



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**TRABAJO FIN DE GRADO
EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL
ABASTECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN UNA
ZONA DEL PIRINEO OSCENSE**

**Autor: Víctor Sánchez Loscos
Director: Carlos Morales Polo**

**Madrid
Julio de 2019**

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. VÍCTOR SÁNCHEZ LOSCOS

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL ABASTECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN UNA ZONA DEL PIRINEO OSCENSE,

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

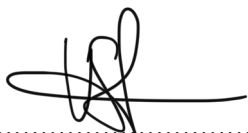
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 17 de JULIO de 2019

ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título *Empleo de energías renovables para el abastecimiento de una estación de depuración de aguas residuales en una zona del Pirineo oscense* en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Víctor Sánchez Loscos

Fecha: 17/ 7/ 2019

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: 17/ 7/ 2019





GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO
EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL
ABASTECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN UNA
ZONA DEL PIRINEO OSCENSE

Autor: Víctor Sánchez Loscos
Director: Carlos Morales Polo

Madrid
Julio de 2019

EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL ABASTECIMIENTO DE ESTACIÓN DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN UNA ZONA DEL PIRINEO OSCENSE

Autor: Sánchez Loscos, Víctor.

Director: Morales Polo, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Tras la primera década del siglo XXI se ha destacado desde numerosos organismos internacionales, la importancia de cuidar el medio ambiente, reducir el empleo de plásticos, disminuir las emisiones de CO₂ y las emisiones de otros gases contaminantes, así como de sensibilizar a la población mundial del impacto que están teniendo todas nuestras acciones sobre las aguas de nuestros mares, ríos y lagos.

La tecnología ofrece la oportunidad de mejorar la vida de las personas y de cuidar el medio ambiente y es por ello por lo que surge la idea de este proyecto. En la localidad de la Villa de Benasque carecen de una estación de aguas residuales para sus habitantes. Esto es algo que ocurre muy a menudo en los pequeños municipios rurales del norte de Aragón. Sin embargo, Benasque presenta unas propiedades muy diferentes a las del resto de municipios ya que cuenta con una población base de 3.000 habitantes aproximadamente pero que en las épocas de verano e invierno llega a albergar hasta 15.000 habitantes. Esto hace que el hecho de no contar con una planta de depuración suponga un desastre medio ambiental, más aún para una zona como esta que se encuentra en una ubicación privilegiada rodeada del parque natural Posets-Maladeta.

Según lo explicado anteriormente, con el objetivo de mantener la zona limpia de gases contaminantes y ser eficientes y respetuosos con el medio ambiente, se ha decidido emplear energías renovables para el abastecimiento energético de la planta. Se considerarán en el proyecto la energía renovable, puesto que la zona cuenta con una velocidad de viento medio elevada y la energía solar, la irradiación en los meses de verano es elevada y sirve de apoyo al parque eólico y mejorará la estabilidad de la instalación.

METODOLOGÍA

El proyecto tendrá 3 partes:

1. Análisis de las propiedades de la planta depuradora. Se determinará la población equivalente para la cual la planta deberá estar dimensionada, su localización y el consumo energético de esta.
2. Tecnologías para emplear: estudio del parque eólico y el huerto solar que se implementarían para cubrir la demanda de la planta depuradora. Propiedades de estos y fabricantes.
3. Estudio económico: análisis de los costes de la instalación del parque eólico y huerto solar, comparando el coste de este con el que se derivaría de la adquisición de la energía directamente desde la red eléctrica. Tiempo de amortización.

Respecto al primer punto, tras analizar la población base que ha habido en Benasque en los últimos años y la población que ha albergado en los meses de verano e invierno y con la idea de que la planta depuradora esté dimensionada correctamente para poder cubrir con la demanda poblacional hasta el año 2030 se ha concluido que los habitantes equivalentes de la EDAR son:

Habitantes equivalentes	Habitantes equivalentes máximos
3.125	15.000

Tabla 1: población Benasque

La localización es una de las características más importantes de la depuradora puesto que dado que se quiere simplificar el conexionado eléctrico necesario para transportar la energía desde la zona de producción (parque eólico y huerto solar), deberá encontrarse en una ubicación cercana a parcelas con buenos recursos primarios de sol y viento. Por lo que, tras analizar la información aportada desde el IDAE y el Atlas de radiación solar en España, se determinó que la localización de la depuradora debía ser en las coordenadas: 42°34'16''N 0°28'00''E

Respecto al consumo energético de la planta, teniendo en cuenta que hay meses que se han descrito de temporada alta, cuentan con la máxima población equivalente, y meses de temporada baja, con la población base, y la dotación diaria para un individuo estimada en 200L se concluyó que el consumo sería:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2465,75	513,7	513,7	1489,73	513,7	1489,73	2465,75	2465,75	513,7	513,7	513,7	2465,75	kWh/día

Tabla 2: consumo energético de la EDAR

Respecto a las tecnologías, como ya se ha indicado anteriormente, se ha hecho un análisis del recurso eólico y de la radiación solar de la zona.

Para el parque eólico se ha optado por el empleo de la tecnología mini eólica, que presentaba menor impacto visual y no se requería de grandes obras públicas para su correcta instalación. De entre todos los fabricantes de mini eólica se ha optado por Enair y concretamente por su modelo Enair 200, ya que cuenta con una curva de potencia que permite trabajar de forma óptima para los vientos medios de 8.1 m/s que hay registrados en el IDAE.

Por otro lado, respecto al parque solar, la radiación media solar registrada ha permitido concluir que será imprescindible contar con la tecnología más novedosa. Por ello, se determina el uso de paneles fotovoltaicos de 330W del fabricante EcoSolar. Estos ofrecen buenos rendimientos y la relación potencia/área del panel es bastante alta, ideal para el proyecto.

El recurso hidráulico es bastante importante en la zona, pero se emplea el 100% de la electricidad así producida para abastecer a Cataluña y País Vasco por lo que se descarta el empleo de esta tecnología para este proyecto.

RESULTADOS

Tras analizar la producción de cada tecnología y con el objetivo de contar con un excedente de, al menos, el 10% de la demanda de la planta, se concluye que la configuración óptima es:

- 7 aerogeneradores conforman el parque eólico.
- 1.200 paneles fotovoltaicos conforman el huerto solar.

A continuación, se muestra la tabla de producción energética:

Mes	EDAR				ENAIR 200 (parque eólico)			Paneles Fotovoltaicos			
	Consumo (kWh/día)	Generación (kWh/día)	Excedente (kWh/día)	Relación	Producción max posible (kWh/día)	Nº Aerogen. Necesarios	Generación (kWh/día)	Producción max posible (kWh/día) por kWp instalado	Nº de kWp necesarios	Nº paneles	Generación (kWh/día)
Enero	2465,8	3046,3	580,5	23,5%	286,4	7,0	2004,8	2,6	396,0	1200,0	1041,5
Febrero	513,7	3467,1	2953,4	574,9%	295,6	7,0	2069,2	3,5	396,0	1200,0	1397,9
Marzo	513,7	3530,0	3016,3	587,2%	256,5	7,0	1795,5	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Abril	1489,7	3160,6	1670,9	112,2%	224,1	7,0	1568,7	4,0	396,0	1200,0	1591,9
Mayo	513,7	2553,9	2040,2	397,2%	116,5	7,0	815,5	4,4	396,0	1200,0	1738,4
Junio	1489,7	2643,0	1153,3	77,4%	104,9	7,0	734,3	4,8	396,0	1200,0	1908,7
Julio	2465,8	2933,3	467,6	19,0%	131,1	7,0	917,7	5,1	396,0	1200,0	2015,6
Agosto	2465,8	2721,2	255,4	10,4%	115,5	7,0	808,5	4,8	396,0	1200,0	1912,7
Septiembre	513,7	2522,7	2009,0	391,1%	112,6	7,0	788,2	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Octubre	513,7	2640,6	2126,9	414,0%	178,1	7,0	1246,7	3,5	396,0	1200,0	1393,9
Noviembre	513,7	2638,6	2124,9	413,6%	222,5	7,0	1557,5	2,7	396,0	1200,0	1081,1
Diciembre	2465,8	2730,0	264,3	10,7%	254,8	7,0	1783,6	2,4	396,0	1200,0	946,4

Tabla 3: tabla resumen producción energética

Como se puede apreciar, existen meses en los que apenas se produce excedente de energía, como son: julio, agosto y diciembre, y otros en los que produce casi seis veces la demanda de la planta. Es interesante viendo la diferencia de producción en cada uno de los meses, el hecho de inyectar la energía excedente en la red y obtener un beneficio.

Teniendo en cuenta la configuración antes descrita y los fabricantes seleccionados, los costes de la instalación serían:

	Unidades	Costes (€)
Parque eólico	7	411.250 €
Paneles	1200	180.000 €
Inversores solares	80	55.660 €
Total		646.910 €

Tabla 4: costes equipos parque eólico y huerto solar

Por tanto, planteando 3 escenarios:

- Producción renovable CON inyección de energía en la red.
- Producción renovable SIN inyección de energía en la red.
- Compra de energía de la red.

Se determinan los costes que habría en cada configuración:

	Se inyecta excedente	se inyecta excede	Se compra de red
Coste equipos	646.910,00 €	646.910,00 €	0,00 €
Coste terreno	29.700,00 €	29.700,00 €	0,00 €
Coste energía	-19.528,73 €	0,00 €	82.979,79 €
TOTAL	657.081,27 €	676.610,00 €	82.979,79 €

Tabla 5: costes totales de cada configuración

Además, la instalación sería amortizada en 7 año y 11 meses.

CONCLUSIONES

- la Villa de Benasque carece actualmente de EDAR y presenta grandes variaciones de población a lo largo del año. Además, se trata de un entorno natural protegido.
- El consumo energético de la depuradora varía de 513,69 kWh/día en temporada baja hasta los 2.465,75 kWh/día en temporada alta, se suministrarán mediante un conjunto eólico – solar.
- El parque solar contará con 7 aerogeneradores modelo Enair 200 pertenecientes a la gama mini eólica de última generación. Suministrarán 1.340,9 kWh/día de media al mes.
- El huerto solar contará con 1.200 paneles solares fotovoltaicos Ecosolar y requerirá de 80 inversores MustSolar. Suministrarán 1.541,4 kWh/día de media al mes.

- Los costes totales de la instalación que incluyen; equipos, aerogeneradores, paneles solares, inversores y terreno, son de 676.610,00 €. La rentabilidad que se obtiene de la instalación por la inyección en la red es de 19.528,73 €.
- La instalación quedará amortizada a partir de los 7 años y 11 meses.

USE OF RENEWABLE ENERGIES FOR THE SUPPLY OF A WASTEWATER TREATMENT STATION IN AN AREA OF THE PYRENEES

ABSTRACT

INTRODUCTION

After the first decade of the 21st century, the importance of caring for the environment, reducing the use of plastics, reducing CO₂ emissions and emissions of other polluting gases, as well as raising awareness among the world population, has been highlighted by numerous international organizations that have realized the impact that all our actions are having on the waters of our seas, rivers and lakes.

Technology offers the opportunity to improve people's lives and care for the environment and that is why the idea of this project arises. In the town of Villa de Benasque they lack a sewage station for their inhabitants. This is something that happens very often in the small rural municipalities of northern Aragón. However, Benasque has different properties from the rest of the municipalities since it has a base population of approximately 3,000 inhabitants but in the summer and winter times it can hold up to 15,000 inhabitants. This means that the fact of not having a purification plant supposes an environmental disaster, even more so for an area like this that is in a privileged location surrounded by the natural park Posets-Maladeta.

As explained above, in order to keep the area clean of polluting gases and be efficient and respectful with the environment, it has been decided to use renewable energies for the energy supply of the plant. Renewable energy will be considered in the project, since the area has a high average wind speed and solar energy, irradiation in the summer months is high and serves as support for the wind farm and will improve the stability of the installation.

METHODOLOGY

The project will have 3 parts:

1. Analysis of the properties of the treatment plant. The equivalent population for which the plant should be sized, its location and its energy consumption will be determined.
2. Technologies to use: study of the wind farm and the solar garden that would be implemented to cover the demand of the treatment plant. Properties of these and manufacturers.
3. Economic study: analysis of the costs of installing the wind farm and solar farm, comparing the cost of this with the one that would be derived from the acquisition of energy directly from the electricity grid. Amortization time.

Regarding the first point, after analyzing the base population that has been in Benasque in recent years and the population that has housed in the summer and winter months and with the idea that the treatment plant is properly sized to meet the demand population until the year 2030 it has been concluded that the equivalent inhabitants of the WWTP are:

Habitantes equivalentes	Habitantes equivalentes máximos
3.125	15.000

The location is one of the most important characteristics of the treatment plant since it is required to simplify the electrical connection necessary to transport the energy from the production area (wind farm and solar garden), it must be in a location close to plots with good primary resources of sun and wind. Therefore, after analyzing the information provided by the IDAE and the *Atlás solar radiation in Spain*, it was determined that the location of the purifier should be in the following coordinates:

42°34'16"N 0°28'00"E

Regarding the energy consumption of the plant, taking into account that there are months that have been described during the high season, they have the highest equivalent population, and low season months, with the base population, and the daily allowance for an individual estimated at 200L it was concluded that the consumption would be:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2465,75	513,7	513,7	1489,73	513,7	1489,73	2465,75	2465,75	513,7	513,7	513,7	2465,75	kWh/día

Regarding the technologies, as we have already been indicated previously, an analysis of the wind resource and the solar radiation of the area has been made.

For the wind farm, the use of mini-wind technology was chosen, which presented less visual impact and did not require large public works for its correct installation. Among all the manufacturers of mini wind has been chosen by Enair and specifically for its model Enair 200, since it has a power curve that allows to work optimally for the average winds of 8.1 m / s that are registered in the IDAE .

On the other hand, with respect to the solar park, the average solar radiation registered has allowed us to conclude that it will be essential to have the most innovative technology. Therefore, the use of 330W photovoltaic panels from the manufacturer EcoSolar is determined. These offer good performances and the power / panel area ratio is quite high, ideal for the project.

The hydraulic resource is quite important in the area, but 100% of the electricity produced is used to supply Catalonia and the Basque Country, so the use of this technology for this project is ruled out.

RESULTS

After analyzing the production of each technology and in order to have a surplus of at least 10% of the plant's demand, it is concluded that the optimal configuration is:

- 7 wind turbines make up the wind farm.
- 1,200 photovoltaic panels make up the solar garden.

Next, the energy production table is shown:

Mes	EDAR				ENAIR 200 (parque eólico)			Paneles Fotovoltaicos			
	Consumo (kWh/día)	Generación (kWh/día)	Excedente (kWh/día)	Relación	Producción max posible (kWh/día)	Nº Aerogén. Necesarios	Generación (kWh/día)	Producción max posible (kWh/día) por kWp instalado	Nº de kWp necesarios	Nº paneles	Generación (kWh/día)
Enero	2465,8	3046,3	580,5	23,5%	286,4	7,0	2004,8	2,6	396,0	1200,0	1041,5
Febrero	513,7	3467,1	2953,4	574,9%	295,6	7,0	2069,2	3,5	396,0	1200,0	1397,9
Marzo	513,7	3530,0	3016,3	587,2%	256,5	7,0	1795,5	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Abril	1489,7	3160,6	1670,9	112,2%	224,1	7,0	1568,7	4,0	396,0	1200,0	1591,9
Mayo	513,7	2553,9	2040,2	397,2%	116,5	7,0	815,5	4,4	396,0	1200,0	1738,4
Junio	1489,7	2643,0	1153,3	77,4%	104,9	7,0	734,3	4,8	396,0	1200,0	1908,7
Julio	2465,8	2933,3	467,6	19,0%	131,1	7,0	917,7	5,1	396,0	1200,0	2015,6
Agosto	2465,8	2721,2	255,4	10,4%	115,5	7,0	808,5	4,8	396,0	1200,0	1912,7
Septiembre	513,7	2522,7	2009,0	391,1%	112,6	7,0	788,2	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Octubre	513,7	2640,6	2126,9	414,0%	178,1	7,0	1246,7	3,5	396,0	1200,0	1393,9
Noviembre	513,7	2638,6	2124,9	413,6%	222,5	7,0	1557,5	2,7	396,0	1200,0	1081,1
Diciembre	2465,8	2730,0	264,3	10,7%	254,8	7,0	1783,6	2,4	396,0	1200,0	946,4

As can be seen, there are months in which there is hardly any surplus energy, such as July, August and December, and others in which it produces almost six times the demand of the plant. It is interesting to see the difference in production in each of the months, the fact of injecting excess energy into the network and obtaining a profit.

Taking into account the configuration described above and the selected manufacturers, the costs of the installation would be:

	Unidades	Costes (€)
Parque eólico	7	411.250 €
Paneles	1200	180.000 €
Inversores solares	80	55.660 €
Total		646.910 €

Therefore, proposing 3 scenarios:

- Renewable production WITH power injection in the network.
- Renewable production WITHOUT energy injection in the network.
- Purchase of energy from the network.

The costs that would be determined in each configuration are determined:

	Se inyecta excedente	se inyecta excede	Se compra de red
Coste equipos	646.910,00 €	646.910,00 €	0,00 €
Coste terreno	29.700,00 €	29.700,00 €	0,00 €
Coste energía	-19.528,73 €	0,00 €	82.979,79 €
TOTAL	657.081,27 €	676.610,00 €	82.979,79 €

In addition, the installation would be amortized in 7 years and 11 months.

CONCLUSIONS

- Villa de Benasque currently lacks WWTP and has large population variations throughout the year. In addition, it is a protected natural environment.
- The power consumption of the treatment plant varies from 513.69 kWh / day in the low season to 2,465.75 kWh / day in high season, it will be supplied by a wind-solar system.
- The solar park will have 7 wind turbines model Enair 200 belonging to the latest generation mini wind turbine range. They will supply 1,340.9 kWh / day on average per month.
- The solar farm will have 1,200 Ecosolar photovoltaic solar panels and will require 80 MustSolar inverters. They will supply 1,541.4 kWh / day on average per month.
- The total costs of the installation that include; equipment, wind turbines, solar panels, inverters and land, are € 676,610.00. The profitability obtained from the installation through the injection into the network is € 19,528.73.
- The installation will be amortized after 7 years and 11 months.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. Depuración de aguas	25
1.2. Estaciones de depuración en España.....	26
1.3. Villa de Benasque y Sahún	28
1.4. Cuestión energética.....	29
2. ESTADO DE LA TÉCNICA	33
2.1. Energía solar	33
2.1.1. Fotovoltaica	33
2.1.2. Termosolar.....	35
2.2. Energía eólica.....	36
2.2.1. Eje vertical (VAWT)	37
2.2.2. Eje horizontal (HAWT).....	39
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	45
3.1. Localización de la estación de depuración.....	45
3.2. Análisis de la capacidad geográfica de la zona respecto al recurso eólico	46
3.3. Análisis de la capacidad geográfica de la zona respecto al recurso solar	46
3.4. Mix tecnológico sostenible	46
3.5. Estudio económico.....	46
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y RESULTADOS.....	47
4.1. Estación de depuración de aguas residuales	47
4.1.1. Estudio de la población.....	47
4.1.2. Localización.....	49
4.1.3. Consumo energético	50
4.2. Tecnologías	53
4.2.1. Parque eólico	53
4.2.2. Huerto solar	63

4.2.3. Centrales hidráulicas.....	69
4.2.4. Costes aerogeneradores	72
4.2.5. Costes paneles solares	73
4.2.6. Resultados: mix tecnológico.....	75
4.3. Estudio económico.....	78
4.3.1. Precio de la localidad.....	78
4.3.2. Precio de la energía.....	78
4.3.3. Resultados.....	80
4.4. Conexionado	81
5. CONCLUSIONES	82
6. REFERENCIAS.....	83

ILUSTRACIONES

Ilustración 1: imagen aérea de la Villa de Benasque y Sahún.....	27
Ilustración 2: variación poblacional de Benasque desde 1999	28
Ilustración 3: emisiones mundiales de CO2 por combustible (Mt).....	29
Ilustración 4: disponibilidad de los recursos energéticos	30
Ilustración 5: central termosolar	35
Ilustración 6: aerogenerador vertical Darrieus (Turbina eólica Darrieus, s.f.).....	37
Ilustración 7: turbina eólica Savonius (Turbina eólica Savonius, s.f.).....	38
Ilustración 8: aerogenerador vertical Giromill	38
Ilustración 9: orientación aerogeneradores (Orientación aerogeneradores, s.f.)	39
Ilustración 10: clasificación aerogeneradores según el número de palas	41
Ilustración 11: generador de jaula de ardilla	42
Ilustración 12: esquema de la góndola de un aerogenerador (Góndola aerogenerador partes, s.f.)	42
Ilustración 13: Ubicación seleccionada para la EDAR	50
Ilustración 14: evolución aerogeneradores a lo largo de los años	55
Ilustración 15: instalación mini eólica en Cabo Verde por ENAIR	56
Ilustración 16: distribución velocidad viento en Aragón.....	57
Ilustración 17: distribución velocidad del viento en Aragón - Red Natura 2000	58
Ilustración 18: atlas eólico ENAIR.....	59
Ilustración 19: distribución de frecuencias - rosa de los vientos.....	60
Ilustración 20: irradiancia global media en kWh/m2-día	64
Ilustración 21: irradiancia global media en verano medida en kWh/m2-día.....	64
Ilustración 22: irradiancia en la provincia de Huesca por meses	65
Ilustración 23: cuenca del Ésera	69
Ilustración 24: cuenca del Ésera con las localidades y núcleos de población	70
Ilustración 25: líneas eléctricas para transportar la producción hidráulica de la cuenca del Ésera (Galan, s.f.)	71
Ilustración 26: conexionado de la instalación eólica - solar.....	81

TABLAS

Tabla 1: población Benasque.....	10
Tabla 2: consumo energético de la EDAR	10
Tabla 3: tabla resumen producción energética	11
Tabla 4: costes equipos parque eólico y huerto solar	12
Tabla 5: costes totales de cada configuración	12
Tabla 6: Procesos de depuración de aguas residuales	26
Tabla 7: Número de habitantes y población máxima estacional de Benasque.....	47
Tabla 8: Habitantes equivalentes de la EDAR	48
Tabla 9: Ubicaciones posibles para la depuradora	49
Tabla 10: Asignación temporada a cada mes del año.....	51
Tabla 11: Consumo energético de la EDAR en temporada alta y temporada baja	52
Tabla 12: distribución por rango de velocidades.....	57
Tabla 13: características aerogeneradores ENAIR en localización.....	59
Tabla 14: demanda EDAR vs producción ENAIR 200.....	62
Tabla 15: candidatos para desarrollar tecnología solar	65
Tabla 16: producción paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de la EDAR.....	66
Tabla 17: modelos de paneles solares para el huerto solar.....	67
Tabla 18: características centrales hidráulicas de la cuenca del Ésera	70
Tabla 19: porcentaje que representa la producción hidráulica del total	71
Tabla 20: precio ENAIR 200.....	72
Tabla 21: comparativa precio instalación mes favorable y poco favorable	72
Tabla 22: coste de los paneles en caso de cubrir total demanda EDAR.....	73
Tabla 23: características de los inversores seleccionados	73
Tabla 24: análisis de costes de los inversores para cada escenario	73
Tabla 25: costes totales del huerto solar.....	74
Tabla 26: resumen demanda EDAR por meses y producción eólica y solar.....	75
Tabla 27: mix tecnológico eólico - solar para cubrir la demanda de la EDAR.....	75
Tabla 28: energía extra producida por el parque eólico y huerto solar en % de la demanda mensual de la EDAR	76
Tabla 29: costes de la instalación final.....	77
Tabla 30: precio de la energía en España por mes y año (OMIE, 2019).....	78
Tabla 31: beneficios y costes de cada escenario tecnológico.....	80

Tabla 32: costes totales de cada escenario.....	80
---	----

GRÁFICAS

Gráfica 1: Evolución anual de los habitantes de Benasque	48
Gráfica 2: producción de energía eléctrica del ENAIR 200 en la localización descrita	61

1. INTRODUCCIÓN

Tras la primera década del siglo XXI se ha destacado desde numerosos organismos internacionales, la importancia de cuidar el medio ambiente, reducir el empleo de plásticos, disminuir las emisiones de CO₂ y las emisiones de otros gases contaminantes, así como de sensibilizar a la población mundial del impacto que están teniendo todas nuestras acciones sobre las aguas de nuestros mares, ríos y lagos.

Existe una extrema necesidad dentro de la población mundial en hacer un uso razonable de los recursos hídricos existentes en el planeta puesto que en caso de que se incremente el uso que se hace del mismo y no se reduzca la carga contaminante que este absorbe, se podría superar su capacidad auto regeneradora. Además, aunque la cantidad de agua en La Tierra supone un 71% de la superficie terrestre, es decir, las tres cuartas partes se componen de agua, un 96,5% es agua salada que se localiza en mares y océanos. Tan solo un 3% es agua dulce; 1.75% la constituyen los glaciares y casquetes polares en forma de hielo y el 1.25% restante se encuentra localizada en la atmósfera, ríos, lagos, etc. Así pues, vista la escasez de agua dulce en el planeta, queda justificada la importancia de cuidar y proteger el recurso hídrico existente y que es imprescindible para la vida.

Por ello, el presente proyecto se centra en dicho recurso y busca aportar soluciones tecnológicas, eficientes y respetuosas con el medio ambiente de forma que se reduzca la carga contaminante de nuestras aguas.

1.1. Depuración de aguas

La depuración de las aguas se lleva a cabo en las estaciones de depuración de aguas residuales, también denominadas EDAR, las cuales se dimensionan para cubrir una demanda de carga contaminante.

El dimensionamiento de la EDAR y los procesos de la misma dependen de los habitantes equivalentes objetivo, de su consumo de agua diario y del origen de dichas aguas residuales, ya que pueden proceder de núcleos urbanos, de plantas industriales o de una combinación de ambas.

Una vez identificadas las características de las aguas a tratar, se definen las fases que constarán en el proceso de depuración.

<u>Tratamiento</u>	<u>Características</u>
Pretratamiento	Eliminar aquellos objetos de gran tamaño que pueden dificultar las siguientes fases del proceso
Primario	Decantar y sedimentar los sólidos presentes
Secundario	Reducir la carga contaminante biológica
Terciario	Reducir el nivel de nutrientes, residuos tóxicos, fertilizantes y otros elementos industriales
Fangos	Depurar los fangos según futura finalidad.

Tabla 6: Procesos de depuración de aguas residuales

1.2. Estaciones de depuración en España

Atendiendo a los informes que fueron reportados por España a la Comisión Europea en cumplimiento de la Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas se concluye que existen 2.125 estaciones de depuración de aguas residuales que suman en total una población de diseño de 96.247.536 habitantes. Teniendo en cuenta que la población actual española es de 46,72 millones de habitantes, según fuentes del Instituto Nacional de Estadística, se observa que las depuradoras están dimensionadas para más del doble de la población actual española. El objetivo no es solo cubrir un aumento demográfico futuro sino también las variaciones poblaciones estivales a lo largo del país.

Sin embargo, los datos de depuración arriba recogidos hacen referencia a estaciones de depuración para núcleos de más de 2.000 habitantes. En los núcleos con menos habitantes no siempre se está cumpliendo con la normativa vigente de depuración de aguas residuales y esto supone una problemática. Los vertidos a los ríos se producen con cargas contaminantes que superan los límites recomendados por las organizaciones internacionales y tienen efectos negativos para el medio ambiente, la población y la economía.

Una de las Comunidades Autónomas que más problemas ha tenido con los vertidos de aguas residuales es Aragón. Existen numerosos núcleos de población de menos de 1.000 habitantes en dicha comunidad que carecen de estación de depuración de aguas residuales. En algunos casos las cargas contaminantes que se liberan a los ríos están dentro de los valores permitidos legalmente, pero en otros muchos no. De hecho, según estudios ofrecidos por diversas empresas externas, hasta un 11% de la carga contaminante de la Comunidad Autónoma llega a los ríos sin tratar, es decir, aproximadamente la carga generada por 300.000 habitantes equivalentes.

De entre todos estos pequeños núcleos, destaca uno por encima de todos; Villa de Benasque y Sahún.



Ilustración 1: imagen aérea de la Villa de Benasque y Sahún

1.3. Villa de Benasque y Sahún

El núcleo rural de la Villa de Benasque y Sahún cuenta con una población de 2.157 habitantes, según datos del INE, (Epdata Gráficos y Estadísticas, s.f.).

Así ha cambiado la población en Benasque

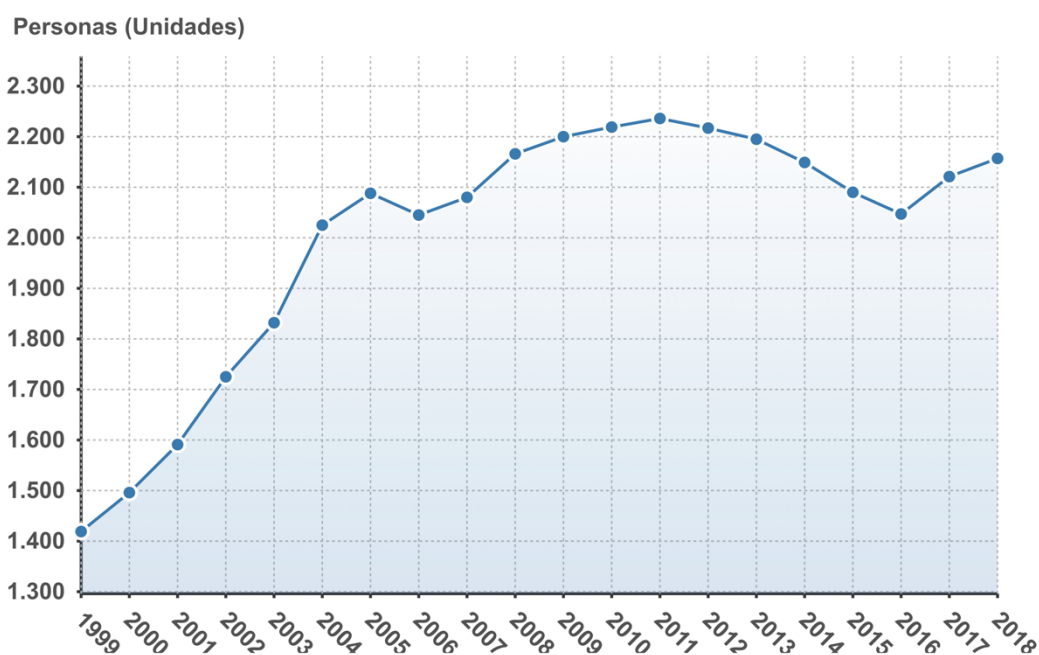


Ilustración 2: variación poblacional de Benasque desde 1999

Por lo tanto, la cuestión por la que este municipio es tan característico se debe a que su población máxima estacional es de 10.900 habitantes, según datos del gobierno. Esto se debe a que se trata de una zona principalmente turística, con grandes atractivos para los amantes de la naturaleza y los deportes extremos. Además, la estación de esquí de Aramón Cerler, una de las mejores estaciones para practicar esquí alpino de España, pertenece al municipio de Benasque.

Por todas estas razones, que un núcleo de estas características carezca de una estación de depuración de aguas residuales supone un desastre medioambiental. Más aun si se tiene en cuenta que se encuentra rodeado de un parque natural como es el Posets-Maladeta con fauna y flora protegida.

1.4. Cuestión energética

La evolución energética es mucho más visible en los últimos tiempos. Se cree con firmeza que otro modelo energético es viable. Las técnicas empleadas en las últimas décadas de los años 90 se han puesto en jaque desde la comunidad científica, más aún si cabe ahora que las grandes ciudades viven momentos de alta polución en sus atmósferas y el efecto invernadero, debido a los altos niveles de CO₂, tiene unas consecuencias ya visibles.

A continuación, se muestran las emisiones mundiales de CO₂ por combustible (en Mt):

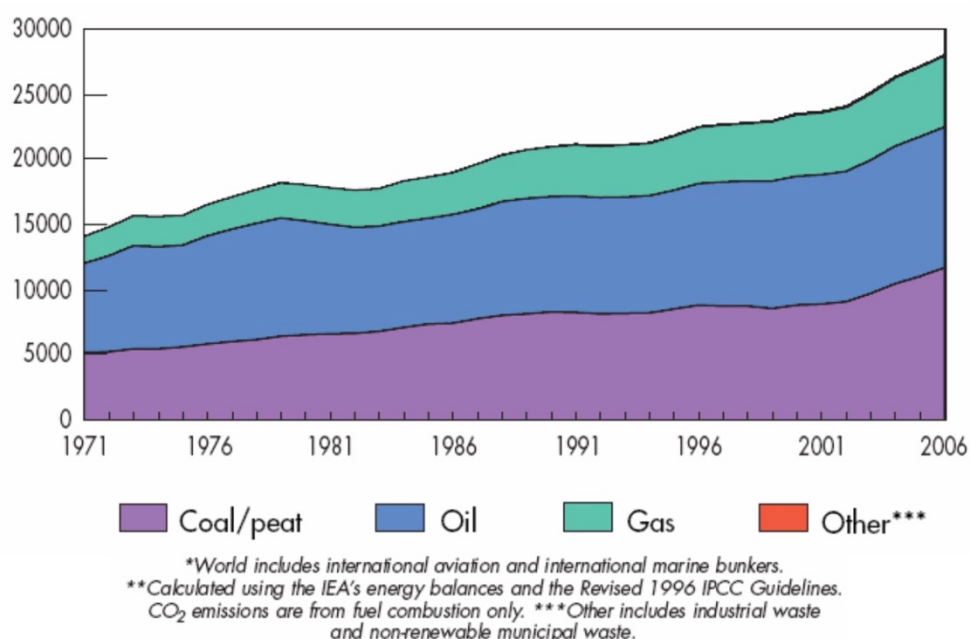


Ilustración 3: emisiones mundiales de CO₂ por combustible (Mt)

Se observa como casi se ha llegado a duplicar la cantidad de emisiones mundiales de CO₂ en menos de 40 años. Si se tiene en cuenta que todas las emisiones son debidas al empleo de energías no renovables, como el carbón, petróleo y gas, y que además las reservas de petróleo o gas no son limitadas, resulta de vital importancia encontrar una alternativa a estas fuentes de energía.

En la ilustración que se muestra a continuación aparece una estimación de la disponibilidad de las principales fuentes no renovables en caso de mantener el ritmo actual de consumo de estas.

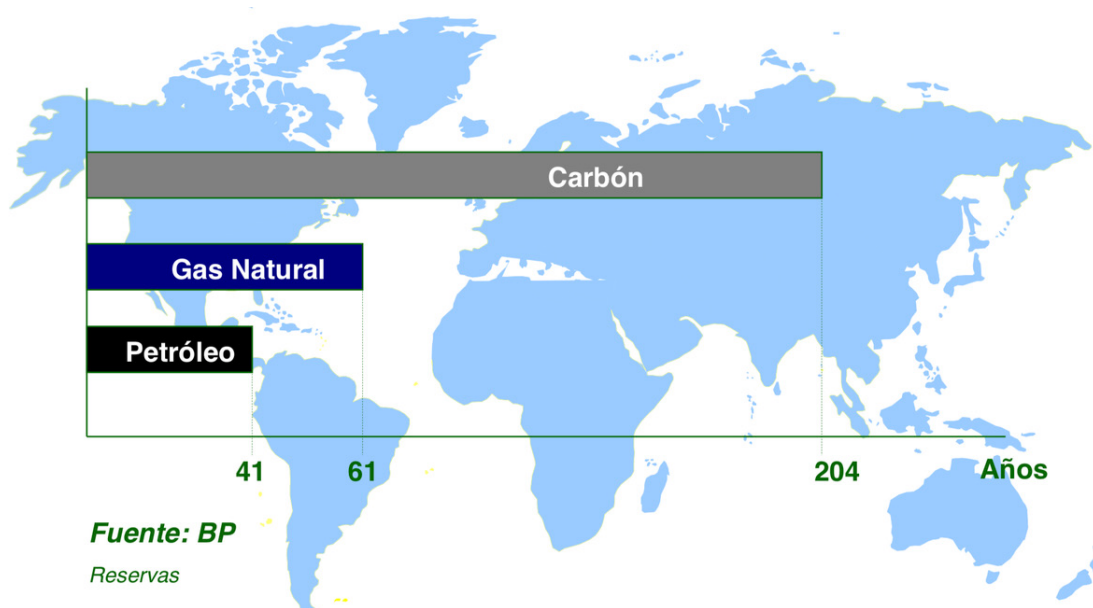


Ilustración 4: disponibilidad de los recursos energéticos

Se precisa de una alternativa a corto – medio plazo que permita reducir el consumo de estos recursos energéticos.

En este panorama, las energías renovables adquieren una relevancia aún mayor. La revolución tecnológica ha favorecido el desarrollo de este tipo de energías sostenibles. Muchas de ellas presentan unos valores de eficiencia y rendimiento mucho mayores al que tenían en sus inicios. Además, los costes derivados por el empleo de estas tecnologías se van reduciendo paulatinamente durante los años y desde numerosas organizaciones y países se fomenta a las empresas energéticas a invertir en tecnología limpia.

Sin embargo, las renovables presentan el gran inconveniente de la estacionalidad de los recursos que necesitan para funcionar, véase; sol en el caso de energía solar fotovoltaica, viento en el caso de energía eólica o agua en el caso de la hidráulica, entre otros. Por esta razón, la viabilidad de una instalación de estas características dependerá de la localización y del estudio de las variables meteorológicas de la misma. Resultará imprescindible localizar una ubicación con las condiciones más constantes con el fin de obtener la mayor cantidad de energía posible.

Si se compara el mix tecnológico español de la década de los 90 con el actual, se observa un movimiento a gran escala hacia la inversión de energías renovables. Éstas adquieren un papel fundamental dentro de la producción energética de los diferentes países desarrollados y ofrecen una alternativa a aquellos países que se encuentran en vías de desarrollo. Actualmente, en España, un 40% de la energía que se produjo en 2018 provenía de fuentes que no emitían CO₂ a la atmósfera y un 33% de energías renovables.

Para la cuestión que se va a plantear en las líneas de este proyecto, el empleo de energías renovables para abastecer energéticamente a la estación de depuración de aguas residuales de la Villa de Benasque y Sahún no solo cumple con las nuevas directrices de la comunidad económica europea, sino que además permite reducir las emisiones de CO₂ en una zona natural protegida, poniendo a la villa a la vanguardia tecnológica en cuestión de producción energética.

2. ESTADO DE LA TÉCNICA

2.1. Energía solar

La característica principal de este tipo de fuente de energía es la versatilidad, siendo capaz de adecuarse a distintas funciones. La energía solar se encuentra principalmente en tejados de edificios y huertos solares, aunque es frecuente su uso en dispositivos electrónicos pequeños, como en el caso de las calculadoras.

En la actualidad, a través de la energía solar se puede obtener energía eléctrica en dos tipos de centrales; las fotovoltaicas y las térmicas solares. La primera se basa principalmente en los efectos fotovoltaico y la segunda en los efectos térmico.

2.1.1. Fotovoltaica

El efecto fotovoltaico se caracteriza por permitir realizar la conversión de energía cuando dos piezas de material diferente son expuestas a la luz o una radiación electromagnética, se basa en el propio principio fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por Hertz en el siglo XIX, pero no fue hasta el siglo XX cuando Albert Einstein lo demostró de forma teórica.

En cierta manera, el efecto fotoeléctrico es la oposición de los rayos X ya que este principio afirma que cuando una radiación electromagnética incide sobre un material, éste libera electrones. Por lo tanto, para el caso que nos atañe, los fotones transfieren la energía a los electrones. Un fotón puede llegar a expulsar a un electrón del propio material en caso de contar con una mayor energía que la necesaria para tal efecto y la dirección o trayectoria de este es hacia la superficie del material.

Los cambios que puedan producirse en la luz a nivel de intensidad no afectan a la energía de sus fotones, sino al número de estos y, por lo tanto, a la energía de electrones que se emiten.

Las células fotovoltaicas fueron descubiertas por Becquerel a mediados del siglo XIX. Se trata de un dispositivo eléctrico que es capaz de transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Las células fotovoltaicas están compuestas de materiales semiconductores, los cuales son inestables eléctricamente y buscan completar sus últimas capas de electrones. Motivo por el cual se emplean estos para la tecnología solar. Dependiendo del material empleado para el semiconductor las células fotovoltaicas se pueden clasificar en:

- **Silicio amorfo**

La organización atómica de esta célula es irregular, como bien indica su nombre, compuesta por una delgada capa de silicio no cristalino que ayuda absorber más la luz y por consiguiente crear capas más finas. Esta se sedimenta sobre una superficie generalmente de cristal o bien de algún material más flexible. Aproximadamente cuenta con un rendimiento del 10%.

El coste económico de este tipo de célula es más barato con respecto a las demás. Al funcionar con radiación difusa no requiere radiación directa, lo que supone una ventaja. Sin embargo, un inconveniente importante es su rápida degradación con el paso del tiempo, decreciendo, por tanto, su rendimiento.

- **Silicio monocristalino**

Formada por cristales de silicio de alta pureza. El coste es más elevado al requerir de más silicio. En cambio, el rendimiento es más alto y funciona con luces de baja intensidad, siendo un tipo de célula con más durabilidad.

- **Silicio policristalino:**

Compuestas mayoritariamente por silicio y sin necesidad de tener una alta pureza, estas células no necesitan tener una alta pureza y su proceso de fabricación es más rápido y económico en comparación con el monocristalino, que requiere de una fabricación más compleja y cara. Sin embargo, el policristalino ofrece un menor rendimiento siendo este en torno al 12-14%.

Además, las empresas especializadas en esta tecnología emplean concentradores y reflectores para aumentar la eficiencia de las células fotovoltaicas.

Mientras que los concentradores son sistemas óptimos que mejoran la eficiencia notablemente al concentrar el punto de luz sobre la célula, los reflectores se encargan de aumentar la intensidad lumínica que percibe el material, es decir, trabajan como espejos.

2.1.2. Termosolar

La forma de producir electricidad de este tipo de plantas es parecida al de cualquier otra central termoeléctrica. Utiliza una serie de espejos orientados hacia la caldera de la torre (llamados heliostatos), a través de los cuales se refleja la radiación solar, permitiendo calentar el fluido sin la necesidad de un combustible fósil. Este fluido caliente efectúa un ciclo termodinámico.

A diferencia de otras energías, las cuales hay que consumirlas en el momento de su generación, esta se puede almacenar y gestionar de tal forma que aporta gran seguridad y estabilidad al sistema eléctrico.

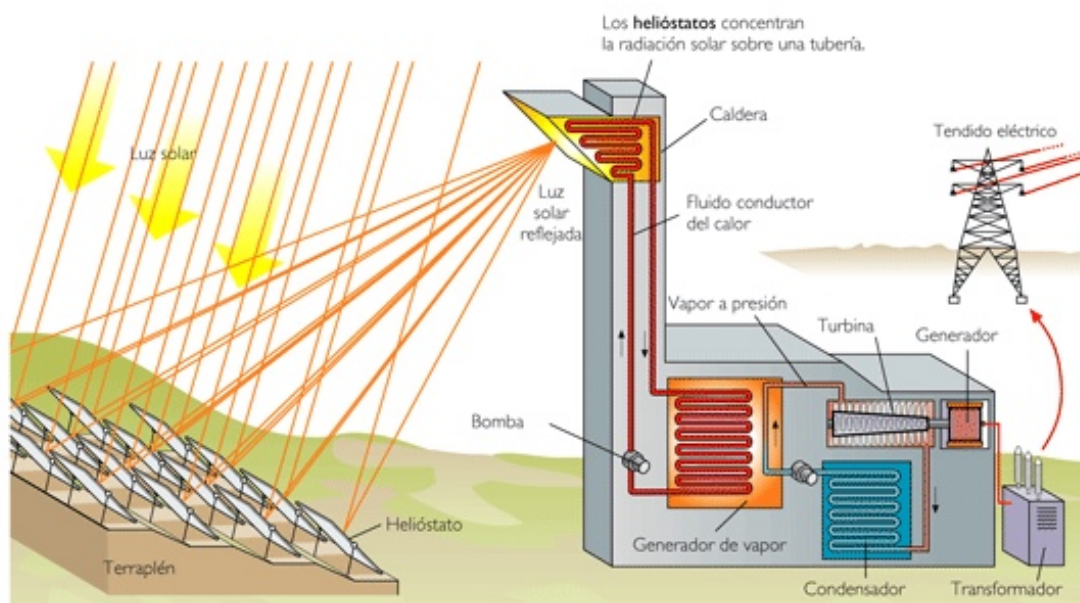


Ilustración 5: central termosolar

En la ilustración anterior se puede observar el principio de funcionamiento de una central térmica solar. La energía procedente del Sol se redirige; se refleja hacia un colector enorme, denominado heliostato por el que se ha instalado un circuito de fluido, típicamente agua, que será calentado. Dicho circuito, al ponerse en contacto con otro de temperatura inferior hace que se genere vapor, el cual se empleará para que el generador

produzca la energía eléctrica. A partir de ahí, dependiendo de la ubicación y otras características se distribuirá o transportará para cubrir con la demanda eléctrica de cada hora.

2.2. Energía eólica

A lo largo del tiempo, el hombre ha empleado la energía del viento para crear artefactos que aprovechaban esta fuente de energía. Ejemplo de ello son los barcos de vela, molinos de viento, turbinas eólicas y aerogeneradores, entre otros. En la actualidad es, sin duda, una de las fuentes más limpias e inagotables, capaz de crear importantes cantidades de energía.

Para obtener la energía eólica es necesario transformar la energía cinética proveniente del viento en energía mecánica, empleando las palas de los aerogeneradores. También, gracias a un alternador esta energía puede transformarse en energía eléctrica.

Es importante destacar que existen unos valores de velocidad de viento admisibles para poder emplear un aerogenerador para transformar la energía del viento. El rango admisible de velocidades va variando a medida que se desarrolla dicha tecnología y depende de cada fabricante y modelo concreto de aerogenerador. Los valores más típicos de funcionamiento oscilan entre 5 m/s y 35 m/s. Además, existe un límite máximo del 60%, también denominado límite de Betz, que refleja la máxima cantidad de energía eléctrica que se puede ser transformada de la energía cinética del viento. Esto se quiere decir que si la energía cinética del viento fuera del 100%, únicamente se podría transformar el 60% de esta, el 40% restante de energía la mantienen las partículas de viento en forma de energía cinética para poder seguir con su movimiento. Actualmente en el mercado se pueden encontrar aerogeneradores que cuentan con rendimientos cercanos al 50%, por lo que esta tecnología está próxima a alcanzar el límite máximo. Tal es así que el mercado eólico está evolucionando hacia un parque de menor tamaño, con diámetros más reducidos, que tengan gran eficiencia y que generen el menor impacto visual y paisajístico posible.

2.2.1. Eje vertical (VAWT)

A la hora de captar la energía del viento no requiere de un sistema de orientación, captan el viento en cualquier dirección, ya que no es transcendente la dirección del flujo de aire. Además de esto, al estar ubicados a ras de suelo, resulta más sencillo su instalación y mantenimiento, hecho que facilita la seguridad de los operarios o del equipo de mantenimiento. No obstante, el rendimiento de este tipo de aerogeneradores llega a ser menos de la mitad de efectivo que los de eje horizontal, ya que el coeficiente de potencia en comparación es mucho menor que en los aerogeneradores de eje horizontal. A esto último se le añade que a la hora de tener que ejecutar una reparación del rotor, implique desmontar la maquinaria de este tipo de aerogenerador. Este proceso supone un coste muy elevado

A continuación, se muestran los principales tipos de aerogeneradores de eje vertical:

- **Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus.**

Recibe este nombre de su inventor Georges Darrieus, quién en 1931 patentó este tipo de aerogenerador, siendo el más comercial y popular de este grupo. Consiste en dos o más palas curvadas unidas al eje vertical por los dos extremos.



Ilustración 6: aerogenerador vertical Darrieus (Turbina eólica Darrieus, s.f.)

- **Aerogenerador de eje vertical tipo Savonious**

Siguiendo la línea del anterior, este debe su nombre al inventor del mismo, S.J. Savonius, en 1922. La disposición de sus palas en forma de S, favorece a las partes cóncavas que captan mejor el viento, mientras que los reversos sufren una menor resistencia cuando se mueven en contra del viento que cuando lo hacen a favor del mismo. Únicamente es capaz de girar con bajas velocidades de viento debido a la resistencia al aire de este tipo de rotor. También, llega a soportar los efectos de las turbulencias.

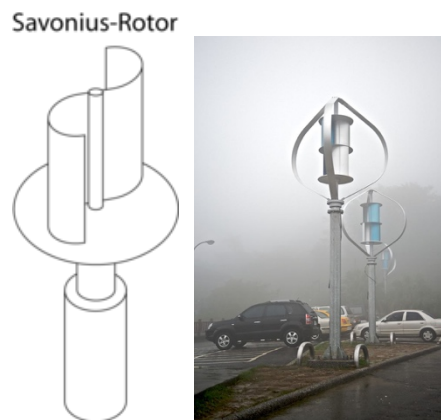


Ilustración 7: turbina eólica Savonius (Turbina eólica Savonius, s.f.)

- **Aerogenerador de eje vertical tipo Giromill**

Este generador fue patentado por Georges Darrieus, consta de palas verticales y perpendiculares al suelo, unidas al rotor por unos brazos horizontales.



Ilustración 8: aerogenerador vertical Giromill

2.2.2. Eje horizontal (HAWT)

Este tipo de tecnología ofrece numerosas alternativas respecto a la potencia, ya que entre sus numerosas ventajas destacan; su mayor coeficiente de potencia, el cual varía con el número de palas del aerogenerador, permiten barrer mayores áreas, por lo tanto, también será mayor la energía que se obtenga del viento, y se podrá aprovechar el gradiente de velocidades de manera óptima al contar con mayores alturas.

Este grupo se divide, a su vez, en tres tipos:

- Orientación respecto al viento
 - Sotavento: tiene un rotor más flexible y no requiere de un mecanismo de orientación, pues la torre crea un efecto de sombra a las palas, por consiguiente, produce una oscilación de potencia y crea más cargas de fatiga y esfuerzos.
 - Barlovento: es el más popular y usado, requiere un rotor más rígido y de un sistema de orientación.

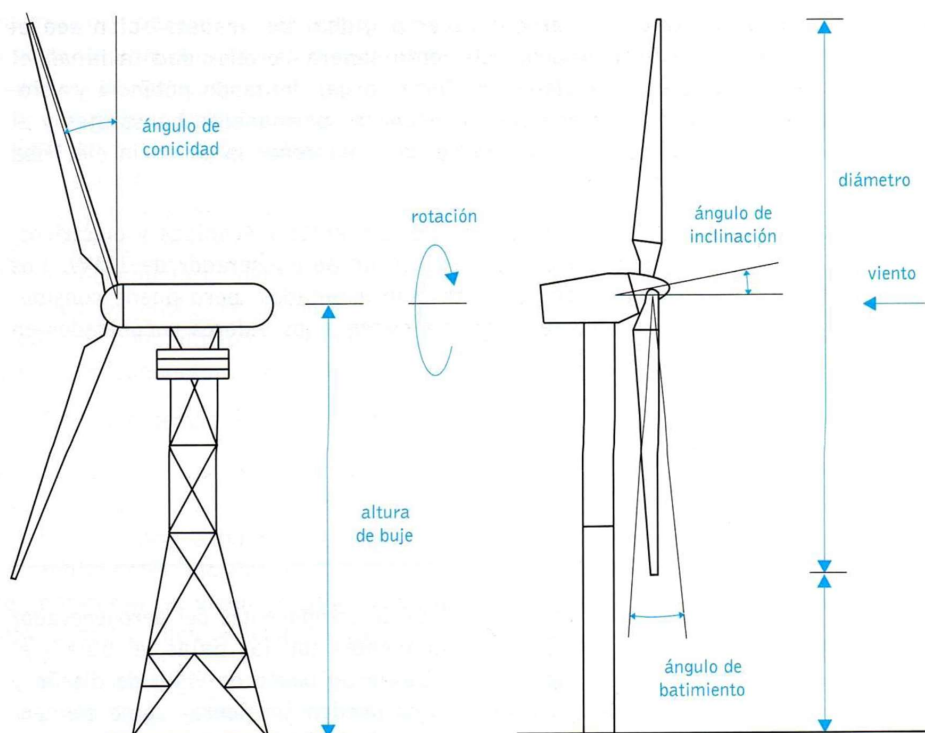


Ilustración 9: orientación aerogeneradores (Orientación aerogeneradores, s.f.)

- Velocidad de rotación
 - *Aerogeneradores lentos*: es un generador que consta de un elevado número de palas, con un diámetro pequeño (de hasta 10 metros). Presentan potencias bajas, principalmente porque usa una velocidad de arranque baja (de en torno 2-3 m/s).
 - *Aerogeneradores rápidos*: emplean un bajo número de palas (de 1 a 4), con grandes diámetros. Al tratarse de generadores más ligeros, pueden construirse de mayor tamaño. Presentan un alto coeficiente de potencia, ya que usan una velocidad de arranque mayor (4-5 m/s) que los aerogeneradores lentos. Llegan a trabajar con velocidades de hasta 25 m/s.
- Número de palas

Teniendo en cuenta que esta clasificación es más común en aerogeneradores rápidos

- Monopala: aunque se reduce los materiales y costes, el ahorro en peso no es tan significativo, ya que es necesario un contrapeso para equilibrar el rotot. En cuanto a sus desventajas estas incluyen mayor producción de ruidos, así como, intrusión visual.
- Bipala: en comparación con el tripala, resulta más económico que este, suponiendo un ahorro de una pala y peso. Por otro lado, se producen mayores esfuerzos y vibraciones, y también ruido.
- Tripala: aumenta el coste y el peso. Presenta una mayor estabilidad y equilibrio gracias a que se minimizan los esfuerzos y su momento de inercia es mayor. Además, dado que la velocidad de giro es menor, se reducen ruidos y vibraciones locales.
- Multipalas: con un número mayor de palas, es conocido como el modelo americano, debido a que su original aplicación fue la extracción de agua en pozos de las llanuras americanas

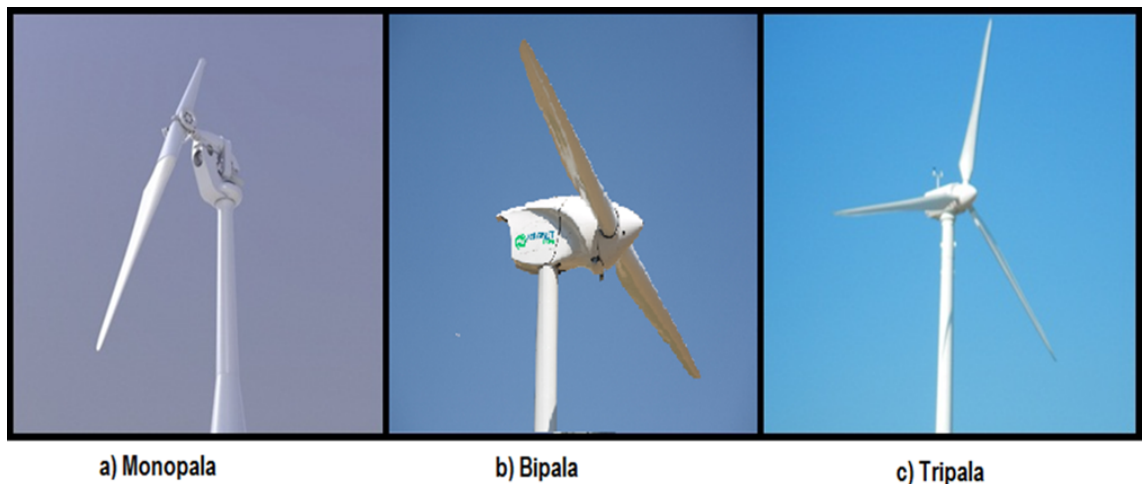


Ilustración 10: clasificación aerogeneradores según el número de palas

A continuación, se expone los componentes que conforman un aerogenerador

- **Palas:** es una de las partes más importantes ya que a partir de la energía del viento que recogen, transmiten su potencia hacia el buje. Pueden medir desde 1 metro hasta 52 metros, están conectadas al buje del rotor.

La energía máxima que se puede extraer del viento es limitada, según la Ley de Beltz, por ello al aumentar el número de palas no habría una diferencia notable de energía, ni aumentaría el rendimiento del aerogenerador. En lo que sí repercute es en la estabilidad y equilibrio que ofrece un mayor número de palas. Estos son los motivos por los cuales es más habitual encontrar los aerogeneradores que tienen 3 palas ya que aportarán más estabilidad que monopala o bipala.

- **Góndola:** contiene los elementos más importantes del aerogenerador, para el buen funcionamiento de la turbina incluyendo componentes eléctricos, y parte de los mecánicos como el multiplicador y el generador eléctrico. Protege al resto de componentes de posibles inclemencias del tiempo, así como, aísla del ruido generado por la máquina. En la parte exterior lleva fijado un anemómetro y una veleta conectados a los sistemas de control del aerogenerador.

Dentro de la góndola se distinguen los dos componentes principales que la forma:

- Multiplicador: su función radica en transformar la energía de baja velocidad, proveniente del viento en alta velocidad para llegar finalmente al generador.
- Generador eléctrico: transforma esa energía cinética de rotación (energía mecánica) procedente del multiplicador en energía eléctrica. Los más utilizados son los de tipo “jaulilla de ardilla”, debido a su bajo coste.

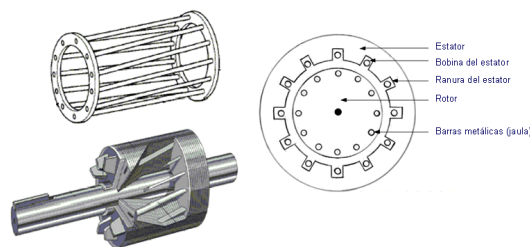


Ilustración 11: generador de jaula de ardilla

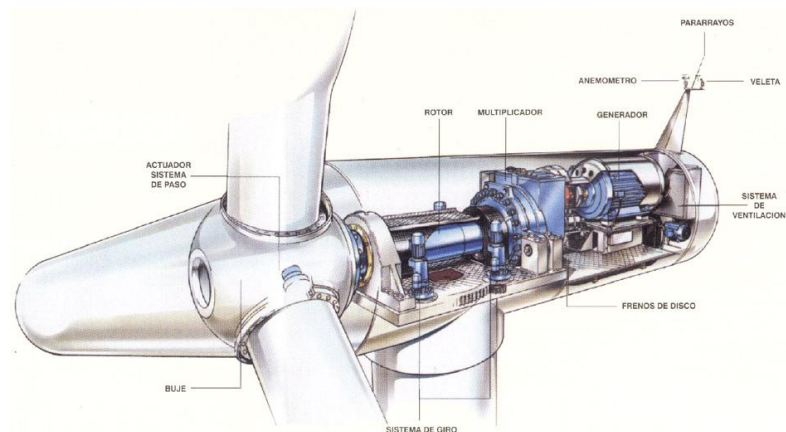


Ilustración 12: esquema de la góndola de un aerogenerador (Góndola aerogenerador partes, s.f.)

- Buje: ejerce de transmisor y conector con el eje principal o eje lento, al hacer pasar la energía desde las palas hasta la multiplicadora. Además, soporta las cargas de la base de las palas. El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
- Carenado o nariz: cubierta frontal que tiene forma paraboloide. Reduce y elimina las posibles turbulencias en el centro frontal del rotor, desvía de esta forma el viento hacia el tren motor, mejorando la ventilación del interior de este.

- Torre: generalmente metálico, aunque puede ser tubular o de celosía, soporta el peso de todos los demás elementos.
- Sistema de refrigeración: circula el aire a través de ventiladores y disipan el calor creado por la fricción, y el efecto Joule generado en el interior de la góndola del aerogenerador.
- Sistema de frenado: si la velocidad de rotación del eje del aerogenerador es muy alta puede ser necesario un sistema de frenado para evitar exceder las tensiones mecánicas de las palas. Por consiguiente, de no ser así los daños serían mayores, y para prevenir esto, se dispone de dos tipos de frenado:
 - Frenado aerodinámico: se rige por un frenado controlando el paso de las palas. Es el sistema de freno más habitual y moderno, consiste en hacer girar las palas hasta 90°, esto se conoce como “posición de bandera”. La potencia del aerogenerador es controlada por este sistema de frenado. Es un sistema seguro que no provoca daños importantes en el equipo.
 - Frenado mecánico: la velocidad de giro se encuentra limitada. Se suele utilizar como freno de apoyo del anterior tipo de frenado. Se usa habitualmente con el aerogenerador parado.
- Cojinete: elemento mecánico cuya función es dar soporte al sistema de transmisión de energía.
- Veleta: dispositivo que comprueba la dirección del viento.
- Eje principal: este es el elemento que transmite la energía mecánica (en forma de rotación).

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es el de abastecer energéticamente a una planta depuradora de aguas residuales de la villa de Benasque y Sahún mediante tecnologías renovables, véase; energía eólica y energía solar. Con el objetivo de simplificar la instalación eléctrica y los costes derivados de la misma, la instalación de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos se realizará, en la medida de lo posible, en un área cercana a la planta depuradora.

Como se había planteado en capítulos anteriores, la villa de Benasque y Sahún carecen de una estación de depuración de aguas residuales (EDAR) con todas las contrapartidas que esto supone para una zona medioambientalmente protegida y con grandes fluctuaciones de población a lo largo de todo el año. Teniendo en cuenta que la construcción de la planta se deberá llevar a cabo a corto plazo, el proyecto tendrá como objetivos los que se indican a continuación:

3.1. Localización de la estación de depuración

Se analizará el entorno de la villa de Benasque y Sahún en busca de una ubicación factible para la planta. Para ello, se tomarán en consideración el número de colectores, tuberías, etc. ya presentes en la red de aguas actual, se considerarán únicamente localizaciones aguas abajo de dichos núcleos rurales con el fin de reducir el número de bombas a emplear.

Además, será imprescindible que la ubicación cuente con una radiación solar cercana elevada, así como con un nivel medio de viento óptimo para ubicar unos aerogeneradores. Como se ha indicado anteriormente, se propone una ubicación para la planta depuradora teniendo en cuenta los puntos arriba descritos, pero no es objetivo de este proyecto dimensionar la planta. Se calculará aproximadamente el consumo energético para una estación de estas características a partir de otras ya existentes en la geografía española.

3.2. Análisis de la capacidad geográfica de la zona respecto al recurso eólico

Analizar la capacidad geográfica de la zona para albergar aerogeneradores que permitan abastecer energéticamente a la planta depuradora de aguas residuales.

Para ello, se tomarán en consideración los vientos medios en un área cercana a la localización de la planta y se estudiará la viabilidad de su instalación en dicha zona. Se empleará la herramienta del IDEA que ofrece información al respecto y se considerarán fabricantes como Enair, ACSA o Acciona para proponer una tecnología específica.

3.3. Análisis de la capacidad geográfica de la zona respecto al recurso solar

Analizar la radiación solar que reciben por unidad de superficie las localidades cercanas a la planta de depuración para ofrecer un apoyo energético mediante energía solar fotovoltaica.

Se tendrán en cuenta aquellas parcelas que puedan albergar una potencia suficiente para servir de apoyo energético para los aerogeneradores. Se discriminarán las mismas en función de la capacidad solar de cada una.

Se utilizará la información del atlas de radiación solar en España que utiliza datos del SAF de clima de EUMETSAT.

3.4. Mix tecnológico sostenible

Se planteará un mix tecnológico que sirva para abastecer energéticamente durante todo el año a la EDAR basado en energías renovables; energía eólica y solar.

Se tomará en consideración únicamente escenarios que cumplan con la demanda de la planta a lo largo de los meses del año.

3.5. Estudio económico

Se llevará a cabo un estudio económico que permita conocer el escenario óptimo. De tal forma que se proponga una inversión económica razonable para cada tipo de tecnología y fabricante empleado en el proyecto.

Permitirá conocer el nivel de potencia que se debería instalar de cada tecnología teniendo en cuenta la posibilidad de recuperar parte de la inversión mediante la venta del excedente energético producido por el parque eólico y solar.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y RESULTADOS

4.1. Estación de depuración de aguas residuales

La estación de depuración de la villa de Benasque y Sahún sería objeto de estudio de un proyecto paralelo a este, ya que se debería analizar las alternativas de actuación, de tratamiento, la inundabilidad, el impacto ambiental y las afecciones y expropiaciones que se deriven de su construcción. Por lo tanto, no se encontrará en las líneas del presente proyecto ninguna descripción minuciosa de las fases del proceso de depuración ni de los elementos que componen las mismas, pero sí se hará hincapié en el estudio de la población y la localización de la planta de depuración, debido a que estas variables son imprescindibles para conocer el consumo energético de la planta y la capacidad de producción energética de la zona, respectivamente.

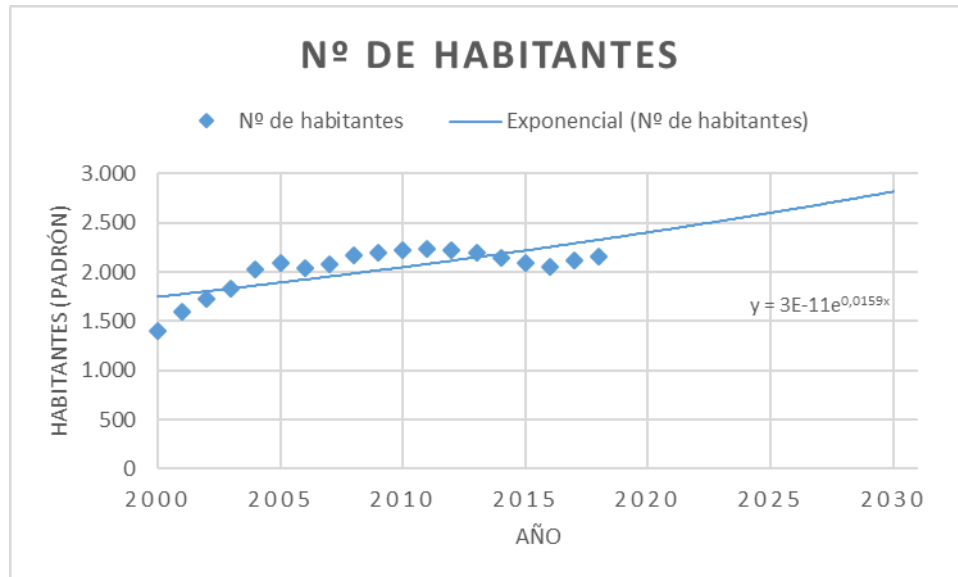
4.1.1. Estudio de la población

En primer lugar, a partir de la información ofrecida por el Ministerio de Administraciones Públicas (Públicas, 2000) y los datos ofrecidos por foro-ciudad.com (INE, 2018), se extraen los valores reflejados en la siguiente tabla:

Año	Nº de habitantes	Población máxima estacional
2000	1.403	10.900
2001	1.591	-
2002	1.725	-
2003	1.832	-
2004	2.025	-
2005	2.088	11.000
2006	2.045	-
2007	2.080	-
2008	2.166	4.860
2009	2.200	4.860
2010	2.219	-
2011	2.236	-
2012	2.217	-
2013	2.195	-
2014	2.149	7.850
2015	2.090	-
2016	2.047	-
2017	2.121	-
2018	2.157	10.450

Tabla 7: Número de habitantes y población máxima estacional de Benasque

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 1 y para asegurar que la planta depuradora satisface la demanda poblacional a corto – medio plazo:



Gráfica 1: Evolución anual de los habitantes de Benasque

Para el año 2030, la estación depuradora deberá soportar una población de:

$$y(x) = 3 * 10^{-11} * e^{0,0159*x}$$

$$y(2030) = 3124,95 \approx \mathbf{3125 \text{ habitantes equivalentes}}$$

Así mismo, se observa que la población máxima estacional no sigue una tendencia determinada durante los años y, además, se ve claramente mermada en la época de crisis económica en España. Por ello, y teniendo en cuenta que la población máxima estacional registrada ha sido de 11.000 habitantes, se estima que la población máxima estacional que debe soportar la depuradora a corto – medio plazo es de 15.000 habitantes equivalentes

Habitantes equivalentes	Habitantes equivalentes máximos
3.125	15.000

Tabla 8: Habitantes equivalentes de la EDAR

4.1.2. Localización

Para seleccionar una ubicación de la estación de depuración se seguirán los siguientes criterios:

- Cerca del núcleo urbano:
De este modo se podrán reducir el número de colectores y tramos nuevos a construir para comunicar la instalación de aguas residuales existente.
- Aguas abajo del núcleo de población:
Se entiende que es mucho más eficiente ubicar la planta aguas abajo del núcleo urbano puesto que serán necesarias menos estaciones de bombeo y, además, la obra pública requerida es menos costosa y más respetuosa con la orografía del valle de Benasque.
- Terreno edificable:
A través del catastro se determinarán aquellas parcelas que cuentan con permisos de edificación y que se encuentran en la margen del río (España, s.f.).
- Zona energéticamente viable:
Debido a que el proyecto pretende simplificar la instalación eléctrica de modo que las energías renovables seleccionadas no requieran de subestaciones o de grandes líneas eléctricas para transportar la energía de forma que los costes derivados de dichas instalaciones no se vean contemplados en la inversión final del proyecto, se analizarán aquellas parcelas energéticamente eficientes mediante el software del IDAE y la herramienta de radiación solar española.

De este modo, se ha elaborado una tabla con aquellas ubicaciones que cumplieran con los requisitos arriba descritos:

Ubicación	Coordenadas	Proximidad núcleo urbano	Terreno edificable	Zona energética
1	42°34'16"N 0°28'00"E	Sí	Suelo sin edificar	Sí
2	42°33'18"N 0°28'05"E	Sí	Agrario	Sí
3	42°32'00"N 0°28'28"E	No	Agrario	Sí

Tabla 9: Ubicaciones posibles para la depuradora

De entre todas ellas se ha destacado la ubicación 1 debido a que es una zona relativamente próxima al núcleo rural de Benasque y Sahún, se encuentra aguas abajo de las mismas, cuenta con áreas de explotación energética mediante tecnologías eólica y solar cercanas y, gracias a la aplicación web del catastro, se ha comprobado que es terreno edificable, lo que hace de ésta el mejor candidato de entre todos los seleccionados.



Ilustración 13: Ubicación seleccionada para la EDAR

4.1.3. Consumo energético

El consumo energético de las depuradoras en España ha ido aumentando en los últimos años debido, principalmente, al crecimiento poblacional y a los nuevos requisitos de calidad y depuración de las aguas residuales.

El caudal de agua estimado por persona y día para uso humano, con su correspondiente depuración, oscila entre los 160 – 220 litros. Esta amplia horquilla se debe a las variaciones que puede presentar la zona en cuestión. Por ejemplo, la dotación de una zona industrial respecto a la de una zona rural presenta grandes diferencias.

Además, debido al movimiento energético que se vive actualmente en el país hacia tecnologías sostenibles y más sofisticadas, se han modernizado numerosas estaciones de depuración existentes y se han creado otras nuevas que se encuentran a la vanguardia dentro del sector.

Cabe destacar que según fuentes del IDAE, existen numerosas estimaciones acerca de los consumos de electricidad que vienen derivados de los distintos procesos/fases que se llevan a cabo dentro de una planta depuradora de aguas residuales, entre ellos se destacan:

- 447 GWh/año en captación, abastecimiento y distribución de aguas.

- 0,5 kWh/m³ en depuración.

Estos datos demuestran la importancia de continuar desarrollando nuevas tecnologías y procesos de depuración que permitan reducir el consumo eléctrico de la planta.

De hecho, los grandes centros de depuración presentan inversiones mucho mayores a las de los pequeños centros de depuración, lo que conlleva que, para una zona urbana con una masa de población significativa, el consumo energético de la planta de depuración oscila entre 20 – 30 kWh/habitantes-año, mientras que para los núcleos rurales o de menor tamaño, los consumos energéticos de sus plantas se disparan por encima de los 50 kWh/habitante-año. Esto es, principalmente, debido a que presentan unos controles de regulación y optimización muy superiores al de las pequeñas plantas (Tecpa, 2018).

Por lo tanto, como la depuradora será para una zona rural con alta carga contaminante y grandes fluctuaciones de población, se considera que pertenecerá al grupo de plantas con una regulación y optimización no tan desarrollados como el de las grandes urbes y, por lo tanto, se espera que refleje un consumo energético aproximado de 60kWh/habitante-año.

Una vez que se ha determinado el nivel máximo de demanda energética de la estación depuradora, debido a que depende de los habitantes equivalentes, se estudiará la energía necesaria a aportar a la planta discriminando entre temporada alta y temporada baja a lo largo del año.

Mes	Temporada	
	Alta	Baja
Enero	1	0
Febrero	0	1
Marzo	0	1
Abril	0,5	0,5
Mayo	0	1
Junio	0,5	0,5
Julio	1	0
Agosto	1	0
Septiembre	0	1
Octubre	0	1
Noviembre	0	1
Diciembre	1	0
Días totales	154	211

Tabla 10: Asignación temporada a cada mes del año

De este modo, la temporada baja cuenta con 211 días y la temporada alta con 154 días. Se considera entonces que durante la temporada baja la población en el valle de Benasque y Sahún es de 3.125 personas mientras que durante la temporada alta se concentra la máxima población estacional, 15.000 personas. Aunque es muy poco probable que se dé dicho escenario a lo largo de toda la temporada alta, más aún viendo que en los últimos años el turismo en la zona ha mostrado signos de fluctuación estacionaria y pocas veces se ha alcanzado una población superior a los 10.000 habitantes. Sin embargo, al considerar el escenario de temporada alta con estas características, se consigue reflejar la situación más adversa posible y permitirá cubrir la demanda energética de la planta con un nivel de confianza elevado.

	Temporada	
	Alta	Baja
Días	154	211
Habitantes	15.000	3.125
Consumo máx estimado [kWh/hab- año]	60	60
Consumo máx estimado [kWh/hab- día]	0,164	0,164
Consumo máx estimado [kWh/día]	2.465,753	513,699

Tabla 11: Consumo energético de la EDAR en temporada alta y temporada baja

4.2. Tecnologías

Una vez que son conocidos el consumo energético de la planta de depuración y la población objetivo, se describen las tecnologías seleccionadas para abastecer la demanda de la EDAR; las más destacadas por las características orográficas del terreno son:

- Energía eólica
- Energía solar
- Energía hidráulica

Para asegurar la estabilidad de producción de energía se seleccionan, como mínimo, dos de las tres tecnologías arriba indicadas, de tal forma que en caso de que el recurso primario de una de ellas se vea mermado de forma puntual, la planta cuente con un suministro alternativo de otro recurso primario. Así pues, para el proyecto, se estudia la viabilidad de implantar un sistema mixto de energía eólica – aerogeneradores- y energía solar – paneles fotovoltaicos- en detrimento de la energía hidráulica, al ser esta una tecnología muy desarrollada en la zona y que se encarga de abastecer eléctricamente a la Comunidad Autónoma Catalana.

4.2.1. Parque eólico

Se entiende por parque eólico a aquella agrupación de aerogeneradores que transforman la energía eólica, procedente del viento, en energía eléctrica. Aunque la tecnología actual permite instalar los aerogeneradores tanto en tierra como en el mar, es obvio considerar que para este proyecto se empleará la tecnología más innovadora en el ámbito terrestre dada la localización de la depuradora.

Además, un parque eólico puede estar constituido por uno o varios aerogeneradores, todo dependerá de las características de nuestro sistema.

En este epígrafe se determinará el número de aerogeneradores a instalar, la potencia de estos, la localización y el fabricante seleccionado, teniendo presente diversas variables; viabilidad económica, impacto ambiental y costes.

4.2.1.1. Principios

El parque eólico deberá construirse en una zona viable para tal fin, en donde no existan otros parques o instalaciones tecnológicas que generen una distribución de frecuencias adversas para la generación eólica.

Como los grandes generadores se han rechazado en el proyecto para reducir el impacto visual, se emplean aerogeneradores de mini eólica que deberán ser ubicados en terrenos poco rugosos fuera del abrigo de grandes construcciones o zonas arboladas. Además, para minimizar las pérdidas que se generan en el transporte de electricidad debido a la ley de Joule, por la cual el calentamiento de los conductores está relacionado con el cuadrado de la intensidad que circula por los mismos, en la medida que sea posible, se transportará a la tensión más alta sin emplear transformadores elevadores para tal fin, es decir, a la tensión de salida del aerogenerador.

4.2.1.2. Fabricantes y aerogeneradores

Los aerogeneradores más demandados en la actualidad constan de tres palas, aunque como ya se ha reflejado en el epígrafe de “Estado del arte” existen alternativas de una, dos palas o varias palas. Es importante destacar que las razones por las que son más utilizados los tripala se debe a que ofrecen una mayor estabilidad y producen una menor contaminación acústica.

Por otro lado, la evolución de los aerogeneradores y la tecnología presente en los mismos ha hecho que, en la actualidad, se pueda contar con tamaños muy superiores a los originales por menos coste, entregando más potencia y siendo más eficientes, como se refleja en la siguiente ilustración.

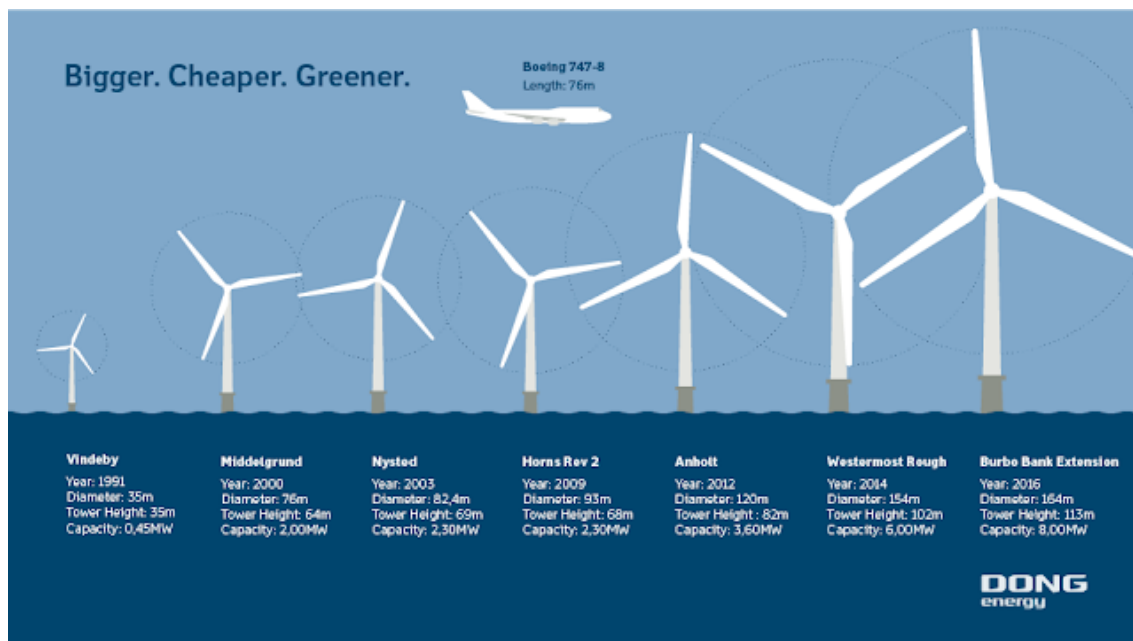


Ilustración 14: evolución aerogeneradores a lo largo de los años

Sin embargo, no solo se ha desarrollado la tecnología eólica con el objetivo de aumentar el diámetro de las palas y la altura de las torres para abarcar más masa de viento efectiva, sino que de forma paralela se han desarrollado nuevos de tamaño reducido que entregan potencias con un rendimiento óptimo; esta tecnología responde al nombre de mini eólica. Esta tecnología se ha decidido emplear en el presente proyecto debido a que produce un impacto medioambiental mucho menor, lo cual para la zona seleccionada es muy positivo porque son núcleos rurales que se centran en la convivencia del ser humano con el entorno natural e intentan disminuir al máximo el impacto visual y paisajístico de cualquier construcción en curso.

Además, la mini eólica aporta una alternativa para aquellas instalaciones que pretendan abastecerse mediante energía eólica y que no requieran grandes producciones de electricidad.

Entre todos los fabricantes españoles, se propone en estas líneas la empresa ENAIR.

“ENAIR nace con el objetivo de crear aerogeneradores profesionales de pequeña potencia entre 3 y 40kW. Para ello hemos invertido en la máxima tecnología disponible, tal como la Dinámica de Fluidos Computacional y el uso de materiales avanzados que nos reduzcan los mantenimientos y garanticen una mayor vida útil de nuestras máquinas.

Para crear lo que hoy en día está considerado como el mejor Aerogenerador de pequeña potencia del mercado según los profesionales del sector.” (ENAIR, ENAIR, 2019)

Si se tiene presente que la localización analizada para la estación de depuración de aguas residuales tiene una orografía abrupta y presenta grandes dificultades para albergar aerogeneradores de gran escala, la solución ofertada por ENAIR presenta numerosas ventajas. Algunas de ellas se numeran a continuación:

- Respeto al medio ambiente
 - Mínimo ruido

“Las máquinas producen un ruido que está en torno a un 1% por encima del ruido ambiente.” (ENAIR, ENAIR, 2019)
 - Menor impacto ambiental y paisajístico
- Máxima eficiencia

“Están diseñados para vientos bajos. Funciona con una brisa de 2m/s y continúa funcionando y soportando vientos fuertes de más de 40m/s.” (ENAIR, ENAIR, 2019)
- Durabilidad
 - Anticorrosivo
 - Hermético
 - Robusto

La repercusión paisajística que podría tener la instalación de estos aerogeneradores para abastecer la EDAR sería de esperar que fuera semejante a la de la “Aldea aislada en Cabo Verde, África” (ENAIR, ENAIR instalación Cabo Verde, s.f.)



Ilustración 15: instalación mini eólica en Cabo Verde por ENAIR

4.2.1.3. Localización

Para la localización del parque se hace uso de la herramienta del IDAE, que ofrece información del viento medio por segmentos de la superficie española.

A continuación, se muestran los datos ofrecidos por el instituto (IDAE):

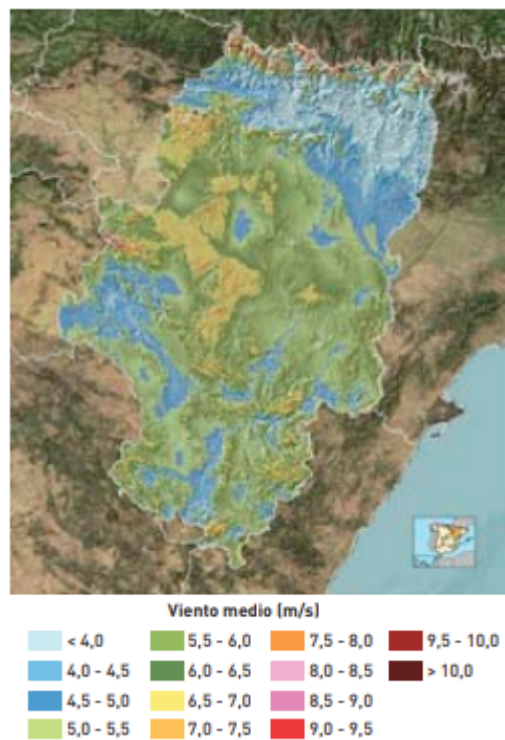


Ilustración 16: distribución velocidad viento en Aragón

Velocidad (m/s)	Superficie (km²)	Superficie (%)
<4,0	4.067	8,52
4,0-4,5	3.788	7,94
4,5-5,0	5.989	12,55
5,0-5,5	8.958	18,77
5,5-6,0	10.314	21,61
6,0-6,5	7.463	15,64
6,5-7,0	4.396	9,21
7,0-7,5	1.631	3,42
7,5-8,0	557	1,17
8,0-8,5	228	0,48
8,5-9,0	118	0,25
9,0-9,5	77	0,16
9,5-10,0	49	0,10
>10,0	96	0,20
Total	47.730	100

Tabla 12: distribución por rango de velocidades

Con los valores que se ofrecen en la ilustración y tabla anteriores, se observa que la Comunidad Autónoma de Aragón cuenta con un fuerte recurso eólico a lo largo de su geografía. Por lo tanto, a priori, sería óptimo implementar la tecnología eólica actual para producir energía a partir de la del viento.

La zona centro de la Comunidad cuenta con un rango de velocidades más homogéneo y óptimo para los grandes aerogeneradores. La zona norte, que es la zona de estudio objetivo de este proyecto, cuenta con un rango de velocidades inferior y con menor constancia de viento medio. Sin embargo, las velocidades reflejadas en la tabla anterior hacen indicar que la instalación de un parque de mini eólica sería viable si se tiene en cuenta la información aportada por el fabricante, ENAIR, acerca de la velocidad mínima de funcionamiento de sus aerogeneradores, la cual estaba fijada en 2m/s.

Sin embargo, hay que destacar que esta Comunidad Autónoma presenta numerosos espacios naturales protegidos y otros que pertenecen a la red Natura 2000. Por lo que, si se atiende a tales criterios, solo serían zonas de estudio las que se reflejan a continuación:

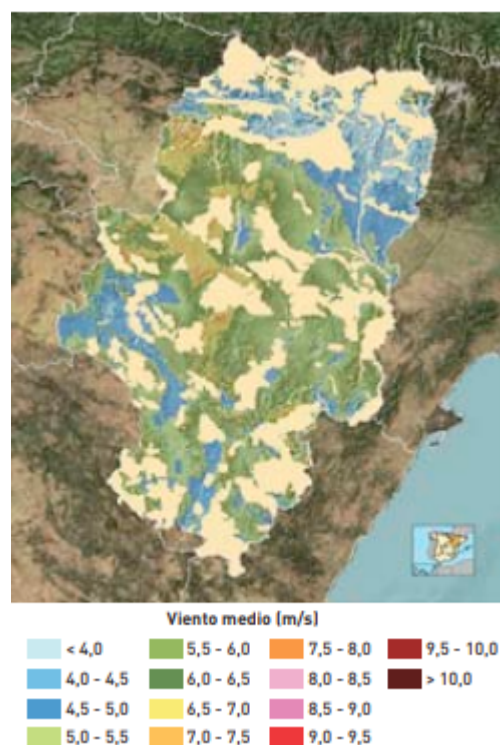


Ilustración 17: distribución velocidad del viento en Aragón - Red Natura 2000

Con la intención de ofrecer una información más precisa, dado que la herramienta no permite seleccionar unas coordenadas específicas y obtener la velocidad del viento, entre

otra información relevante, se presenta la información obtenida a través del atlas eólico de ENAIR (ENAIR, Atlas eólico ENAIR, s.f.):

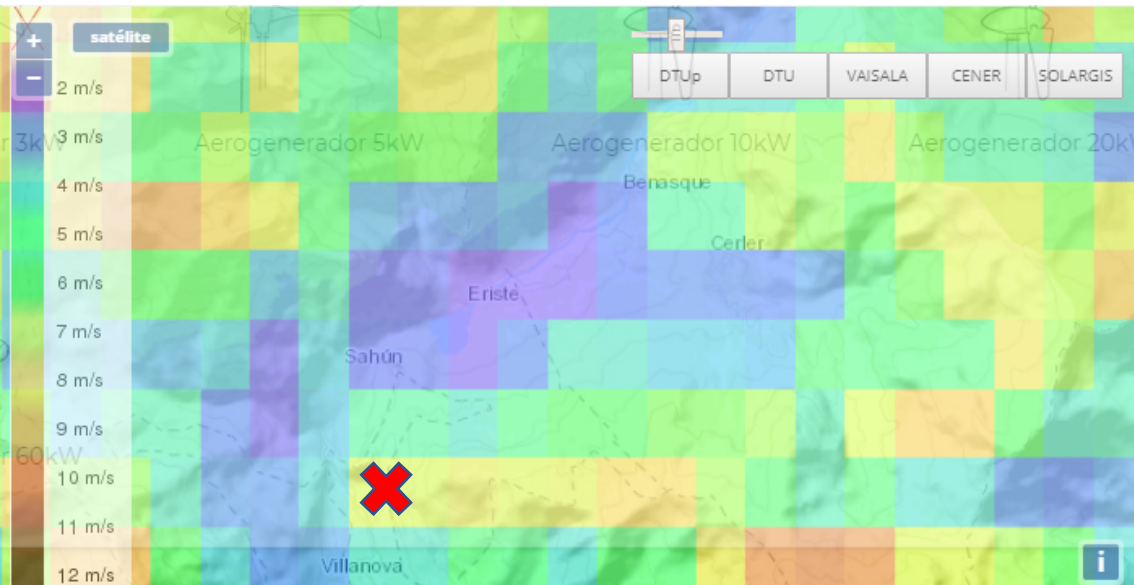


Ilustración 18: atlas eólico ENAIR

Se ha indicado con una cruz roja la parcela óptima atendiendo a los criterios de máxima velocidad de viento medio y proximidad a la EDAR.

Para la localización indicada y haciendo uso de la tecnología del aerogenerador ENAIR, los valores que se podrían obtener de energía de media de la instalación y las características de esta serían:

Aerogenerador	Potencia nominal	Potencia máxima	Velocidad media zona	Producción diaria
ENAIR 200	18 kW	20 kW	8.1 m/s	192.5 kWh/día
ENAIR 200L	10 kW	20 kW	8.1 m/s	133.8 kWh/día
ENAIR 70PRO	4 kW	5.5 kW	8.1 m/s	40.8 kWh/día

Tabla 13: características aerogeneradores ENAIR en localización

Como se indica en la Tabla 8, el aerogenerador ENAIR 200 ofrece una producción energética muy superior a la del resto de modelos.

Para dicho modelo, se refleja la distribución de frecuencias o rosa de los vientos, la cual permite conocer los vientos predominantes, de tal forma que durante la instalación de los aerogeneradores se mantenga libre de obstáculos el sector destacado.

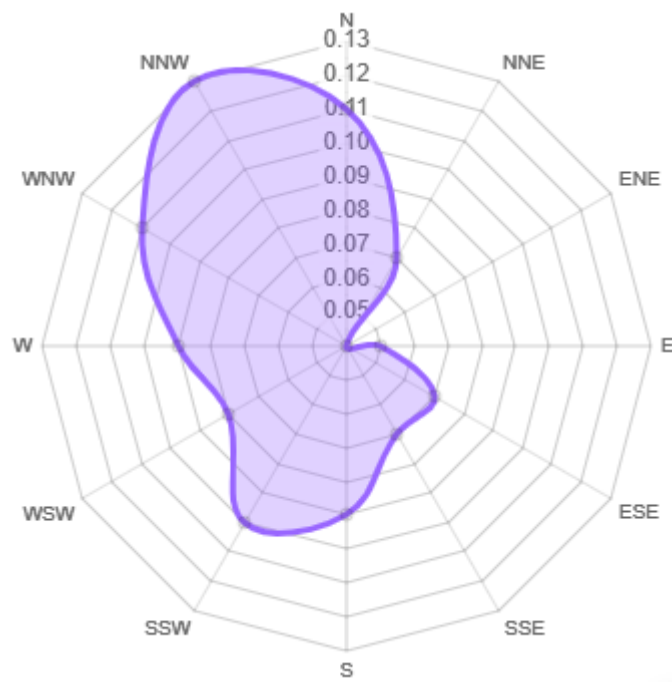


Ilustración 19: distribución de frecuencias - rosa de los vientos

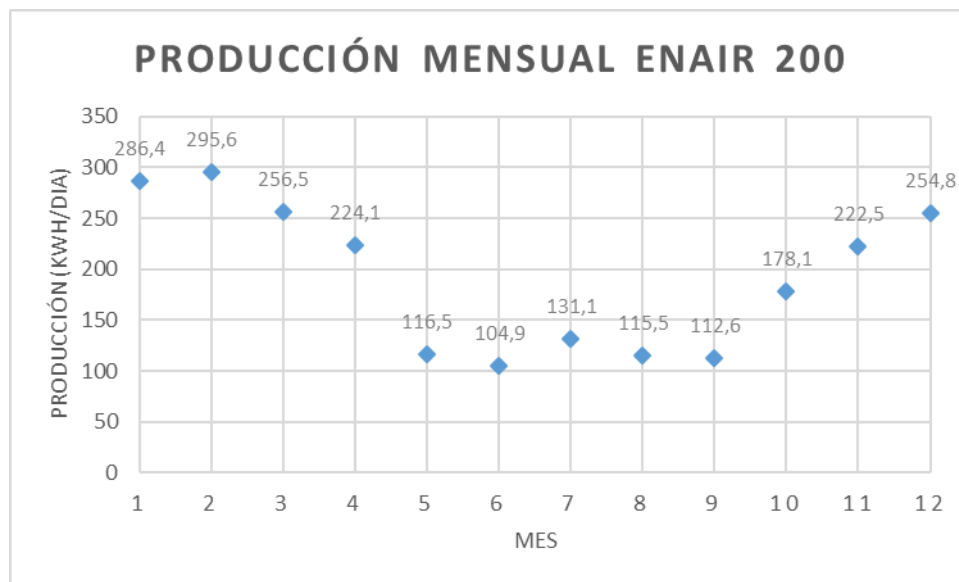
Por lo tanto, la localización del aerogenerador será la indicada en la Ilustración 18 que corresponde con las coordenadas de: [Lat. 42.56; Lon. 0.476] y que presenta la mejor producción eólica de las áreas colindantes a la estación de depuración, siendo el ENAIR 200 el aerogenerador que ofrece un mayor rango de generación.

4.2.1.4. Producción: análisis

Una vez que son conocidas las variables de:

- Tipo de tecnología:
 - Mini eólica
- Fabricante y modelo:
 - ENAIR 200
 - 18 kW potencia nominal
- Características de la ubicación del parque eólico:
 - Coordenadas: [Lat. 42.56; Lon. 0.476]
 - Velocidad media del viento: 8.1 m/s
 - Distribución de frecuencias (rosa de los vientos)

Con la herramienta que proporciona ENAIR acerca de la producción de energía eléctrica de sus aerogeneradores a partir de las curvas de potencia de los mismo y teniendo en cuenta el histórico de velocidades medias de viento registradas para cada mes en la localidad indicada, se obtiene que la producción del ENAIR 200 es como sigue:



Gráfica 2: producción de energía eléctrica del ENAIR 200 en la localización descrita

Se observa que la producción energética es muy poco constante a lo largo del año. Existen grandes picos en los meses de invierno y grandes valles en los meses de verano. Esto provocará que exista una gran diferencia entre el número de aerogeneradores necesarios para satisfacer la demanda en dichos meses.

En la tabla que se muestra a continuación, se compara la demanda de la planta de depuración con la capacidad de producción de los aerogeneradores de ENAIR y se analiza el número de estos a instalar para cubrir con las necesidades energéticas.

	Temporada		EDAR	ENAIR 200	
Mes	Alta	Baja	Consumo (kWh/día)	Producción (kWh/día)	Nº Aerogen. Necesarios
Enero	1	0	2.465,75	286,4	9
Febrero	0	1	513,70	295,6	2
Marzo	0	1	513,70	256,5	2
Abril	0,5	0,5	1.489,73	224,1	7
Mayo	0	1	513,70	116,5	4
Junio	0,5	0,5	1.489,73	104,9	14
Julio	1	0	2.465,75	131,1	19
Agosto	1	0	2.465,75	115,5	21
Septiembre	0	1	513,70	112,6	5
Octubre	0	1	513,70	178,1	3
Noviembre	0	1	513,70	222,5	2
Diciembre	1	0	2.465,75	254,8	10

Tabla 14: demanda EDAR vs producción ENAIR 200

El número de aerogeneradores que serían necesarios es de 21, ya que el mes más adverso es agosto puesto que presenta una velocidad media de viento mensual muy inferior a la del resto de meses. Sin embargo, en los meses con la mayor velocidad media de viento mensual, solamente serían necesarios 2 aerogeneradores.

Aunque a priori se pueda pensar que sería interesante llevar a cabo la instalación de un parque eólico de 21 aerogeneradores y utilizar la energía sobrante que se produciría en los meses más ventosos para obtener una retribución y amortizar antes la instalación, por cuestiones de estabilidad y para emplear el menor número de aerogeneradores posible se estudiará la viabilidad de un huerto solar para apoyar al parque eólico en los meses de verano.

De esta forma se podrá concluir con un mix tecnológico óptimo, estable y eficiente para satisfacer la demanda de la planta.

4.2.2. Huerto solar

El proyecto está basado en energía solar fotovoltaica, entendiéndose por huerto solar a aquella agrupación de paneles solares fotovoltaicos dispuestos típicamente en paralelo, que llevan a cabo una conversión energética cuando los fotones inciden sobre su superficie. Por lo tanto, para este epígrafe, se tomarán en consideración variables como; inclinación del panel, capacidad de radiación solar media de una zona, superficie de paneles requerida, potencia, entre otras.

4.2.2.1. Principios

Como ya se explicó brevemente, un panel solar fotovoltaico convierte la energía solar en energía eléctrica cuando los fotones inciden sobre su superficie.

Los paneles que se van a emplear están hechos a partir de silicio. La ventaja principal de contar con una tecnología que requiera de silicio es que es el segundo elemento más abundante en la Tierra. El silicio se dopará con Boro para darle polaridad y, después, se cortará en finas láminas de espesor. Tras los tratamientos pertinentes, contaremos con una célula fotovoltaica que compondrá nuestro panel fotovoltaico.

El número de paneles necesarios se determinará en función de las características del proyecto.

4.2.2.2. Localización

De forma análoga al procedimiento que se siguió en el estudio del parque eólico, para determinar la localización del huerto solar, se empleará el Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT, (AEMET).

Según los datos ofrecidos desde la agencia en su informe de Radiación Solar se observa:

- La irradiancia global media, entre los años 1983 – 2005, para la zona designada de la depuradora, no supera, en el mejor de los casos, los 4.5 kWh/m²-día. Dicha irradiancia se encuentra muy por debajo de las que se pueden obtener en comunidades como Andalucía, donde la irradiancia global media supera en todo su territorio los 5.3 kWh/m²-día.

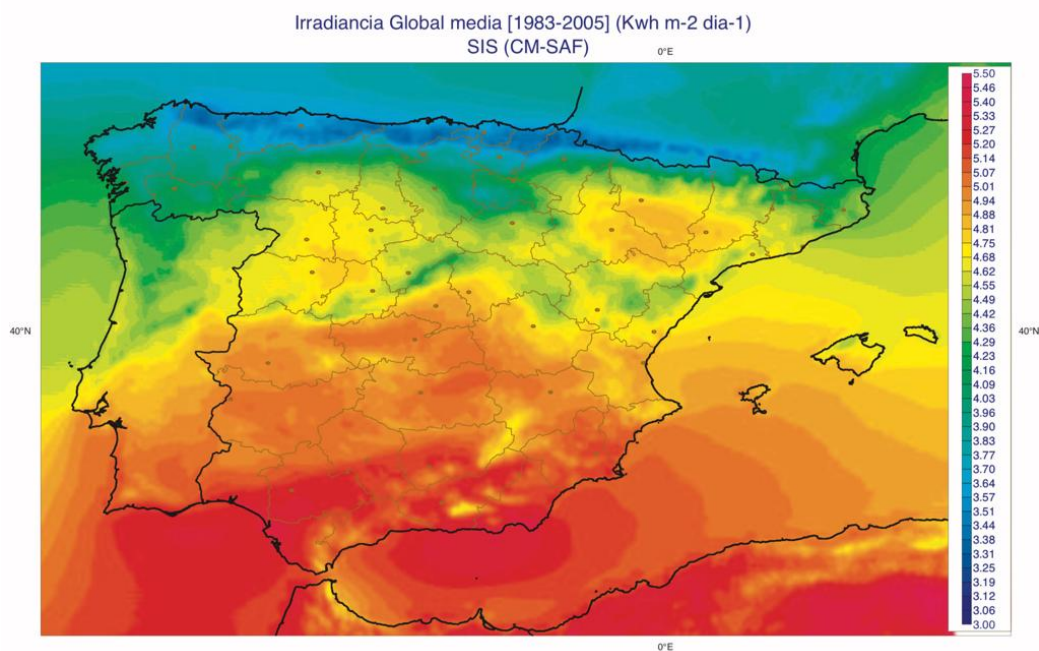


Ilustración 20: irradiancia global media en kWh/m2-dia

- La irradiancia global media en los meses de verano (junio, julio y agosto) durante los años 1983 – 2005, medida en kWh/m²-dia, establece un valor de 7.60 kWh/m²-dia para la zona designada para la depuradora. Dado que los meses de verano la producción de energía eléctrica mediante los aerogeneradores era bastante escasa, los paneles solares pueden servir de apoyo energético durante dichos meses. A continuación, se presenta la ilustración con la irradiancia global media en verano.

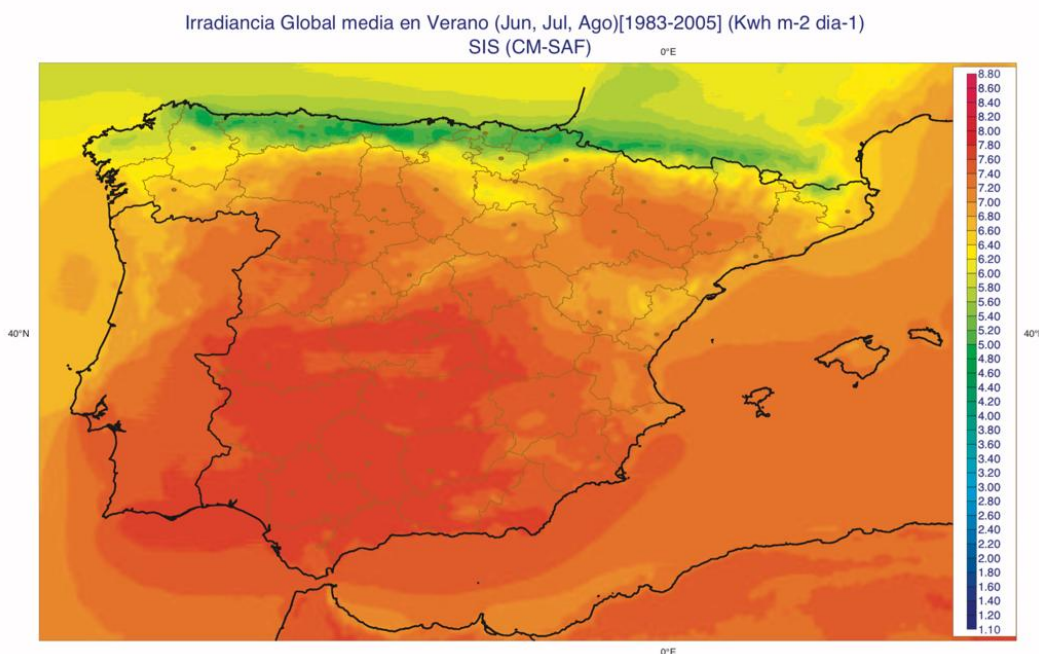


Ilustración 21: irradiancia global media en verano medida en kWh/m2-dia

- La irradiancia en kWh/m²-día para la provincia de Huesca, según se indica en el atlas de radiación solar de España (AEMET), se muestra en un diagrama de barras mensual con la discriminación entre irradiancia directa y difusa.

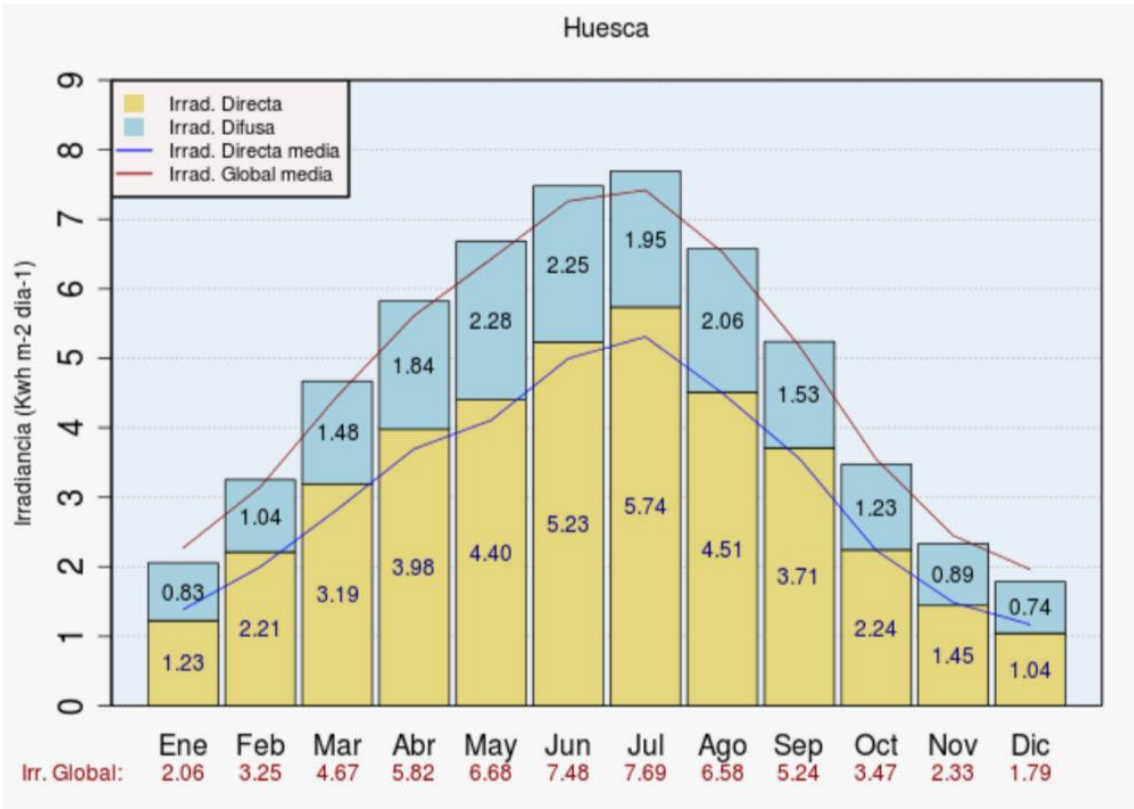


Ilustración 22: irradiancia en la provincia de Huesca por meses

Como se había señalado con anterioridad, durante los meses de verano, la irradiancia presenta un fuerte pico que permitirá servir de apoyo para la escasa producción energética que ofrece el parque eólico en dichos meses.

Con el fin de determinar la localización óptima para la ubicación de paneles solares, se escogen varios puntos candidatos y se comparan resultados.

LOCALIZACIÓN PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS						
Coordenadas	Elevación [metros]	Base de datos de radiación solar	Potencia nominal del sistema PV [kW]	Pérdidas del sistema estimadas [%]	Producción media diaria de electricidad [kWh/día]	Tecnología
42°34'12"N 0°27'28"E	1106	PVGIS-CMSAF	1	23	3,65	Silicio cristalino
42°33'56"N 0°28'21"E	1203	PVGIS-CMSAF	1	23,1	3,59	Silicio cristalino
42°33'20"N 0°27'32"E	1159	PVGIS-CMSAF	1	23,1	3,69	Silicio cristalino
42°33'3"N 0°27'45"E	997		1	23,3	3,81	Silicio cristalino
42°33'35"N 0°26'48"E	1397	PVGIS-CMSAF	1	22,4	3,89	Silicio cristalino

Tabla 15: candidatos para desarrollar tecnología solar

De entre todas las ubicaciones escogidas, aquella que presenta los parámetros óptimos para la instalación de un huerto solar es la que se indica en color amarillo, con coordenadas: 42°33'35''N 0°26'48''E. Ya que, de todos los candidatos, tiene la mayor producción media diaria de electricidad (3,89 kWh/día por cada 1kWp instalado) y las pérdidas del sistema estimadas menores, 22,4%. Además, la instalación de los paneles se ha optimizado de tal forma que tendrá una inclinación de 37°, perteneciente al intervalo [0, 90°], y un Azimut de -23°, perteneciente al intervalo [-180°, 180°].

4.2.2.3. Producción: análisis

Con el objetivo de determinar las características que el huerto solar debiera tener para satisfacer la demanda de la estación de depuración de aguas residuales, se calculan los kWp que serían necesarios según el mes del año y el consumo energético de la EDAR.

	Temporada		EDAR	Paneles Fotovoltaicos	
Mes	Alta	Baja	Consumo (kWh/día)	Producción (kWh/día)	Nº de kWp necesarios
Enero	1	0	2.465,75	2,63	938
Febrero	0	1	513,70	3,53	146
Marzo	0	1	513,70	4,38	117
Abril	0,5	0,5	1.489,73	4,02	371
Mayo	0	1	513,70	4,39	117
Junio	0,5	0,5	1.489,73	4,82	309
Julio	1	0	2.465,75	5,09	484
Agosto	1	0	2.465,75	4,83	511
Septiembre	0	1	513,70	4,38	117
Octubre	0	1	513,70	3,52	146
Noviembre	0	1	513,70	2,73	188
Diciembre	1	0	2.465,75	2,39	1032
Días totales	154	211			

Tabla 16: producción paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de la EDAR

De este modo, para que el huerto solar fuese capaz de cubrir al 100% la demanda de la EDAR sería imprescindible que este tuviera una potencia instalada de más de 1032 kWp. Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, para poder asegurar la estabilidad de la instalación y evitar pérdidas de potencia por fluctuaciones o variaciones espontáneas de un recurso primario como el sol, se debe apoyar con otra tecnología basada en un recurso primario diferente.

Más adelante, en el epígrafe nombrado como “mix tecnológico” se determinará la combinación exacta de aerogeneradores y paneles solares a emplear en el proyecto.

4.2.2.4. Fabricantes y paneles solares

A diferencia de la tecnología eólica, para los paneles fotovoltaicos disponemos de múltiples fabricantes que cuentan con modelos similares. A continuación, se estudian algunos de los paneles que producen diferentes empresas y se compararan según características, rendimiento y precio, con el fin de dilucidar el panel óptimo para cubrir con la demanda de la EDAR.

MODELOS DE PANELES SOLARES						
Nombre	Potencia [W]	Voltaje [V]	Rendimiento [%]	Superficie panel [metros cuadrados]	Precio [€]	Relación [w]/[m ²]
Talesun	330	24	21	1,94	155	170,1
Ecosolar	330	24	20	1,93	150	171,0
EfetoLed	275	32	16,8	1,64	152	167,7
Ecosolar 2	260	24	17	1,62	147	160,5

Tabla 17: modelos de paneles solares para el huerto solar

Se han seleccionado varios tipos de fabricantes de paneles solares que tienen unos modelos con unas características semejantes.

Para el proyecto en concreto, se ha optado por la tecnología más actual de paneles solares de modo que la instalación no se quede obsoleta, tecnológicamente hablando, en un período corto de tiempo y con la intención de optimizar al máximo el área requerida para la instalación de estos.

De este modo, en la tabla anterior se reflejan los valores de potencia, rendimiento, superficie de panel y precio. Todos los paneles se conectan a 24V, excepto el EfetoLed, que cuenta con una alimentación de 32V. Como todos los paneles han de contar con un inversor y estos son, típicamente, de 24 o 48V, este panel no es recomendable para nuestra instalación. El resto de los paneles tienen propiedades muy semejantes, aunque se ha elegido definitivamente el Ecosolar de 330W por su relación de potencia/superficie de panel. Debido a qué nos encontramos en una zona rural, donde el mantenimiento de los paneles debe ser constante para mantener la instalación funcionando correctamente y dado que se pretende realizar el menor impacto visual y paisajístico con la instalación del huerto solar, el Ecosolar de 330W ofrece una relación un punto más alto que su principal competidor, Talesun, pero a un precio más económico.

4.2.3. Centrales hidráulicas

Otra tecnología renovable que se puede emplear para abastecer energéticamente la depuradora son las centrales hidroeléctricas.

La cuenca del Ésera cuenta con un fuerte recurso hídrico. Por ello, en 1911 se creó en Castejón de Sos la sociedad Hidro-Electra Pirenaica de El Run cuyo objetivo era aprovechar el agua de la zona y los deshielos para producir energía eléctrica y emplearla para la maquinaria de la zona y el alumbrado. Posteriormente se constituyó la Sociedad General de Fuerzas Hidroeléctricas en Barcelona. En ese momento se decidió emplear el fuerte recurso que disponía la zona de El Run para llevar grandes potencias a la ciudad condal mediante una línea eléctrica trifásica de 110kV y más de 250 km.

Todas las centrales existentes en los alrededores fueron construidas entre 1912 y 1975, y todas ellas siguen operativas en la actualidad, ejemplo de que las obras se realizaron de manera meticulosa y con la visión a largo plazo característica de dicha época.

A partir de la información recogida en (Agua, 2007), se puede observar en las siguientes ilustraciones los parámetros geográficos de la cuenca del Ésera:



Ilustración 23: cuenca del Ésera

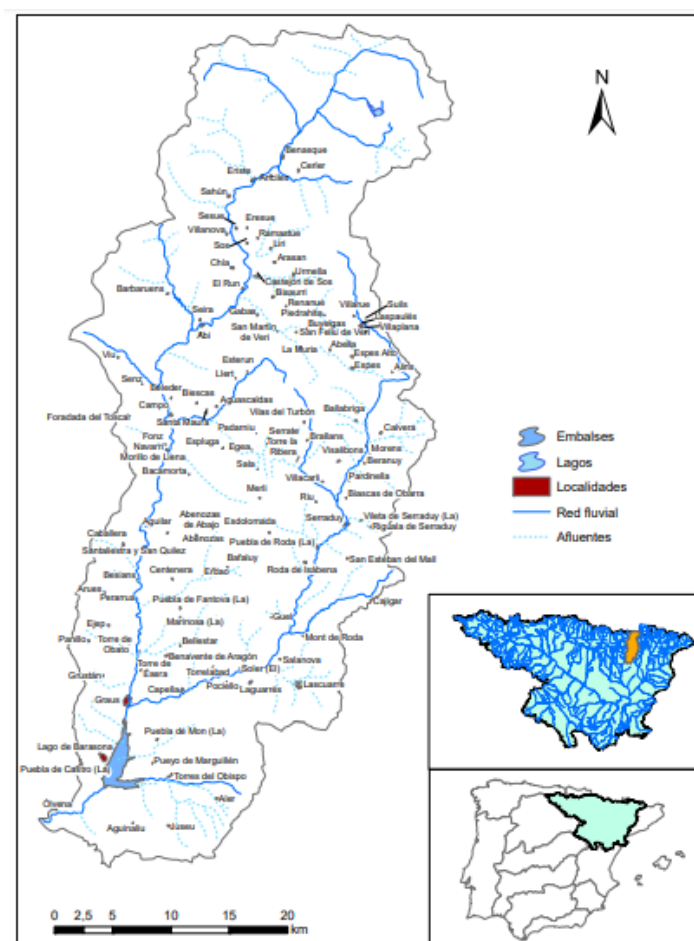


Ilustración 24: cuenca del Ésera con las localidades y núcleos de población

El recurso hídrico es bastante reseñable en la comunidad y, por ello, cuenta con numerosas presas, bombas y embalses que aprovechan al máximo los movimientos estivales del agua desde su nacimiento en el Macizo de la Maladeta.

En la siguiente tabla se destaca de cada una de las centrales hidráulicas presentes en la cuenca del Ésera, datos como; potencia, caudal máximo, salto de agua y producción. Además, se refleja para cada mes del año, el tanto por ciento de la producción total que representa el recurso hídrico.

Tabla de centrales del Ésera					
Central	Potencia (MW)	Caudal máx. (m ³ /s)	Salto (m)	Producción (GWh/año)	Horas equival.
Eriste	87,6	36,9	283,0	150,0	1712,0
Sesué	36,0	32,0	146,0	100,0	2778,0
Seira	36,7	25,0	144,0	87,8	2393,0
Argoné	14,8	20,0	85,7	52,5	3547,0
Campo	1,7	20,0	10,0	5,4	3180,0
Total	176,8		668,7	395,7	13610,0

Tabla 18: características centrales hidráulicas de la cuenca del Ésera

Mes	Producción (%)
Enero	4
Febrero	3
Marzo	5
Abril	11
Mayo	18
Junio	17
Julio	12
Agosto	6
Septiembre	5
Octubre	6
Noviembre	7
Diciembre	5

Tabla 19: porcentaje que representa la producción hidráulica del total

Sin embargo, cabe destacar que no resulta económicamente viable la construcción de ningún tipo de central hidráulica para este proyecto porque los costes derivados de esta son muy elevados y se amortizan a muy largo plazo. Por ello, y teniendo en cuenta que la producción actual se deriva a Cataluña y País Vasco – como se indica en la imagen inferior – hace que se descarte este tipo de energía renovable para el proyecto.



Ilustración 25: líneas eléctricas para transportar la producción hidráulica de la cuenca del Ésera (Galan, s.f.)

4.2.4. Costes aerogeneradores

El aerogenerador que se ha decidido emplear en este proyecto pertenece a la rama de la mini eólica, debido a las numerosas ventajas que este tipo de tecnología ofrece para un proyecto de estas características, localizado en un entorno rural y natural protegido.

A continuación, se detallan los costes en los que se incurriría a lo largo del proyecto para instalar el ENAIR 200:

PARQUE EÓLICO - (MINI EÓLICA)			
Modelo aerogenerador	Precio base	¿Qué incluye?	Unids.
ENAIR 200	58.750,00 €	Torre + Puntera + Inversor + Sistema de control	1

Tabla 20: precio ENAIR 200

Hay que tener en cuenta la gran diferencia existente entre el mes más favorable y el menos favorable a nivel de producción energética a través de energía eólica. Los costes en los que se incurre en caso de abordar alguno de estos escenarios sería:

	Mes favorable	Mes menos favorable
Mes	Febrero + Marzo + Diciembre	Agosto
Número de aerogeneradores a instalar para cubrir demanda	2	21
Precio total de la instalación	117.500,00 €	1.233.750,00 €

Tabla 21: comparativa precio instalación mes favorable y poco favorable

Por lo tanto, se tendrá en cuenta la diferencia existente a nivel económico entre un parque eólico que cubra toda la demanda de la estación de depuración durante todos los meses del año y otra que solamente cubra la demanda en los meses más favorables. En las siguientes líneas de este proyecto se especificará el número de aerogeneradores con los que contará el parque eólico y el coste derivado del mismo.

4.2.5. Costes paneles solares

Como se había especificado en el epígrafe de “Fabricantes y paneles solares”, los paneles solares fotovoltaicos que se han decidido instalar son:

- EcoSolar, 330W, 24V, @150€

	Mes favorable	Mes menos favorable
Mes	Marzo + Mayo + Septiembre	Diciembre
kWp a instalar	117	1032
Nº paneles necesarios	355	3127
Coste paneles	53.181,82 €	469.090,91 €

Tabla 22: coste de los paneles en caso de cubrir total demanda EDAR

Dado que se requiere de inversor para el huerto solar, se valora la posibilidad de incorporar uno de los siguientes modelos seleccionados:

- MustSolar
- Phoenix 5000

Las características de cada uno de ellos quedan reflejadas en la tabla inferior:

Modelo inversor	Tensión [V]	Potencia [W]	Precio
MustSolar	24	5000	695,75 €
Phoenix 5000	24 o 48	5000	1.619,88 €

Tabla 23: características de los inversores seleccionados

Mientras que el inversor MustSolar solamente admite una tensión de 24V, por lo que los paneles solares deberán distribuirse en paralelo, el inversor Phoenix 5000 admite tanto 24 como 48V, esto hace que la instalación pueda distribuirse de igual manera que con el otro inversor o formando paralelos de dos paneles conectados en serie. Como el precio difiere en gran medida entre uno y otro, se plantea a continuación el número de inversores que se requieren para cada escenario.

	Mes favorable		Mes menos favorable	
	MustSolar	Phoenix 5000	MustSolar	Phoenix 5000
Número de paneles	355	355	3127	3127
Potencia total paneles	117150	117150	1031910	1031910
Tipo de conexión	Paralelo a 24 V	Paralelo a 24 V	Paralelo a 24 V	Paralelo a 24 V
¿Cuántos paneles por inversor?	15	15	15	15
¿Cuántos inversores son necesarios?	23,43	23,43	206,382	206,382
¿Cuántos inversores son necesarios?	24	24	207	207
Precio unidad inversor	695,75 €	1.619,88 €	695,75 €	1.619,88 €
Costes total inversores	16.698,00 €	38.877,12 €	144.020,25 €	335.315,16 €

Tabla 24: análisis de costes de los inversores para cada escenario

Por lo tanto, como se observa con la tabla anterior, el inversor MustSolar tiene un precio más ajustado en cada uno de los escenarios, esto hace que para el proyecto se elija este fabricante frente al Phoenix 5000.

Los costes totales derivados de la instalación de un huerto solar con el modelo de inversor indicado son:

	Costes totales huerto solar	
	Mes favorable	Mes menos favorable
Costes paneles total	53.181,82 €	469.090,91 €
Costes inversores total	16.698,00 €	144.020,25 €
Costes totales	69.879,82 €	613.111,16 €

Tabla 25: costes totales del huerto solar

Se observa que existe una gran diferencia en el presupuesto dependiendo del mes en el que se esté. Así pues, para el mes de diciembre, que es el mes adverso para esta tecnología, el número de paneles que serían necesarios para cubrir el 100% de la demanda de la EDAR hace que el coste de un huerto de estas características sea casi 10 veces más caro que su equivalente para el mes con mayor radiación solar media.

4.2.6. Resultados: mix tecnológico

Se han analizado anteriormente varias energías renovables; solar, eólica e hidráulica y se han estudiado las características de estas. Además, se ha podido demostrar que contar con un abastecimiento energético basado en una única tecnología de las descritas no es viable, principalmente por motivos de estabilidad del sistema y de fluctuación del recurso primario a lo largo de los distintos meses del año. Para cada tecnología se habían determinado dos escenarios; el más favorable y el menos favorable, y entre ellos existía una gran diferencia de material y económica.

Por ello, a continuación, se propone un mix tecnológico basado en el recurso eólico y solar que permite contar con un nivel de estabilidad superior y que, además, permite reducir los costes totales de la instalación respecto a los que existirían en caso de emplear una única tecnología.

	EDAR	ENAIR 200 (parque eólico)		Paneles Fotovoltaicos		
Mes	Consumo (kWh/día)	Producción (kWh/día)	Nº Aerogen. Necesarios	Producción (kWh/día)	Nº de kWp necesarios	Nº paneles
Enero	2465,8	286,4	8,6	2,6	937,5	2841,1
Febrero	513,7	295,6	1,7	3,5	145,5	441,0
Marzo	513,7	256,5	2,0	4,4	117,3	355,4
Abril	1489,7	224,1	6,6	4,0	370,6	1123,0
Mayo	513,7	116,5	4,4	4,4	117,0	354,6
Junio	1489,7	104,9	14,2	4,8	309,1	936,6
Julio	2465,8	131,1	18,8	5,1	484,4	1468,0
Agosto	2465,8	115,5	21,3	4,8	510,5	1547,0
Septiembre	513,7	112,6	4,6	4,4	117,3	355,4
Octubre	513,7	178,1	2,9	3,5	145,9	442,2
Noviembre	513,7	222,5	2,3	2,7	188,2	570,2
Diciembre	2465,8	254,8	9,7	2,4	1031,7	3126,4

Tabla 26: resumen demanda EDAR por meses y producción eólica y solar

	EDAR				ENAIR 200 (parque eólico)		Paneles Fotovoltaicos				
Mes	Consumo (kWh/día)	Generación (kWh/día)	Excedente (kWh/día)	Relación	Producción max posible (kWh/día)	Nº Aerogen. Necesarios	Generación (kWh/día)	Producción max posible (kWh/día) por kWp instalado	Nº de kWp necesarios	Nº paneles	Generación (kWh/día)
Enero	2465,8	3046,3	580,5	23,5%	286,4	7,0	2004,8	2,6	396,0	1200,0	1041,5
Febrero	513,7	3467,1	2953,4	574,9%	295,6	7,0	2069,2	3,5	396,0	1200,0	1397,9
Marzo	513,7	3530,0	3016,3	587,2%	256,5	7,0	1795,5	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Abril	1489,7	3160,6	1670,9	112,2%	224,1	7,0	1568,7	4,0	396,0	1200,0	1591,9
Mayo	513,7	2553,9	2040,2	397,2%	116,5	7,0	815,5	4,4	396,0	1200,0	1738,4
Junio	1489,7	2643,0	1153,3	77,4%	104,9	7,0	734,3	4,8	396,0	1200,0	1908,7
Julio	2465,8	2933,3	467,6	19,0%	131,1	7,0	917,7	5,1	396,0	1200,0	2015,6
Agosto	2465,8	2721,2	255,4	10,4%	115,5	7,0	808,5	4,8	396,0	1200,0	1912,7
Septiembre	513,7	2522,7	2009,0	391,1%	112,6	7,0	788,2	4,4	396,0	1200,0	1734,5
Octubre	513,7	2640,6	2126,9	414,0%	178,1	7,0	1246,7	3,5	396,0	1200,0	1393,9
Noviembre	513,7	2638,6	2124,9	413,6%	222,5	7,0	1557,5	2,7	396,0	1200,0	1081,1
Diciembre	2465,8	2730,0	264,3	10,7%	254,8	7,0	1783,6	2,4	396,0	1200,0	946,4

Tabla 27: mix tecnológico eólico - solar para cubrir la demanda de la EDAR

En la tabla 21 se observa la demanda de la estación de depuración para cada uno de los meses, según la discriminación que se realizó en apartados anteriores respecto a la temporada alta y baja, y, por otro lado, se muestran las producciones eólica y solar para cada mes y el número de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos que serían necesarios para conseguir dicha producción. Es importante destacar que el número de dispositivos a instalar son en caso de querer cubrir toda la demanda de la planta con dicha tecnología.

Sin embargo, en la tabla 22 se propone una solución alternativa basada en el empleo de tecnología solar y eólica para contar con los beneficios que una instalación de estas características tendría y que han sido definidos en apartados anteriores.

De este modo, con un parque eólico de 7 aerogeneradores modelo Enair 200, aerogeneradores que pertenecen al segmento de la mini eólica, con bajo impacto visual, gran rendimiento y con una ocupación del terreno mínima, y con un huerto solar formado por 1200 paneles fotovoltaicos para el que sería necesario contar con un total de 80 inversores modelo MustSolar y que se estima que presente una ocupación de aproximadamente 2000 m² (cada panel tiene un área de 1,6 m² por lo que serían un total de 1920 m², más lo correspondiente por los inversores), el equivalente a medio campo de fútbol 11 de medidas oficiales.

Es importante destacar que la configuración que se propone no solo permite cubrir la totalidad de la demanda mensual que presenta la planta depuradora a lo largo de un año sin necesidad de contar con el suministro de red eléctrica, aunque se recomienda para mantener la estabilidad al sistema y que no sea una red aislada con todos los inconvenientes que eso conlleva, sino que, además, se produce en varios meses un excedente de energía que se puede inyectar en la red eléctrica y recibir una retribución económica a cambio o que se podría almacenar en baterías (este último supuesto queda fuera del objetivo del proyecto).

Mes	Relación
Enero	23,5%
Febrero	574,9%
Marzo	587,2%
Abril	112,2%
Mayo	397,2%
Junio	77,4%
Julio	19,0%
Agosto	10,4%
Septiembre	391,1%
Octubre	414,0%
Noviembre	413,6%
Diciembre	10,7%

Tabla 28: energía extra producida por el parque eólico y huerto solar en % de la demanda mensual de la EDAR

Para llegar a la conclusión de que era necesario contar con 7 aerogeneradores y 1200 paneles solares, se han tenido en cuenta las siguientes restricciones:

- Función objetivo: proponer un mix tecnológico estable, viable y mejor económicamente que las alternativas tecnológicas individuales.
- Restricción 1: minimizar el número de aerogeneradores para evitar generar un impacto visual elevado.
- Restricción 2: no superar la superficie equivalente de un campo de fútbol para realizar la instalación dado que la zona no cuenta con grandes parcelas habilitadas para tal fin.
- Restricción 3: cubrir la demanda de la planta para cada mes con al menos un 10% de excedente.

Los costes derivados de la instalación de un parque eólico y huerto solar con las características descritas se muestran a continuación:

	Unidades	Costes (€)
Parque eólico	7	411.250 €
Paneles	1200	180.000 €
Inversores solares	80	55.660 €
Total		646.910 €

Tabla 29: costes de la instalación final

4.3. Estudio económico

En esta sección se analizarán los costes en los que se incurre por instalación de la tecnología y el mantenimiento de esta. Para cada mes se comprobará la capacidad de inyectar en red la energía sobrante al mismo precio y la retribución económica que se obtendría de esta. De este modo, se podrá conocer a nivel económico la capacidad de amortización del parque eólico y el huerto solar.

4.3.1. Precio de la localidad

Para poder instalar la tecnología que alimentará la planta depuradora serán necesarios 1200 m² de paneles solares fotovoltaicos y 300 m² para los aerogeneradores. Por lo tanto, el terreno total necesario para poder abastecer la planta depuradora sería:

Terreno total

$$\begin{aligned} &= 1200 (\text{paneles}) + 300 (\text{aerogeneradores}) + 200 (\text{otros equipos}) \\ &= 1700 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que actualmente hay parcelas en venta en el Valle de Benasque para instalar plantas fotovoltaicas por valor de:

$$\text{Precio m}^2 = 99.000\text{€} / 4.000 \text{ m}^2 = 24,75 \text{€} / \text{m}^2$$

El valor reflejado anteriormente es una estimación del precio del terreno en la zona basado en varias operaciones existentes actualmente. Por lo que para poder adquirir un terreno de 1200 m² sería necesario desembolsar, aproximadamente, 29.700€.

4.3.2. Precio de la energía

En primer lugar, a partir de la información ofrecida por OMIE, se recoge en la tabla que se muestra a continuación el histórico de precios de la energía por mes y año, medidos en €/MWh.

	COSTE ENERGÍA POR MES Y AÑO EN €/MWh											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2016	36,53	27,50	27,80	24,11	25,77	38,90	40,53	41,16	43,59	52,83	56,13	60,49
2017	71,49	51,74	43,19	43,69	47,11	50,22	48,63	47,46	49,15	56,77	59,19	57,94
2018	49,98	54,88	40,18	42,67	54,92	58,46	61,88	64,33	71,27	65,08	61,97	61,81
2019	61,99	54,01	48,82	50,41	48,39	47,19	-	-	-	-	-	-
MEDIA	55,00	47,03	40,00	40,22	44,05	48,69	50,35	50,98	54,67	58,23	59,10	60,08

Tabla 30: precio de la energía en España por mes y año (OMIE, 2019)

Con la intención de contar con un valor mensual de precio de la energía, se ha hecho la media de los últimos años del precio de esta. A pesar de que, en cada año, el precio de la energía ha sufrido grandes fluctuaciones, este valor medio es representativo.

La gran incógnita que se ha vivido en los últimos años, cuando se habían desarrollado notablemente las tecnologías renovables para los pequeños consumidores, ha sido la del precio que pagaría cada distribuidor en caso de inyectar en la red la energía producida sobrante o, si por el contrario, se descontarían los kWh inyectados de la factura final. Se llegó a la conclusión hace relativamente poco tiempo, siendo esta:

"El precio con el que se compensará a los autoconsumidores es el resultado de restar al precio medio horario (basado en el resultado del mercado diario e intradiario para cada hora del día) el coste de los desvíos. Para el cálculo de este valor no se tienen en cuenta los peajes de acceso." (Eléctrica, s.f.)

A modo de ejemplo para lo expuesto anteriormente:

- Precio de la energía en el mercado diario se supone: $55\text{€/MWh} = 5,5 \text{ cents/kWh}$
- Coste de los desvíos: aproximadamente un 30% del precio de la energía. Por tanto, la remuneración por el vertido de energía a la red sería de: $3,8 \text{ cents/kWh}$

Si se tiene en cuenta que el precio al que se nos cobra la electricidad, para una tarifa normal y de forma aproximada, es de $0,17\text{€/kWh}$, se nos va a devolver en torno a un 20% de lo inyectado en la red. Aunque la medida puede generar controversia, esta alternativa resulta mucho más eficiente económicamente que el simple hecho de desperdiciar la energía excedente producida.

4.3.3. Resultados

A continuación, se reflejan los costes asociados a tres diferentes escenarios y el tiempo de amortización de la instalación renovable.

Escenarios:

- Parque eólico y huerto solar CON inyección de energía excedente en la red.
- Parque eólico y huerto solar SIN inyección de energía excedente en la red.
- Suministro energético a la EDAR a través de la red eléctrica.

De este modo, se han indicado en la tabla que se muestra a continuación los costes y/o beneficios que se obtienen en cada uno de los escenarios.

	Días del mes	Demanda de energía diaria [kWh/día]	Producción de energía diaria [kWh/día]	Excedente diario [kWh/día]	% Excedente	Coste con suministro 100% de red	% Inyección de excedente	Beneficio con inyección excedente
Enero	31	2.465,75	3.046,28	580,53	23,54%	12.994,52 €	13,54%	393,39 €
Febrero	28	513,70	3.467,08	2.953,38	574,92%	2.445,21 €	564,92%	3.087,74 €
Marzo	31	513,70	3.529,98	3.016,28	587,17%	2.707,19 €	577,17%	3.492,67 €
Abril	30	1.489,73	3.160,62	1.670,89	112,16%	7.597,60 €	102,16%	1.734,99 €
Mayo	31	513,70	2.553,94	2.040,24	397,17%	2.707,19 €	387,17%	2.342,89 €
Junio	30	1.489,73	2.643,02	1.153,29	77,42%	7.597,60 €	67,42%	1.144,93 €
Julio	31	2.465,75	2.933,34	467,59	18,96%	12.994,52 €	8,96%	260,35 €
Agosto	31	2.465,75	2.721,18	255,43	10,36%	12.994,52 €	0,36%	10,43 €
Septiembre	30	513,70	2.522,68	2.008,98	391,08%	2.619,86 €	381,08%	2.231,68 €
Octubre	31	513,70	2.640,62	2.126,92	414,04%	2.707,19 €	404,04%	2.445,00 €
Noviembre	30	513,70	2.638,58	2.124,88	413,64%	2.619,86 €	403,64%	2.363,80 €
Diciembre	31	2.465,75	2.730,04	264,29	10,72%	12.994,52 €	0,72%	20,86 €
TOTAL		15.924,66	34.587,36			82.979,79 €		19.528,73 €

Tabla 31: beneficios y costes de cada escenario tecnológico

	Se inyecta excedente	No se inyecta excedente	Se compra de red
Coste equipos	646.910,00 €	646.910,00 €	0,00 €
Coste terreno	29.700,00 €	29.700,00 €	0,00 €
Coste energía	-19.528,73 €	0,00 €	82.979,79 €
TOTAL	657.081,27 €	676.610,00 €	82.979,79 €

Tabla 32: costes totales de cada escenario

Se puede observar que la principal diferencia existente entre el escenario de empleo de energías renovables con inyección y el de sin inyección es que se reduce en casi 20.000€ los costes.

Teniendo en cuenta las diferencias entre emplear el modelo renovable que se ha planteado a lo largo de este proyecto y el modelo clásico de adquirir la energía de la red, el tiempo de amortización de la instalación es de:

$$\text{Amortización (años)} = \frac{657.081,27\text{€}}{82.979,79\text{€} + 19.528,73\text{€}} = 6,41 \text{ años}$$

4.4. Conexionado

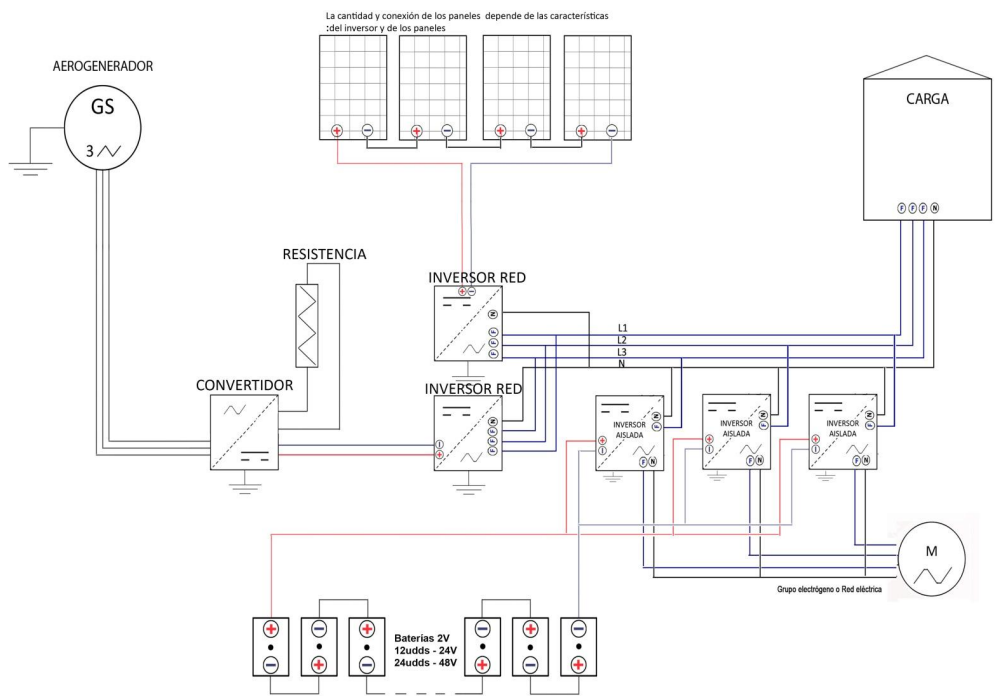


Ilustración 26: conexionado de la instalación eólica - solar

En la ilustración anterior se indica el tipo de conexionado que propone el fabricante para con sus aerogeneradores Enair 200 cuando tienen de soporte energético a un huerto solar. En la figura se representa de forma simplificada la conexión de la instalación tomando como base un único aerogenerador y un total de 4 paneles conectados en serie. En nuestro caso en particular, los paneles se encuentran conectados en paralelo al inversor, con un total de 15 paneles conectados en cada aparato.

5. CONCLUSIONES

- Se decide estudiar el proyecto de abastecimiento energético a una EDAR ubicada en la Villa de Benasque mediante energías renovables porque carece actualmente de una y presenta grandes variaciones de población a lo largo del año. Además, se trata de un entorno natural protegido.
- El consumo energético de la depuradora varía de 513,69 kWh/día en temporada baja hasta los 2.465,75 kWh/día en temporada alta, que deberán ser suministrados por el conjunto eólico – solar planteado.
- El parque solar contará con 7 aerogeneradores modelo Enair 200 pertenecientes a la gama mini eólica de última generación. Suministrarán 1.340,9 kWh/día de media al mes.
- El huerto solar contará con 1.200 paneles solares fotovoltaicos Ecosolar y requerirá de 80 inversores MustSolar. Suministrarán 1.541,4 kWh/día de media al mes.
- Los costes totales de la instalación que incluyen; equipos, aerogeneradores, paneles solares, inversores y terreno, son de 676.610,00 €. La rentabilidad que se obtiene de la instalación por la inyección en la red es de 19.528,73 €.
- La instalación quedará amortizada a partir de los 6 años y 5 meses.

6. REFERENCIAS

- AEMET. (s.f.). *Atlas de Radiación Solar en España*. Gobierno de España.
- Agua, P. (mayo de 2007). *Adelpa*. Obtenido de Adelpa: <http://www.adelpa.com/descargas/esera.pdf>
- Eléctrica, R. (s.f.). *eSios*. Obtenido de eSios: <https://www.esios.ree.es>
- ENAIR. (2019). *ENAIR*. Obtenido de ENAIR: <https://www.enair.es/es/>
- ENAIR. (s.f.). *Atlas eólico ENAIR*. Obtenido de <https://www.enair.es/es/app>
- ENAIR. (s.f.). *ENAIR instalación Cabo Verde*. Obtenido de ENAIR instalación Cabo Verde: <https://www.enair.es/es/instalaciones/instalacion/aldea-aislada-en-cabo-verde>
- Epdata Gráficos y Estadísticas*. (s.f.). Obtenido de <https://www.epdata.es/datos/datos-graficos-estadisticas-municipio/52/benasque/1476>
- España, G. d. (s.f.). *Sede electrónica del catastro*. Obtenido de Sede electrónica del catastro: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=rustica&from=OVCBusqueda&final=&ZV=NO>
- Galan, F. (s.f.). *Centrales hidroeléctricas y presas de alto Aragón*. Obtenido de Fundación ESTEYCO: https://www.esteyco.com/wp-content/uploads/2017/02/Centrales_Presas_AA_web-COPIA0.pdf
- Góndola aerogenerador partes*. (s.f.). Obtenido de <https://tecnologiaschile.com/2013/09/26/energia-eolica-chile-componentes-que-forman-el-sistema/>
- IDAE. (s.f.). *Análisis del recursos*. Obtenido de Atlas eólico de España: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e4_atlas_eolico_A_9b90ff10.pdf

INE. (2018). *Foro Ciudad*. Obtenido de Foro Ciudad: <https://www.foro-ciudad.com/huesca/benasque/habitantes.html#EvolucionTabla>

OMIE. (2019). *OMIE*. Obtenido de http://www.omie.es/reports/index.php?report_id=311#

Orientación aerogeneradores. (s.f.). Obtenido de https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&biw=1440&bih=814&tbm=isch&sa=1&ei=45ojXZnmG8XsadTtkMgK&q=comparativa+sotavento+y+barlovento+rotor&oq=comparativa+sotavento+y+barlovento+rotor&gs_l=img.3..62621.67023..67468...0.0..0.95.1176.14.....0....

Públicas, M. d. (2000). *Cuadro 1. Población y Viviendas*.

Tecpa. (26 de Octubre de 2018). *Tecpa ingeniería*. Obtenido de Tecpa ingeniería: <https://www.tecpa.es/consumo-energetico-depuradoras-espana/>

Turbina eólica Darrieus. (s.f.). Obtenido de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Taiwan_2009_JinGuaShi_Historic_Gold_Mine_Combined_Darrieus_Savonius_Wind_Turbines_FRD_8638.jpg

Turbina eólica Savonius. (s.f.). Obtenido de https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Darrieus-Rotor_Ennabeuren-3256.jpg

