

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA  
INDUSTRIAL

**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA A LA  
RESIDENCIA BETA MEDIANTE VARIAS  
ENERGÍAS RENOVABLES***

**Alumno:** Gontzal Martín Urquijo

**Director:** Víctor Francisco de la Peña Aranguren

**Curso:** 2017/2018

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. ANTECEDENTES .....	7
2.1. Sistema Eléctrico .....	7
2.2. Sistema Térmico .....	7
2.3. Protocolo de Kyoto .....	8
3. ALTERNATIVAS .....	9
3.1. Energía Térmica.....	9
3.1.1. Biomasa .....	9
3.1.2. Geotérmica .....	11
3.1.3. Solar Térmica.....	13
3.2. Energía Eléctrica.....	15
3.2.1. Mini Eólica.....	15
3.2.2. Fotovoltaica .....	18
3.3. Alternativas Seleccionadas .....	19
4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO .....	20
5. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES .....	22
5.1. Caldera de Biomasa.....	22
5.2. Bomba Geotérmica.....	23
5.3. Aerogeneradores .....	25
6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	28
6.1. Biomasa.....	28
6.1.1. Combustible.....	28
6.1.2. Depósito de almacenaje .....	28
6.1.3. Cenizas .....	29
6.1.4. Evacuación de gases.....	29
6.1.5. Depósito de inercia.....	30
6.2. Energía Geotérmica .....	30
6.2.1. Bomba de calor.....	30
6.2.2. Sistema de captación.....	31
6.2.3. Fluido caloportador.....	33
6.3. Energía Eólica .....	34

6.3.1. Aerogeneradores .....	34
6.3.2. Curva de potencia .....	35
6.3.3. Torre soporte.....	36
7. ESTUDIO ECONÓMICO.....	37
7.1. Sistema actual.....	37
7.2. Sistema proyectado.....	37
7.2.1. Inversión inicial.....	37
7.2.2. Costes de explotación.....	39
7.2.3. Análisis de rentabilidad.....	40
8. CRONOGRAMA .....	43
9. CONCLUSION.....	45
10. BIBLIOGRAFÍA .....	46
ANEXO I: Hojas de características técnicas .....	49
ANEXO II: Cálculos .....	55

## Índice de figuras

Figura 1 Caldera Biomasa .....	10
Figura 2 Libro Energía Geotérmica.....	11
Figura 3 Libro Energía Geotérmica .....	12
Figura 4 Sustentación.....	15
Figura 5 Elementos de un aerogenerador .....	16
Figura 6 Aerogenerador tripala Enair .....	16
Figura 7 Aerogenerador Savonius.....	17
Figura 8 Panel Fotovoltaico .....	18
Figura 9 Campus universitario.....	20
Figura 10 Edificios residenciales .....	21
Figura 11 Hergóm THT 800.....	22
Figura 12 Localización del almacén .....	23
Figura 13 Máquina térmica inversa .....	24
Figura 14 Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica .....	24
Figura 15 Ecodan Power+ Geotérmica (CRHV-P600YA-HPB) .....	25
Figura 16 Enair 800 .....	25
Figura 17 Localización de los aerogeneradores.....	26
Figura 18 Enair 800 .....	27

Figura 19 Esquema de un filtro de mangas .....	29
Figura 20 Acumulador inercial Inerox S235JR .....	30
Figura 21 Sistema horizontal y vertical .....	31
Figura 22 Sonda Ferroterm vertical y tubo de conexiones .....	33
Figura 23 Rosa de Vientos de Bialystok .....	34
Figura 24 Curva característica del Enair 800.....	35
Figura 25 Costes de explotación anuales de la geotermia .....	39
Figura 26 Ahorro anual, gasto anual e inversión inicial .....	41
Figura 27 Cronograma .....	44

## Índice de tablas

Tabla 1 Cálculo de potencia térmica .....	7
Tabla 2 Cálculo de potencia térmica para ACS .....	8
Tabla 3 Propiedades físicas del agua y del etilenglicol .....	33
Tabla 4 Cálculos para la generación eléctrica .....	36
Tabla 5 Costes de inversión de la biomasa .....	37
Tabla 6 Costes de inversión de la geotermia.....	38
Tabla 7 Costes totales de inversión.....	39
Tabla 8 Costes de explotación anuales de la biomasa.....	39

## Resumen

El objetivo principal de este proyecto es contribuir al autoabastecimiento de la residencia y generar un impulso en el ámbito de las energías alternativas en Polonia. A través de los conocimientos y cálculos necesarios se estudia la sustitución de los equipos actuales de la residencia por otros de carácter renovable.

El proyecto busca la eficiencia y el compromiso con el medio ambiente, centrándose en los equipos de generación eléctrica y térmica, analizando las diferentes alternativas y obteniendo por las tres más adecuadas: eólica, biomasa y geotermia. Finalmente, se dimensionan los equipos y se realiza un análisis económico que confirma la rentabilidad del proyecto.

## Laburpena

Gradu bukaerako lan honen helburua Poloniako egoitzaldeetako auto-hornikuntzan ikerketa bat egitea da, baita bestelako energietan bere sustapena aztertzea. Bestalde, proiektu honek gaur egungo instalazioak beste berriztagarri batzuenekin ordezkatzeko jorratzen du.

Proiektuak ingurumenarekiko konpromisoa eta eraginkortasuna bilatzen du, instalazio elektrikoetan eta termikoetan oinarritzen, aukera desberdinak aztertzen eta egokienak aukeratzen: eolikoa, biomasa y geotermikoa. Azkenik, instalazioak hedatzen dira, eta analisi ekonomiko bat egiten da proiektuaren errentagarritasuna baieztatzeko.

## Abstract

The main objective of this project is to contribute to the self-sufficiency of the residence and generate a boost in the field of alternative energy in Poland. Through the necessary knowledge and calculations, the substitution of the current equipment of the residence for others of a renewable nature is studied.

The project seeks efficiency and commitment to the environment, focusing on electric and thermal generation equipment, analyzing the different alternatives and obtaining the three most suitable ones: wind, biomass and geothermal energy. Finally, the equipment is dimensioned and an economic analysis is carried out that confirms the profitability of the project.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es el abastecimiento energético del edificio principal de una residencia a través de varias energías renovables. Se trata de la residencia situada en el campus de la universidad politécnica de Bialystok (Polonia). Por tanto se implantará en la medida de lo posible, nuevas instalaciones o dispositivos de generación de energía eléctrica y térmica que contribuyan al autoabastecimiento del edificio.

Se comenzará realizando una descripción de la situación actual del campus y el edificio en cuestión, así como de la demanda energética que se deberá satisfacer en todo momento.

Los nuevos equipos deberán ser de carácter renovable, por lo que se realizará una selección entre las distintas alternativas más habituales y desarrolladas hoy en día. Para llevar a cabo dicha selección se tendrán en cuenta previamente los pros y contras de cada alternativa. Una vez seleccionadas las alternativas se procederá a la descripción de la planta.

Posteriormente, se llevará a cabo el dimensionamiento de los equipos en función de la demanda energética del edificio.

Finalmente, se realizará un estudio económico de los costes de instalación y mantenimiento de cada sistema, junto con un cronograma que describirá las distintas etapas del proyecto en función del tiempo. Desde su inicio hasta su puesta en marcha.

## 2. ANTECEDENTES

La energía demandada en un edificio es de dos tipos: energía eléctrica (iluminación y fuerza) y energía térmica (calefacción y agua caliente sanitaria o ACS).

La producción de estas dos formas de energía se realiza de distintas maneras. La energía eléctrica se genera constantemente en distintos tipos de centrales (Nucleares, Termoeléctricas, Hidroeléctricas, Geotérmicas, etc.) en función de la demanda instantánea. La energía térmica en cambio se genera de forma mucho más localizada, con las caderas de los propios edificios o paneles termosolares.

En este apartado se describirá el sistema eléctrico y térmico del edificio.

### 2.1. Sistema Eléctrico

El edificio se abastece a partir de la red, que es de 15kV. La red está conectada a un transformador del que resultan dos voltajes: 230V para iluminación y 400V para fuerza (ascensores, bombas, etc.)

Se estima que la potencia requerida para el consumo eléctrico del edificio es de 700kW, teniendo en cuenta la iluminación, dispositivos eléctricos conectados, ascensores, bombas, etc.

### 2.2. Sistema Térmico

Se procederá al cálculo de la potencia térmica consumida en el edificio completo. Por un lado se calculará la potencia necesaria para calefacción y posteriormente la necesaria para ACS.

Se tomará como referencia el valor de 0,12 kW/m<sup>2</sup> para abastecer la potencia requerida para calefacción, teniendo en cuenta la temperatura obligatoria establecida por la legislación polaca (20°C en habitaciones y 24°C en baños).

El edificio consta de 11 plantas, de las cuales 10 son únicamente residenciales. Únicamente la planta baja no dispone de habitaciones. Es aquí donde se ubican la recepción, el hall, la administración, el restaurante y la sala de juegos. Los cálculos realizados son los siguientes:

CALEFACCIÓN	m <sup>2</sup>	Cantidad/Piso	Nº Pisos	kW/m <sup>2</sup>	kW Totales
Habitaciones	12,5	32	10	0,12	480
Pasillos	67,5	2	10	0,12	162
Cocina	16	1	10	0,12	19,2
Lavandería	18	1	10	0,12	21,6
Hall	30	1	1	0,12	3,6
Restaurante	20	1	1	0,12	2,4
Sala de Juegos	30	1	1	0,12	3,6
Recepción	10	1	1	0,12	1,2
Administración	15	2	1	0,12	3,6
					<b>697,2</b>

Tabla 1 Cálculo de potencia térmica

Por otro lado, respecto al ACS, se estima que el consumo diario de agua caliente sanitaria son 40 litros por persona aproximadamente, a una media de 45°C. Tomando este valor como referencia y teniendo en cuenta que la capacidad máxima de la residencia es de 600 personas, realizaremos el cálculo de la potencia térmica necesaria para ACS.

ACS	
ACS (L/día*Persona)	40
Calor específico (kJ/kg°C)	4,18
Potencia Total	34,833

Tabla 2 Cálculo de potencia térmica para ACS

Es decir una potencia térmica total de 732kW. Para abastecerla se han instalado 3 calderas BAXI CPA 290-BT, que proporcionan una potencia total de 870kW, lo que permite cierto margen para las épocas más frías en invierno. Con un rendimiento del 85% aproximadamente. Esta caldera utiliza como combustible el gasóleo, ya que en el edificio no disponen de instalaciones de gas natural.

El caudal másico de humos generado por esta caldera es de 0,132 kg/s aproximadamente, con una emisión de partículas nocivas menores que 180 mg/kWh para NOx y menores que 70 mg/kWh para CO.

### 2.3. Protocolo de Kyoto

Estas emisiones tienen en cuenta el acuerdo internacional de Kyoto (Protocolo de Kyoto) que ha sido prorrogado hasta 2020 tras la cumbre de la “Puerta Climática de Doha”. Tras el acuerdo de Kyoto, Polonia se comprometió a reducir hasta un 6% sus emisiones de gases de efecto invernadero.

El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional alcanzado con el objetivo de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico que provocan el cambio climático. Entró en vigor en 2005, y consta de dos periodos de actuación: 2008-2012 y 2013-2020. Por primera vez, con el Protocolo se definieron unos objetivos de reducción obligatorios, cuantificados y específicos. Estos objetivos van desde -8% hasta +10% del nivel de emisión de los diferentes países en 1990 con el objetivo de reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012. En casi todos los casos, incluso en los que se ha fijado un objetivo de +10% de los niveles de 1990, los límites exigen importantes reducciones de las emisiones entonces proyectadas.

El acuerdo apuntaba al petróleo, gas natural y carbón como principales combustibles responsables de la generación de gases de efecto invernadero. Por ello, es necesario tener en cuenta las restricciones implantadas por el mismo para un futuro sostenible.

### 3. ALTERNATIVAS

En este apartado se describirán las diferentes alternativas posibles para el proyecto. Posteriormente, un balance y elección de las posibilidades más factibles para el caso objeto de estudio.

El objetivo es reemplazar, en la medida de lo posible, los equipos instalados por otros de carácter renovable con el fin de contribuir al autoabastecimiento del complejo residencial.

Existen diversas formas de generación de energía renovable. Para este proyecto, únicamente se tendrá en cuenta la energía solar térmica y fotovoltaica, la biomasa, la energía geotérmica y la mini eólica.

#### 3.1. Energía Térmica

Dentro de las alternativas contempladas, solamente la solar térmica, la geotérmica y la biomasa están orientadas a la producción de energía térmica.

##### 3.1.1. Biomasa

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. Es una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta. También se tienen en cuenta las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (aunque dadas las características específicas de estos residuos se suelen considerar como un grupo aparte).

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Es decir, el CO<sub>2</sub> generado en la combustión de la misma contrarresta al consumo de CO<sub>2</sub> necesario para generar dicho combustible a través de la fotosíntesis. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua.

Son fuentes de biomasa:

- Residuos agrarios y animales.
- Residuos forestales.
- Residuos industriales.
- Cultivos vegetales concretos para este fin.
- Residuos sólidos urbanos.

Existen distintos tipos de combustibles de biomasa: sólidos, líquidos y gaseosos. Este proyecto se centrará en la aplicación de biocombustibles sólidos.

El funcionamiento de una planta de biomasa sólida para la generación de energía térmica consiste en la recepción de la biomasa, generalmente en forma de alpacas (paja ó astillas). Posteriormente se colocan automáticamente en una cinta transportadora, que las conduce hasta la caldera. Allí, previamente desmenuzadas, caen a una parrilla vibratoria que

favorece la combustión y la evacuación de la materia no quemada. Dicha combustión calienta el agua que circula por las tuberías de las paredes de la caldera y por haces de tubos en el interior de la misma.

La obtención de energía térmica a través de la quema de biomasa sólida se realiza con diferentes propósitos. Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa



Figura 1 Caldera Biomasa

Las aplicaciones térmicas más comunes de la biomasa son las siguientes:

- Instalaciones industriales que producen biomasa y donde se requiere energía térmica en sus procesos. En estos casos es donde se consume actualmente la mayor parte de la biomasa en España.
- Otro tipo de instalaciones industriales con necesidades de demandas de calor prolongadas para sus procesos.
- Instalaciones del sector doméstico y de servicios con elevada centralización, puesto que el coste de la instalación por unidad de energía producida disminuye significativamente con el tamaño de la misma. Entre otros casos en que las instalaciones de biomasa son rentables para el promotor y para el usuario, se pueden destacar:
  - Edificios públicos de cierta dimensión, como colegios, hospitales, centros administrativos, etc. con una ubicación que permita un fácil suministro del combustible.
  - Edificios de viviendas con servicios de calefacción y agua caliente centralizados.
  - Sistemas de redes urbanas, centralizadas o de distrito (District Heating).

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA BIOMASA

Las ventajas que representa el aprovechamiento energético de la biomasa resultan evidentes:

- Soluciona los problemas que acarrea la destrucción incontrolada de los residuos, evitando la contaminación medioambiental (malos olores, humos...).
- Disminuye el riesgo de incendios en los bosques.
- Su uso significa una reducción en el consumo de otras fuentes de energía no renovables, tales como el carbón o el petróleo.

Existen también los siguientes inconvenientes:

- Se corre el riesgo de que, por una falta de control, se lleven a cabo talas excesivas que agoten la masa vegetal de una zona.
- Rendimiento neto pequeño. (3 kg de biocombustible equivalen a 1kg de gasolina)
- El alto grado de dispersión de la biomasa da lugar a que su aprovechamiento no resulte, en ocasiones, económicamente rentable.
- No es una fuente de energía gratuita.

### 3.1.2. Geotérmica

La Tierra almacena en forma de calor gran cantidad de energía. Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas. Desde el centro hasta la superficie, el globo terrestre está constituido por tres capas sucesivas de temperatura decreciente:

- El núcleo, cuya temperatura puede alcanzar los 4.200 °C.
- El manto que lo envuelve, con temperaturas que van desde los 3.000 °C a 1.000 °C.
- La corteza, que corresponde a la envoltura superficial. Su temperatura varía desde los 1.000°C en su contacto con el manto, hasta los 15-20 °C de la superficie terrestre.

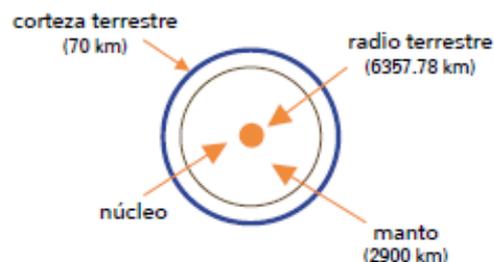


Figura 2 Libro Energía Geotérmica

Por lo que respecta a los tipos de recursos geotérmicos, se adopta la clasificación basada en el nivel de temperatura:

- Recursos de muy baja temperatura: menos de 30 °C.
- Recursos de baja temperatura: entre 30 y 90 °C.
- Recursos de media temperatura: entre 90 y 150 °C.
- Recursos de alta temperatura: más de 150 °C.

La energía geotérmica se puede aprovechar de dos maneras distintas: generando electricidad a través de vapor de agua, o bien extrayendo directamente el calor del agua obtenida.

El uso directo del calor se aplica para proveer de calefacción y ACS a viviendas u otros tipos de edificios; para procesos industriales que necesitan calor (fábricas de celulosa, papel, conservas, harinas de pescado); para calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías; para calefacción de invernaderos, establos y criaderos; para piscicultura, etc. Para cada una de estas aplicaciones es necesaria una adecuada temperatura del agua. En la 'Figura 3' se observan los distintos usos posibles de la energía geotérmica en función de la temperatura.

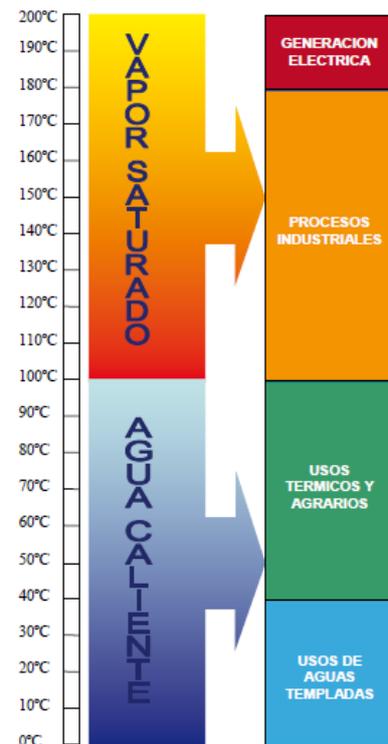


Figura 3 Libro Energía Geotérmica

Por otro lado, el uso eléctrico consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico. En una planta térmica convencional el vapor se genera quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en una planta geotérmica no es necesario gastar combustible pues es el vapor provisto directamente por la naturaleza. Una vez ya se ha turbinado este vapor, éste se condensa mediante un intercambiador y se inserta nuevamente en el reservorio de calor para reiniciar el ciclo. Naturalmente este proceso no es tan simple como se menciona. En general el vapor viene mezclado con agua y ésta, a su vez, tiene disueltas sales. Será entonces necesario separar el vapor del agua para que pueda ser derivado a las turbinas.

Este proyecto tendrá en cuenta la energía geotérmica como medio para el abastecimiento de calefacción y ACS al edificio en cuestión. Sin embargo, el contenido en sales disueltas, o de sólidos en suspensión, es la causa de que las aguas geotérmicas no puedan ser conducidas directamente hasta los puntos de demanda final. Es por ello que se utilizan intercambiadores de calor que permiten la cesión del calor a otros fluidos (agua también, normalmente), que componen el circuito secundario de entrega final del calor a esos puntos de demanda.

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Las ventajas e inconvenientes principales de esta alternativa son los siguientes:

- Su coste de explotación es bajo.
- Es una fuente que evitaría a muchos países la dependencia energética del exterior.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón...
- La energía geotérmica no depende del clima, de la radiación solar ni del viento. Está disponible 24 horas al día, 365 días al año.
- El terreno utilizado para la extracción de energía geotérmica puede utilizarse para otros fines.

Por otro lado, se tienen las siguientes desventajas:

- Emisión de ácido sulfhídrico.
- Su coste de inversión inicial es alto.
- Posible contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco...
- Deterioro del paisaje.
- No se puede transportar como energía primaria.
- Es una fuente limitada, ya que no es fácil encontrar los reservorios de calor.

### 3.1.3. Solar Térmica

La energía solar es un tipo de energía renovable y limpia. La potencia de la radiación solar varía de acuerdo al momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. La radiación solar nunca será igual a lo largo de un año, ya que muy probablemente disminuirá durante el invierno (que es la época del año en la cual solemos requerir la mayor cantidad de energía). De modo que ha de tenerse en cuenta que esta energía está sometida a permanentes fluctuaciones.

Se trata de aprovechar la radiación solar a través de un panel solar que capta la energía y la transfiere a un fluido caloportador. El fluido se dirige a un intercambiador, que puede ser de serpentín (pequeñas instalaciones) o de placas (grandes instalaciones). En ese punto, el fluido intercambia el calor con el circuito de agua doméstica. Si la temperatura obtenida es suficiente, el agua saliente del intercambiador se dirigirá directamente a su utilización. Si la temperatura obtenida no es la suficiente, la salida del intercambiador se puede conectar con una caldera auxiliar para conseguir la temperatura deseada.

El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a las viviendas, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se pueden climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

Otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar es la refrigeración durante las épocas cálidas. En efecto, la obtención de frío requiere una fuente de calor, la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea.

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar. Otro ejemplo son las plantas de purificación o desalinización de aguas que pueden funcionar sin consumir ningún tipo de combustible.

En el edificio objeto de estudio, la energía solar térmica iría únicamente destinada a ACS y a calefacción.

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Pueden enumerarse las siguientes ventajas de la energía solar:

- Es energía no contaminante. No hay emisión de dióxido de carbono a la atmósfera y los impactos ambientales por la contaminación de aire y agua son bajos.
- Proviene de una fuente de energía inagotable.
- Es un sistema de aprovechamiento de energía muy apropiado para zonas donde el tendido eléctrico no llega (campo, islas), o es dificultoso.
- La tecnología está bien desarrollada y puede instalarse con rapidez.
- El coste de dichos sistemas disminuye a medida que la tecnología se desarrolla.

La utilización de la energía solar no está exenta de desventajas, tales como las que se enumeran a continuación:

- El nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra. La radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más se necesita.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- Requiere gran inversión inicial.
- La energía solar suele ser complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación.

## 3.2. Energía Eléctrica

A continuación se analizan las siguientes posibilidades entorno a la generación de energía eléctrica del edificio.

### 3.2.1. Mini Eólica

La producción de energía eléctrica a través de tecnología mini eólica es una de las alternativas más habituales y desarrolladas hasta el momento. El objetivo es extraer la mayor energía posible a un fluido como es el aire. Para ello se tienen en cuenta conceptos de la mecánica de fluidos como es la sustentación, aplicada en la aerodinámica de las palas.

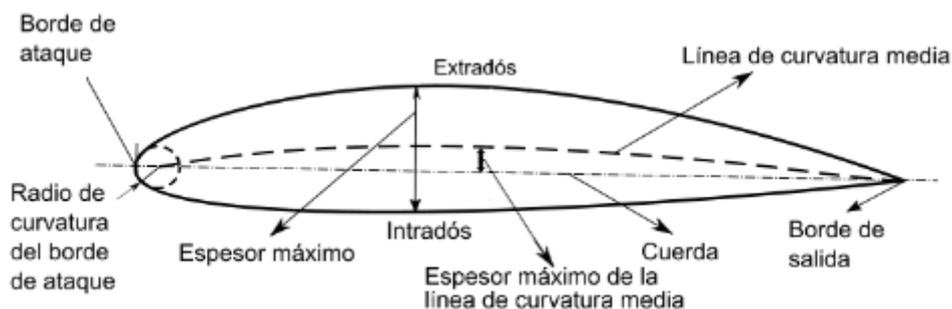


Figura 4 Sustentación

La fuerza de sustentación, que permite el giro y el funcionamiento de las palas, se genera a través del flujo del aire por la superficies del aspa. El flujo de aire que se dirige por la parte superior del aspa se mueve con mayor velocidad que el aire que fluye por la parte inferior.

La diferencia de velocidades genera una depresión en la superficie superior. Por lo tanto se produce una fuerza desde el lado de mayor presión (cara inferior) a la zona de menor presión (cara superior), lo que crea un momento de giro en el aerogenerador.

Un aerogenerador de pequeña potencia está compuesto por diversos elementos. Las palas y el rotor, donde se convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía mecánica es transferida a un generador a través de un eje de rotación, que acopla el rotor con el alternador. De este modo, la energía mecánica es transformada en energía eléctrica normalmente de frecuencia y tensión variable. El timón o aleta de cola es el sistema de orientación para un funcionamiento óptimo.

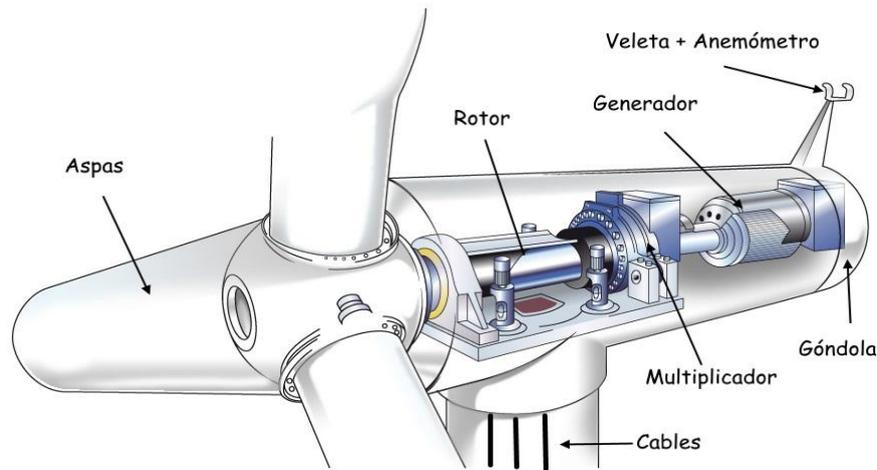


Figura 5 Elementos de un aerogenerador

Todos estos componentes deben estar separados del suelo a una cierta distancia mediante una estructura soporte o torre. Además, es necesario un sistema de acondicionamiento de potencia a través de un convertidor. Por último, por razones de seguridad, todo aerogenerador debe tener un sistema de protección contra sobrevelocidad en caso de velocidades de viento extremas.

Existen dos tipos de aerogeneradores de baja potencia: verticales y horizontales.

Los aerogeneradores de eje horizontal son más eficientes con vientos suaves laminares y continuos. Al tener su eje de rotación paralelo a la dirección de las líneas de corriente del viento, es necesario un mecanismo direccional que permita orientarse de frente al viento.



Figura 6 Aerogenerador tripala Enair

Los aerogeneradores de eje vertical no dependen de la orientación y toleran mejor las turbulencias. Sin embargo, son menos eficientes y pueden presentar problemas de vibraciones.



Figura 7 Aerogenerador Savonius

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA MINI EÓLICA

La generación de energía eléctrica por medio de tecnología mini eólica tiene las siguientes ventajas:

- Generación próxima a los puntos de consumo, lo que implica menores pérdidas.
- Versatilidad de ubicaciones y aplicaciones.
- Funcionamiento con vientos moderados.
- Suministro de electricidad en lugares aislados.
- Bajo coste de operación y mantenimiento.
- Elevada fiabilidad y reducido impacto ambiental.
- Accesibilidad tecnológica al usuario.

Sin embargo, encontraremos las siguientes desventajas en esta tecnología:

- Contaminación acústica.
- Impacto medioambiental.
- Variabilidad del viento.
- Dificultad de almacenamiento.

### 3.2.2. Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ha crecido y se ha desarrollado globalmente en los últimos años. Aunque la energía eólica produce mayores cantidades de electricidad que la energía solar fotovoltaica, ésta última tiene la ventaja de ser utilizable en la mayor parte del mundo y no en lugares tan localizados como en el caso de la eólica.

Es una tecnología que genera corriente continua por medio de semiconductores cuando éstos son iluminados por un haz de fotones. Es decir, a medida que la luz solar incide sobre una célula o panel fotovoltaico, se genera electricidad.

Los materiales semiconductores poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada banda de valencia. Cuando inciden los fotones se transfiere energía de tal manera que el enlace se rompe y el electrón pasa a la banda de conducción. Estos electrones son llevados mediante un contacto selectivo a un circuito externo. Una vez realizado el trabajo útil, los electrones pierden la energía captada y regresan mediante otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial.

Al flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. La estructura típica de una célula solar es una unión *pn* similar a la de los diodos semiconductores.



Figura 8 Panel Fotovoltaico

Para las aplicaciones habituales las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido a los usuarios. Los módulos producen corriente continua que, para su uso, se transformará en corriente alterna a través de un inversor. El inversor, junto con las baterías recargables para el almacenamiento de la energía (si es necesario) y la estructura sobre la que se monta el modulo se denomina BOS (Balance of System).

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La tecnología fotovoltaica presenta las siguientes ventajas:

- Energía renovable e inagotable.
- No tiene emisiones contaminantes.
- Sencillo mantenimiento y de bajo coste.
- Rápida amortización de la instalación.
- No genera contaminación acústica.
- Versatilidad respecto al lugar de instalación.
- Transporte sencillo.

Sin embargo, también existen los siguientes inconvenientes:

- Bajo rendimiento, en torno al 40%.
- Producción variable según la climatología y época del año.
- Almacenamiento complicado.
- Fabricación compleja y costes de instalación altos.

### 3.3. Alternativas Seleccionadas

Para la realización de este proyecto, se ha de seleccionar entre todas las alternativas posibles las más adecuadas para la implantación en el edificio Beta. Teniendo en cuenta los diferentes aspectos, cualidades, ventajas y desventajas de las diferentes opciones, el abastecimiento de dicho edificio se llevará a cabo a través de las tres siguientes fuentes de energía renovables:

Para calefacción y ACS se instalarán dispositivos de energía geotérmica y de biomasa, ya que en Polonia no se dispone de suficiente radiación solar como para abastecer con paneles termosolares todas las necesidades del bloque.

Para iluminación y fuerza, se instalarán aerogeneradores de baja potencia para satisfacer parte de la demanda.

Éstas son las alternativas más adecuadas en función del lugar de instalación y las condiciones del entorno.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Situada al este de Polonia, Bialystok es una ciudad tranquila y apacible que acoge a una gran cantidad de estudiantes nacionales e internacionales cada año. Su reclamo es la Universidad Politécnica de Bialystok (Politechnicka Bialostoka).

Fundada en 1949, la Universidad Politécnica de Bialystok es una institución pública de educación superior subordinada al Ministro polaco de Ciencias y educación superior. Se trata de la universidad más importante de la región del noreste de Polonia. Es una institución moderna y desarrollada dinámicamente, con 65 años de experiencia en la formación de ingenieros y científicos de todo tipo. En la actualidad hay casi 12 mil estudiantes en la universidad en sus 7 facultades.

Además de las diferentes facultades, el campus de la Universidad Politécnica de Bialystok (UPB) dispone de una serie de edificios destinados a la residencia de los estudiantes, tanto nacionales como internacionales.

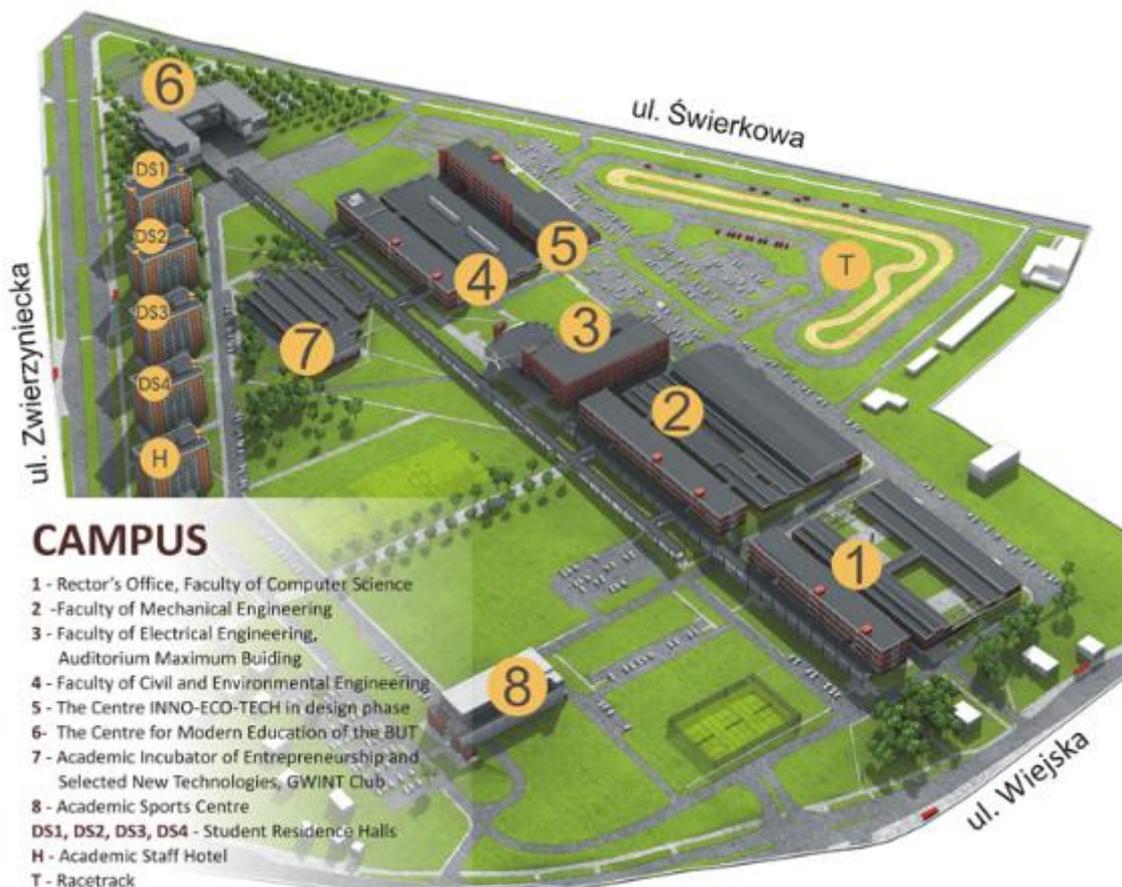


Figura 9 Campus universitario

Se trata de las instalaciones DS1 (Alfa), DS2 (Beta), DS3 (Gamma) y DS4 (Delta); ya que el edificio H está dirigido al personal de la universidad.



Figura 10 Edificios residenciales

El objetivo de este trabajo será estudiar la implantación de sistemas de generación de energía de carácter renovable en uno de los edificios de residencia. Concretamente, en el edificio DS2 o también denominado BETA (2º bloque empezando por la izquierda).

Al igual que los demás bloques residenciales, el edificio Beta consta de 11 plantas. En la planta baja está situado el hall junto con la recepción y administración. El restaurante y la sala de juegos también se encuentran en dicha planta. Las 10 plantas superiores están dirigidas únicamente a la residencia de estudiantes, a las cuales se accederá mediante uno de los tres ascensores o bien por las escaleras que conectan todos los pisos.

Cada piso dispone de 8 portales con 4 habitaciones cada uno, situados simétricamente opuestos (4 portales a cada lado, enfrentados entre sí) respecto a la cocina. La cocina y la lavandería están situadas en el centro de cada piso y separan los dos pasillos por los cuales se accede a los portales.

A su vez, el edificio también dispone de un sótano donde se encuentra la sala de calderas y el almacén de ropa de cama.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

En este apartado describiremos los diferentes equipos a instalar de las energías alternativas seleccionadas (Biomasa, Energía Geotérmica y Energía Eólica).

### 5.1. Caldera de Biomasa

Se instalará una caldera de biomasa con una potencia nominal de 800kW. Concretamente, el modelo instalado será la caldera Hergóm THT 800. Dicho modelo está diseñado para la combustión tanto de pellets como de astilla.

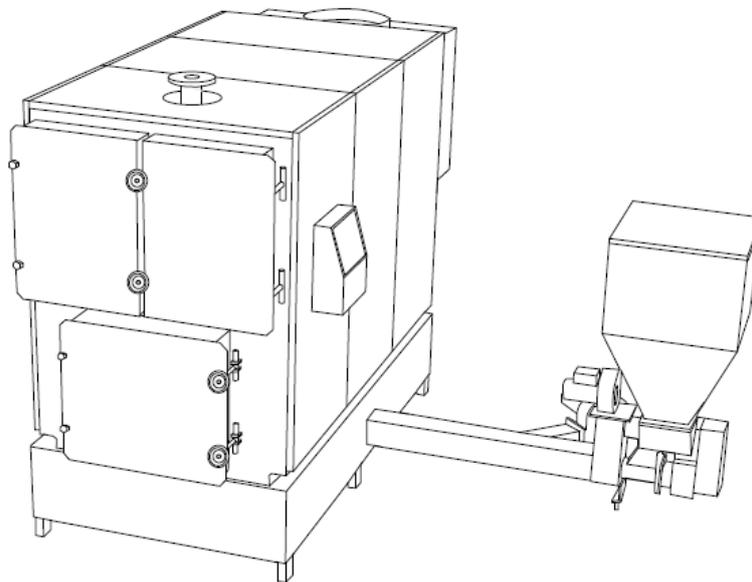


Figura 11 Hergóm THT 800

La gama THT ha sido diseñada para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción doméstica, mediante la utilización de combustibles sólidos como pellets, cáscara de almendra, y hueso de aceituna. También es posible utilizar leña seleccionando hasta 6 potencias, pero es necesario incorporar una parrilla de protección en el quemador.

El funcionamiento de la caldera THT es completamente automático, por ello va equipada con un cuadro electrónico. El cuerpo de acero garantiza la máxima transmisión de los productos de la combustión al agua, consiguiendo con ello unos rendimientos superiores al 87 %.

El depósito de combustible de gran capacidad garantiza un funcionamiento autónomo de forma prolongada. Las cenizas generadas se depositan en el fondo de la cámara, siendo muy sencilla su retirada.

La caldera se instalará en una edificación auxiliar que se construirá expresamente para dicho equipo. A su vez se construirá la chimenea adecuada para la correcta evacuación de los humos producidos por la combustión.

Para el almacenamiento de astillas, se construirá un almacén soterrado contiguo a la sala de la caldera, en las inmediaciones del edificio. Similar al sistema mostrado en el siguiente ejemplo. El foso dispondrá también de un suelo móvil que arrastre las astillas hasta la cinta transportadora que abastecerá la caldera de biomasa.



Figura 12 Localización del almacén

De este modo, el almacén de astillas será de fácil acceso para el vehículo de carga y la recarga de la caldera será sencilla.

## 5.2. Bomba Geotérmica

Debido a que el calor geotérmico desprendido en la zona no es lo suficientemente grande, la energía obtenida del reservorio geotérmico se utilizará para mejorar la eficiencia de una bomba de calor auxiliar instalada junto con la caldera de biomasa.

La potencia calorífica nominal de dicha bomba será de 60kW y su función será complementar a la caldera de biomasa en el abastecimiento de calefacción y ACS del edificio.

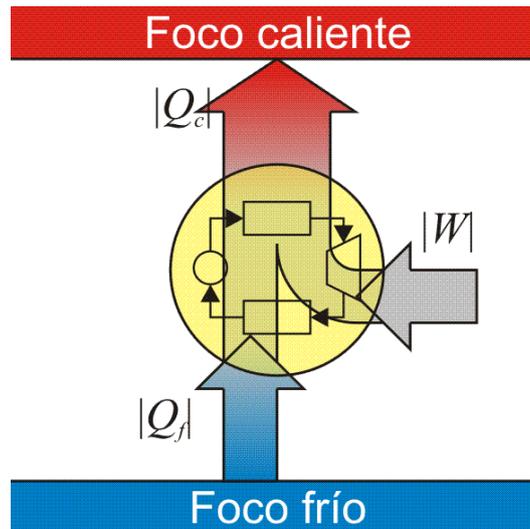


Figura 13 Máquina térmica inversa

El objetivo es aumentar la temperatura del foco frío para mejorar el rendimiento (COP) de la bomba de calor. Para ello, el foco geotérmico se conectará con el foco frío de la bomba, de tal manera que la temperatura de dicho foco ronde los 15°C. Si no se aprovechara la energía geotérmica, el foco frío se encontraría en una media de -10°C en invierno (época en la que más rendimiento se le exige al equipo), lo que reduce significativamente el COP.

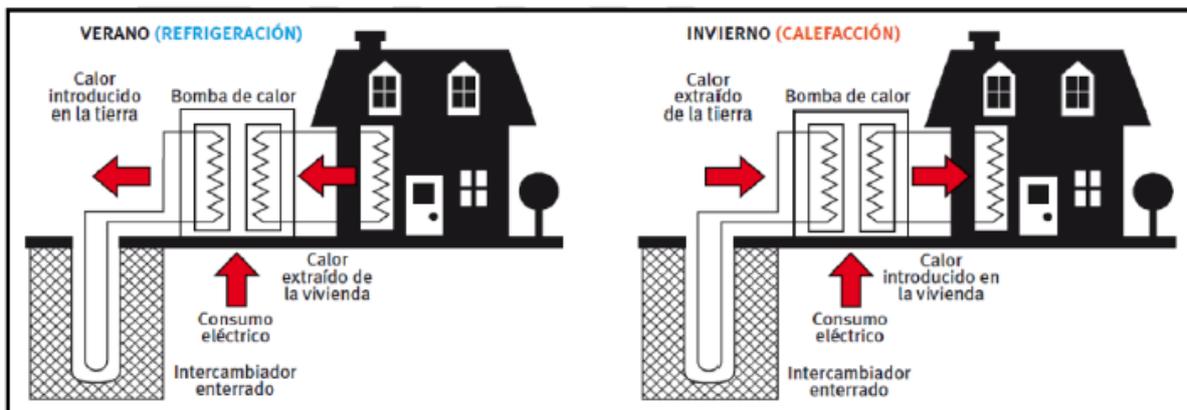


Figura 14 Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica

Se pretende que el foco caliente de la bomba esté comprendido entre 20°C y 24°C, como está estipulado en la legislación polaca.

La bomba de calor se instalará en el sótano del edificio y el aire caliente generado se distribuirá a través de un sistema de climatización por MultiSplit. Consiste en un sistema conectado a la bomba geotérmica, así como a varias unidades interiores colocadas en cada una de las estancias que se pretende calefactar. Mitsubishi Electric ofrece una amplia gama en equipos Inverter MultiSplit, con diversas combinaciones: 1x1, 2x1, 3x1, 4x1, 5x1 y 6x1. Para el sistema se han escogido unidades interiores de conducto modelo PEAD-RP.

El equipo seleccionado para la instalación es la bomba de calor Ecodan Power+ Geotérmica (CRHV-P600YA-HPB), con una potencia nominal de 60kW con un COP mínimo de 4,23.



Figura 15 Ecodan Power+ Geotérmica (CRHV-P600YA-HPB)

### 5.3. Aerogeneradores

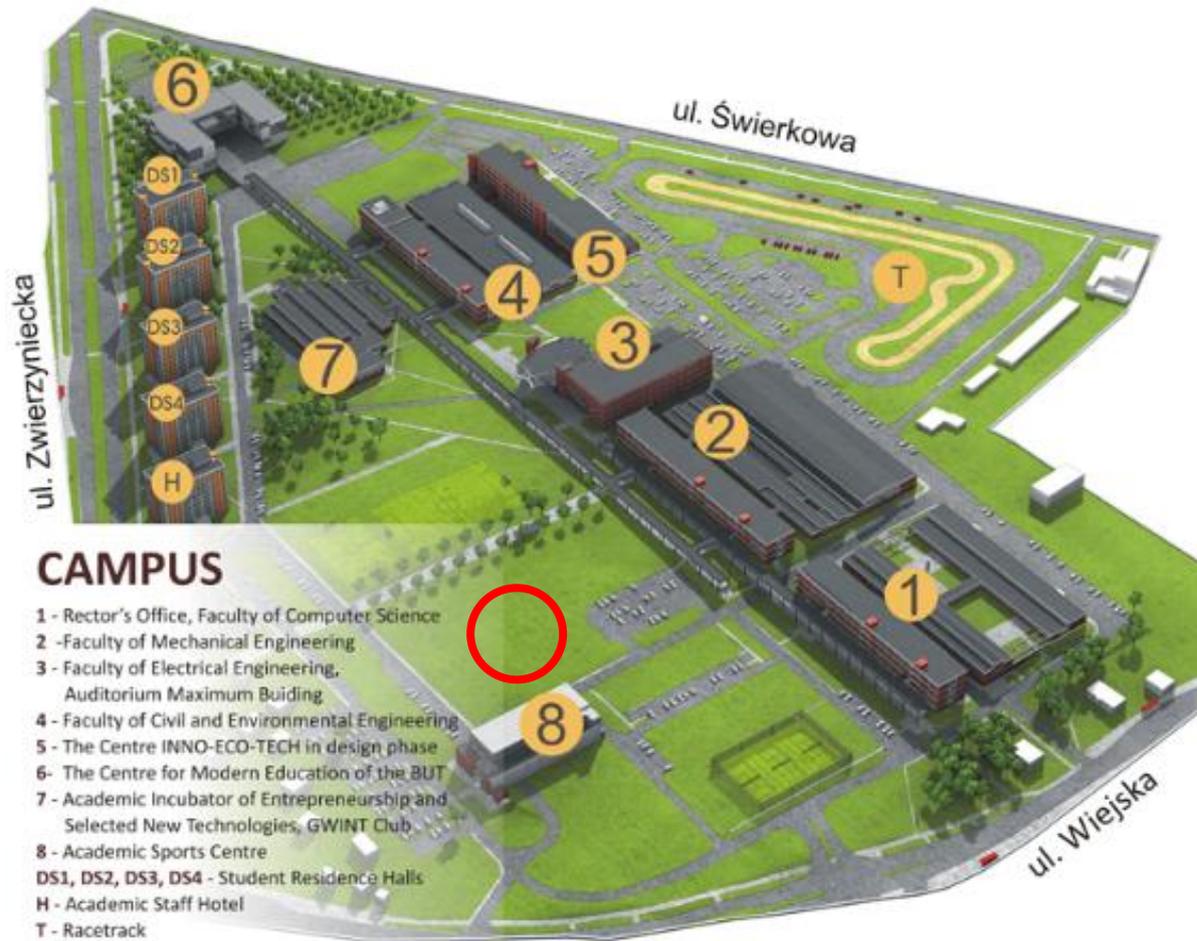
Para complementar el abastecimiento de la demanda eléctrica del edificio (700kW), se comenzará con la instalación tres aerogeneradores de 70kW cada uno, con la posibilidad de ampliar el número de aerogeneradores en un futuro.

El modelo que se implantará es el aerogenerador Enair 800.



Figura 16 Enair 800

Los tres aerogeneradores se instalarán en el propio campus, en frente de los bloques residenciales.



**Figura 17 Localización de los aerogeneradores**

Este modelo dispone de una patente específica que emula la tecnología de la gran eólica, pero adaptada a pequeños aerogeneradores. Su eficiencia de generación y diseño nos permite abastecer instalaciones trifásicas de gran potencia con un alto rendimiento. Su producción está en más de 800 kWh/día con medias de 7 a 11 m/s.

El aerogenerador Enair 800 comienza a rotar a velocidades de viento de 1,85 m/s y su corte de producción se realiza a los 25 m/s por seguridad. Además, sus palas de fibra de vidrio de 7 m de longitud le proporcionan la capacidad de orientarse aerodinámicamente.



**Figura 18 Enair 800**

El aerogenerador Enair 800 necesita una previa construcción de un soporte, ya que no dispone de uno prefabricado. Lo cual puede ser beneficioso debido a la versatilidad de la altura de la instalación. Es decir, el aerogenerador puede ser instalado a la altura conveniente en función de los edificios o montículos colindantes.

## 6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

El paso previo a la instalación de los equipos es el dimensionamiento de los mismos. En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para determinar diversos factores de los equipos a instalar.

### 6.1. Biomasa

Se construirá una sala auxiliar de hormigón donde se situará la caldera de biomasa. Dicha sala se llevará a cabo teniendo en cuenta las dimensiones de la caldera. Por lo tanto, la sala tendrá  $2\text{ m}$  (ancho)  $\times 6\text{ m}$  (largo)  $\times 3\text{ m}$  (altura).

#### 6.1.1. Combustible

En el caso de la caldera de biomasa, la potencia a instalar ya ha sido determinada, por lo que procederemos al cálculo del combustible necesario para alimentarla.

Para calcular la cantidad de astillas necesarias se utilizará la fórmula del rendimiento:

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_e \times PCI}$$

Donde:

$\dot{m}_e$ : Caudal másico de astillas (kg/h).

P: Potencia de la caldera.

PCI: Poder Calorífico Inferior de las astillas (12000 kJ/kg).

$$0,87 = \frac{800}{\dot{m}_e \times 12000} \longrightarrow \dot{m}_e = \frac{800}{0,87 \times 12000} = 0,0766 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 275,8 \text{ kg/h}$$

Debido a que el funcionamiento de la caldera de biomasa no es constante el tiempo de operación se representa mediante el trabajo en horas equivalentes a plena carga. En nuestro caso se estima un total de 4300 horas equivalentes al año (a plena carga). Esto nos permite calcular la cantidad necesaria de astillas al año:

$$275,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 4300 \text{ h/año} = 1.186.207 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 1.186,2 \text{ T/año}$$

#### 6.1.2. Depósito de almacenaje

Para el almacenamiento de las astillas será necesaria la construcción de una zanja contigua a la sala de calderas. Teniendo en cuenta que la densidad media de las astillas es de  $225 \text{ kg/m}^3$  se realizará el cálculo del volumen anual de astillas es el siguiente.

$$1.186.207 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \div 225 \text{ kg/m}^3 = 5272 \text{ m}^3 \text{ astillas/año}$$

Siendo necesaria una recarga completa de la zanja cada dos semanas (24 recargas anuales), el volumen óptimo de dicha zanja será:

$$5272 \text{ m}^3 \text{ astillas/año} \div 24 \text{ recargas/año} = 219,6 \text{ m}^3$$

La altura de la zanja será equivalente a la profundidad del sótano (2,5 metros). Por lo tanto, la superficie deberá ser la siguiente.

$$219,6 \text{ m}^3 \div 2,5 \text{ m} = 87,86 \text{ m}^2$$

Será suficiente con excavar una zanja de almacenamiento de  $9 \text{ m}$  (ancho)  $\times$   $10 \text{ m}$  (largo)  $\times$   $2,5 \text{ m}$  (alto).

Sin embargo, se realizará un pedido diario de  $15 \text{ m}^3$  ya que si se realizara dicho pedido cada dos semanas serían necesarios aproximadamente 11 camiones por cada pedido.

### 6.1.3. Cenizas

Por otro lado, se calculará la cantidad de cenizas generadas en función de las características de las astillas. En este caso, las astillas generan una cantidad de cenizas equivalente al 2% del peso introducido en el quemador.

$$1.186,2 \frac{T}{\text{año}} \times 0,02 = 23,7 \frac{T \text{ ceniza}}{\text{año}}$$

Es decir, un total de 65 kg de cenizas al día que habrá que evacuar periódicamente.

### 6.1.4. Evacuación de gases

Con el fin de evacuar correctamente los gases producidos en la combustión, se instalará una chimenea de humos combinada con un sistema de eliminación de partículas. En este caso, se instalará un filtro de mangas debido a su gran capacidad para retener partículas de distintos tamaños.

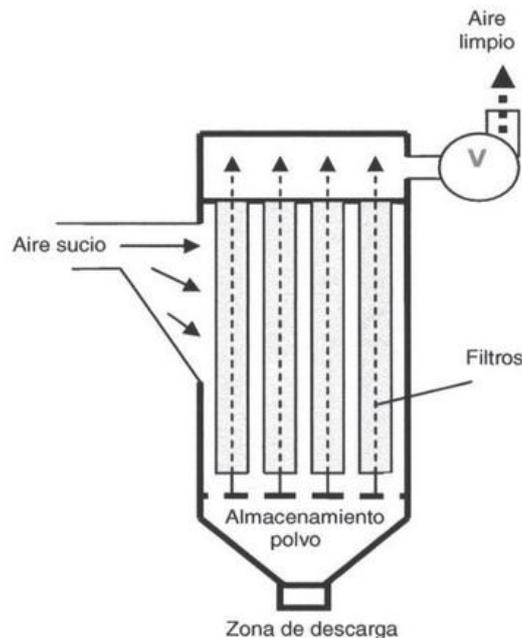


Figura 19 Esquema de un filtro de mangas

Los filtros están formados por un relleno poco denso de fibras distribuidas al azar, con una fracción de poros superior al 90%. El gas fluye a través del filtro y la captación se produce en el interior de la capa filtrante. Además, las fuerzas electrostáticas que se generan facilitan la filtración del gas.

### 6.1.5. Depósito de inercia

La baja capacidad de reacción de estos equipos hace necesaria la instalación de un depósito de inercia auxiliar. Este elemento se encarga de acumular toda la energía producida por la inercia térmica, por lo que permite gestionar la demanda de eficientemente y evitar cualquier interrupción en el equipo de calefacción. Es decir, su función es la de optimizar el funcionamiento.

Los fabricantes recomiendan la instalación de un acumulador de inercia de entre 10 litros aproximadamente por kW de potencia de caldera. Por tanto, se necesitaría un depósito de inercia de 8000 litros. Como se trata de un volumen demasiado grande, el equipo que se instalará para mejorar el funcionamiento de la caldera será el acumulador inercial Inerox S235JR, compuesto de de acero al carbono, cuya referencia es ISC 5000 0SE.



Figura 20 Acumulador inercial Inerox S235JR

## 6.2. Energía Geotérmica

### 6.2.1. Bomba de calor

Para el caso de la bomba de calor geotérmica, calcularemos la potencia eléctrica consumida teniendo en cuenta el COP y la potencia calorífica obtenida.

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Donde:

COP: Eficiencia de la bomba.

Q: Potencia calorífica obtenida (kW).

W: Potencia eléctrica suministrada (kW).

Como se ha mencionado anteriormente, la bomba seleccionada para la instalación es la bomba Ecodan Power+ Geotérmica CRHV-P600YA-HPB. Tiene una potencia nominal de 60 kW, con un COP de 4,23. De este modo podemos obtener el consumo eléctrico en el compresor de la bomba.

$$4,23 = \frac{60}{W} \longrightarrow W = \frac{60}{4,23} = 14,18 \text{ kW}$$

### 6.2.2. Sistema de captación

Para la captación de calor subterráneo se ha escogido un sistema vertical, el cual no depende del clima exterior. Es decir, las sondas se introducen verticalmente en el suelo hasta una determinada profundidad. Por lo general, estos sistemas suelen ser más eficaces que los sistemas de captación horizontal.

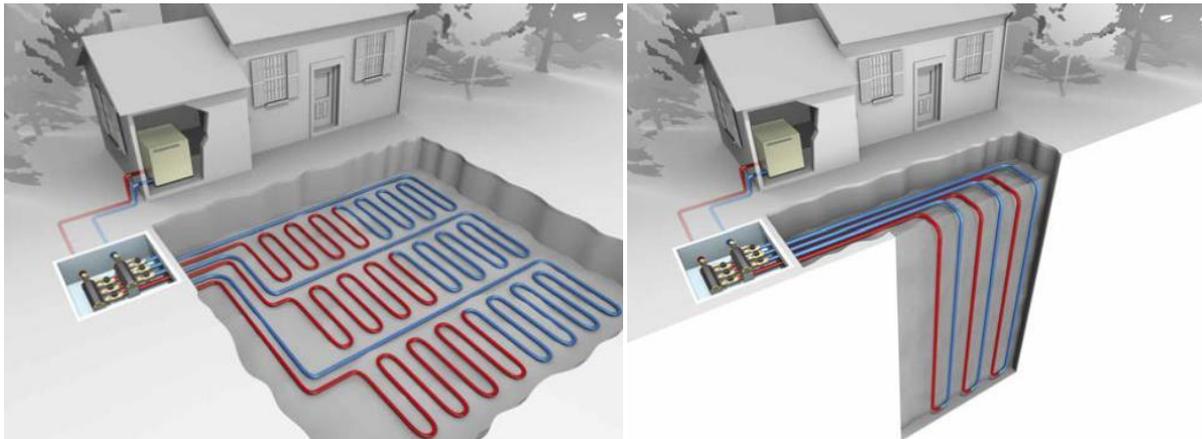


Figura 21 Sistema horizontal y vertical

La sonda realiza la función de un intercambiador de calor, por lo que será necesario un material con un coeficiente de conducción alto. Se introducirá a su vez un material de relleno (arena silíceo, cemento...) entre los tubos que, junto con las paredes del hueco perforado protegerán el sistema y ralentizarán la degradación de los intercambiadores.

Las profundidades de perforación pueden variar entre los 50 y 500 metros en función del calor que se necesite extraer. Para llevar a cabo la perforación se pueden utilizar distintos métodos, dependiendo del tipo de terreno a perforar:

- Sistema de rotopercusión con martillo neumático al fondo (en el caso de tratarse de un terreno duro).
- Sistema de rotación de circulación inversa (apropiado para terrenos blandos y arcillosos, etc.).

Por otro lado, para calcular la longitud de perforación se utilizará el método propuesto por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) en el “Commercial / Institutional GSPH Engineering Manual”, cuya base es el valor de la energía extraída del subsuelo.

$$E_{ext} = \frac{Q_{cal} * FPP_{cal} * (COP - 1)}{COP}$$

$$L_{sondeo} = \frac{0,05506 * E_{ext}}{\Delta T}$$

Para utilizar este método se han de fijar las temperaturas del terreno, así como la temperatura mínima a la entrada del intercambiador, tanto en modo calefacción como en modo refrigeración. A su vez, la diferencia entre la temperatura mínima de entrada del fluido y la temperatura del terreno no debe superar los 15 K (en condiciones de carga máxima).

Dado que la bomba geotérmica es un elemento auxiliar (complementa a la caldera de biomasa) para la generación de energía térmica del edificio, estimaremos unas horas de funcionamiento equivalente de 600 h/año. De este modo, se procederá a la realización de los cálculos:

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

$$Q_{cal} \text{ (modo calefacción)} = 60 \text{ kW}$$

$$COP = 4,23$$

$$FPP_{cal} = 600 \text{ h/año}$$

$$E_{ext} = \frac{60 * 600 * (4,23 - 1)}{4,23} = 27.489,36 \text{ KWh} = 98.961,7 \text{ MJ}$$

$$L_{sondeo} = \frac{0,05506 * 98.961,7}{15} = 363,25 \text{ m}$$

Se ha estimado que para las condiciones requeridas en nuestra bomba es suficiente perforar hasta los 200 metros de profundidad. De manera que la temperatura del foco frío sea estable y de 15°C durante todo el año, independientemente, del clima exterior.

Suponiendo que se utilicen tubos simples en U como intercambiadores, el número de pozos necesarios para alcanzar la longitud de sondeo serán los siguientes:

$$N = \frac{L_{sondeo}}{400} = \frac{363,25}{400} = 0,9 \text{ pozos} \rightarrow 1 \text{ pozo}$$

Se necesitará por tanto un único pozo para conseguir las condiciones deseadas en el foco frío de la bomba.

Una vez conocida la profundidad a la que se instalarán los intercambiadores, se procede a la elección del material para el sistema de captación. Se ha escogido el sistema vertical de circuito cerrado de la gama Ferroterm de marca Ferroplast. Concretamente, el modelo más adecuado para el sistema es el PE-100, un tubo simple en U hecho de polietileno de alta densidad cuya longitud por tubo son 100 metros (tanto de ida como de vuelta).



**Figura 22 Sonda Ferroterm vertical y tubo de conexiones**

La imagen de la derecha corresponde a los tubos de conexiones de la sonda, necesarios para acoplar la sonda a la bomba de calor. Se trata del modelo compatible con el intercambiador PE-100, por lo que disponen del mismo diámetro y están constituidos por el mismo material (polietileno de alta densidad).

Es importante mencionar que el sistema de captación se debe instalar en las proximidades de la bomba, para minimizar las pérdidas de calor producidas en el transporte del fluido a través de los tubos de conexión.

Finalmente, será necesario instalar una bomba que impulse la circulación del fluido por los tubos.

### 6.2.3. Fluido caloportador

El fluido utilizado habitualmente para este tipo de sistemas es una mezcla de agua con etilenglicol al 35%. El etilenglicol actúa como anticongelante y tiene la ventaja de ser biodegradable, por lo que en caso de fuga, no se produciría la contaminación del subsuelo. En la siguiente tabla se muestran las distintas propiedades físicas de los dos fluidos.

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

**Tabla 3 Propiedades físicas del agua y del etilenglicol**

Se estima que se necesitarán 350 L de fluido caloportador, lo que equivale a 122,5 L de etilenglicol.

## 6.3. Energía Eólica

### 6.3.1. Aerogeneradores

El modelo que se instalará es el Enair 800, un aerogenerador de 70 kW cuyas características principales son las siguientes:

- Velocidad de arranque: 1,85 m/s.
- Velocidad de frenado de emergencia: 25 m/s.
- Diámetro del rotor: 15,9 m.
- Área de barrido: 198,5 m<sup>2</sup>.

Por otro lado, los materiales que componen el interior y el exterior permiten su instalación en lugares en los que el clima sea agresivo, por lo que podrá afrontar exitosamente el frío característico de la región.

Para el correcto funcionamiento del aerogenerador es importante conocer la “Rosa de Vientos” del lugar donde se instalarán dichos equipos. En este caso la ciudad polaca de Bialystok. Este elemento es un diagrama donde se representa la cantidad de viento en cada una de las direcciones posibles.

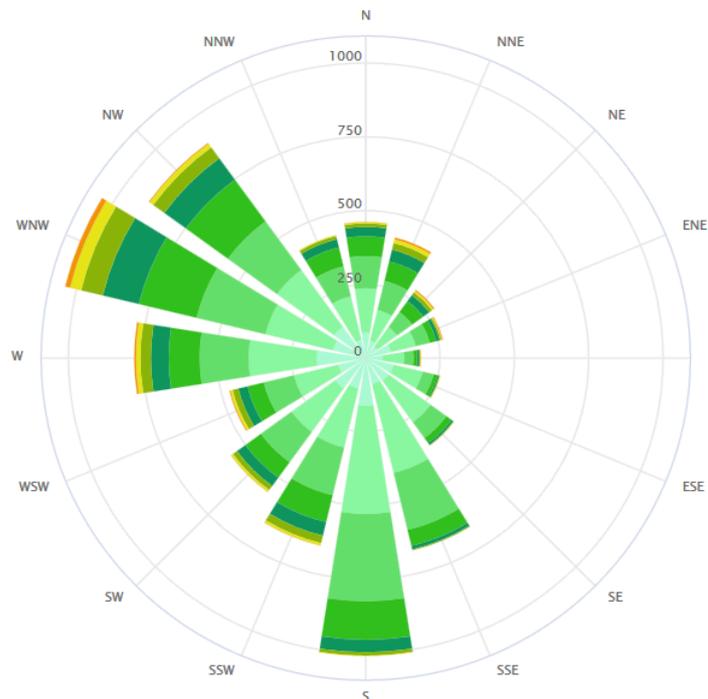


Figura 23 Rosa de Vientos de Bialystok

Además, el Enair 800 dispone de un sistema de orientación al viento que permite situar el área de barrido de las palas constantemente perpendicular al viento. Un servomotor será el encargado de hacer girar el rotor lentamente para dicho objetivo.

A fin de optimizar la eficiencia de los tres aerogeneradores que se instalarán, deberá existir una separación entre ellos de aproximadamente tres veces el diámetro del rotor. También se deberá tener en cuenta que deben colocarse de manera que en el momento en el que sopla la dirección predominante ninguno de los aerogeneradores esté a sotavento de otro. La rosa de vientos de Bialystok indica que la dirección predominante del viento es la dirección equivalente a la bisectriz entre el noreste y oeste, por lo que la disposición más favorable será aquella en la que la línea de aerogeneradores sea perpendicular a esta dirección.

### 6.3.2. Curva de potencia

La curva de potencia de un generador representa la potencia generada en relación a la velocidad de viento en cada instante. Ya que curva de potencia del aerogenerador Enair 800 aún no está disponible, se han extrapolado las curvas del modelo Enair 70.

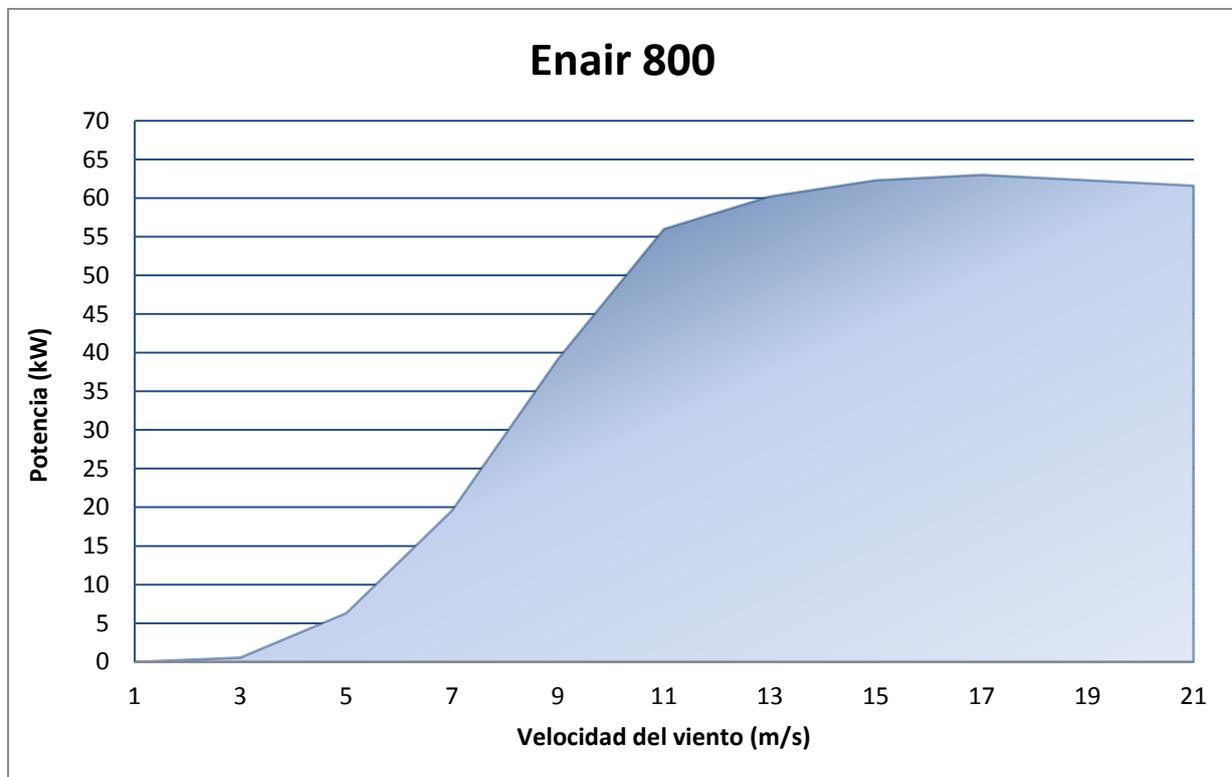


Figura 24 Curva característica del Enair 800

Mediante datos obtenidos de la página Meteoblue, basados en 30 años de datos meteorológicos históricos, se han obtenido valores anuales de velocidades de viento en relación a la duración en las que se dan medida en horas.

Por lo tanto, multiplicando los valores de la curva de potencia (kW) y las duraciones de cada velocidad de viento (h/año) se obtiene la producción anual de cada generador. El valor de la producción obtenida será un valor aproximado, debido al error que se comete al extrapolar la curva y la posible inexactitud en la medición de los vientos. Sin embargo, el margen de error es aceptable y el valor de la producción estimado es suficiente.

Los cálculos realizados para la obtención de la generación anual se muestran en la siguiente tabla:

Velocidad Viento (m/s)	Horas/Año	Potencia (kW)	Producción (kWh/año)
0	0	0	0
0,3	24	0	0
1,6	1027,2	0,5	513,6
3,4	2810,4	2,5	7026
5,5	2162,4	9	19461,6
8	1284	28	35952
10,8	768	55	42240
13,9	465,6	62	28867,2
17,2	237,6	63	14968,8
<b>Producción anual</b>			<b>149029,2</b>

Tabla 4 Cálculos para la generación eléctrica

La producción anual de cada generador asciende a 149.029 kWh, por lo que la generación total de los tres generadores será de 447.087 kWh al año. Ello implica un tiempo equivalente de funcionamiento de 2.129 horas anuales.

### 6.3.3. Torre soporte

La función de este elemento es conseguir la suficiente elevación de las palas para con el objetivo de una mayor exposición al viento. Evitando también las posibles turbulencias generadas debido a los edificios, árboles u objetos colindantes.

En la construcción de este tipo de mástiles es habitual el uso de materiales resistentes como el acero galvanizado, que además evita la corrosión. La elección de la torre depende del tipo de terreno en el cual se instalará, así como de las restricciones medioambientales y el presupuesto.

Los soportes deben ser certificados por la empresa que proporciona el aerogenerador (ENAIR) y se montarán de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Respecto a la altura de la torre, se recomienda una altura próxima al diámetro del rotor. Por lo que en nuestro caso se instalará una torre de 16 m de altura.

## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se enfocará el proyecto desde la perspectiva económica, realizando los diferentes cálculos respecto a los costes de inversión y costes de mantenimiento de los equipos a instalar. Además se calculará el tiempo de amortización o “Pay-Back”, así como el VAN y el TIR, referentes a la rentabilidad del proyecto.

### 7.1. Sistema actual

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema actual consta de tres calderas de gasóleo para calefacción y ACS. Por otro lado, la demanda eléctrica se abastece a través del sistema eléctrico nacional.

### 7.2. Sistema proyectado

#### 7.2.1. Inversión inicial

Se enumerarán por tanto los diferentes costes de los equipos a instalar respecto a la biomasa y se hará finalmente una estimación aproximada del coste total de la inversión junto con el coste anual de mantenimiento.

#### Biomasa

En la siguiente tabla se enumeran los gastos respecto a la inversión inicial:

Elemento/Operación	Coste (€)
Caldera Hergom THT Biomasa 800	73.605
Acumulador Inercial ISC 5000 OSE	6.978
Excavación Almacén soterrado para astillas	9.857
Recubrimiento de hormigón almacén	9.754
Sala auxiliar de la caldera	2.600
Otros	275.000
<b>Total</b>	<b>377.794</b>

Tabla 5 Costes de inversión de la biomasa

Para calcular los costes de la construcción del almacén y de la sala de la caldera se han tenido en cuenta los precios por metro cúbico de excavación (con su respectiva evacuación de escombros) y de hormigón. Según la bibliografía consultada, el precio por metro cúbico de excavación es de 43,81€. El coste del hormigón por metro cúbico es de 144,51€.

A todo ello hay que sumarle los siguientes costes: sistema de alimentación, tratamiento de gases, sistema de control (Local y “Escada”), Auxiliares (tuberías, purgadores,...), sistema de suelo móvil con cinta transportadora hasta el quemador e infraestructuras para el acceso de camiones.

Estos últimos costes, junto con la chimenea de humos, el filtro de mangas, las bombas de agua y válvulas se incluyen en el precio de “Otros”, con un precio total de 275.000€ aproximadamente.

Finalmente, el coste estimado para la inversión inicial total es de **377.794€** aproximadamente.

### Geotermia

Para el estudio económico de la instalación geotérmica se tendrán en cuenta los estudios del terreno previos a la excavación, las diferentes obras necesarias para la inserción de sondas, la bomba de calor geotérmica, etc.

Elemento/Operación	Unidades	Coste/Unidad (€)	Coste (€)
Bomba de calor Ecodan Power+ Geotérmica	1	24.000	24.000
Sonda Ferroplast PE 100 (246002)	2	850	1.700
Tubos inyección relleno Ferroterm PE 100	2	129,8	259,6
Tubos para conexiones Ferroterm PE 100	2	324	648
Sistema Multisplit Mitsubishi PEAD-RP	--	--	20.000
Etilenglicol	--	10 €/L	1.225
Obra	--	--	200.000
<b>Total</b>			<b>247.832</b>

**Tabla 6 Costes de inversión de la geotermia**

Para hallar el coste total de perforación se han utilizado nuevamente los precios de excavación por metro cúbico, junto con el transporte de los restos. Se tienen en cuenta también los distintos tubos a insertar tras la excavación. A todo ello se le debe sumar el precio de las conexiones y manguitos que unen la sonda con la bomba de calor.

Debido a que la geotermia es una energía en desarrollo es difícil estimar los precios de coste de la inversión. Sin embargo, se puede asegurar que será una inversión elevada a pesar de que su única función vaya a ser la de complementar la caldera de biomasa.

Por lo tanto, el coste final aproximado para la instalación del sistema geotérmico es de **247.832€**.

### Eólica

El cálculo económico del sistema eólico es más sencillo debido a la simplicidad de la instalación. En los proyectos de parques eólicos a gran escala se utilizan ratios en los cuales se establece el coste por potencia instalada. En ese precio se incluyen los aerogeneradores, soportes, montaje, obras y todas las demás operaciones necesarias para la instalación. Para estimar el coste total de la instalación de los aerogeneradores se ha tenido en cuenta el valor de la potencia instalada.

$$3000 \text{ €/kW} \times (3 \times 70 \text{ kW}) = 630.000 \text{ €}$$

Dicho sistema consta de tres aerogeneradores Enair 800, tres soportes y las conexiones eléctricas necesarias. Todo ello, genera un coste total de inversión de **630.000€**, estimando un precio por aerogenerador Enair 800 de 200.000€.

Por lo tanto, el coste total de la instalación de todos los equipos será:

<b>Costes Totales Instalación</b>	<b>1.255.626€</b>
-----------------------------------	-------------------

Tabla 7 Costes totales de inversión

### 7.2.2. Costes de explotación

#### Biomasa

Los costes de explotación de la biomasa se determinan calculando el precio anual de astillas a pagar. Teniendo en cuenta que el consumo de astillas es 1.186,2 T/año, se obtendrá el gasto anual de explotación multiplicando por el precio por tonelada de biomasa.

	Unidades	Coste Unidad	Coste Anual
Astillas	--	60 €/ tonelada	71.172€
<b>Total</b>			<b>71.172 €</b>

Tabla 8 Costes de explotación anuales de la biomasa

#### Geotermia

En el caso de la geotermia, los gastos de explotación anuales se calculan teniendo en cuenta el gasto eléctrico que genera la bomba de calor geotérmica. En el apartado 6.2.1 se ha comprobado que la potencia requerida es de 14,18 kW. Por tanto, estimando unas horas de funcionamiento equivalente de 800 h/año, se procederá al cálculo de la energía consumida por año.

$$14,18 \text{ kW} * 800 \text{ h/año} = 11.344 \text{ kWh/año.}$$

	Unidades	Coste Unidad	Coste Anual
Electricidad	11.344 kWh/año	0,15 €/KWh	1.702€
<b>Total</b>			<b>1.702 €</b>

Figura 25 Costes de explotación anuales de la geotermia

#### Eólica

Los sistemas de aerogeneradores operan mayormente de forma autónoma de manera que no requieren periodos de intervención o inspección durante largos periodos de tiempo. Se suelen realizar inspecciones básicas cada trimestre o semestre. Además, una vez al año se lleva a cabo un programa de mantenimiento preventivo, que incluye la inspección de todos y cada uno de los elementos del aerogenerador (sistema de anclaje, torre soporte, palas, rotor, sistema de seguridad,...).

#### Operación y mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento de cada uno de los sistemas se realizarán con un conjunto de 5 operarios de formación profesional eléctrico-mecánicos, coordinados por un ingeniero de grado. La función de los operarios será supervisar cada una de las instalaciones, el control de aire y astillas en el quemador, la recogida de cenizas de la combustión, supervisión del sistema de control programado, etc.

Debido a que no se dispone de los sueldos concretos en Polonia se han extrapolado los de España, teniendo en cuenta que Polonia tiene un nivel de vida ligeramente más barato. De este modo, se ha estimado que el conjunto de 5 operarios de FP y un ingeniero de grado supondrán un gasto anual de 250.000 €.

Por otro lado, el valor de coste de mantenimiento anual (reparación o sustitución de elementos, equipos, etc.) equivale a un 3% de la inversión inicial. Por tanto, 37.770 €/año aproximadamente.

### Gasto total

Finalmente, el gasto total anual será el siguiente:

Elemento	Coste
<b>5 F.P + Ingeniero Grado</b>	250.000 €/año
<b>Mantenimiento</b>	0,03* 1.255.626 € = 37.770 €/año
<b>Astillas</b>	71.172€/año
<b>Electricidad</b>	1.702 €/año
<b>Total</b>	<b>360.644 €/año</b>

### 7.2.3. Análisis de rentabilidad

Para el análisis de rentabilidad se tendrá en cuenta el ahorro generado anualmente tras la instalación de los equipos. Este ahorro es debido a la disminución del consumo de gasóleo de las calderas actuales, así como la reducción de la energía neta suministrada por la red eléctrica, a causa de los aerogeneradores instalados.

Para estimar el ahorro, se calcula el coste que supondría generar la misma energía térmica y eléctrica que generarán los nuevos equipos, mediante los equipos actuales. De este modo, calcularemos dinero ahorrado en gasóleo con la biomasa y la geotermia, así como el valor de la electricidad ahorrada anualmente con los generadores.

En los próximos cálculos se ha tenido en cuenta que las calderas de gasóleo actuales tienen un rendimiento del 0,85. Por lo tanto el ahorro generado por cada sistema será el siguiente:

Biomasa:

$$870 \text{ kW} \times 4.300 \frac{\text{h}}{\text{año}} \times \frac{1}{0,85} = 4.401.176 \text{ kWh/año}$$

$$4.401.176 \text{ kWh/año} \times \frac{1 \text{ L gasóleo}}{10,98 \text{ kWh}} \times \frac{1 \text{ €}}{1 \text{ L gasóleo}} = 400.835 \text{ €/año}$$

Geotermia:

$$60 \text{ kW} \times 800 \frac{\text{h}}{\text{año}} \times \frac{1}{0,85} = 42.353 \text{ kWh/año}$$

$$42.353 \frac{kWh}{año} \times \frac{1 L \text{ gasóleo}}{10,98 kWh} \times \frac{1 €}{1 L \text{ gasóleo}} = 3.857 €/\text{año}$$

Respecto a la instalación eólica, el ahorro se estima calculando la cantidad de energía que no es necesaria adquirir de la red. Es decir, se multiplica la generación anual por el precio de la electricidad.

Eólica:

$$447.087 \frac{kWh}{año} \times 0,15 \frac{€}{kWh} = 67.063 \frac{€}{año}$$

En la siguiente tabla se reúnen los diversos resultados obtenidos en este apartado respecto a la inversión inicial, ahorro anual y gasto anual:

	Ahorro anual	Gasto anual	Inversión inicial
Biomasa	400.835 €	71.172 €	377.794 €
Geotermia	3.857 €	1.702 €	247.832 €
Eólica	67.063 €	--	630.000 €
Mantenimiento	--	287.770 €	--
<b>Total</b>	<b>471.755 €</b>	<b>360.644 €</b>	<b>1.255.626 €</b>
<b>Beneficio anual</b>	<b>111.111 €</b>		

Figura 26 Ahorro anual, gasto anual e inversión inicial

De este modo, se calculará el tiempo que tarda en amortizarse la inversión inicial. Es decir, el “Pay-Back” o TRS (tiempo de retorno simple).

$$\text{Pay - Back} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio anual}} = \frac{1.255.626 €}{111.111 €} = 11,3 \text{ años}$$

Este valor es el “Pay-Back” bruto, la amortización real se realizará en un periodo menor debido a las distintas subvenciones a fondo perdido aportadas por los gobiernos en el ámbito de las energías renovables. En España por ejemplo, las subvenciones se aproximan al 25% de la inversión inicial. A su vez, se deberá aplicar una desgravación fiscal que asciende al 30%.

El tiempo de amortización neto se conocerá al consultar las condiciones y las ayudas respecto a las energías renovables en Polonia.

Por otro lado, existen otras herramientas que permiten conocer la viabilidad de un proyecto. Estas herramientas son las denominadas VAN y TIR. Para realizar el cálculo del VAN es necesario conocer previamente la inversión y el BNA (Beneficio Neto Actualizado) o flujo de caja. El BNA se obtiene mediante una tasa de descuento con la que se refleja la pérdida de valor del dinero futuro cuando se traslada al presente.

Para calcular estos elementos se estima que el “Cash Flow” o beneficios, aumentan en un 1,5 % cada año a causa del aumento del precio de la electricidad y del gasóleo con el paso

de los años. Se utiliza también una tasa de descuento del 1% y se establece un periodo para rentabilizar la inversión de 25 años.

El VAN y el TIR se calcularán partir de las siguientes fórmulas:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^{25} \frac{Q_t}{(1+k)^t}$$

$$0 = -I + \sum_{t=1}^{25} \frac{Q_t}{(1+TIR)^t}$$

Donde:

$$VAN = 1.788.868 \text{ €}$$

$$TIR = 9\%$$

Finalmente, como los dos elementos son positivos se puede afirmar que el proyecto presentado es económicamente rentable.

## 8. CRONOGRAMA

En este apartado se llevará a cabo el cronograma del proyecto, de tal manera que se destaquen las distintas etapas o fases del proceso y los tiempos en los que se lleva a cabo cada una.

El proyecto consta un total de 7 hitos:

1. Ingeniería básica
2. Ingeniería detalle
3. Compra de equipos principales
4. Obra civil
5. Montaje mecánico
6. Montaje eléctrico y control
7. Puesta en marcha

En la etapa de ingeniería básica se llevan a cabo los primeros estudios del proyecto y las distintas posibilidades o alternativas.

Una vez acabada esta fase previa, se inician otras tres (ingeniería detalle, compra de los equipos y obra civil) que son complementarias.

La ingeniería detalle que se centra en concretar perfeccionar diversos aspectos. (...)

Se inicia la compra de todos los productos. Esta fase puede llevar tiempo debido a que los pedidos de los equipos principales suelen hacerse con minuciosidad y precisión. A su vez, las grandes máquinas deben ser construidas y posteriormente trasladadas al destino. Todo ello requiere grandes esfuerzos en lo que a logística se refiere. El periodo estimado para esta fase es de 8 meses.

Por otro lado comienza la obra civil, en la que se llevan a cabo las diversas construcciones necesarias. En lo que a este proyecto respecta, se construirían el almacén de astillas soterrado y la caseta de hormigón donde se instalará la caldera de biomasa. También hay que tener en cuenta la construcción de los cimientos y el soporte para los tres aerogeneradores.

Una vez concluida la ingeniería detalle y la obra civil se puede iniciar el proceso de montaje, siempre y cuando la gran parte de la compra de los equipos principales ya se haya realizado. El montaje se divide en dos fases. Primeramente se lleva a cabo el montaje mecánico, que consiste en situar todos los equipos en sus respectivos lugares de funcionamiento, montándolos directamente en dicho lugar.

Al acabar el montaje mecánico se realiza el montaje eléctrico, el que se llevan a cabo todas las conexiones eléctricas para el correcto funcionamiento de cada equipo. Concretamente se instalarán las conexiones referentes al sistema de control de la caldera de biomasa y a los aerogeneradores. La etapa de montaje tendrá una duración aproximada de 6 meses, 3 para el montaje mecánico y 3 para el montaje eléctrico y control.

Finalmente, se destinará un plazo de tres meses para la puesta a punto y puesta en marcha de todos los equipos.

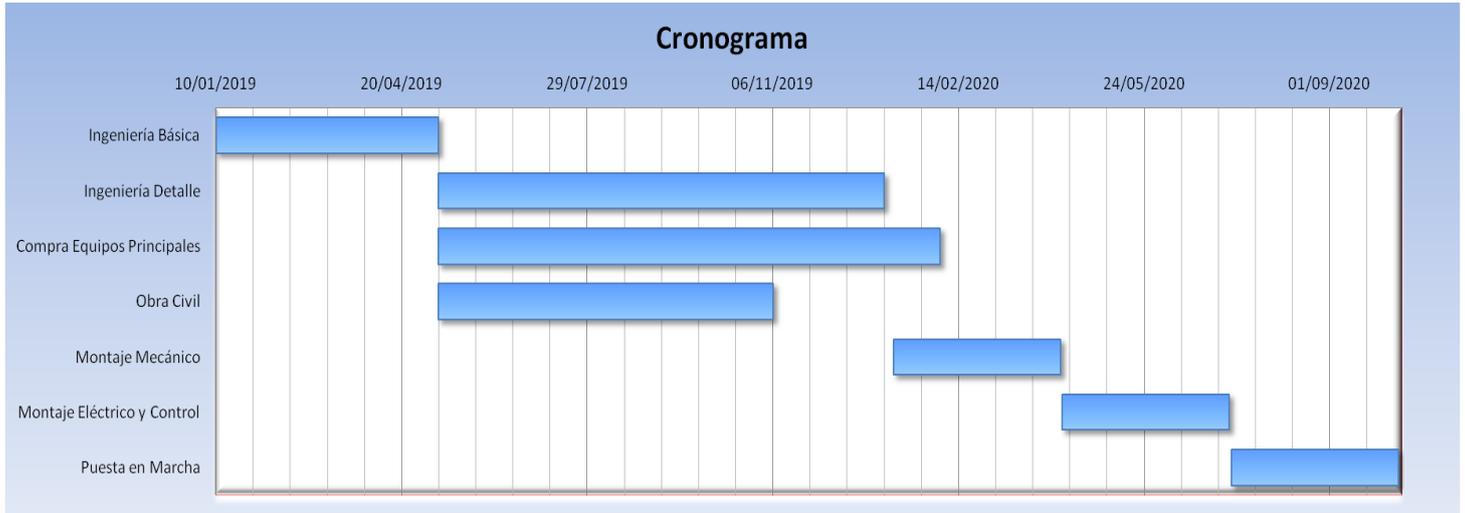


Figura 27 Cronograma

## 9. CONCLUSION

Polonia es un país que debido a su pasado ha estado los últimos años siguiendo la estela de la comunidad europea, sin llegar a alcanzarla del todo. Es un país relativamente atrasado en calidad de vida y avance de la tecnología con respecto a los países centroeuropeos. Sin embargo, en la actualidad se encuentra luchando por alcanzar las condiciones necesarias para su plena integración en la Unión Europea.

En cuanto a los combustibles fósiles, predomina el uso del carbón sobre los demás combustibles, lo cual no es habitual hoy en día. Por otro lado el gas natural está siendo implantado poco a poco en gran parte de los domicilios polacos.

Por ello, este proyecto está dirigido al complejo residencial del campus de la universidad politécnica de Bialystok. Con el fin de que la residencia sea ejemplo para el resto de Polonia y generar un impulso en el ámbito de las energías renovables en este país.

Respecto al aspecto económico, la sustitución del gasóleo para el suministro de calefacción y ACS por una caldera de biomasa auxiliada por una bomba geotérmica genera un ahorro anual que hace que el proyecto sea económicamente rentable, con un periodo de amortización máximo de 11 años.

Además, la instalación de tres aerogeneradores permite la posibilidad de implantar más equipos en un futuro, con el fin de autoabastecer el sistema eléctrico de la residencia. Lo que generaría un beneficio económico aún mayor.

Por lo tanto, con este proyecto se consigue un ligero aumento de la potencia total instalada con equipos eficientes y comprometidos con el medio ambiente, por lo que suponen una propuesta interesante tanto económicamente como tecnológicamente.

Finalmente, no hay que olvidar que el objetivo final de este proyecto es el progreso tecnológico realizado mediante paso de los combustibles fósiles a las energías renovables. Un cambio que tarde o temprano se deberá hacer en nuestra sociedad en aras de impulsar las energías alternativas y reducir la producción de gases de efecto invernadero.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Apuntes de la asignatura Ciencia y Tecnología Ambiental de cuarto curso del grado en Ingeniería de Tecnología Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.
- Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la convención del marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.  
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Central Statistical Office of Poland. Energy Statistics in 2015 and 2016.  
<http://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/energy/energy-statistics-in-2015-and-2016,4,12.html>
- Significados. Qué es la energía térmica.  
<https://www.significados.com/energia-termica/>
- BAXI CPA-BT. Instrucciones de Instalación. Montaje y Funcionamiento para el Instalador.  
<https://www.baxi.es/-/media/inriver/8417-1086.pdf>
- SCRIBD. Usos de la Biomasa.  
<https://es.scribd.com/document/336744437/Usos-de-La-Biomasa>
- Energías renovables para todos. Energía de la biomasa.  
[http://www.accion-solar.org/images\\_home/coleccinrenovables/cuaderno\\_biomasa.pdf](http://www.accion-solar.org/images_home/coleccinrenovables/cuaderno_biomasa.pdf)
- Universidad Complutense de Madrid. Energía obtenida a partir de la biomasa.  
[http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE\\_83\\_117-140\\_78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf](http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140_78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf)
- ERENOVABLE.COM. Ventajas e inconvenientes de la energía geotérmica.  
<https://erenovable.com/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-geotermica/>
- Secretaría de Energía. Energía Geotérmica.  
[https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_geotermica.pdf](https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_geotermica.pdf)
- IDAE. Área Tecnológica: Geotermia.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Calor\\_y\\_Frio\\_Renovables\\_Geotermia\\_30012012\\_global\\_196afed7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Geotermia_30012012_global_196afed7.pdf)
- SCRIBD. Energía Geotérmica.  
<https://es.scribd.com/document/44421265/CGA-GEOTERMIA>
- Energía Solar. Energía Solar Térmica.  
<https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- Universidad Carlos III de Madrid. Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de viviendas en Granada.  
[https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC\\_Ana\\_Criado\\_Gonzalez.pdf;jsessionid=C0339D9C3FB697A98C0A711E7B5F5791?sequence=1](https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf;jsessionid=C0339D9C3FB697A98C0A711E7B5F5791?sequence=1)

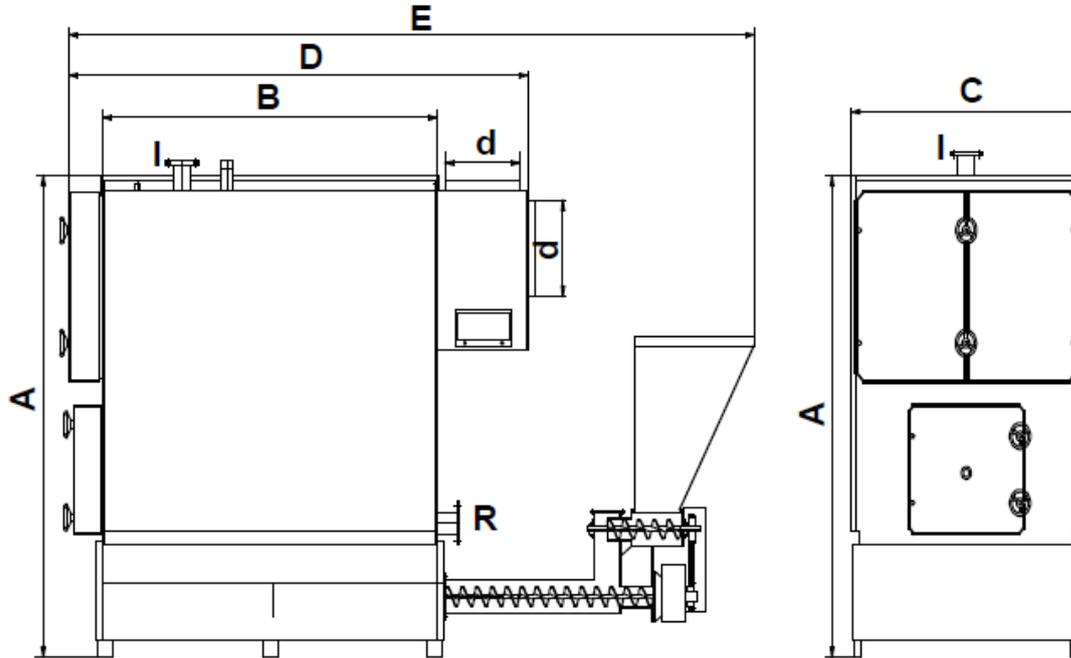
- IDAE. Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios.  
[.https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK EwjK5JL - 7TcAhUqAsAKHdZqAScQFgg3MAE&url=http%3A%2F%2Fwww.idae.es%2Ffile%2F13420%2Fdownload%3Ftoken%3DEGvkFsxe&usq=AOvVaw0\\_4ZgMTDD7PDg\\_vS-P-Xm6](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK EwjK5JL - 7TcAhUqAsAKHdZqAScQFgg3MAE&url=http%3A%2F%2Fwww.idae.es%2Ffile%2F13420%2Fdownload%3Ftoken%3DEGvkFsxe&usq=AOvVaw0_4ZgMTDD7PDg_vS-P-Xm6)
- Energyverde. 4 ventajas y 4 desventajas de la energía eólica.  
<http://www.energiverde.com/energia-eolica/4-ventajas-y-4-desventajas-de-la-energia-eolica>
- Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. Guía sobre la tecnología minieólica.  
<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-minieolica-fenercom-2012.pdf>
- ENAIR. La Evolución de la Minieólica.  
[http://www.tallerservera.com/Pdf/FT\\_Eolica/AEROGENERADORES%20ENAIR.pdf](http://www.tallerservera.com/Pdf/FT_Eolica/AEROGENERADORES%20ENAIR.pdf)
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Energía Solar Fotovoltaica.  
<https://www.coit.es/file/4245/download?token=F3kPOsFh>
- ENAIR. Aerogenerador Enair 800.  
<https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e800>
- Universidad Politécnica de Białystok.  
<https://pb.edu.pl/en/>
- 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. Acumulador Inercial "Gama ISC OSE", Referencia: ISC 5000 OSE.  
<http://inerox.com/Catalogo-Inerox-Industries.pdf>
- Mitsubishi Electric España. Ecodan Industrial. Ecodan power+ Geotérmica.  
<https://www.mitsubishielectric.es/aire-acondicionado//productos/ecodan-power-plus-geotermica>
- Mitsubishi Electric Tarifa.  
<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\\_FERROTERM.pdf](http://www.ferroplast.es/pdf/geotermia/Cat_Tec_Sistema_Geotermia_FERROTERM.pdf)
- Ferroplast. Sistema de geotermia: Ferroterm. Tarifa.  
[http://www.ferroplast.es/pdf/10\\_Sist\\_Geotermia\\_Ferroterm.pdf](http://www.ferroplast.es/pdf/10_Sist_Geotermia_Ferroterm.pdf)
- Sondeas Geotérmicas. Longitud de tubería de sondas.  
<https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45861/Flament.pdf?sequence=1>
- Meteoblue. Climate Poland.

[https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/poland\\_united-states-of-america\\_4975603](https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/poland_united-states-of-america_4975603)

- Precio de la electricidad en Polonia. Estadísticas de viento.
- [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics)
- Eurostat. Electricity prices for household consumers (taxes included).  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics)

## ANEXO I: Hojas de características técnicas

### Caldera Hergom THT 800



Modelo	kW*	Kcal/h*	A	B	C	D	E	Chimenea (d)	Conexiones (I/R)
THT 100	100	86.000	1550	1130	850	1650	2800	300	2"
THT 150	150	129.000	1550	1680	850	2230	3350	350	2"
THT 200	200	172.000	1850	1510	950	2060	3260	350	DN65PN10
THT 250	280	240.800	1850	1850	950	2440	3590	400	DN65PN10
THT 325	350	301.000	2070	1680	1250	2300	3400	400	DN80PN10
THT 400	400	344.000	2070	2050	1250	2680	3900	450	DN80PN10
THT 500	500	430.000	2070	2260	1250	2930	4150	450	DN80PN10
THT 650	680	584.800	2520	2280	1550	3090	4300	500	DN100PN10
THT 800	800	688.000	2460	2780	1550	3690	5100	550	DN100PN10
THT1000	1050	903.000	2850	2460	1870	3480	5340	600	DN125PN10
THT1200	1200	1.032.000	2850	3000	1870	4000	6100	600	DN125PN10
THT1600	1600	1.376.000	3100	3010	2050	4150	5700	750	DN150PN10

\*Potencias obtenidas utilizando pellets EN 1496-1 (A1). Otros combustibles, consultar.

## Acumulador inercial ISC 5000 OSE

### ACUMULADOR INERCIAL "GAMA ISC OSE"

Depósitos acumulación, especial para Inercia. No aptos ACS, fabricados en acero S235JR.

- Construido en Acero al Carbono S235JR.
- De 100 a 500 lts. aislados en poliuretano rígido de 50 mm. con acabado exterior en chapa lacada.
- De 750 a 5000 lts. aislados en 80 mm. de lana mineral con revestimiento exterior en chapa de aluminio o Lona (consultar)

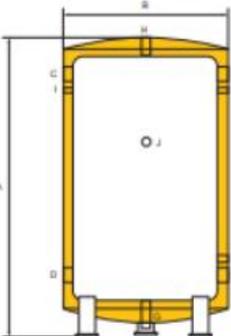
Depósitos para el almacenamiento de energía del sistema de calefacción, (no apto ACS), con aislamiento de alta densidad y acabados en chapa lacada hasta 500 lts o Aluminio a partir de 750 lts.

**LEYENDA**

C Ida Caldera (H)  
 D Retorno Caldera (H)  
 E Ida Sistema Auxiliar (H)  
 F Retorno Sistema Auxiliar (H)  
 G Desagüe (M) (>500 lts.)  
 H Purgador Aire 1/2" (H)  
 I Ánodo de magnesio 3/4" (H)  
 J Termómetro 1/2" (H)  
 K Sonda de Control 1/2" (H)

\* (M) Rosca "GAS" Macho  
 \* (H) Rosca "GAS" Hembra

VISTA FRONTAL





 95°C
  6 bar

REFERENCIA	CAPACIDAD (litros)	DIMENSIONES (mm)		CONEXIONES (pasos)					PVP (€)
		A	B	C	D	E	F	G	
ISC 0100 OSE	100	1050	495	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	-	530
ISC 0150 OSE	150	1240	530	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	-	590
ISC 0200 OSE	200	1260	600	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	-	648
ISC 0300 OSE	300	1700	600	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	-	917
ISC 0500 OSE	500	1850	720	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	-	1.629
ISC 0750 OSE	750	1675	1090	2"	2"	2"	2"	1"	2.053
ISC 1000 OSE	1000	2175	1090	2"	2"	2"	2"	1"	2.415
ISC 1500 OSE	1500	2210	1280	3"	3"	3"	3"	1"	2.839
ISC 2000 OSE	2000	2225	1400	4"	4"	4"	4"	1"	2.955
ISC 2500 OSE	2500	2275	1550	4"	4"	4"	4"	1"	3.752
ISC 3000 OSE	3000	2475	1550	4"	4"	4"	4"	1"	4.115
ISC 4000 OSE	4000	2320	1860	4"	4"	4"	4"	1"	5.905
ISC 5000 OSE	5000	2620	1860	4"	4"	4"	4"	1"	6.978

\* 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.

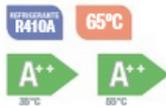
Inerox Industries S.L.
Calle Pau Claris 162, 4º 1º - 08037 Barcelona - 93 175 00 09 - <http://www.inerox.com> - [info@inerox.com](mailto:info@inerox.com)

## 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 <sup>a</sup> (W:35°C)	[%]	153% (A++) / 149%
	Media T <sup>a</sup> (W:55°C)	[%]	127% (A++) / 123%
Rangos de T <sup>a</sup>	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 <sup>3</sup> /h]	4,5 - 16,0

## Ecodan Power+ Geotérmica



UNIDAD EXTERIOR			CRHV-P600YA-HPB	
Capacidad	B:0°C; W:35°C	Capacidad prioritaria	[kW]	60,0
		Eficiencia prioritaria	[kW]	45,0
COP	B:0°C; W:35°C	Capacidad prioritaria	[kW]	4,23
		Eficiencia prioritaria	[kW]	4,41
Eficiencia estacional	Baja T° (W:35°C)	$\eta_{S,MED}$ (Flango) / $\eta_{S,CAL}$	[%]	153% (A++) / 149%
	Media T° (W:55°C)	$\eta_{S,MED}$ (Flango) / $\eta_{S,CAL}$	[%]	127% (A++) / 123%
Rangos de T°	Fuente de calor	entrada	[°C]	< +45
	Circuito hidráulico	min / máx	[°C]	+30 / +65
Ø tuberías	Circuito de calefacción	Imp - Ret	[pulg]	2 - 2
	Fuente de calor	Entrada - Salida		2 - 2
Alimentación eléctrica				3 Fases / 400V / 50Hz
Dimensiones		an x al x fon	[mm]	934 x 1.561 x 780
Refrigerante R410A		Precarga (kg) / PCA / TCO, eq.		9,0 / 2088 / 18,8
Caloportador en fuente de calor		Tipo		Etilenglicol 35%
		Rango de caudal	[m³/h]	4,5 - 16,0
<b>PVR</b>		<b>Unidad exterior</b>		<b>24.000 €</b>

Parámetros de eficiencia estacional conforme al Lote 1 de la directiva ErP:  $\eta_{S,MED}$  = Eficiencia de calefacción en zona de clima promedio;  $\eta_{S,MED}$  = Eficiencia de calefacción en zona de clima cálido. | Más información relativa al etiquetado energético de los sistemas disponible en <http://ErP.MitsubishiElectric.es> | Valores de capacidad y COP medidos bajo el estándar EN14511-2013 | El comportamiento real puede variar según las condiciones de funcionamiento. El agua de los circuitos de calefacción y ACS debe estar limpia y tener un pH entre 6,5 y 8,0. Valores máximos permitidos: Ca: 100mg/l, Dureza Ca: 250mg/l, Cl: 100mg/l, Co: 0,3mg/l, Fe/Mn: 0,5mg/l. Otros componentes tienen que cumplir con los estándares de la Directiva Europea 98/83 EC.

## 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 introducirlas en las perforaciones.

El pié 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



[CONTACTO](#)
[ES EN](#)
[CUSTOMERS](#)

[CONSULTORIA](#)
[AEROGENERADORES](#)
[INSTALACIONES](#)
[HERRAMIENTAS](#)
[ACTUALIDAD](#)
[EMPRESA](#)
[PRECIOS](#)

**AEROGENERADOR ENAIR 800**  
[OVERVIEW](#)
[DATOS TÉCNICOS](#)
[APLICACIONES](#)
[CARACTERÍSTICAS](#)
[INSTALACIONES](#)

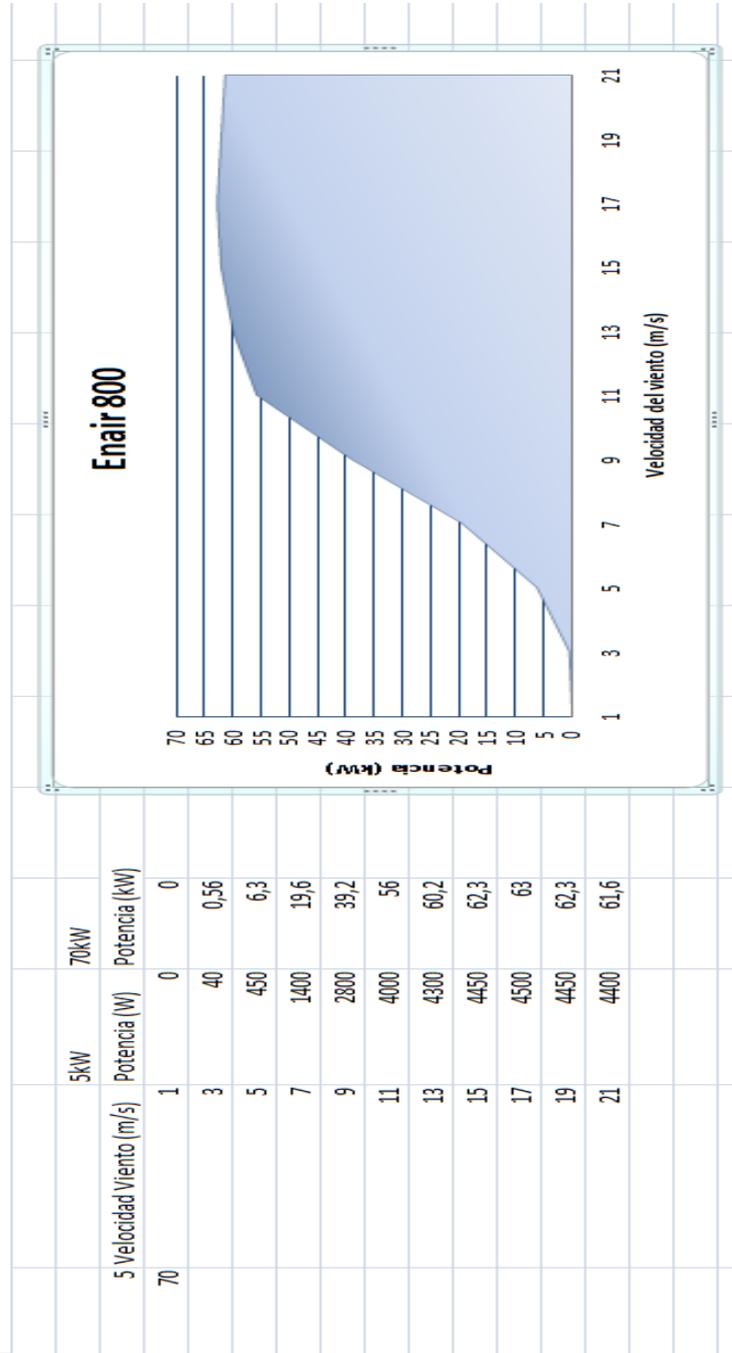
# DATOS TÉCNICOS

### Desglose técnico de la serie Enair 800 punto por punto

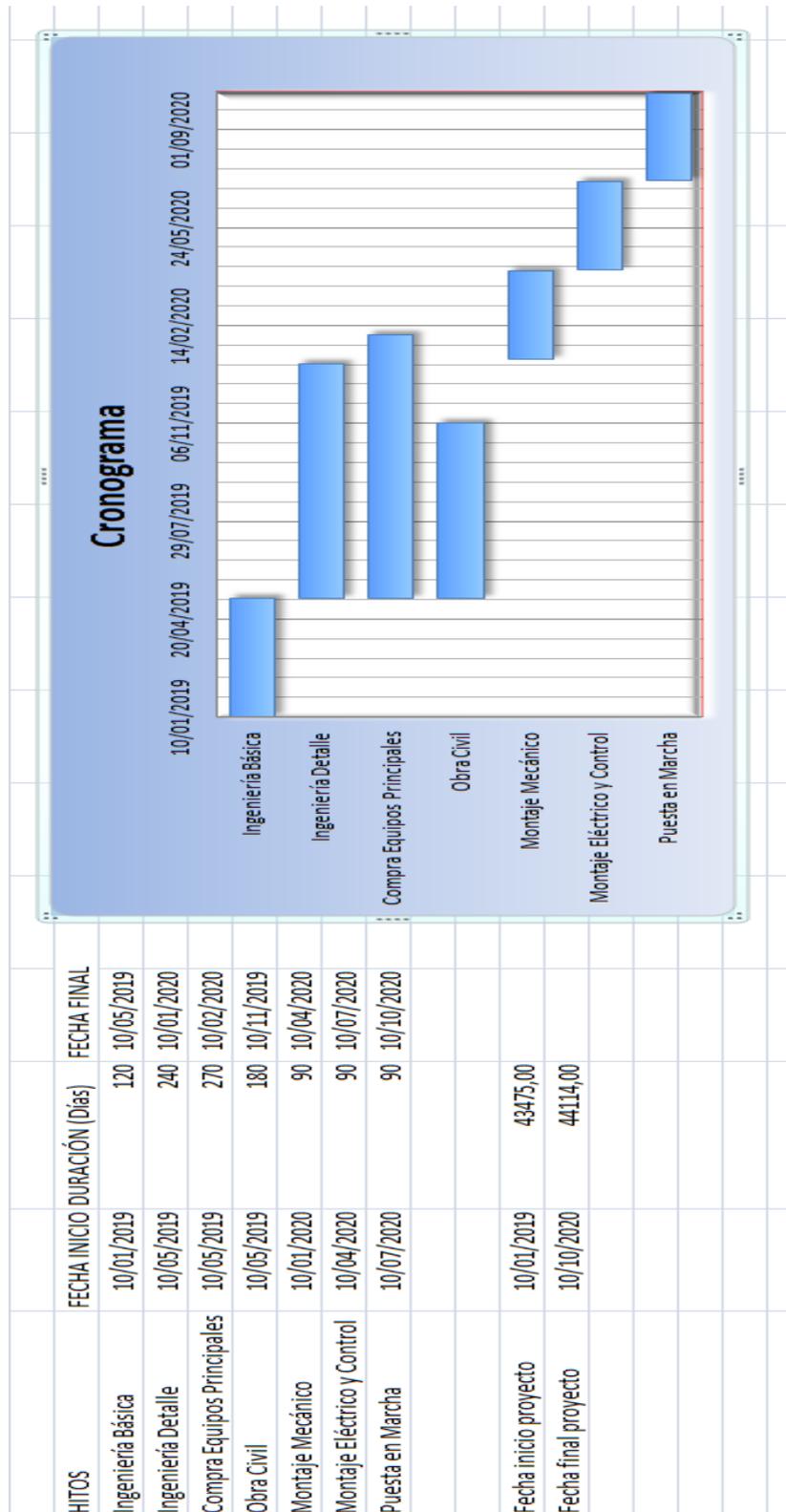
	Características	Tipo de valores
GENERADOR	Potencia	70kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal, sotavento
	Potencia Nominal	60KW
	Clase de viento	CLASS III / IEC 61400-2 / NVN I - A
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad nominal 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 <sup>2</sup>
	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"> <li>• Temperatura</li> <li>• Frecuencia</li> <li>• Voltaje</li> <li>• Fallo en la red</li> <li>• Fallo de Sensores</li> </ul>
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 característica del Enair 800



## Diagrama de Gant-Cronograma



## VAN y TIR

				-1.255.626,00 €
	inversion inicial	1255626	Flujo de caja	111.111,00 €
				112.777,67 €
				114.469,33 €
				116.186,37 €
	VAN	1.788.868,66 €		117.929,17 €
	TIR	9%		119.698,10 €
				121.493,57 €
	1%			123.315,98 €
				125.165,72 €
				127.043,20 €
				128.948,85 €
				130.883,08 €
				132.846,33 €
				134.839,03 €
				136.861,61 €
				138.914,54 €
				140.998,25 €
				143.113,23 €
				145.259,93 €
				147.438,82 €
				149.650,41 €
				151.895,16 €
				154.173,59 €
				156.486,19 €

## Velocidades de viento y producción del aerogenerador

Velocidad Viento (m/s)	Horas/Año	Potencia (kW)	Producción (kWh/año)
0	0	0	0
0,3	24	0	0
1,6	1027,2	0,5	513,6
3,4	2810,4	2,5	7026
5,5	2162,4	9	19461,6
8	1284	28	35952
10,8	768	55	42240
13,9	465,6	62	28867,2
17,2	237,6	63	14968,8
			149029,2