivos mediante la fotosíntesis, creando un ciclo que no contribuye al calentamiento global.

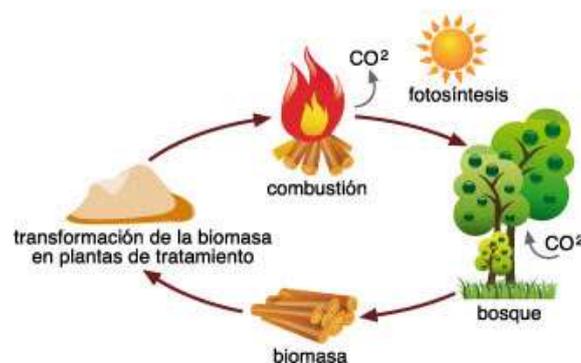


Ilustración 5. Diagrama del ciclo de la generación y consumo de la biomasa

Las calderas destinadas a la obtención de energía mediante biomasa requieren espacios amplios junto a zonas de almacenamiento de los cultivos. Además, estas instalaciones deben estar cerca de los puntos de extracción de la biomasa para no contribuir al calentamiento global indirectamente en su transporte.

Se establecen diferentes tipos de biomasa según su origen.

- **La biomasa natural:** Procedentes de ecosistemas naturales sin intervención humana como son los bosques. Ej. Hojas, ramas, etc.
- **La biomasa residual:** Originarios de actividades humanas como la agrícola y forestal, la industrias agroalimentaria y maderera. También se incluyen aquí los residuos de las depuradoras.
- **Los cultivos energéticos:** Cultivos destinados exclusivamente a la producción de biomasa para uso energético.

7.2 Minieólica

La energía eólica o minieólica parte del aprovechamiento de la velocidad del viento para generar electricidad. El sol calienta las diferentes masas de aire de la atmósfera creando ráfagas de viento que hacen posible generar energía limpia e inagotable.

Las instalaciones minieólicas donde se genera energía de pequeña potencia son una alternativa viable de autoabastecimiento tanto en áreas urbanas, semiurbanas, industriales y agrícolas, como en lugares aislados de la red eléctrica. Además, se implementan cerca de los puntos de consumo, evitando las pérdidas relacionadas con la distribución. Éstas son instalaciones sencillas con poca obra civil que se pueden poner en funcionamiento en pequeños espacios abiertos. Funcionan con vientos moderados sin causar mayor impacto ambiental que la contaminación visual.

Los miniaerogeneradores de este tipo de instalaciones pueden llegar a generar una potencia de 100 kW. Están compuestos por los siguientes elementos:

- Rotor
- Multiplicador

- Generador eléctrico
- Bastidor
- Sistema de orientación
- Soporte o torre
- Sistema de control

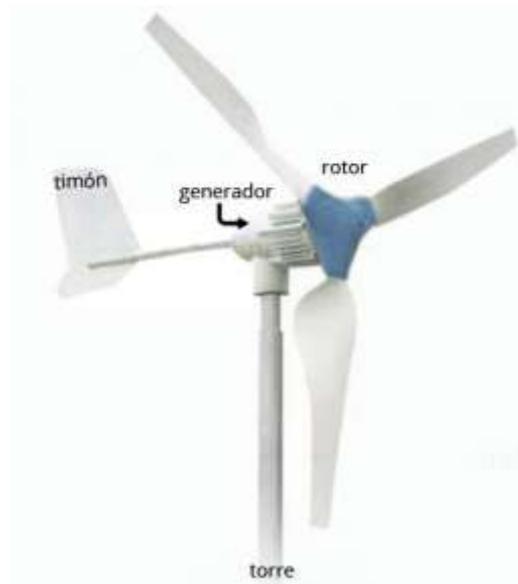


Ilustración 6. Los elementos de una miniaerogenerador

En el rotor la energía cinética del viento es transformada en energía mecánica de rotación y esta se convierte en energía eléctrica en el alternador. El sistema de orientación se utiliza para el adecuado aprovechamiento del viento. Además, el aerogenerador tiene que estar protegido por un bastidor y tiene que tener cierta altura que se la da el soporte o torre. Finalmente, se necesita un sistema de control de la potencia y orientación del miniaerogenerador.

7.3 Solar térmica

La energía solar térmica también conocida como termosolar, transforma la radiación solar en calor o energía térmica. Los colectores o paneles solares térmicos, situados estratégicamente, aprovechan la mayor parte de la energía absorbida transfiriéndola al agua u otro fluido que puede llegar a alcanzar temperaturas de entre 40°C y 50°C. Así, la energía es almacenada en forma de calor y transportada al punto de consumo.

Dependiendo de la temperatura que alcance el fluido estos sistemas tienen diferentes aplicaciones, pero en el caso a analizar de bajas temperaturas (<math><100^{\circ}\text{C}</math>-125°C) se utiliza para obtener calefacción de viviendas, ACS y la climatización de piscinas.

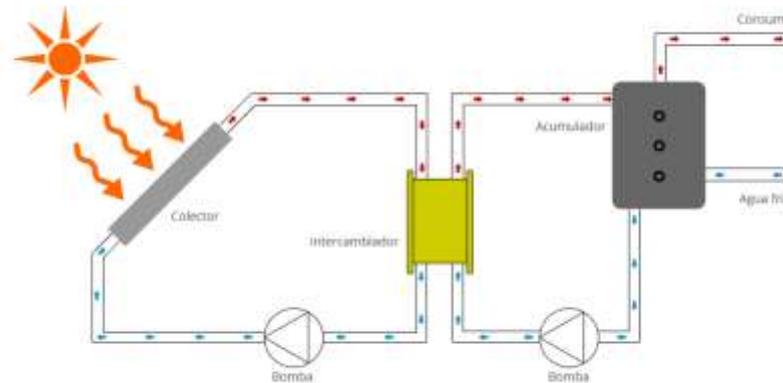


Ilustración 7. El sistema solar térmico

El sol como fuente de energía es inagotable, renovable y gratuito, y como consecuencia reduce las emisiones de GEI y el impacto negativo que genera la dependencia hacia los combustibles fósiles. Asimismo, ante las instalaciones a grandes escalas que requieren este tipo de fuentes, el coste que supone en relación con otras alternativas se amortiza en medio plazo y no suponen mayores costes de mantenimiento. No crean contaminación acústica, siendo sistemas muy silenciosos, y habitualmente la energía es consumida en el mismo punto donde se produce, evitando así pérdidas de energía y problemas relacionados con su transporte.

La intensidad del sol y el flujo de energía varían dependiendo de la zona geográfica y clima en el que estas instalaciones se sitúan, son por tanto factores importantes a la hora de analizar la viabilidad de la energía solar térmica. Para el máximo aprovechamiento del calor estas instalaciones se construyen en zonas desérticas apartadas y/o bien con la adecuada orientación de los paneles solares. En algunos casos las radiaciones solares siguen sin ser suficientes o constantes y por eso es necesario añadir otros sistemas energéticos de apoyo para garantizar un suministro adecuado de energía.

7.4 Solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica transforma las radiaciones del sol directamente en electricidad, aprovechando una fuente inagotable e infinita en la tierra como es el sol. Su funcionamiento se basa en el llamado efecto fotovoltaico, que consiste en transformar los fotones provenientes del sol en un flujo de electrones. Es decir, cuando unos paneles solares basados en semiconductores están bajo el efecto de las radiaciones electromagnéticas del sol los electrones se excitan creando una diferencia de potencial y por consiguiente una corriente eléctrica continua.

Los módulos o paneles solares son el elemento principal de estos sistemas, en ellos ocurre el mencionado efecto fotovoltaico. Su estructura es un conjunto de células solares que se unen eléctricamente en paralelo y/o en serie. Están cubiertos por un vidrio y un encapsulado que los protege del entorno y los fenómenos atmosféricos. Además, están montados sobre un soporte o marco que proporciona rigidez estructural. Lo mencionado se puede ver en la Ilustración 8.

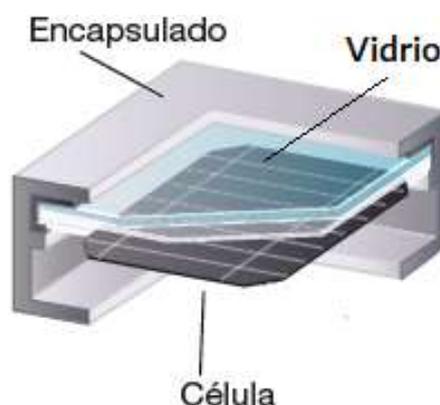


Ilustración 8. Elementos de una placa fotovoltaica

Se utiliza el silicio como material semiconductor y se clasifican diferentes tipos de paneles solares dependiendo de la estructura celular:

- **Silicio monocristalino:** Los paneles están compuestos por un único cristal de silicio puro. Tienen un alto rendimiento, pero se necesita un gran control de las condiciones de fabricación que son de coste elevado.

- **Silicio policristalino:** Las células están compuestas por pequeños cristales de silicio que se han solidificado lentamente. Su rendimiento es más bajo que el del monocristalino y más barato.
- **Silicio amorfo:** Paneles solares sin conexión existente de las células. Son láminas delgadas y tienen un bajo rendimiento comparado con las mencionadas anteriormente. Se utilizan en aparatos que no requieren grandes cantidades de energía.

Aun siendo una fuente de energía limpia y de cero emisiones, la fabricación de los paneles fotovoltaicos favorece al efecto invernadero debido a la emisión de gases fluorados. Además, no proporciona un suministro de energía estable puesto que la obtención de energía depende del clima y de las horas de máxima irradiación solar.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser sistemas aislados o sistemas conectados a la red, como los instalados en tejados de viviendas, de edificios de oficinas, de fábricas, etc. La energía se consume en el mismo punto que se genera sin apenas pérdidas y son fáciles de integrar en edificios sin contaminación acústica ni visual.

7.5 Geotérmica

La energía geotérmica es aquella que extrae el calor situado en el subsuelo terrestre para generar energía, dejando a un lado la necesidad de combustibles fósiles contaminantes. El núcleo de la tierra irradia calor desde el interior hacia el exterior creando un gradiente térmico bajo la superficie terrestre. En algunas zonas terrestres el uso de esta tecnología es especialmente interesante ya que hay temperaturas elevadas a muy poca profundidad.

Dependiendo de las temperaturas alcanzadas se distinguen tres tipos de recursos geotérmicos.

- Recursos geotérmicos **de alta temperatura:** Se utilizan para generar mayormente energía eléctrica. Una turbina es propulsada por agua y vapor a alta presión extraído de un pozo de agua cercano a un foco caliente. Una vez utilizada

la capacidad calorífica del agua, esta es devuelta a su origen creando una fuente de energía sostenible e inagotable.

- Recursos geotérmicos **de media-baja temperatura**: Estos favorecen a la energía térmica mediante el uso directo del fluido geotérmico.
- Recursos geotérmicos **de muy baja temperatura**: Aprovechan tanto el calor propio de la superficie terrestre como el que se absorbe del sol. Se utiliza para suministrar energía para calentar edificios y viviendas, refrigerarlos y abastecerlos con agua caliente sanitaria (ACS).

Entre estos últimos tipos de recursos geotérmicos, la bomba de calor es la más utilizada, que consiste en el transporte de energía calorífica de un medio (aire, agua, tierra) a otro, basándose en el principio de la máquina frigorífica. **La bomba de calor geotérmica** aprovecha el calor del terreno mediante un fluido refrigerante que tiene la capacidad de evaporarse a bajas temperaturas (absorbiendo calor del medio circundante) y que cuando se comprime cede ese calor para transportarlo al interior de un edificio.

La bomba de calor geotérmica es una de las opciones más eficientes para obtener energía térmica ya que no genera, sino que transporta el calor desde el subsuelo hasta las edificaciones. Este calor se mantiene siempre constante a lo largo del año a pesar de una climatología cambiante. Estos sistemas consumen una pequeña cantidad de energía eléctrica, obteniendo una eficiencia de hasta 4 veces ese valor.

Las bombas de calor reversibles mediante una válvula distribuidora dan la opción de elegir entre calentar o refrigerar las instalaciones.

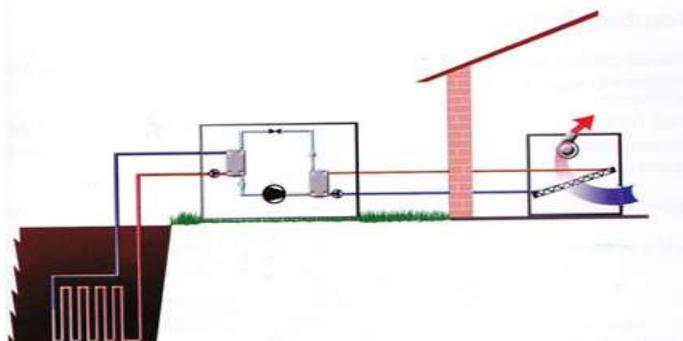


Ilustración 9. Bomba de calor geotérmica

8. ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Tras una descripción previa de los diferentes tipos de fuentes de energía renovables, se van a seleccionar los sistemas más adecuados para el suministro de energía al centro educativo.

Las energías finalmente seleccionadas son:

1. Suministro de energía eléctrica
 - Generador minieólico
 - Paneles solares fotovoltaicos
2. Suministro de energía térmica
 - Bomba de calor geotérmica

Es importante mencionar que los sistemas que se van a analizar a continuación no proporcionan un abastecimiento total de energía eléctrica y térmica a la escuela, sino que aportan una gran ayuda para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, reducir la emisión de GEI y producir un ahorro económico a partir del periodo de amortización de la inversión en estos equipos.

8.1 Instalación para el suministro de energía eléctrica

De las alternativas anteriormente mencionadas las instalaciones minieólicas y fotovoltaicas son las que suministran energía eléctrica para abastecer instalaciones no muy grandes conectadas o no a la red eléctrica.

La mayor desventaja que tienen estos sistemas es su intermitencia energética. Tanto la energía del viento, como la solar fotovoltaica proporcionan energía proveniente de fuentes naturales que dependen de diferentes factores. Entre estos se encuentra el tipo de clima o meteorología, que varían por zonas, horas del día y estaciones del año. Por eso, se ha decidido optar por una instalación híbrida eólica-solar que combina la energía proveniente de ambas fuentes.



Ilustración 10. Imagen de aerogeneradores eólicos junto a placas fotovoltaicas

El uso conjunto de aerogeneradores y placas fotovoltaicas es una manera de optimizar al máximo la energía generada y aprovechar en su totalidad la energía proveniente del sol y del viento durante todo el año y en ciclos de 24h. Además, ayuda a reducir la dependencia del sistema eléctrico disminuyendo la factura eléctrica. Este tipo de instalaciones tiene una vida útil de 25 años contribuyendo a la rentabilidad del mismo.

El País Vasco dispone de recursos eólicos adecuados que dependen de las características orográficas de cada tipo de terreno. En zonas rurales como en la que está situado la escuela Maiztegi de Iurreta con una altitud de 113 m con respecto al mar, la velocidad media tiene un valor de 4 m/s según datos de la plataforma online de Enair. El terreno ligeramente montañoso que rodea la zona a analizar puede disminuir la velocidad del viento debido al rozamiento, aun así, son frecuentes las fuertes ráfagas de viento alrededor de los 28 m/s. En el gráfico de la Ilustración 11 se reúnen los datos que MERRA-2 ha obtenido durante los últimos 30 años y se observa la variación porcentual del viento de cada mes sobre la media anual.



Ilustración 11. Diagrama de la variación estacional de la velocidad del viento en Iurreta. Fuente: Merra-2

En los meses de invierno la cantidad de viento aumenta en comparación a la media mientras que en los meses de verano disminuye, esto se ve reflejado en el gráfico anteriormente mencionado.

Por eso, una instalación combinada con un sistema de aprovechamiento solar cubre la falta de viento que hay en verano. Como se aprecia en la Ilustración 12, la producción solar es bastante mayor en verano como es de prever, y llega a ser un 170% entre los meses de junio y julio. Teniendo en cuenta además que las horas de sol en esa época del año son bastante más que en invierno, es la opción más viable de las analizadas anteriormente para el suministro de electricidad.



Ilustración 12. Porcentaje de producción solar en Iurreta. Fuente: Merra-2

8.2 Instalación para el suministro de energía térmica

Entre las opciones de instalaciones para suministro de energía térmica, están la biomasa, la solar térmica y la geotermia. Las instalaciones de biomasa, son una opción viable por usar recursos autóctonos produciendo energía limpia. Aun así, aunque se considere una energía renovable, y lo haga en menor escala que los combustibles fósiles, sigue contribuyendo al calentamiento global. Además, es difícil encontrar lugares idóneos para su aprovechamiento positivo. Por un lado, está la necesidad de grandes espacios donde instalar la caldera y el almacenamiento de los cultivos a quemar. Y, por otro lado, la extracción de cultivos debe de hacerse en zonas cercanas a los puntos de consumo.

Si bien es cierto que en el duranguesado y zonas circundantes hay recursos forestales abundantes, el principal problema en el caso de la escuela de Iurreta es la falta de espacio para la instalación de los equipos de biomasa y problemas para almacenar el combustible que requieren un espacio amplio. Así mismo, se prefiere un sistema con menos dependencia de personal a su cargo, que sea más autónomo y que proporcione más libertad de actuación.

La energía solar térmica depende del nivel de radiación del sol que varía de una zona a otra y de una estación del año a otra. Es decir, no proporciona un sistema energético continuo y estable. Además, se necesitan grandes extensiones de terreno, de las que no dispone la escuela de Iurreta, para la generación de energía de forma rentable. Por eso, esta opción es viable como suplemento (refuerzo) de otra fuente de energía más viable.

El recurso geotérmico es conocido por su disponibilidad, ya que no depende del clima ni de la variación de recursos naturales a lo largo del año o día. La temperatura de la tierra se mantiene constante a una profundidad de 10m, por lo que aprovecha la diferencia de temperatura con el exterior tanto en invierno como en verano. Así, en invierno extrae el calor del subsuelo transmitiéndolo al edificio y en verano absorbe el calor del edificio y lo transfiere a la tierra. Teniendo en cuenta que la escuela actualmente carece de sistema de aire acondicionado, esta es una opción muy favorecedora.

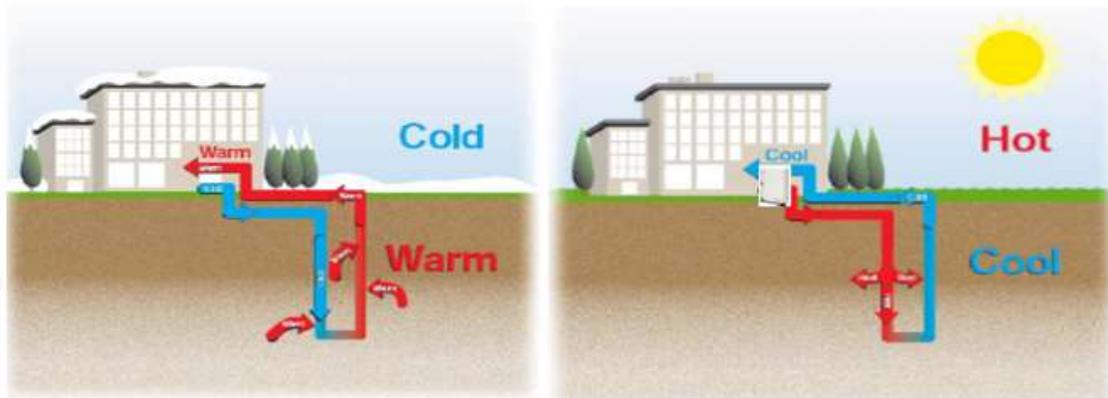


Ilustración 13. Esquema del uso del recurso geotérmico para calefacción y refrigeración

En conclusión, se opta por instalar una bomba de calor geotérmica, ya que tienen las ventajas de las bombas de calor convencionales, pero con una mayor eficiencia. Las instalaciones con bombas de calor geotérmicas tienen un ahorro energético de entre el 30% y 70% en calefacción. Además, las instalaciones geotérmicas, son de las que mejor integración arquitectónica tienen, ya que el terreno utilizado puede emplearse para otros fines.

Aparte de la climatización de edificios estas instalaciones también sirven para la producción de ACS. Por lo que el consumo puntual de la escuela de agua caliente sanitaria se puede hacer mediante esta instalación dejando a un lado el uso del butano.

9. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

A continuación, se van a realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento de las instalaciones y equipos junto con su selección de entre los existentes en el mercado y suministrados por diferentes fabricantes.

Se analizará cada uno de las instalaciones por separado: la instalación minieólica, fotovoltaica y geotérmica. Además, para el adecuado suministro de energía eléctrica se describirá la conexión de la instalación híbrida eólica-fotovoltaica.

9.1 Instalación minieólica

Para la descripción y, diseño y dimensionamiento de una instalación minieólica se partirá del hecho de que sus características son muy parecidas a las de una instalación eólica de mayor dimensión.

9.1.1 El recurso eólico

En el diseño de una instalación eólica es necesario concretar la ubicación y orientación en la que se construirá el aerogenerador. Para ello ha de hacerse un análisis previo de la configuración orográfica y viento de lurreta con el objetivo de conocer y optimizar las características del emplazamiento.

El recurso eólico de una zona se ve afectada por la rugosidad de la superficie terrestre. La intensidad del viento cerca de la superficie se disminuye al encontrarse en su paso con obstáculos como bosques y grandes ciudades. Por eso, la velocidad varia con la altura, a mayor altura mayor será la velocidad. Para la medición de esta variación se utiliza la siguiente expresión:

$$V = V_o \left(\frac{Z}{Z_o} \right)^n$$

V: Velocidad del viento, a una altura Z respecto del suelo.

V_o: Velocidad del viento, a una altura Z_o.

Z: Altura a la que se desea conocer la velocidad del viento.

Z_o: Altura de referencia.

n: Factor que depende de la rugosidad existente en el emplazamiento.

Las condiciones eólicas de cada paisaje varían junto con el *factor n* y por eso es importante conocer la orografía del terreno en la que se sitúa la instalación. En la Tabla 4 se clasifican los diferentes tipos de terreno junto con el valor aproximado del *factor n* que les corresponde. El emplazamiento de la escuela se denomina como un terreno rugoso ya que se sitúa en una zona de edificios no muy altos junto a campos y montañas de poca altura. En conclusión, le corresponde un valor del *factor n* de entre 0,20 y 0,27.

Tipo de Terreno	n
Liso (mar, arena, nieve)	0,10 – 0,13
Moderadamente rugoso (hierba, campos de cereales, zonas rurales)	0,13 – 0,20
Rugoso (bosques, barrios)	0,20 – 0,27
Muy rugoso (ciudades, altos edificios)	0,27 – 0,40

Tabla 4. Estimación del valor del factor n

En el caso particular de la escuela de Maiztegi, debido a un recurso eólico no muy abundante no se tendrá en cuenta la variación de velocidad con la altura y se trabajará con una velocidad media del viento de 4m/s, siendo un dato que proporciona el atlas eólico de la plataforma online de Enair.

Para el análisis de la dirección del viento observaremos la rosa de los vientos de la Ilustración 14, donde se observa la dirección de los vientos predominantes que se dan durante el año en Iurreta.

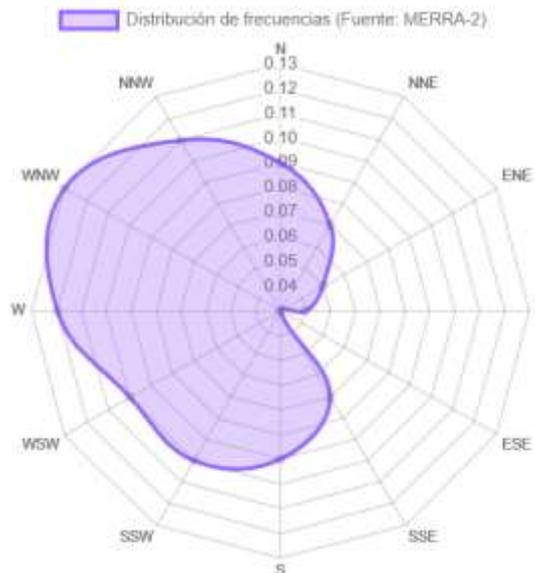


Ilustración 14. La rosa de los vientos de Iurreta

El aerogenerador deberá colocarse de tal forma que disminuya los efectos de la rugosidad y este mirando hacia la dirección principal del viento, en un lugar libre de obstáculos. Analizando los posibles emplazamientos de la colocación del aerogenerador

se decide instalarlo en uno de los campos que rodea la escuela. Además, como se observa en la rosa de los vientos deberá tener una orientación noroeste.

9.1.2 Descripción de la instalación

El elemento fundamental de una instalación eólica será el aerogenerador. Se optará por uno de eje horizontal debido a la poca eficacia y altos precios de los de eje vertical. A continuación, se describen brevemente las partes principales de un aerogenerador:

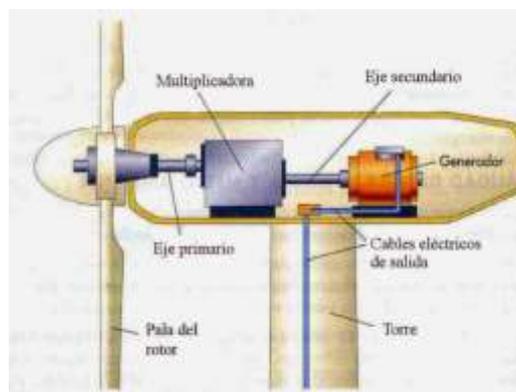


Ilustración 15. Los elementos de un aerogenerador

Rotor: Los elementos que lo forman se encargan de aprovechar la energía cinética del viento y transformarlo en energía mecánica de rotación.

- **Palas.** El área de captación del viento y por lo tanto la potencia generada dependerá de las dimensiones y orientación de las palas. Es decir, influyen en el rendimiento del aerogenerador. Las altas velocidades que pueden darse en los extremos pueden peligrar la resistencia de las palas. Los rotores más comunes suelen ser los de 3 palas de fibra de vidrio y fibra de carbón reforzado con plástico.
- **Buje.** El sistema que une las palas al eje de rotación.
- **Eje.** Se encarga de transmitir la energía del viento captada por las palas. Está conectado al multiplicador.

Multiplicador: Es una caja de cambios formado por un conjunto de engranajes. Este sistema se encarga de aumentar la baja velocidad a la que gira el eje del rotor a una

velocidad adecuada que se acople al eje del generador para obtener la frecuencia de la red.

Generador eléctrico: Consiste en transformar la energía mecánica en electricidad, estando unido al eje de salida del multiplicador. La mayoría suelen ser alternadores de inducción síncronos con rotor de imanes permanentes.

Góndola: Aquí se reúnen los elementos imprescindibles, el rotor, multiplicador y generador. Esto está protegido por una carcasa de fibra de vidrio y poliéster.

Sistema de orientación: Se encarga de orientar el rotor de forma que aproveche al máximo la fuerza del viento. Esta orientación es la que coloca el rotor perpendicular a la dirección del viento.

Soporte o torre: Este es el soporte de los elementos del aerogenerador anteriormente mencionados. Tienen el objetivo de dar altura al rotor para obtener mayor energía del viento. El soporte se encarga de mantener la rigidez ante las vibraciones que se dan debido al peso del aerogenerador y la fuerza del viento. Suelen ser estructuras que se fijan a los cimientos de alta resistencia de la instalación. Se distinguen diferentes tipos de torres dependiendo de la forma que tienen: torres cuadradas de celosía, tubulares o atirantadas.

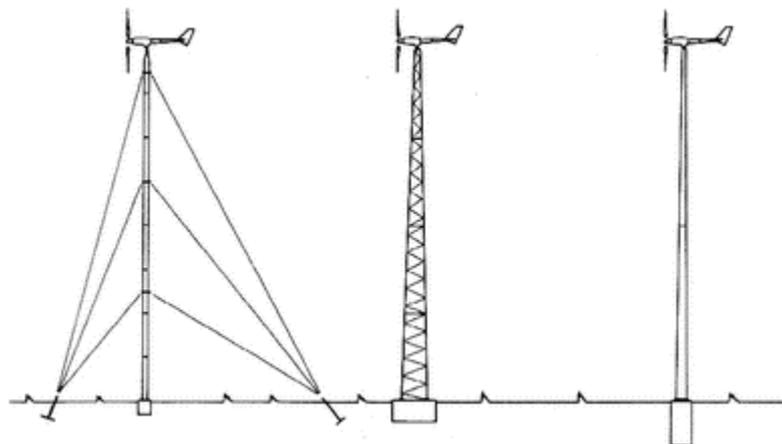


Ilustración 16. Tipo de torres: atirantada, cuadrada de celosías y tubular. (En orden de izquierda a derecha)

Equipos auxiliares:

- Sistema de seguridad de frenado
- Control de la turbina
- Inversor
- Controlador/Convertidor
- Resistencia
- Unidad hidráulica del posicionamiento de la góndola

9.1.3 Diseño y dimensionamiento del aerogenerador

El aerogenerador se diseñará y dimensionará partiendo del cálculo de la potencia que genera el recurso eólico anteriormente analizado. Para ello se han tenido en consideración los datos del viento para Iurreta que facilita la plataforma online del fabricante de aerogeneradores Enair. En la ilustración 17, se representa la curva de distribución de frecuencia para los diferentes valores de velocidad del viento, independientemente de su dirección, con la que se calculará la potencia generada por el aerogenerador. En la misma ilustración, en color gris, también se observa la distribución de Weibull que ayuda a entender cuál es la tendencia del viento durante el año en dicho emplazamiento. La estimación de los datos empleados puede tener un error de hasta el 15%.

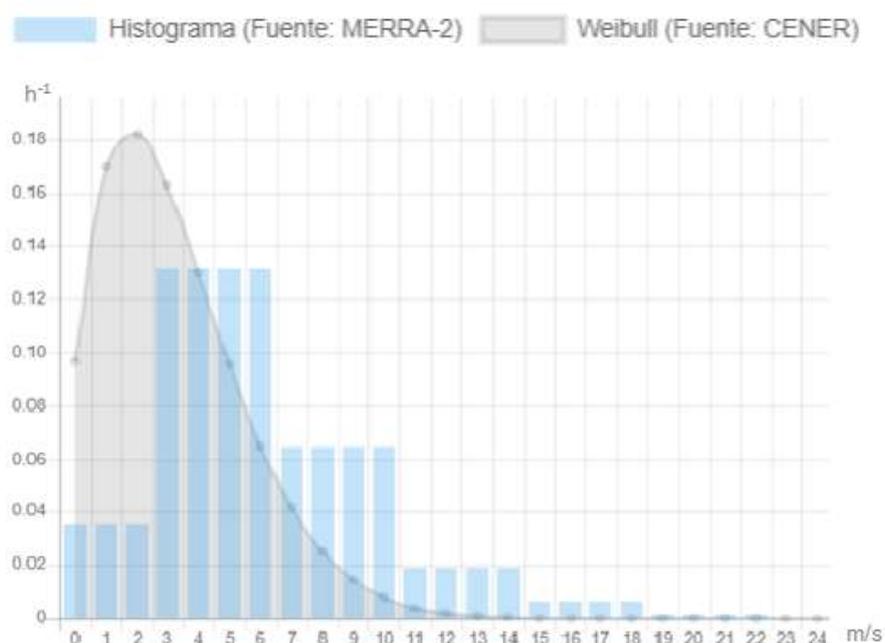


Ilustración 17. Histograma del viento de Iurreta

Con estos datos y la siguiente expresión es posible calcular la potencia eólica de la que dispone el viento:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

ρ : densidad del aire (1,225 kg/m³)

A: Área de barrido de las palas del aerogenerador (m²)

v: Velocidad del viento (m/s)

Multiplicándole a esta expresión el valor de las horas por año de producción de dicha potencia eólica que es las que representa la frecuencia del histograma, se consiguen los valores de la de la Tabla 5 y se dibujan en la Ilustración 18.

Velocidad (m/s)	Horas de viento	Frecuencia	Potencia (kWh/m ² año)
0	311,57	0,036	0,00
1	311,57	0,036	0,19
2	311,57	0,036	1,53
3	1.153,47	0,132	19,08
4	1.153,47	0,132	45,22
5	1.153,47	0,132	88,31
6	1.153,47	0,132	152,60
7	562,17	0,064	118,11
8	562,17	0,064	176,30
9	562,17	0,064	251,02
10	562,17	0,064	344,33
11	167,97	0,019	136,94
12	167,97	0,019	177,78
13	167,97	0,019	226,03
14	167,97	0,019	282,31
15	58,47	0,007	120,87
16	58,47	0,007	146,70

17	58,47	0,007	175,96
18	58,47	0,007	208,87
19	14,67	0,002	61,64
20	14,67	0,002	71,90
21	14,67	0,002	83,23
22	14,67	0,002	95,70
			2.984,61

Tabla 5. La potencia eólica por m² de área para cada velocidad del viento en Iurreta.

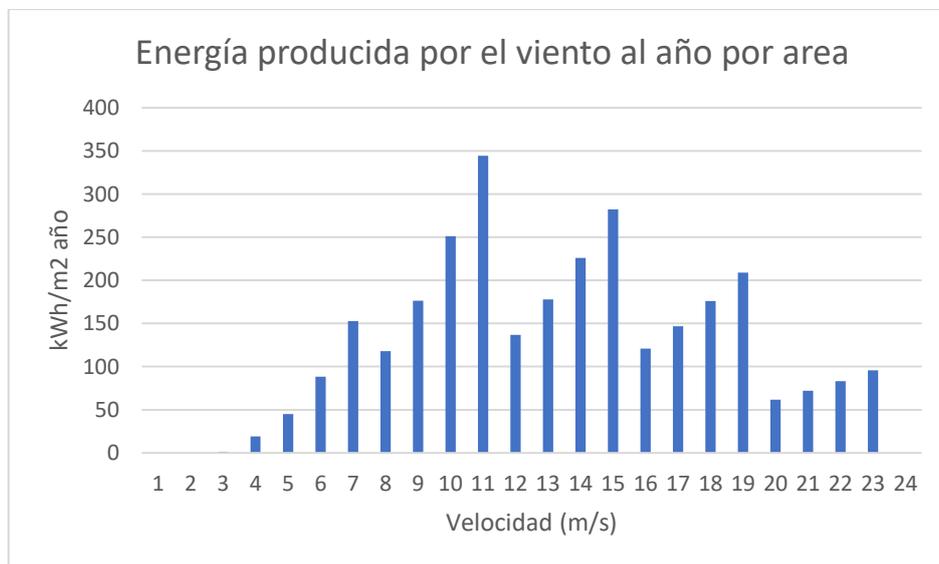


Ilustración 18. Energía eólica calculada

Sumando los valores relativos a las diferentes velocidades concluimos que la energía total que aporta el viento será de 2984,61 kWh/m² año.

Tras analizar el amplio abanico de diferentes aerogeneradores que Enair ofrece, se ha decidido instalar el aerogenerador Enair 200 de 20 kW de potencia. Este aerogenerador está operativo con vientos de velocidad de entre 1,85 y 30 m/s. En el Anexo 2 se aprecia la ficha técnica con los datos del fabricante del aerogenerador E200. Teniendo en cuenta que la escuela tiene una potencia contratada de 50kW, proporcionará un suministro parcial de la demanda. En la ilustración 19 se puede observar una imagen real del que será el aerogenerador.



Ilustración 19. Aerogenerador eólico E200

Para calcular finalmente la potencia aprovechada por el aerogenerador hay que añadir un coeficiente de potencia (C_p). Como el Limite de Beltz define, en un aerogenerador solo el 59,3% de la energía cinética del viento se transformará en energía mecánica. Aun así, en la práctica, también influyen otros factores como las pérdidas de sustentación, perdidas en el motor, etc. Por eso cada tipo de aerogenerador tiene un valor diferente del coeficiente de potencia (C_p) y en el caso del aerogenerador E200 es de 0,48. También es importante tener en consideración la densidad del aire, la rugosidad del terreno, la temperatura, etc. al calcular la producción eólica.

Debido a la complejidad de este cálculo se decide hacer uso de la plataforma online de Enair que facilita la producción eólica diaria para cada tipo de aerogenerador y zona territorial.

Así para el caso particular de Iurreta donde la velocidad media del viento es de 4 m/s y se coloca un aerogenerador E200 a una altura del suelo de aproximadamente 20 m, se consigue una producción eólica de 65,2kWh/día.



Ilustración 20. Plataforma online de Enair para el cálculo de la producción eólica

Por último, se podrá calcular la producción anual:

$$65,2 \frac{kWh}{día} \cdot 365 \frac{días}{año} = 23.798 kWh/año$$

Con este aporte de energía queda cubierto un 41,36% del consumo eléctrico de la escuela Maiztegi de Lurreta.

Finalmente, para esta instalación en particular se utilizará una torre cuadrada de celosías de 21 m de altura, siendo un modelo estándar, diseñado por el fabricante Enair y adaptado al aerogenerador Enair 200 seleccionado.

9.2 Instalación solar fotovoltaica

9.2.1 Descripción de la instalación

La instalación solar fotovoltaica (ISF) con la que se completa el abastecimiento eléctrico estará conectada a la red para así reducir la dependencia hacia la empresa de suministro eléctrico. En este caso no son necesarios ni el regulador ni los acumuladores de electricidad ya que esta pasa directamente al inversor. A continuación, se describen los elementos principales de la instalación.

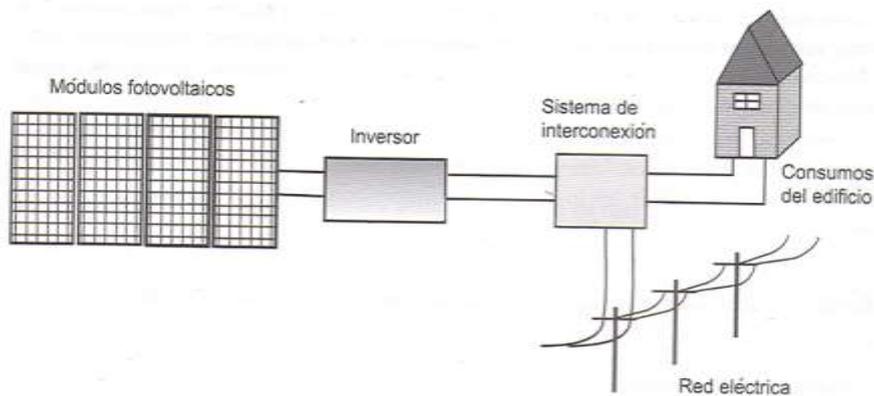


Ilustración 21. Esquema de una ISF conectada a la red eléctrica

Módulo fotovoltaico: También se denomina panel solar. En ella se da el efecto fotovoltaico, con el que se convierten los fotones provenientes del sol en electricidad. Dicho panel está formado por un conjunto de células en serie y paralelo. Para el suministro de la potencia necesaria se conectan diversos paneles en grupo.

Según datos del fabricante Solarbex, en el mercado se disponen de placas solares para 12V y 24V, con potencias desde los 5W hasta 350W por placa. Las tecnologías más habituales son: panel solar policristalino, panel solar monocristalino y panel solar flexible.

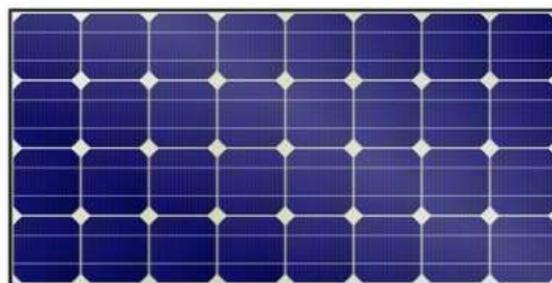


Ilustración 22. Modulo fotovoltaico

Las placas solares de 24V son habituales en las instalaciones fotovoltaicas de mediano y gran tamaño. La principal característica de éstas es que llevan el doble de células que las de 12V, como las células están dispuestas en serie en el propio panel, proporciona una intensidad de corriente similar a las de 12V, pero al doble de tensión. Además, tienen

una relación precio-rendimiento mejor que las de 12V. Para instalaciones conectadas a la red las potencias habituales de estos paneles andan entre los 230 y 270 W.

Equipos auxiliares:

- Inversor
- Controlador/ Conversor

9.2.2 Dimensionamiento de la instalación

A la hora de hacer el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos es importante conocer el aporte energético del sol mediante la irradiación solar a la que se expone el área a analizar. De la Ilustración 23 son datos de interés los de la irradiación media mensual y anual de una superficie orientada hacia el sur y con una inclinación de 60º en las diferentes zonas solares (según datos proporcionados por EVE). Se considera que Iurreta está situada en la zona solar costera, por lo que instalando las placas en las condiciones mencionadas anteriormente se obtendrá una irradiación de 1160 kWh/m² anuales.

MES	ZONA COSTERA (SONDICA)			ZONA INTERMEDIA (VITORIA)			ZONA DE LA RIOJA (LOGROÑO)		
	Irradiación media. Sur 60° kWh/m ²	Aporte Solar (kWh)	Cobertura carga térmica (%)	Irradiación media. Sur 60° kWh/m ²	Aporte Solar (kWh)	Cobertura carga térmica (%)	Irradiación media. Sur 60° kWh/m ²	Aporte Solar (kWh)	Cobertura carga térmica (%)
ENERO	2.13	1.87	36	2.11	1.87	36	2.85	2.51	48
FEBRERO	2.63	2.31	44	2.91	2.56	49	3.83	3.37	65
MARZO	3.07	2.70	52	3.61	3.18	61	4.54	4.0	77
ABRIL	3.50	3.08	59	3.74	3.29	63	4.53	4.0	77
MAYO	3.77	3.32	64	3.99	3.51	68	4.75	4.18	80
JUNIO	3.82	3.36	65	4.13	3.63	70	5.03	4.43	85
JULIO	3.96	3.49	67	4.85	4.27	82	5.51	4.84	93
AGOSTO	4.00	3.52	68	4.85	4.27	82	5.45	4.80	92
SETIEMBRE	3.71	3.26	63	4.44	3.91	75	5.00	4.4	85
OCTUBRE	3.21	2.83	54	3.48	3.06	59	4.13	3.63	70
NOVIEMBRE	2.56	2.25	43	2.46	2.16	42	3.22	2.83	54
DICIEMBRE	1.78	1.57	30	1.65	1.45	28	2.68	2.36	45
AÑO	1160	1021	54	1305	1148	60	1568	1379	73

Ilustración 23. Irradiación media, aporte solar y cobertura carga térmica en las diferentes zonas solares (fuente: EVE)

La escuela Maiztegi tiene un techo con una inclinación muy pequeña que no afectara a la hora de decidir la orientación e inclinación de las placas. Se decide instalar las placas

en el tejado del edificio con la orientación e inclinación mencionadas anteriormente (mirando hacia el sur y con inclinación de 60°). A la hora de calcular la cantidad de placas a instalar es importante tener en cuenta que es necesario dejar un espacio entre los paneles: ante mayor inclinación de las placas, mayor será la distancia que hay que dejar entre ellas. También es importante dejar un espacio de seguridad cerca de los bordes del techo y tener en cuenta las sombras que pueden crear diferentes elementos del techo y/o las posibles zonas oscuras que puede haber.

Entre la amplia variedad de placas fotovoltaicas anteriormente mencionadas que oferta Solarbex se ha decidido optar por la Placa Solar de 270 W 24 V, su ficha técnica completa puede verse en el Anexo 4. Están formados por 60 células de silicio policristalino y están unidas entre sí por láminas de estaño encapsulados de EVA. La parte posterior está protegida por una lámina de Tedlar para reforzar tanto la resistencia como la estanqueidad del conjunto y además toda la placa está enmarcada con aluminio anodizado.

Son placas de 1650mm x 992mm x 40mm, es decir, tienen 1,64 m² de área y pesan 18,6 kg. El techo donde se van a instalar mide 25m x 63m. Teniendo en cuenta todo lo mencionado se deciden colocar 3 filas de 10 paneles orientados al sur, así teniendo un total de 30 placas y 49,2 m² de superficie de irradiación solar. Además, tienen un rendimiento del %16,5. Por lo tanto, puede calcularse el suministro de electricidad que proporcionara la instalación.

$$\frac{1160kWh}{m^2año} \cdot 49,2 m^2 \cdot 0,165 = \mathbf{9.416,88 kWh/año}$$

El suministro de energía fotovoltaica cubrirá un 16,37% de la demanda de energía eléctrica de la escuela Maiztegi de Iurreta.

Se hará la conexión de las placas en paralelo para mantener los 24 V de voltaje del grupo mientras que subirá la potencia total.

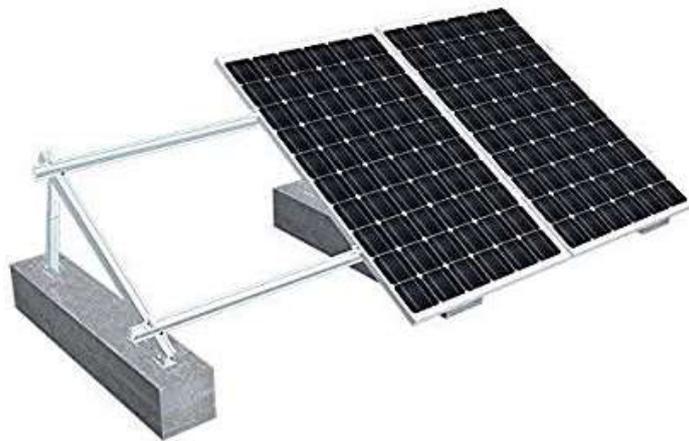


Ilustración 24. Conjunto de placas fotovoltaicas

Es importante tener en cuenta, que la intermitencia de la luz del sol se verá muy reflejada en la energía generada. Es probable que en los meses de invierno la energía generada no sea muy alta.

9.4 Conexión de la instalación híbrida eólica-fotovoltaica

Tras haber analizado y dimensionado la instalación minieólica y fotovoltaica es importante tanto conectarlas entre ellas como conectarlas a la red para el adecuado suministro de energía eléctrica. Para ello hay que instalar ciertos equipos auxiliares.



Ilustración 25. Instalación híbrida eólica-fotovoltaica

Controlador/ Conversor: Se encarga de transformar la corriente alterna de 500 V que se crea en el alternador del aerogenerador en corriente continua a 24 V. También se encarga del control y funcionamiento correcto del aerogenerador.

Inversor DC-AC: Es un sistema electrónico que se encarga de convertir la corriente continua, que generan los paneles fotovoltaicos y la proveniente del conversor, en corriente alterna de las mismas características de la red a la que se conecta (forma senoidal, 400V de valor eficaz y 50Hz de frecuencia). En las instalaciones conectadas a la red son equipos de gran importancia ya que se encargan de garantizar la total compatibilidad de la electricidad generada y la corriente eléctrica de la red.

Se necesitarán dos inversores, uno para el aerogenerador y otro para las placas fotovoltaicas.

Resistencia: Tiene la función de disipar la energía sobrante que se genera en el aerogenerador.

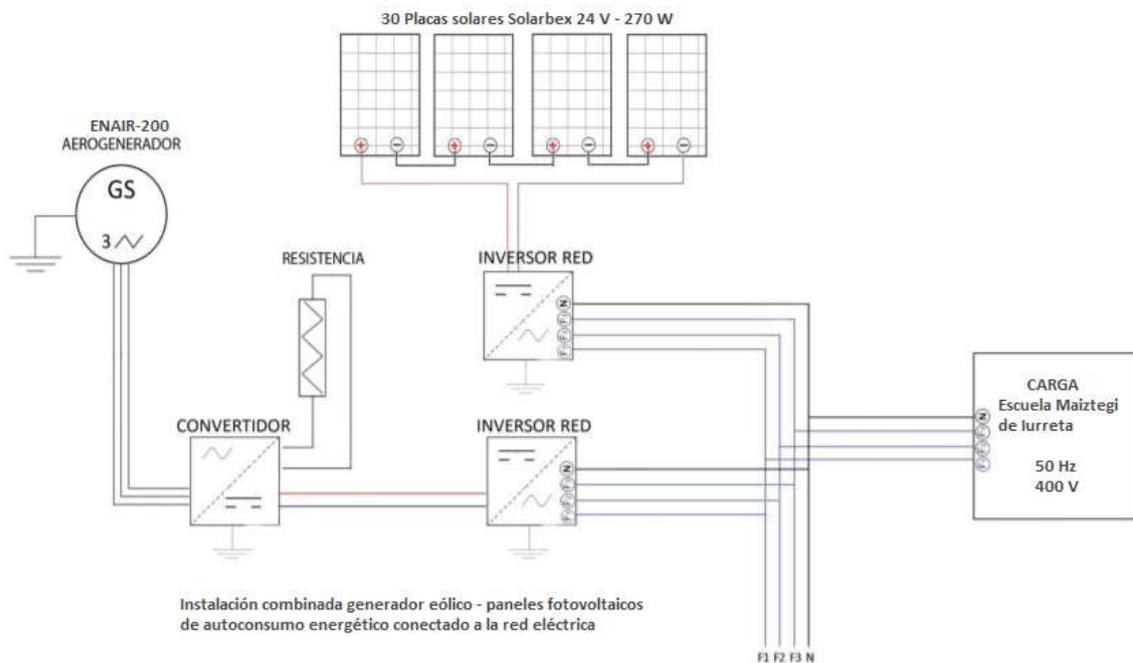


Ilustración 26. Esquema de la conexión a la red

Para este caso en el que se ha instalado un aerogenerador ENAIR-200, el conversor, uno de los inversores y la resistencia está incluidas en el equipo del aerogenerador. Por lo

que es suficiente con instalar un inversor más para las placas fotovoltaicas con una tensión de 24V corriente continua de entrada y una tensión alterna de salida de 400 V y 50 Hz.

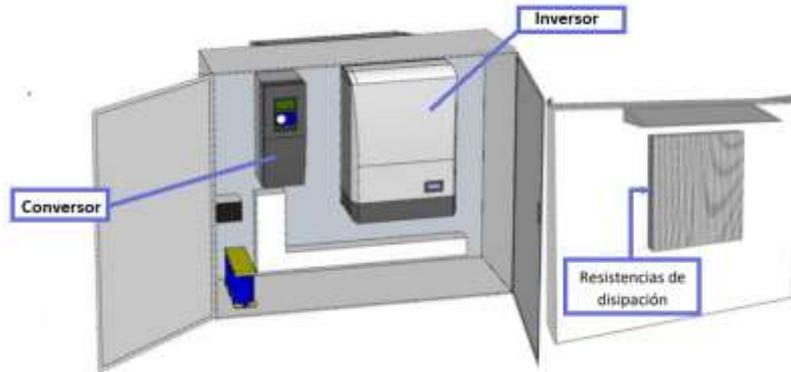


Ilustración 27. Armario de control

9.3 Instalación geotérmica

9.3.1 Descripción de la instalación

La instalación geotérmica a describir y dimensionar está basada en una bomba de calor tierra/aire, es decir, una bomba de calor convencional que hace uso de los recursos geotérmicos de la tierra. Esta instalación está constituida por 3 circuitos: el intercambiador exterior conectado al lado geotérmico, la bomba de calor y el intercambiador conectado al circuito de climatización del edificio.

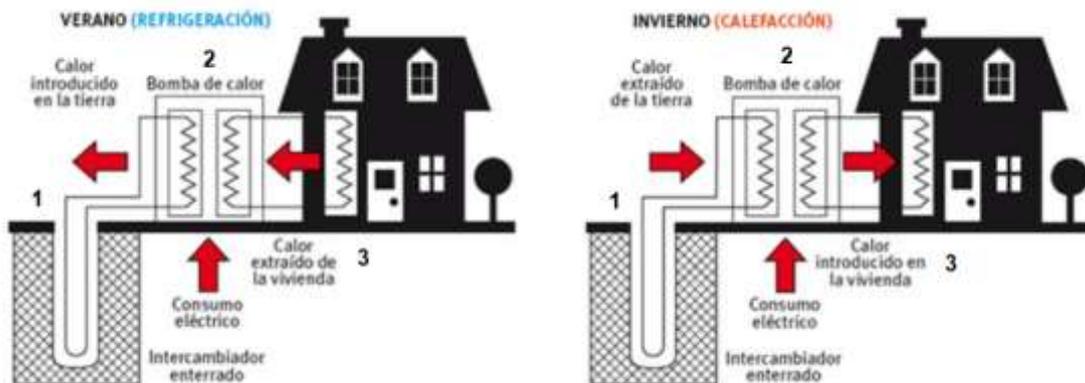


Ilustración 28. Esquema del funcionamiento de una bomba geotérmica

Circuito 1: captación geotérmica

La captación de la energía geotérmica de baja temperatura se realiza mediante una serie de perforaciones verticales realizadas en el terreno, en donde se introducen las sondas geotérmicas, conformando un circuito cerrado de captación vertical (imagen aclaratoria en la Ilustración 29). Los captadores verticales precisan de una menor superficie, la instalación se verá menos afectada ante los cambios de la climatología y se disminuirán los daños por obra a otras instalaciones en comparación con los intercambiadores horizontales. Dichas perforaciones serán de diámetro pequeños y de profundidades de entre 50 y 150m.

Las sondas están constituidas por una tubería simple en forma de U por las que se hace circular un fluido caloportador, que será el medio encargado de intercambiar calor con el terreno, debido a las diferencias de temperatura entre ambos. Es decir, el subsuelo hará de foco frío para la bomba de calor, de tal forma que el sistema absorberá calor para la producción de calefacción o servirá de disipador térmico cuando el edificio demande refrigeración.

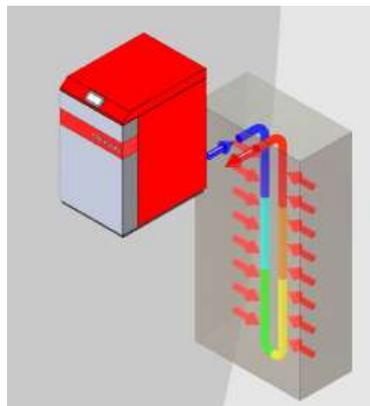


Ilustración 29. Circuito cerrado de captación vertical

Como fluido caloportador habitualmente se usa una concentración de salmuera (agua saturada de sal) añadiéndose un anticongelante al agua para evitar daños por congelación en el evaporador de la bomba de calor. La concentración de salmuera varía entre el 25% y 30%. Este anticongelante será de la familia de los glicoles.

Las sondas que se introducen en cada perforación son de polietileno no reticulado de alta densidad. El criterio de dimensionamiento de las sondas se realizará en base a producir un adecuado intercambio térmico con el terreno, con bajas pérdidas de carga y asegurando un correcto funcionamiento de las sondas en las condiciones de presión y temperatura máximas de trabajo.

Circuito 2: Bomba de calor

Las bombas de calor tienen la capacidad de aprovechar la energía térmica proveniente de un foco frío, como en el caso a analizar es la tierra, para después transferirla al interior (foco caliente). Con pequeñas aportaciones de energía eléctrica se obtiene una eficiencia de 4 veces lo que se consume. También pueden trabajar en modo refrigeración, es decir, la transferencia de calor se da en sentido inverso extrayendo el calor del interior y devolviéndolo al subsuelo. Este funcionamiento está basado en la máquina frigorífica. Una bomba de calor se constituye de los siguientes elementos:

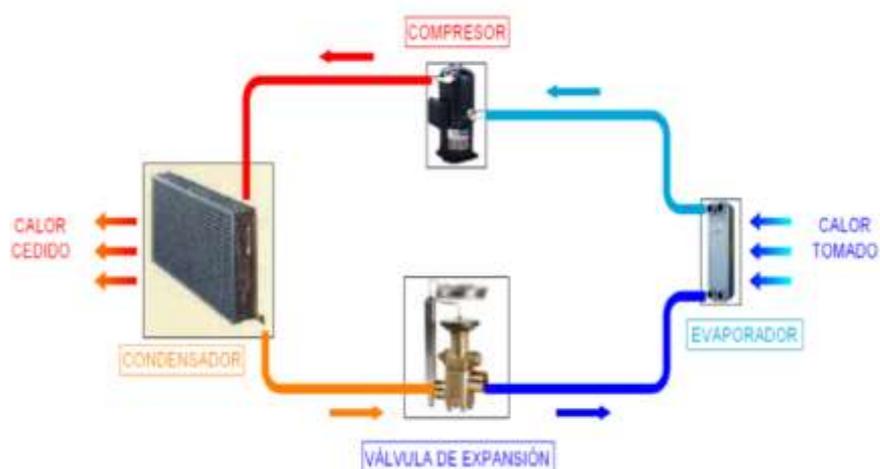


Ilustración 30. Esquema del funcionamiento de una bomba de calor

Evaporador. Aquí se absorbe el calor del medio energético para evaporar el refrigerante que circula por el sistema.

Compresor. Se aumenta la presión y temperatura del gas refrigerante proveniente del evaporador. Así se consigue hacer mover al refrigerante por el sistema. Este es el elemento de la instalación que requiere un consumo de electricidad.

Condensador. Este elemento se encarga de condensar el gas refrigerante para ceder calor. El gas refrigerante vuelve a estado líquido.

Válvula de expansión. Aquí el refrigerante se expande bajando su temperatura y presión, es decir, se evapora parcialmente para reiniciar el ciclo.

Válvula inversora: Es una válvula de 4 vías, que invierte la utilización del evaporador por el del condensador. Así se puede conmutar de suministro de calefacción al de refrigeración.

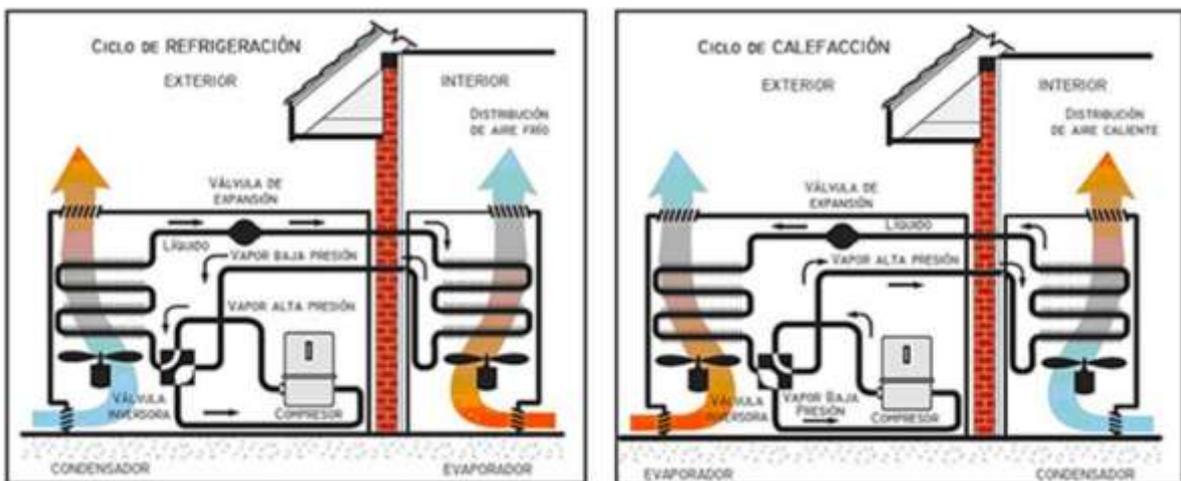


Ilustración 31. Funcionamiento de una bomba geotérmica

Fluido refrigerante: Es un fluido con las propiedades de evaporarse a muy baja temperatura y a presión atmosférica (absorbiendo calor), y condensarse a una presión elevada cediendo el calor absorbido. Según datos del fabricante de la bomba de calor (fuente: CEO₂ GREEN), se hará uso del refrigerante R410A.

Circuito 3: Distribución de aire caliente y frío

Consiste en una serie de tuberías distribuidas por todas las estancias del edificio mediante un sistema de bombeo para aportar aire caliente para calefacción o aire frío para refrigeración. Dichas tuberías serán rectangulares y de acero galvanizado, consiguiendo tuberías ligeras y resistentes. Interiormente están revestidas de una manta de lana de vidrio que proporciona un aislamiento térmico y acústico, y evita las

condensaciones. Su sección será adecuada al caudal de aire que se suministrará. Además, las tuberías y las rejillas se colocarán en los laterales del techo de las aulas y se cubrirán simulando un falso techo.



Ilustración 32. Instalación de las tuberías de distribución de aire

Sistema de perforación e introducción de las sondas:

Las perforaciones están condicionadas por las características geológicas del terreno.

La técnica más usada es la de rotopercusión neumática con martillo de fondo, técnica especialmente indicada para terrenos estables y consolidados.

Este método consiste en la introducción de aire comprimido a alta presión a través de las varillas de perforación hasta el martillo neumático provisto de herramientas de corte el cual, mediante movimientos de percusión y rotación, va cortando el terreno.



Ilustración 33. Método de perforación rotopercusión neumática con martillo de fondo

En las sondas se introducirán rellenos de agua para aumentar el peso de las mismas facilitando su introducción en las perforaciones y contrarrestar la presión existente en el fondo del sondeo.

9.3.2 Dimensionamiento de la instalación

El dimensionamiento del sistema de intercambio geotérmico depende de las necesidades térmicas del edificio y de las características del subsuelo, como son la conductividad térmica y la humedad natural del terreno y la presencia de agua subterránea en el mismo.

Tras analizar tanto la demanda de energía térmica del edificio como las diferentes gamas de bombas de calor geotérmicos Clausius, que oferta CEO₂ GREEN, con la colaboración de la Universidad de Vigo, se ha optado por instalar 2 bombas de calor Clausius de tipo Strong Tandem HC 12-150 de baja temperatura (En el anexo 4 se observan la documentación técnica y ficha de producto).



Ilustración 34. Bomba de calor Clausius, Strong Tandem

Estas bombas de calor tienen una potencia calorífica nominal de 150kW, por lo que instalando dos de ellas se podrá sustituir la caldera de gasoil que tiene una potencia máxima de 330kW. En total cuando trabajen las dos bombas producirán aproximadamente **118.298 kWh** por año en condiciones climáticas medias (ver características del fabricante), frente a la demanda de la escuela de 124.933, 181 kWh

anuales (ver capítulo 6). Este valor varía en condiciones climáticas frías y en condiciones climáticas cálidas. Se observa que las bombas de calor que se quieren instalar cubren al 94,7% la demanda de energía térmica de la escuela, debido al alto porcentaje se supondrá que lo hace al 100%.

Estas bombas tienen un COP del 4,8, es decir, producirán 4,8 veces la energía consumida en la instalación.

La obra civil del sondeo se hará de acuerdo al manual técnico proporcionado por el fabricante de la caldera y en una de las zonas verdes cercanas al edificio.

10. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se hará un análisis de rentabilidad del proyecto descrito y dimensionado previamente. Para ello se analiza el coste energético actual de la escuela, la inversión y costes de operación y mantenimiento que suponen las alternativas energéticas propuestas. Por último, también se calculará el tiempo de retorno simple (TRS) y el beneficio anual que se conseguirá.

10.1. Gasto actual

Como se describe en el apartado 6, la instalación actual se abastece de energía térmica mediante una caldera de gasóleo B y está conectada a la red nacional de electricidad. En la Tabla 6 aparece el coste anual de la energía eléctrica y térmica, ambos datos sacados de las facturas de 2018 de electricidad y de recargas de gasóleo.

	Coste anual (€)
Electricidad	10.600,71
Gasóleo	9.526,33
Total	20.127,04

Tabla 6. Coste anual actual de energía eléctrica y térmica

10.2. Inversión inicial

A continuación, se calculará la inversión que supone la instalación de los equipos alternativos de energía renovable seleccionados anteriormente. Este proyecto propone la construcción de una instalación híbrida minieólica - fotovoltaica y otra geotérmica.

Dentro de los costes de implantación de la instalación minieólica se deben coger en cuenta el aerogenerador anteriormente escogido, la torre en la que se coloca el aerogenerador, los equipos de control y gastos de montaje y obra.

Instalación minieólica	Coste (€)
Aerogenerador E200	30.000
Torre cilíndrica	5.100
Equipo de control	3.000
Montaje y obra	3.300
TOTAL	41.400

Tabla 7. Inversión de la instalación minieólica

Para estimar el coste de la instalación fotovoltaica se calcula teniendo en cuenta un coste por potencia instalada y número de placas. Aquí se tienen en cuenta las placas solares, los soportes, el inversor DC/AC y el montaje que la instalación supone.

$$750 \text{ €/kW} \cdot 30 \text{ placas} \cdot 0,27 \text{ kW} = 6.075 \text{ €}$$

Por último, se calculará la inversión que supone la instalación geotérmica, esta será la más cara de todas debido al gran consumo de energía térmica que tiene la escuela y a que requiere más elementos a instalar que las anteriores. Para ello se debe tener en cuenta la compra de dos bombas de calor, costes de perforación, las sondas a introducir, costes de obra, etc. Para calcular los costes de perforación se estima un valor de 35€/m y se supone una perforación vertical de 100m de acuerdo a las instrucciones del fabricante de la bomba de calor, también se tendrán en cuenta los costes de alquiler de maquinaria. En la Tabla 8, se dará en precio de los demás elementos a tener en cuenta.

Instalación geotérmica	Coste (€)
2 bombas de calor	30.000
Costes de perforación	6.500
Canalizaciones	1.000
Montaje y obra	12.000
Otros	1.000
TOTAL	50.500

Tabla 8. Inversión de la instalación geotérmica

Finalmente, el total de la inversión es la que aparece en la Tabla 9.

INVERSIÓN TOTAL	
Minieólica	41.400 €
Fotovoltaica	6.075 €
Geotérmica	50.500 €
TOTAL	97.975 €

Tabla 9. Inversión total

El gobierno vasco y las diputaciones abren una campaña de subvenciones anuales para inversiones en mejoras y eficiencias energéticas que pueden llegar a ser del 60% de la inversión. Esto corresponde solicitarlo al cliente que ha encargado el proyecto, en este caso en particular al ayuntamiento de Iurreta.

10.3. Costes de operación y mantenimiento

A partir de la finalización de la garantía de las instalaciones, se prevé un gasto anual por revisiones y ajustes periódicos. Debido a que estos sistemas trabajan de forma autónoma, no es necesario ningún trabajador a su cargo y es suficiente con realizar las inspecciones, revisiones y mantenimiento periódicos previstos por los fabricantes de los equipos. Por tanto, con un funcionamiento correcto de las instalaciones se estima un gasto de **2.000 € anuales**.

10.4. Ahorro y amortización

En este apartado se calculará el ahorro que supone llevar a cabo este proyecto y el periodo en el que se amortiza la instalación.

La instalación híbrida minieólica-fotovoltaica cubre en un 57,73% de la demanda eléctrica de la escuela. Así, la dependencia hacia la red eléctrica será menor y se dará un ahorro de 6.119,8 € anuales correspondiente a dicho porcentaje. Aun así, la escuela seguirá utilizando electricidad de la red para cubrir el 42,27% del consumo eléctrico que no se cubre y esto supondrá un gasto de 4.480,92 € anuales. Mientras, la demanda térmica se cubre al 100% mediante las bombas geotérmicas y por lo tanto se puede prescindir de la caldera de gasóleo con un ahorro anual de 9.526,33 €. En la Tabla 10, se observa lo anteriormente mencionado.

AHORRO ANUAL	
Electricidad	6.119,79 €
Gasóleo	9.526,33 €
TOTAL	15.646,12 €

Tabla 10. Ahorro anual

A continuación, se calculará el tiempo de retorno simple (TRS) utilizando la siguiente expresión:

$$TRS = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro} - \text{Costes de operación y mantenimiento}}$$

$$TRS = \frac{97.975 \text{ €}}{15.646,13\text{€/año} - 2.000\text{€/año}} = 7,18 \text{ años}$$

Por lo tanto, en 8 años se amortiza la inversión inicial. En los 8 primeros años se obtiene un beneficio de 1.399,24 € mientras que se amortiza la inversión inicial y a partir del octavo año de 13.646,12 €. En la Tabla 10 aparecen dichos datos.

BENEFICIO ANUAL OBTENIDO	
Ahorro desde el año 1 al 8	1.399,24 €
Ahorro desde el año 8 en adelante	13.646,12 €

Tabla 11. Beneficio anual obtenido

11. CRONOGRAMA

Para una adecuada planificación de las tareas a cumplir durante el proyecto descrito se hace uso de un diagrama Gantt (se puede ver en la Ilustración 35). En ella aparece una aproximación del tiempo de ejecución de cada actividad.

Se propone empezar el proyecto a principios de septiembre y tendrá una duración total de 16 meses. Debido a que el proyecto no requiere obras de grandes dimensiones no se prevé que tendrá ninguna influencia en el curso escolar. A continuación, se resumen las diferentes etapas en que se llevara a cabo el proyecto.

Ingeniería básica: En esta etapa se definirán las ideas básicas del proyecto. En ella se describirán y dimensionarán los equipos a instalar, las características del emplazamiento, etc. Tendrá una duración aproximada de 3 meses y será necesario el trabajo en grupo de varios ingenieros.

Ingeniería de detalle: Esta será una etapa más larga, de unos 8 meses. Esta es una etapa en la que se hace una revisión muy precisa de la anterior, sin permitirse errores importantes.

Compra de los equipos: La compra de los equipos se hará simultáneamente con la anterior etapa. Aquí se especificarán los equipos a utilizar y los fabricantes. La duración dependerá de la rapidez en la que llegue el pedido.

Obra civil: Se llevarán a cabo las obras necesarias para la adecuación del emplazamiento. Ejemplo de ello son los cimientos del aerogenerador a instalar, las perforaciones necesarias para la captación geotérmica y edificios auxiliares donde colocar los equipos eléctricos o necesarios durante el montaje.

Finalmente, cuando se disponga de los equipos se hará tanto **el montaje mecánico** como el **eléctrico**. Y una vez, acabada esa etapa se dará la **puesta en marcha**, que será necesario para comprobar el buen funcionamiento de los equipos y hacer los últimos ajustes.

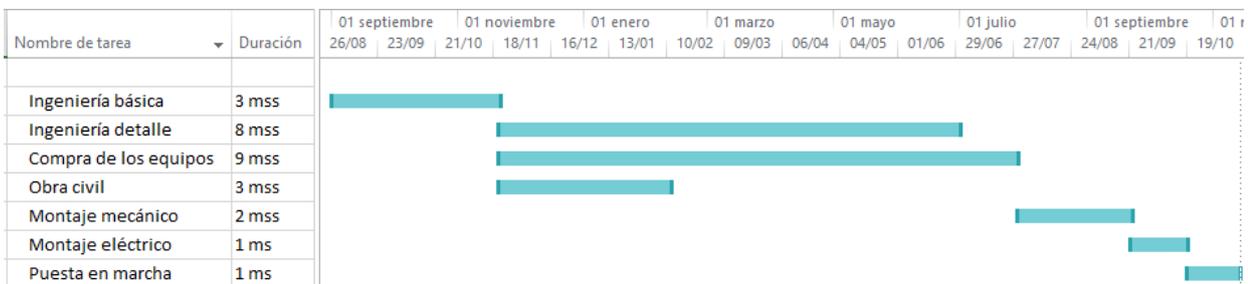


Ilustración 35. Diagrama de Gantt

12. REFERENCIAS

1. Kyoto Protocol, <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>
2. Acuerdo de París, https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es
3. 2050 Long-term strategy, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2050-long-term-strategy#>
4. Departamento de medio ambiente, planificación territorial y vivienda del Gobierno Vasco. <http://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/medio-ambiente/>
5. Euskalmet: Climatología de Euskadi. www.euskalmet.euskadi.eus
6. Página web oficial de la escuela Maiztegi. <http://www.maiztegieskola.hezkuntza.net>
7. Estimación de la huella de carbón. <https://www.carbonfootprint.com/>
8. Energías renovables Ekidom. <http://www.ekidom.com/>
9. Biomasa para la bioeconomía. <http://bioplat.org/>
10. Atlas eólico y aerogeneradores Enair. <https://www.enair.es/es/app>
11. Aerogenerador eólico. <https://www.partesdel.com/aerogenerador.html>;
<https://www.monografias.com/trabajos108/instalaciones-eolicas/instalaciones-eolicas2.shtml>
12. División de Investigación y Recursos. EVE. (1998). Atlas de radiación solar del País vasco.
13. Instalación fotovoltaica. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
14. Tienda online de energía solar fotovoltaica. <https://solarbex.com/>
15. Instalación geotermia. <https://erenovable.com/energia-geotermica/>;
<http://www.geoplat.org/energia-geotermica/>
16. Miguel Zamora, responsable de I+D+i de Ciatesa. (2008). Empleo de bombas de calor acopladas a intercambiadores geotérmicos. Proyecto Geocool.
17. IDEA. (2012). Área tecnológica: Geotermia. Mapa tecnológico: Calor y frío renovables.
18. Aberto García García, Jonatan García Uriarte y Iñigo Gómer González. Geotermia: Definición y aplicaciones.

19. Pati Manning, Barcelona. (2014). El funcionamiento básico de la bomba de calor geotérmica y la distribución de calor/frío en los edificios.
20. Conductos y accesorios de ventilación y climatización. <https://novatub.com/>
21. Conductos de climatización con aislamiento térmico. <https://www.isover.es/>
22. CEO₂ GREEN. Nueva generación de Bombas de Calor Geotérmicas Clausius. <http://www.ceo2green.com/index.html>
23. Geotermia vertical instalaciones. Precios orientativos. <https://www.geotermiavertical.es/precios-orientativos/>
24. Informe auditoría energética “Municipio de Iurreta” de 2011-12

Índice de figuras

Ilustración 1. Parte frontal de la escuela Maiztegi	9
Ilustración 2. Gráfico de la distribución del consumo de energía eléctrica	12
Ilustración 3. Gráfico de la distribución anual del consumo de electricidad mensual en 2018	14
Ilustración 4. Gráfico de la distribución del consumo de energía eléctrica y térmica en 2018	15
Ilustración 5. Diagrama del ciclo de la generación y consumo de la biomasa	17
Ilustración 6. Los elementos de una miniaerogenerador	19
Ilustración 7. El sistema solar térmico.....	20
Ilustración 8. Elementos de una placa fotovoltaica	21
Ilustración 9. Bomba de calor geotérmica	23
Ilustración 10. Imagen de aerogeneradores eólicos junto a placas fotovoltaicas.....	25
Ilustración 11. Diagrama de la variación estacional de la velocidad del viento en Iurreta. Fuente: Merra-2	26
Ilustración 12. Porcentaje de producción solar en Iurreta. Fuente: Merra-2.....	26
Ilustración 13. Esquema del uso del recurso geotérmico para calefacción y refrigeración	28
Ilustración 14. La rosa de los vientos de Iurreta	30
Ilustración 15. Los elementos de un aerogenerador	31
Ilustración 16. Tipo de torres: atirantada, cuadrada de celosías y tubular. (En orden de izquierda a derecha).....	32
Ilustración 17. Histograma del viento de Iurreta	33
Ilustración 18. Energía eólica calculada.....	35
Ilustración 19. Aerogenerador eólico E200	36
Ilustración 20. Plataforma online de Enair para el cálculo de la producción eólica	37
Ilustración 21. Esquema de una ISF conectada a la red eléctrica	38
Ilustración 22. Módulo fotovoltaico	38
Ilustración 23. Irradiación media, aporte solar y cobertura carga térmica en las diferentes zonas solares (fuente: EVE).....	39
Ilustración 24. Conjunto de placas fotovoltaicas	41
	57

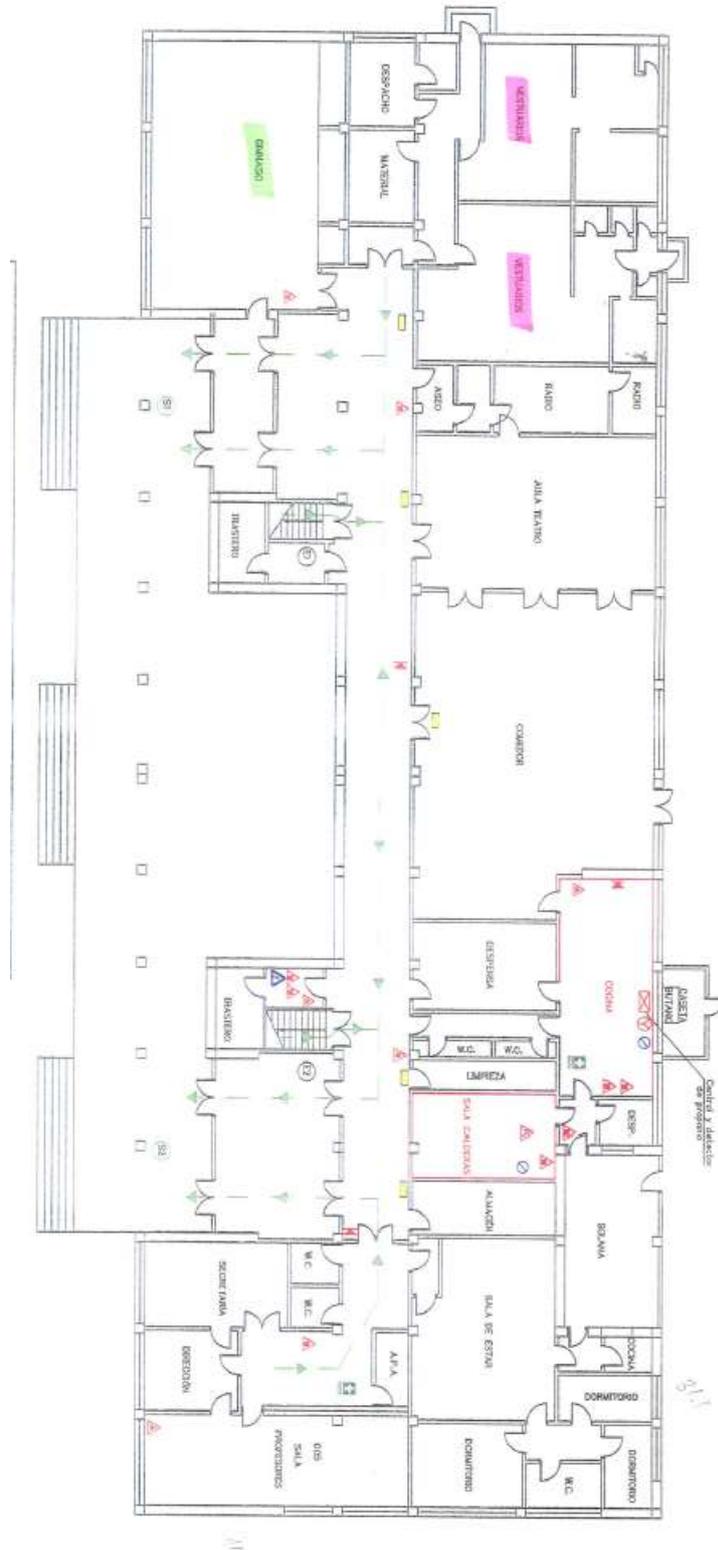
Ilustración 25. Instalación híbrida eólica-fotovoltaica	41
Ilustración 26. Esquema de la conexión a la red	42
Ilustración 27. Armario de control	43
Ilustración 28. Esquema del funcionamiento de una bomba geotérmica	43
Ilustración 29. Circuito cerrado de captación vertical.....	44
Ilustración 30. Esquema del funcionamiento de una bomba de calor	45
Ilustración 31. Funcionamiento de una bomba geotérmica	46
Ilustración 32. Instalación de las tuberías de distribución de aire	47
Ilustración 33. Método de perforación rotoperCUSión neumática con martillo de fondo	47
Ilustración 34. Bomba de calor Clausius, Strong Tandem	48
Ilustración 35. Diagrama de Gantt.....	54

Índice de tablas

Tabla 1: Consumo de electricidad anual durante 2018.....	14
Tabla 2: Datos del fabricante de la caldera actúa.....	15
Tabla 3: Datos de facturas de 2018 del gasóleo B.....	16
Tabla 4: Estimación del valor del factor n.....	30
Tabla 5: La potencia eólica por m ² de área para cada velocidad del viento en Iurreta.....	35
Tabla 6: Coste anual actual de energía eléctrica y térmica.....	49
Tabla 7: Inversión de la instalación minieólica.....	50
Tabla 8: Inversión de la instalación geotérmica.....	51
Tabla 9: Inversión total.....	51
Tabla 10: Ahorro anual.....	52
Tabla 11: Beneficio anual obtenido.....	53

ANEXO 1: Planos del edificio de la escuela Maiztegi.

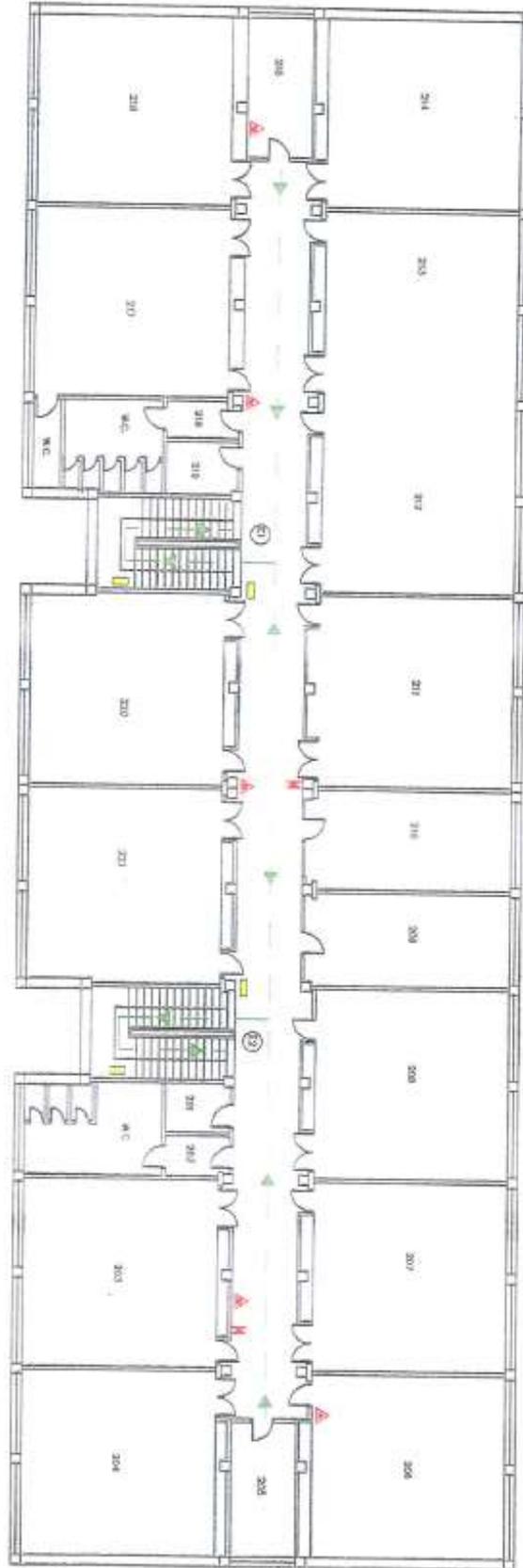
1º Planta



2º Planta:



3º Planta:



ANEXO 2: Ficha técnica del aerogenerador E200 dados por el fabricante Enair

 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO		
GENERADOR	Potencia	20kW - Max.
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	18kW - IEC 61400
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
	Orientación	Orientación aerodinámica
	ROTOR	Diámetro
Área de barrido		75.4m ²
Longitud de pala		4.5m
Material de pala		Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
Tipo de control		Paso variable activo, regul. electrónica y freno
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos 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 datos (opc.)
INVERSORES	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V

ANEXO 3: Ficha técnica de la placa solar de 270 W 24 V (fuente: Solarbex)

- Potencia (en Wattios): **270W**
- Voltaje en circuito abierto (Voc): **38,4V**
- Voltaje en el punto de máxima potencia (Wmp): **30,09V**
- Corriente de cortocircuito (Isc): **9,18A**
- Corriente nominal (Impp): **9,02A**
- Sistema de voltaje máximo: **1000VDC**
- Rendimiento: **16,5%**
- Tolerancia: **+/-2°C**
- Tipo de célula: **Policristalino**
- Dimensiones: **1650 x 992 x 40 mm**
- Peso: **18,6 Kg**
- Garantía contra defectos de fabricación: 12 años

ANEXO 4: Bomba de calor geotérmica Clausius Strong tándem (fuente: CEO₂ GREEN)

Documentación técnica

Modelos:	strong H 12-150 / strong HC 12-150
Bomba de calor aire-agua:	no
Bomba de calor agua-agua:	no
Bomba de calor salmuera-agua:	sí
Aplicación:	Baja temperatura (35 °C)
Equipado con un calefactor complementario:	no
Calefactor combinado con bomba de calor:	no

Elemento	Símbolo	Valor	Ud.	Elemento	Símbolo	Valor	Ud.
Potencia calorífica nominal	Prated	150	kW	Eficiencia energética	η_s	210	%
Capacidad declarada de calefacción para carga parcial a temperatura interior de 20 °C y temperatura exterior T_j				Coeficiente de rendimiento declarado o relación de energía primaria para carga parcial a temperatura interior de 20 °C y temperatura exterior T_j			
$T_j = -7$ °C	Pdh	132.7	kW	$T_j = -7$ °C	COPd	4.8	-
$T_j = +2$ °C	Pdh	80.8	kW	$T_j = +2$ °C	COPd	5.2	-
$T_j = +7$ °C	Pdh	51.9	kW	$T_j = +7$ °C	COPd	5.5	-
$T_j = +12$ °C	Pdh	23.1	kW	$T_j = +12$ °C	COPd	5.7	-
T_j = temperatura bivalente	Pdh	-	kW	T_j = temperatura bivalente	COPd	-	-
T_j = límite de funcionamiento	Pdh	-	kW	T_j = límite de funcionamiento	COPd	-	-
Para bombas de calor aire-agua: $T_j = -15$ °C (si $TOL < -20$ °C)	Pdh		kW	Para bombas de calor aire-agua: $T_j = -15$ °C (si $TOL < -20$ °C)	COPd	-	%
Temperatura bivalente	T_{bv}	-	°C	Para bombas de calor aire-agua: Temperatura límite de funcionamiento	TOL	-	°C
Eficiencia del intervalo cíclico para calefacción	P _{cyh}	-	kW	Eficiencia del intervalo cíclico	COP _{cyh}	-	%
Coeficiente de degradación	Cdh	0.9	-	Temperatura límite de calentamiento del agua	WTOL	65	°C
Consumo de electricidad en modos distintos del activo				Calefactor complementario			
Modo desactivado	P _{off}	0.005	kW	Potencia nominal (**)	P _{TO}	-	kW
Modo desactivado por termostato	P _{TO}	0.010	kW	Tipo de insumo de energía			
Modo de espera	P _{SE}	0.010	kW	-			
Modo de calentador del cárter	P _{CK}	0.000	kW	Para bombas de calor aire- agua: Caudal de aire nominal (exterior)			
Otros elementos				Para bombas de calor agua-agua o salmuera-agua: Caudal de salmuera o de agua nominal, intercambiador de calor de exterior			
Control de capacidad	variable			Para calefactores combinados con bomba de calor:			
Nivel de potencia acústica (interiores/exteriores)	LWA	80 / 0	dB	Eficiencia energética de caldeo de agua	η_{wh}	-	%
Consumo de energía anual	Q _{HE}	59148.7	kWh	Consumo diario de combustible	Q _{fuel}	-	kWh
Para calefactores combinados con bomba de calor:				Consumo anual de combustible			
Perfil de carga declarado	-			AFC			
Consumo diario de electricidad	Q _{elec}	-	kWh	-			
Consumo anual de electricidad	AEC	-	kWh	-			

Ficha de producto

a	Nombre o marca comercial del proveedor	CLAUSIUS	
b	Identificador del modelo del proveedor	strong H 12-150 / strong HC 12-150	
c	Aplicación	Baja temperatura (35°C)	Media temperatura (55 °C)
d	Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	A++	A++
e	Potencia calorífica nominal	150 kW	150 kW
f	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas medias)	59149 kWh	73416 kWh
g	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas medias)	210 %	169 %
h	Nivel de potencia acústica en interiores (LWA)	80 dB	
i	Posibilidad de funcionamiento únicamente en horas de baja demanda	Sí	
j	Precauciones específicas que hayan de tomarse durante el montaje, instalación o mantenimiento	Todas las operaciones indicadas se realizarán siempre por personal cualificado y siguiendo las instrucciones dispuestas en el manual del producto.	
k	Potencia calorífica nominal (condiciones climáticas frías)	75 kW	75 kW
	Potencia calorífica nominal (condiciones climáticas cálidas)	75 kW	75 kW
l	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas frías)	69417 kWh	85618 kWh
	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas cálidas)	37610 kWh	46689 kWh
m	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas frías)	214 %	173 %
	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas cálidas)	213 %	171 %
n	Nivel de potencia acústica en exteriores (LWA)	0 dB	