



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Estudio de eólica urbana para la Algameca Chica como ejemplo de Comunidad Energética Local (CEL) desconectada

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

**Autor:** Lucas Tissier  
**Directora:** María Socorro García Cáscales



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, 15/11/2022

## AGRADECIMIENTOS

Antes de todo, me gustaría escribir algunas palabras para las personas que me apoyaron y ayudaron durante en ese Trabajo de Fin de Máster para darles las gracias.

Primero me gustaría agradecer a mi tutora de Trabajo de Fin de Máster, la señora María Socorro García Cáscas por darme la oportunidad de hacer ese proyecto y por haberme ayudado con mis preguntas y dudas. Es un trabajo que me gustó mucho e intenté dar lo mejor de mi persona para hacer ese trabajo de la mejor forma posible, en acuerdo con los consejos de mi tutora.

Además, les agradezco a mis compañeros de trabajo quien me ayudaron con las encuestas, lo que me guió mucho para llevar a cabo mi trabajo de fin de máster. Ellos pudieron darme la oportunidad de hacer la resolución del proyecto lo más correcto posible. Igualmente, le estoy agradecido a mi familia que me apoyaron durante ese periodo.

Por fin, deseaba agradecer a una persona en especial, Carlos Acevedo, quien supo apoyarme durante todo el proceso, y ayudarme en mi propia toma de decisión, me dio la fuerza para seguir adelante, con un positivismo increíble y un apoyo emocional enorme.

## **RESUMEN**

En un contexto de cambio climático, la cuestión de la energía es un tema central en nuestra sociedad tanto sobre el plan económico que el plan medioambiental. Es un reto que cada país intenta manejar lo mejor posible desde hace algunos años creando nuevas leyes incluyendo el aspecto medioambiental y energético. Las Comunidades Energéticas Locales son un medio para apoyar esa transición energética al nivel local para los ciudadanos y diseñadas por ellos gracias al uso de las energías renovables. Este trabajo tiene como objetivo aplicar el concepto de las CELs a la Algameca Chica un asentamiento al lado de Cartagena, aislado energéticamente analizando el recurso eólico y al final, proponer soluciones mediando los métodos de toma de decisiones multicriterio AHP y TOPSIS.

## **PALABRAS CLAVES**

Energía, energía eólica, toma de decisiones multicriterio, transición energética, Algameca Chica

## **ABSTRACT**

In a context of climate change, the question of the energy is a main theme in our society as well as economically as environmentally. It is a challenge that each country has been trying to deal with the best they can for a few years by creating new laws which include the energy and environment aspects. Locals Energies Communities are a way to support the energy transition at a local scale for the citizen and designed by them thanks to the use of renewable energies. This work aims to apply the LECs concept for a village, Algameca Chica, which is located near Cartagena and is isolated energetically by analyzing the wind resource and finally suggest solutions with the AHP and TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making methods.

## **KEYWORDS**

Energy, wind energy, multi-criteria decision making, energy transition, Algameca Chica

## Tabla de materias

INDICE DE ILUSTRACIONES .....	6
INDICE TABLAS .....	7
INDICE IMÁGENES .....	7
ABREVIACIONES .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
MARCO DE LAS COMUNIDADES ENERGETICAS LOCALES .....	9
I.1 Introducción .....	9
I.2 Beneficios y frenos .....	9
I.3 Marco legal .....	10
I.3.1 Directiva UE 2019 / 944 CCE.....	10
I.3.2 Directiva UE 2018 / 2001.....	11
I.4 Pasos a seguir para constituirse como Comunidad Energética .....	12
I.5 Ejemplo de comunidad energética local desconectada .....	14
I.5.1 El ejemplo de la isla de Eigg .....	14
I.5.2 Ejemplo del edificio en El Retiro en Madrid .....	16
I.5.3 Ejemplo de Som Energia en Cataluña.....	16
METODOLOGIA DEL ESTUDIO .....	17
ESTUDIO DE LA ZONA DE LA ALGAMECA CHICA .....	17
I.    La Algameca Chica.....	17
II.   Estimación del consumo .....	20
III.  Análisis del viento.....	22
SISTEMAS EOLICOS URBANOS .....	25
I.    Introducción .....	25
II.   Clasificación .....	27
III.  Estudio de alternativas .....	28
III.1 Aerogenerador ENAIR E70 PRO .....	29
III.2 Aerogenerador ENAIR 200L.....	32
III.3 Aerogenerador Bornay Wind 25.3+ .....	35
III.4 Conclusión .....	36
LA TOMA DE DECISIONES.....	37
I.    Introducción .....	37
II.   Las diferentes metodologías .....	38
II.1 AHP.....	38

II.2 TOPSIS .....	40
APLICACIÓN DEL METODO AHP .....	43
I. Elección de los criterios .....	43
I.1 Criterios económicos .....	43
I.2 Criterio medioambiental.....	43
I.3 Criterios técnicos y sociales .....	44
II. Las alternativas .....	44
III. Metodología y aplicación de AHP.....	45
III.1 La comparación de los criterios .....	45
III.2 La comparación de las alternativas.....	45
III.3 El resultado final.....	46
APLICACIÓN DEL METODO TOPSIS-AHP .....	47
I. Metodología .....	47
.....	51
II. Resultados .....	51
ANÁLISIS Y CRÍTICA DE LOS RESULTADOS.....	51
CONCLUSIÓN.....	52
BIBLIOGRAFIA .....	53
ANEXOS .....	57
Anexo 1. ....	57
Anexo 2. ....	62
Anexo 3. ....	63
Anexo 4. ....	64
Anexo 5. ....	65
.....	65

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Sistema energético isla de Eigg .....	15
Ilustración 2 - Ubicación Cartagena, Wikipedia .....	17
Ilustración 3 - Ubicación Algameca Chica, Wikipedia .....	18
Ilustración 4- Media velocidad viento en km/h, suremet.es .....	22
Ilustración 5 - Rosa de vientos Cartagena, meteoblue .....	22
Ilustración 6 - Recurso eólico Algameca Chica, Mapa Ibérico alta resolución .....	23
Ilustración 7 - Perfil vertical viento, Mapa Ibérico alta resolución .....	24
Ilustración 8 - Perfil medio diario del viento, mapa Ibérico de alta resolución .....	24
Ilustración 9 - Aprovechamiento del viento generado por la circulación de vehículos, Desarrollo de proyectos de instalaciones energía mini-eólica aislada .....	25
Ilustración 10 - Diferencias básicas entre mini eólica y gran eólica, Desarrollo de proyectos de instalaciones energía mini eólica aislada .....	27
Ilustración 11 - Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia, transparencia clase sistemas eólicos UPCT José Serna Serrano ...	27
Ilustración 12 - Bombeo de agua mediante un aerogenerador .....	28
Ilustración 13 - Aerogenerador E70 PRO, Enair .....	29
Ilustración 14 - Componentes aerogenerador 70 PRO .....	30
Ilustración 15 - Producción anual aerogenerador 70 PRO, Enair .....	31
Ilustración 16 - Aerogenerador 200L, Enair .....	32
Ilustración 17 - Componentes aerogenerador 200L, Enair .....	33
Ilustración 18 - Producción anual aerogenerador 200L, Enair .....	34
Ilustración 19 - Aerogenerador Wind 25.3+, Bornay .....	35
Ilustración 20 - Producción anual aerogenerador 25.3+, Bornay .....	36
Ilustración 21 – Procedimiento para la evaluación de un problema de decisión multicriterio	37
Ilustración 22 - Estructura AHP .....	38
Ilustración 23 - Escala Saaty .....	39
Ilustración 24 - Matriz de decisión .....	40
Ilustración 25 - Encuesta comparación criterios AHP .....	45
Ilustración 26 - Comparación alternativas para C1 y C2 AHP .....	46
Ilustración 27 - Matriz ponderada AHP .....	46
Ilustración 28 - Matriz final AHP .....	46
Ilustración 29 - Escala de impacto TOPSIS .....	47
Ilustración 31 - Datos TOPSIS (1) .....	48
Ilustración 30 - Datos TOPSIS (2) .....	48
Ilustración 32 - Matriz de decisión .....	49
Ilustración 33 - Matriz de valoración normalizada .....	49
Ilustración 34 - Matriz normalizada ponderada .....	50
Ilustración 35 - Distancias positivas y negativas .....	50
Ilustración 36 - Resultados finales .....	51

## INDICE TABLAS

Tabla 1- Beneficios, Comunidades Energéticas   Idae, s. f.....	9
Tabla 2-Frenos, Comunidades Energéticas   Idae, s. f.....	10
Tabla 3 - Consumo diario meses bajos .....	21
Tabla 4 - Consumo diario verano.....	21
Tabla 5 - Índice de consistencia aleatorio .....	39
Tabla 6 - Matriz de decisión (1).....	40
Tabla 7 - Matriz de decisión (2).....	41
Tabla 8 - Matriz de decisión (3).....	41
Tabla 9 - Matriz de decisión (4).....	42
Tabla 10 - Distancias de las soluciones negativas y positivas .....	42
Tabla 11 - Resultados finales .....	42

## INDICE IMÁGENES

Imagen 1 - Tanques agua Algameca Chica.....	18
Imagen 2 - Paneles fotovoltaicos Algameca Chica.....	19
Imagen 3 - Los dos lados de la Algameca Chica .....	20

## ABREVIACIONES

CELs: Comunidades Energéticas Locales  
CE: Comunidad Energética  
IDEA: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía  
CCE: Comunidad Ciudadana de Energía  
CER: Comunidades de Energías Renovables  
BOE: Boletín Oficial del Estado  
CFD: Computational Fluid Dynamics  
AHP: Analytic Hierarchy Process

## INTRODUCCIÓN

A través de los siglos, la energía siempre ha sido importante ya que se usa para calentarse, transportarse y para muchas más aplicaciones industriales sin las cuales no podríamos vivir como vivimos hoy en día. Una transformación energética ha sido ocurriendo desde hace un par de décadas en la generación de electricidad debida a la preocupación de las energías de combustibles fósiles y al calentamiento global (Huang et al., 2019). La energía es un recurso que se quiere más sostenible y limpio, por eso los países decidieron invertir en energías renovables y medios para mejorar la eficiencia energética para llegar a una sobriedad energética.

En este objetivo de desarrollar fuentes de energía sostenibles, las comunidades energéticas locales (CELs) podrían ser un medio para lograrlo. Una comunidad energética local es una comunidad que puede ser un barrio o un polígono industrial donde el objetivo es aprovecharse conjuntamente de las mismas construcciones de generación (*Comunidades Energéticas / Idae*, s. f.). Al nivel energético, las CELs pueden incluir una generación eléctrica o térmica, un avance de la eficacia energética o un desarrollo de sistemas de movilidad sostenible (*Comunidades Energéticas / Idae*, s. f.). Permiten a la vez un desarrollo económico, energético y social puesto que dejaría un posible autoconsumo para ayudar a las personas vulnerables.

Las comunidades energéticas locales aún están creciendo en España y en la Unión Europea, tal y como su legislación que sigue definiéndose. Aunque el marco de las CELs esté en constante evolución, su objetivo es muy claro y varias comunidades ya han podido beneficiar de ellas. En la región de Murcia un proyecto de energía renovable mediante una CEL apoyado por la Unión Europea, fue realizado. De esta manera, 20 viviendas pueden aprovechar de dos instalaciones de paneles solares de 10,8 kWp cada una gracias a la empresa murciana MWenergía.

Con este trabajo, se quiere analizar el recurso eólico en la Algameca Chica (Región de Murcia, Cartagena) que es una comunidad aislada que cuenta 110 viviendas aproximadamente y que no está conectado a la red ni tiene acceso a la distribución de agua potable. Por eso se quiere proponer soluciones de aprovechamiento eólico como ejemplo de comunidad energética local desconectada. En función del consumo de la Algameca y de datos de viento, se podrán elegir alternativas para el aprovechamiento en electricidad de origen eólico para la Algameca Chica.

El trabajo se compone de ocho capítulos, el primero trata del marco de las comunidades energéticas locales, el segundo de la metodología usada para llevar a cabo el proyecto, el tercer del estudio de la zona de la Algameca Chica, el cuarto de los sistemas eólicos urbanos donde se especificarán varios modelos de aerogeneradores, el quinto sobre la toma de decisión con una explicación de los métodos que se usarán, el sexto y séptimo sobre la resolución con el método AHP y luego TOPSIS, y por fin el octavo que analiza los resultados y hace una crítica.

# MARCO DE LAS COMUNIDADES ENERGETICAS LOCALES

## I.1 Introducción

Las CELs ofrecen muchas ventajas tal y como la posibilidad de un acceso fácil a las energías renovables y aprovechar de inversiones en ellas, la generación de ingresos para la comunidad local, beneficios ambientales y sociales como la creación de empleo local y fomento de la cohesión y equidad social (*Comunidades Energéticas / Idae, s. f.*). Otra característica de las CELs es que son dirigidas por los ciudadanos o autoridades locales, según la ley son individuos jurídicos que pueden participar de manera totalmente espontánea y abierta (*Comunidades Energéticas / Idae, s. f.*). Gracias a eso, los miembros están implicados de manera directa para la planificación de un proyecto de energías renovables, implementando medidas con recursos adaptados para el lugar con objetivo de ahorrar energía. Además, las CELs permiten ser independiente energéticamente, en efecto, España es dependiente de la energía de casi un 70% (*Comunidades Energéticas / Idae, s. f.*). España tiene que cumplir con su objetivo de reducción de -37.7% de las emisiones de dióxido de carbono para 2030 en comparación con los niveles del 2005 implementando energías renovables para 2030 (*Reducción de emisiones en la UE, 2018*). En este contexto las CELs podrían venir bien para cumplir con los objetivos fijados y salir de la dependencia energética.

## I.2 Beneficios y frenos

Como se ha visto antes, las CELs ofrecen varias ventajas energéticas, pero también sociales y económicas como se puede ver en la tabla siguiente (Tabla 1).

Beneficios socioeconómicos
1. Disminución de los precios y de la dependencia energética con el uso de las energías renovables, eso resulta en disminuir la demanda energética y del coste de suministro energético para la comunidad.
2. Facilita la integración de las energías renovables en el sistema
3. Favorece la creación de cargos y el aumento del número de comercios locales
4. Creación de valor adicional para la comunidad, ofreciéndole la posibilidad de promover nuevas inversiones
5. Mejora de las condiciones de vida
6. Mayor cohesión social

Tabla 1- Beneficios, *Comunidades Energéticas / Idae, s. f*

Aunque las CELs se presenten como un medio para luchar contra el cambio climático, hay barreras a las que se debe hacer frente debidas a la novedad de este concepto. Se puede encontrar los diferentes frenos en la tabla siguiente (Tabla 2).

1. Cambios en las normativas
2. Falta de cuadro normativo y/o de un nivel conveniente de su desarrollo
3. Dificultad a la hora de ejecutar los tramites administrativos
4. Complejidad de acceso a la subvención: fallo de confianza de los inversores, alto riesgo
5. No suficiente interés por parte ciudadanía
No suficiente tiempo de dedicación voluntaria
Motivación incompleta por parte de los miembros de la comunidad
Complejidad para acceder al conocimiento de un experto

Tabla 2-Frenos, Comunidades Energéticas | Idae, s. f

### I.3 Marco legal

De un punto de vista legal las Comunidades Energéticas Locales son definidas al nivel europeo según la Directiva UE 2019 / 944 Art. 16 sobre la Comunidad Ciudadana de Energía CCE y según la Directiva UE 2018 / 2001 Art. 22 sobre la Comunidad de Energía Renovable CER. En cuanto al marco jurídico español, el Real Decreto-ley 23/2020 define las medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica y se definen las comunidades energéticas locales.

#### I.3.1 Directiva UE 2019 / 944 CCE

La Directiva UE 2019/944 se refiere al mercado interior de la electricidad y más concretamente al cliente activo. El desafío de esta directiva fue integrar al sistema un nuevo actor que es el cliente activo, para darle más potencia al sistema eléctrico. En efecto, sumar el número del cliente activo es una forma de convertirlo en el principal recurso energético con el que tendrá en el mercado. El cliente activo se define en la Directiva sobre el mercado interior de la electricidad como el cliente final, o clientes que actúan conjuntamente , que consume o almacena energía eléctrica en sus propios centros de consumo. (*DIRECTIVA (UE) 2019/ 944 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 5 de junio de 2019 - sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/ 27/ UE, s. f.*). Además, como se indicó anteriormente, individuos, locales como municipios o pequeñas empresas participan en una comunidad energética ciudadana con el objetivo de producir energía renovable con beneficios ambientales, económicos y sociales. Esta directiva establece diversos instrumentos de eficiencia energética para el activo, algunos de los cuales se resumen a continuación (*García Brea, 2020*) :

1. Agregación y agregador independiente del proveedor para combinar la de varios clientes o la electricidad producida para la venta o subasta en cualquier mercado eléctrico.
2. Un marco jurídico que permita contratos con precios dinámicos de la electricidad para clientes con contadores inteligentes.

3. La gestión de la demanda es un derecho de los clientes finales para cambiar sus pautas de consumo como respuesta a las señales del mercado o a la aceptación para vender una reducción o aumento de la demanda en un mercado organizado, bien individualmente o mediante agregación.
4. Se brindará información y asesoramiento a los clientes antes o durante la instalación de medidores inteligentes.
5. Los gobiernos se asegurarán de que los servicios públicos cumplan con los requisitos y procedimientos de interoperabilidad para acceder a los medidores.

Esta Directiva lleva varios puntos de lo que es una comunidad ciudadana de energía con más precisión de lo que se ha visto antes, algunos ejemplos se encuentran abajo (*DIRECTIVA (UE) 2019/ 944 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 5 de junio de 2019 - sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/ 27/ UE, s. f.*) :

1. Los Estados miembros proporcionarán un cuadro legal beneficioso para las empresas ciudadanas de energía que garanticen que los socios o miembros de un ciudadano energético no pierde sus derechos y obligaciones como cliente doméstico o cliente activo.
2. Los Estados miembros asegurarán que los colectivos ciudadanos de energía:
  - a) reciban un trato no discriminatorio y proporcionado con respecto a sus actividades, derechos y obligaciones como clientes finales, productores, proveedores, gestores de redes de distribución actores del mercado que brindan servicios de agregación;
  - b) Los Estados miembros garantizan que las agrupaciones de ciudadanos son financieramente responsables de las desviaciones que provocan en el sistema eléctrico. A estos efectos, serán responsables del balance o su responsabilidad sobre el balance de conformidad con lo previsto en el artículo del Reglamento (UE) 2019/943.
  - c) en el caso de la electricidad generada por las comunidades energéticas, esas mismas sean tratadas como “activos de conformidad”, es decir, estén sujetas a tarifas en la red que evidencien los costes, que tienen que ser transparentes y no discriminatorias; tenga en nota por separado la electricidad pagada y la electricidad consumida en la red.

### I.3.2 Directiva UE 2018 / 2001

La directiva europea 2018/2001 define el uso de las energías sostenibles y en el artículo trata de las CE. Las comunidades locales de energía tienen derecho a generar, almacenar y vender energía renovable, así como acceder a los mercados de energía y compartir la matriz comunitaria de energía renovable. Además, de conformidad con dicha directiva, los Estados miembros garantizan que los clientes finales, en particular los servidores, tengan el derecho a

colaborar en una comunidad renovable conservando sus derechos u obligaciones como clientes finales, y sin ser objeto de métodos injustificados o discriminatorios, o que les permitan participar en una comunidad de energías renovables.

#### I.4 Pasos a seguir para constituirse como Comunidad Energética

Crear una comunidad energética es un proceso que puede resultar complicado y largo, las personas que desean constituirse como CE deben tener en cuenta que es un proceso a largo plazo, con etapas a seguir y directivas a seguir para llevar a cabo un tal proyecto. Como se ha visto previamente, hay condiciones para constituirse como comunidad energética que son:

- La participación tiene que ser libre y espontánea.
- La comunidad tiene que ser gobernada por sus socios o asociados democráticamente.
- La comunidad tiene que estar posicionada en un ámbito de energías sostenibles.
- Los socios tienen que ser personas físicas, pequeñas o medianas empresas y/o autoridades locales.
- La meta de la comunidad tiene que ser asegurar favores sociales, económicos o medioambientales a sus socios, asociados y el sector cuyo se ha desarrollado.

El primer paso para dar para empezar esa aventura sería formar un grupo motor, en efecto resultaría complicado empezar un tal proyecto con una sola persona líder (Gobierno de Navarra, s. f.). Es importante que el grupo sea compuesto de al menos 4 personas que se apoyan y asumen la responsabilidad del proyecto al iniciar. Ese grupo inicial forma el grupo motor, y conforme que el grupo se amplía, este se hará más fuerte y con relaciones de confianza más desarrolladas para poder lidiar con las responsabilidades del proyecto (Gobierno de Navarra, s. f.).

Una vez el grupo motor formado, hace falta llegar a la comunidad dinamizando el proceso participativo, para eso es necesario comunicar de manera eficaz con la gente de la comunidad para hacerles entender el objetivo y los beneficios del proyecto (Gobierno de Navarra, s. f.). Escuchar a la gente es crucial a la hora de empezar un proyecto de comunidad energética, se debe entender los problemas que dañan a las personas de la comunidad y crear afinidades, siendo atento y siempre escuchando (Gobierno de Navarra, s. f.). Además, es muy importante que el grupo comunique entre sí mismo, como se ha dicho previamente, la creación de una CE es un proceso a largo plazo y complicado, problemas pueden suceder y por eso el grupo ha de ser unido y fuerte para lidiar con dichos problemas de la mejor manera posible (Gobierno de Navarra, s. f.). Constituirse como comunidad energética se apoya en su mayor parte en la cooperación, la comunicación, la confianza y la unión del grupo.

El paso siguiente por dar sería hacer el diseño técnico y empezar la tramitación administrativa. Para lo del diseño técnico, hay varios temas que se han de tratar (Gobierno de Navarra, s. f.):

- Los recursos disponibles en el área de la comunidad, en nuestro caso el viento, la dirección en la que sopla, donde se podrían instalar los aerogeneradores, la altitud y otras características.
- La elección de la tecnología adecuada para sacar una rentabilidad máxima, por ejemplo, si usar únicamente aerogeneradores, o bien si combinarlos con paneles solares o geotermia.
- La posibilidad de obtener una autorización o licencia para la instalación, es importante saberlo antes de empezar cualquier proyecto. Podría haber zonas protegidas o infraestructuras cercanas que impedirían la instalación de la tecnología elegida.
- Revisar las ayudas económicas disponibles en el país, en la región y en el municipio donde se encuentra la comunidad.
- Comprobar si se puede vender energía a la red o a los clientes de la red local. Según el Real Decreto RD244/2019 se pueden desarrollar sistemas de compensación para los consumidores de autoconsumo con excedentes para instalaciones de hasta 100kW.

En cuanto a la tramitación administrativa, la comunidad energética tendrá que constituir y tramitar su proyecto técnico ante la Administración Pública para obtener las licencias y así empezar la ejecución del proyecto (Gobierno de Navarra, s. f.).

Luego, se ha de realizar estudios de diseño y de viabilidad con, para empezar, un esquema del proyecto para ayudar a obtener la financiación (Gobierno de Navarra, s. f.). El estudio del diseño es crucial a la hora de obtener el permiso o licencias necesarias por las autoridades locales y/o regionales. Un estudio de planteamiento tiene que llevar los elementos siguientes (Gobierno de Navarra, s. f.):

- Un plano de situación.
- Memoria de la actuación.
- Propuesta de un plan de ejecución.
- Las especificaciones y condiciones de la instalación propuesta para la implementación del proyecto.

Un plan de negocio es un documento que podrá apoyar el proyecto de manera significativa para iniciar las conversaciones con actores del ámbito financiero (Gobierno de Navarra, s. f.).

Finalmente, la última etapa para llevar a cabo un proyecto de comunidad energética es la financiación, y es uno de los mayores retos de tal proyecto (Gobierno de Navarra, s. f.). La financiación se puede requerir para varias etapas con la de desarrollo, inversión, operación y mantenimiento. Lograr obtener los fondos para financiar un proyecto necesita el uso de

instrumentos y enfoques innovadores (Gobierno de Navarra, s. f.). Las diferentes opciones para la financiación son las siguientes (Gobierno de Navarra, s. f.):

- Subvenciones.
- Crowdfunding.
- Préstamo bancario tradicional.
- Banco ético o cooperativo.
- Financiación de terceras partes.
- Leasing.
- Fondo rotatorio renovable cooperativo.
- Entidad local o apoyo municipal.

## I.5 Ejemplo de comunidad energética local desconectada

### I.5.1 El ejemplo de la isla de Eigg

Los ejemplos de comunidades energéticas locales desconectadas son muy pocos ya que hoy en día la mayoría de las personas tienen acceso a la electricidad a través de la red. En cambio, ahora sabemos que existen comunidades como las de la Algameca Chica que solo tienen generadores diésel para alimentar su población en electricidad. El caso de la Algameca Chica no es único, en efecto existe una isla, la isla de Eigg en Reino Unido que también está desconectada de la red y que usa motores diésel para generar electricidad (Sánchez & Gómez, 2022).

La isla de Eigg forma parte del archipiélago de las Hébridas en Escocia y cuenta con 96 residentes. Esa isla está aislada de la red eléctrica británica y su sistema energético está manejado por una sociedad comunitaria cuyos propietarios son los residentes de la isla. Esa isla nunca ha estado conectada a la red y por eso ya era una comunidad energética local, pero sin energías renovables. El nuevo sistema energético de la isla empezó en 2008 y se implementaron fuentes de energía eólico, fotovoltaico e hidroeléctrico (Ilustración 1) (Sánchez & Gómez, 2022).



Ilustración 1 - Sistema energético isla de Eigg

Ese sistema fue diseñado para que aporte el 95% del consumo eléctrico de la isla, hay una unidad de energía hidroeléctrica de 100 kW y otras dos de 6 kW cada una. La instalación solar permite generar 50 kW y hay cuatro unidades de producción eólica de 6 kW cada una. Tuvieron que instalar una microrred de 11km de cableado subterráneo en la isla totalmente desconectada de la red británica. La isla tiene una potencia total instalada de 184 kW. Además, tienen instalado baterías para permitir almacenar energía y depender principalmente de las energías renovables. Los 5% que quedan para cubrir son aportados por dos generadores diésel de 80 kW cada uno, cuando sea necesario (Sánchez & Gómez, 2022).

Todos los habitantes de la isla son miembros de la comunidad energética, y el actor principal es Isle of Eigg Heritage Trust que es la sociedad propietaria de la isla y que tiene la única compañía energética de la isla, Eigg Electric Ltd. Esta compañía gestiona la producción, distribución y suministro eléctrico de la isla al igual que del mantenimiento. Significa que los consumidores son también los miembros y propietarios de la compañía eléctrica y por tanto no tuvieron alternativas para elegir la compañía eléctrica.

Para evitar recurrir a los motores diésel de apoyo, se estableció un límite para el consumo que es de 5 kW para cada vivienda y de 10 kW para cada empresa. Para eso tienen a disposición un contador digital que les permite controlar y gestionar su consumo para que no alcancen el límite fijado. En caso de excedentes de electricidad generada y que las baterías estén a capacidad máxima, los excedentes se convierten en calefacción en los edificios comunitarios. Ese sistema se activa en cualquier época del año o según las necesidades de calor y al final se ha notado que el excedente suele darse en invierno, lo que es una ventaja para los residentes de la isla (Sánchez & Gómez, 2022).

### I.5.2 Ejemplo del edificio en El Retiro en Madrid

Ese ejemplo se basa en una comunidad de propietarios en un edificio en la zona de El Retiro en Madrid para un autoconsumo compartido. Los participantes de esta comunidad son 30 vecinos que viven en el edificio, ellos realizan la inversión y pueden aprovechar de la energía generada (Sánchez & Gómez, 2022). El actor principal es Iberdrola quien ofrece esa oportunidad a través de su sistema “Smart Solar” y quien realiza los estudios de viabilidad, gestiones administrativas, instalación, mantenimiento y asesoramiento sobre la financiación (Sánchez & Gómez, 2022).

Lo que hicieron para la generación de electricidad fue instalar 60 paneles solares con una potencia total de 20 kW en la azotea del edificio con los que los propietarios pueden beneficiar de autoconsumo colectivo (Sánchez & Gómez, 2022). La electricidad generada sirve para alimentar las viviendas y los ahorros previstos para eso son del 30%, además, la electricidad generada también se usará para los usos de las zonas comunes del edificio tal y como el ascensor y la iluminación de portal y escaleras con ahorros previstos del 60% (Sánchez & Gómez, 2022). El ejemplo del edificio de El Retiro es una comunidad energética local conectada a la red, es decir que, si hay excedentes de generación de electricidad, esa misma puede ser vertida a la red y revertido a través de la factura de los consumidores (Sánchez & Gómez, 2022).

La gobernanza de esa comunidad energética está manejada por los vecinos del edificio, tuvieron que ponerse de acuerdo en cuanto a cómo repartirse los costes de la inversión inicial, la energía generada y de mantenimiento (Sánchez & Gómez, 2022).

### I.5.3 Ejemplo de Som Energia en Cataluña

Som Energia es una cooperativa fundada entre los años 2010 y 2011 e inspirada de los modelos de cooperativas alemanas Bioenergiedorf Jühnde eG (Sánchez & Gómez, 2022). Siendo una cooperativa, Som Energia no genera ingreso de sus actividades, es una cooperativa que produce y comercializa energía de origen renovable (18,5 GWh anuales) con tres fuentes de energía renovable que son el biogás, hidroeléctrica y fotovoltaica (Sánchez & Gómez, 2022).

La electricidad generada por Som Energia se hace mediante sus propios proyectos de energías renovables y eso a través de toda España. Su mayor fuente de generación es la fotovoltaica con proyectos en Cataluña, Valencia, Ávila, Almería y Sevilla (Sánchez & Gómez, 2022). Tienen igualmente un proyecto de minihidráulica en la Central de Valteína en Valladolid y uno de biogás gracias al tratamiento de purines porcinos en Lleida (Sánchez & Gómez, 2022). Por fin, tiene como objetivo montar un proyecto de eólica en Navarra.

La cooperativa cuenta con 75.000 socios o miembros que pueden beneficiarse de la electricidad generada. En cambio, hay más consumidores que pueden aprovechar de la electricidad generada por la cooperativa, en efecto, aunque las personas no miembros de Som Energia no tengan derecho a contratar directamente con la cooperativa, es posible hacerlo a través de la intermediación de un miembro ya que los miembros pueden tener hasta 5 contrato de luz de otras titularidades (Sánchez & Gómez, 2022).

## METODOLOGIA DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es analizar varias opciones de generación de electricidad eólica en el ámbito de la toma de decisiones para elegir una solución adecuada a nuestro caso. Para eso, se ha de estudiar la situación de la Algameca Chica, las diferentes fuentes de energía existentes y estimar su consumo anual en función del número de viviendas y de sus equipos domésticos. Luego, se estudiarán los datos de viento en la zona de Cartagena y se elegirán diferentes alternativas de eólica urbana con una selección de criterios, que sean ambientales, tecnológicos, económicos y sociales. Por fin, se aplicarán los métodos TOPSIS y AHP para determinar una solución al problema energético de la Algameca e iremos comparando ambos métodos con un análisis y crítica.

## ESTUDIO DE LA ZONA DE LA ALGAMECA CHICA

### I. La Algameca Chica

La Algameca Chica es una sucesión de viviendas ubicada al oeste de Cartagena en la Región de Murcia en España (ver Ilustración 2 e Ilustración 3). Este asentamiento cuenta con 110 viviendas y no tienen acceso a la red eléctrica y ni a la distribución de agua potable, por eso tienen un grupo electrógeno y una reserva de agua que está en la entrada de la Algameca. Algunas viviendas disponen paneles solares y reservas privadas de agua para tener más autonomía. Aunque la Algameca Chica tenga 110 viviendas, solo algunas de ellas son ocupadas durante todo el año, durante el verano todas son ocupadas («La Algameca Chica», 2022).



Ilustración 2 - Ubicación Cartagena, Wikipedia



*Ilustración 3 - Ubicación Algameca Chica, Wikipedia*

La Algameca chica solo tiene viviendas, no hay supermercados, farmacias o comercios de cualquier tipo. Solo son casas de verano. Hay viviendas sencillas y otras un poco más elaboradas y cada una tiene un tanque de agua para el uso doméstico como se puede ver en la Imagen 1.



*Imagen 1 - Tanques agua Algameca Chica*

Además, como se ha dicho antes, varias viviendas tienen paneles fotovoltaicos instalados en su techo como lo enseña la Imagen 2.



*Imagen 2 - Paneles fotovoltaicos Algameca Chica*

Es interesante anotar que la Algameca Chica se ubica de los dos lados de un canal cuya finalidad es el mar mediterráneo (ver Imagen 3) y solo hay un puente antes de la entrada de la aldea para cruzar, aunque solo se pueda ir caminando y con precaución. Eso lo deberemos tener en cuenta a la hora de elegir alternativas de instalaciones de eólica urbana.



*Imagen 3 - Los dos lados de la Algameca Chica*

## II. Estimación del consumo

Al ver la comunidad de la Algameca y los diferentes tipos de viviendas que hay, se puede calcular aproximadamente su consumo total. Para eso, se deben hacer estimaciones e hipótesis para que se pueda acercarse lo más precisamente posible del consumo real, cuyo no hay datos disponibles. Teniendo en cuenta que hay 110 viviendas y suponiendo que cada una de ellas tiene los aparatos domésticos básicos y comunes con horas de funcionamiento usuales se podrá estimar un consumo aproximado. Además, se ha de tener en cuenta que las viviendas no están ocupadas todo el año, es en verano la temporada donde hay más gente y el resto del año cuando se encuentra casi vacía. Sin embargo, tenemos que considerar el consumo máximo para que se genere suficiente electricidad para cubrir la demanda de toda la Algameca Chica en verano.

La lista de los aparatos domésticos que vamos a tener en cuenta se encuentran abajo:

- Televisor
- Nevera
- Luces
- Bomba de calor para calentar el agua
- Otros usos

Ahora se ha de estimar la potencia de cada aparato con las horas de uso para poder sacar un consumo diario para cada aparato y luego para una vivienda entera. Se harán dos tablas, una para los meses de octubre a mayo (Tabla 3) y otra para los meses de junio a septiembre (Tabla 4). A la hora de saber los usos diarios de cada vivienda, se multiplicará por el número de viviendas y se podrá sacar un consumo por mes pico (verano) y mes bajo (resto del año) y anual.

Aparatos	Potencia (W)	Horas de funcionamiento	Consumo diario
Televisor	250	2 horas	500Wh/día
Nevera			1200 Wh/día
Luces	100	2 horas	200Wh/día
Bomba de calor	1000	1 hora	1000Wh/día
Otros usos	500	1 hora	500Wh/día
Total	2150		3400Wh/día

Tabla 3 - Consumo diario meses bajos

La tabla 3 representa el consumo diario de una vivienda, fuera de la temporada de verano. El consumo alcanza 3400Wh/día, si consideramos en esos meses que solo 20 viviendas están ocupadas (La Algameca Chica la Shanghái Cartagena, España fascinante), tenemos un consumo de  $3400 \times 20 = 68 \text{ kWh/día}$  para 20 viviendas. Al nivel de un mes, el consumo sería de  $68 \times 30 = 2040 \text{ kWh/mes}$  para 20 viviendas.

Para los meses de verano, suponemos que tenemos lo siguiente:

Aparatos	Potencia (W)	Horas de funcionamiento	Consumo diario
Televisor	250	2 horas	500Wh/día
Nevera			1200 Wh/día
Luces	100	2 horas	200Wh/día
Otros usos	500	1 hora	500Wh/día
Total	850		2400Wh/día

Tabla 4 - Consumo diario verano

La tabla 4 representa el consumo diario para una vivienda en verano, ese mismo alcanza los 2400Wh/día, si consideramos las 110 viviendas ocupadas durante esos meses, tendremos un consumo de  $2400 \times 110 = 264 \text{ kWh/día}$ . Al nivel de un mes, el consumo sería de  $264 \times 30 = 7920 \text{ kWh/mes}$  para cuando el asentamiento alcanza su máximo en términos de población.

### III. Análisis del viento

La Algameca Chica se ubica en el sur este de España junto a Cartagena, y el clima se considera como mediterráneo cálido árido o subárido (*Cartagena (España) - Wikipedia, la enciclopedia libre*, s. f.). Es una región donde hace bastante calor y con pocos días de lluvia, las precipitaciones están alrededor de los 270 mm anuales. En cuanto al viento, ese recurso constituye uno de los recursos más importantes del campo de Cartagena con vientos dominantes viniendo del Norte Noreste hacia el Este Noreste, que representan el tercer y primer cuadrantes de los flujos del viento (*Cartagena (España) - Wikipedia, la enciclopedia libre*, s. f.). No hay estaciones meteorológicas y la Algameca Chica, por eso los datos que se han recolectado provienen de la estación de Pj Ciprés-Perin que está al oeste de Cartagena y de datos globales para Cartagena. Generando los datos de viento de la estación de Pj Ciprés-Perin, se puede calcular una media de la velocidad de viento entre el primero de enero de 2021 hasta el 28 de junio de 2022 (ver anejo 1.) (*SUREMET*, s. f.). Se obtiene la media siguiente en la Ilustración 4:

Resumen del periodo seleccionado										
MÍNIMA	4,1	8,0	9,1	15	26	53	1.000	1.003	1.008	1,6
PROMEDIO	11,5	16,3	21,8	44	69	90	1.015	1.019	1.023	6,2
MÁXIMA	22,9	29,1	35,0	92	99	99	1.031	1.033	1.036	19,7

Ilustración 4- Media velocidad viento en km/h, suremet.es

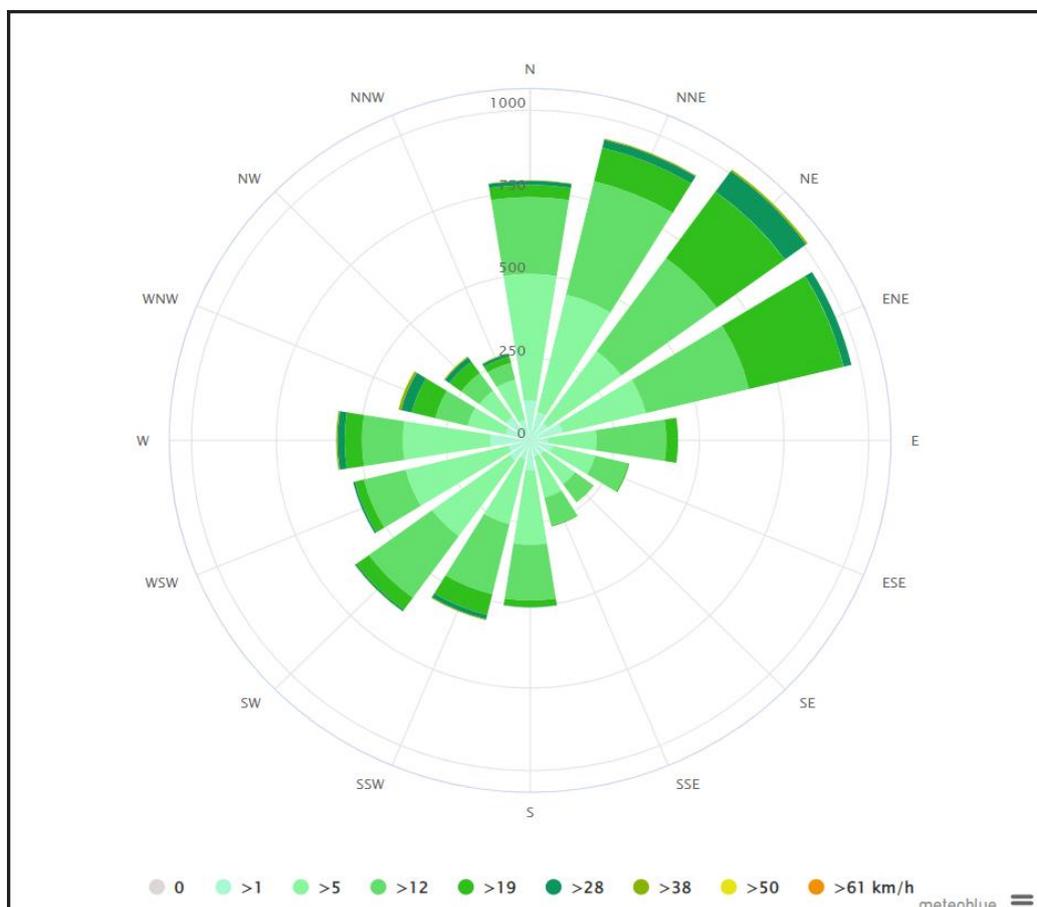


Ilustración 5 - Rosa de vientos Cartagena, meteoblue

La media del viento para esa estación es de 6,2 km/h, con una mínima de 1,6 km/h y una máxima de 19,7 km/h. Ahora, nos interesa conocer la rosa de vientos del campo de Cartagena que se encuentra en la Ilustración 5 (*Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cartagena, s. f.*).

Como se ve en la Ilustración 5, los flujos mayoritarios de viento provienen de la parte Noreste con velocidades del 5 km/h hasta 28 km/h y más.

El recurso eólico en la zona de la Algameca Chica es casi idéntico al de Cartagena, gracias a la herramienta del mapa Ibérico de alta resolución podemos ver con más precisión los datos del viento en la Algameca Chica para una altura de 50 metros (Ilustración 6).

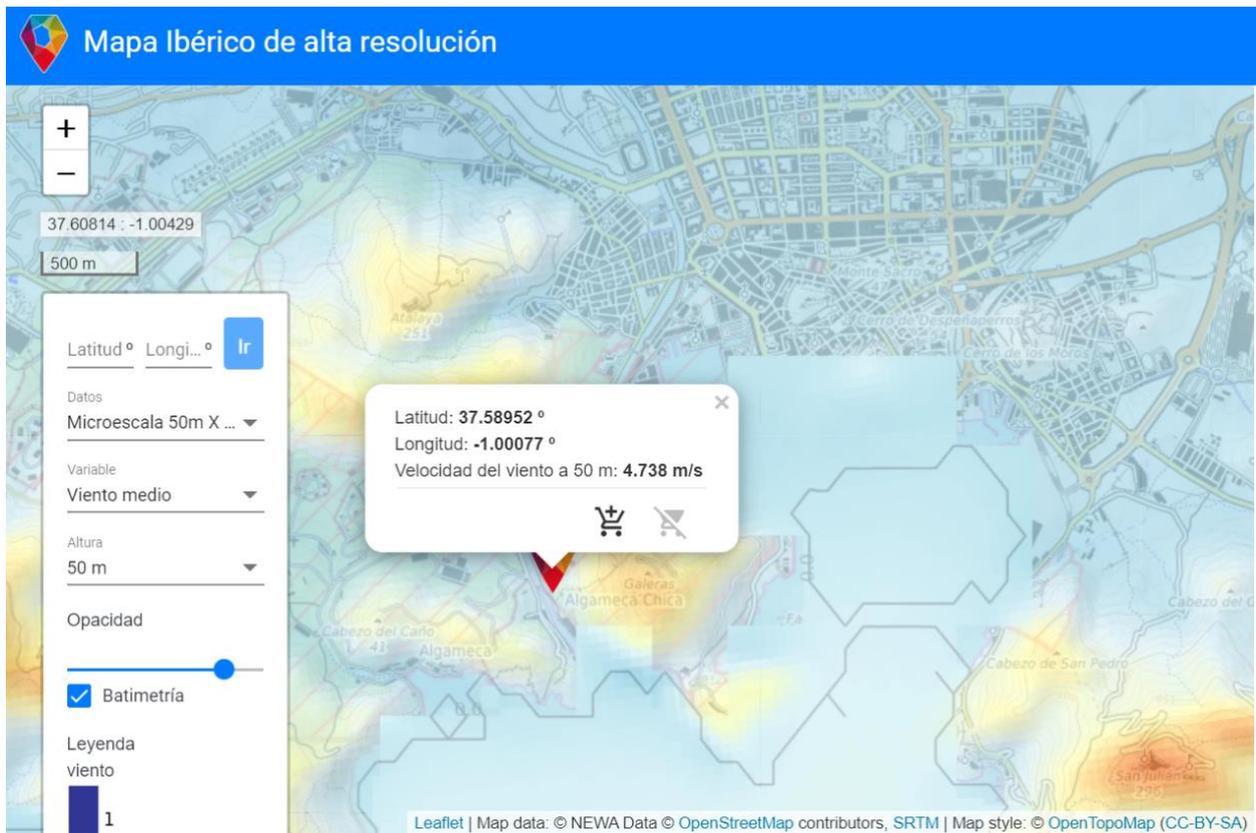


Ilustración 6 - Recurso eólico Algameca Chica, Mapa Ibérico alta resolución

Podemos ver que a una altura de 50 metros la velocidad media del viento es de 4.738 m/s es decir de 17 km/h, además el perfil vertical del viento para esa ubicación es lo que enseña la Ilustración 7.

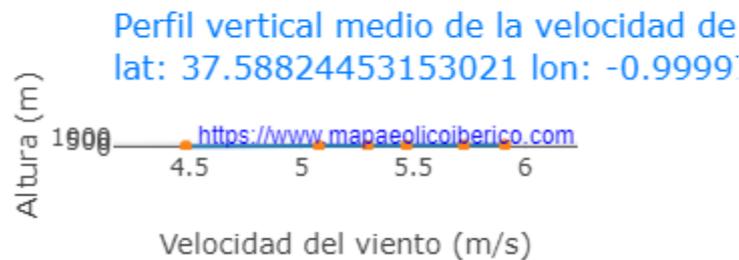


Ilustración 7 - Perfil vertical viento, Mapa Ibérico alta resolución

El viento a la altura de 50 metros tiene un rango de velocidad entre los 4,5 m/s y los 6 m/s, lo que corresponde a una zona favorable a la implementación de aerogeneradores. Sin embargo, las viviendas no están ubicadas a una altura de 50 metros, ya que están al nivel del mar, es decir aproximadamente a los 5-10 metros por encima del nivel del mar.

Es importante saber cuándo sopla el viento, por eso tenemos a nuestra disposición el perfil medio diario que representa las horas de viento y su velocidad media para cada hora como lo enseña la Ilustración 8.

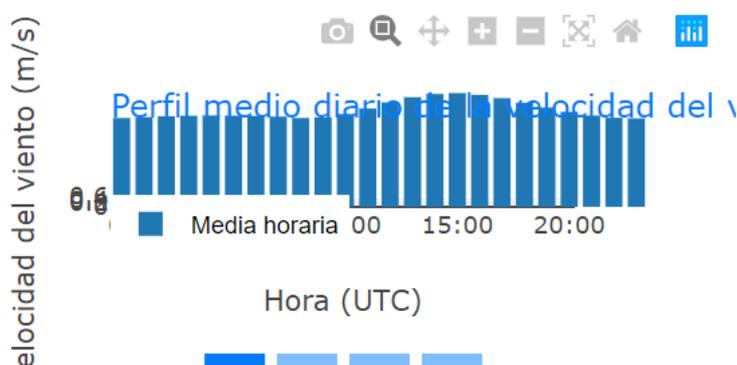


Ilustración 8 - Perfil medio diario del viento, mapa Ibérico de alta resolución

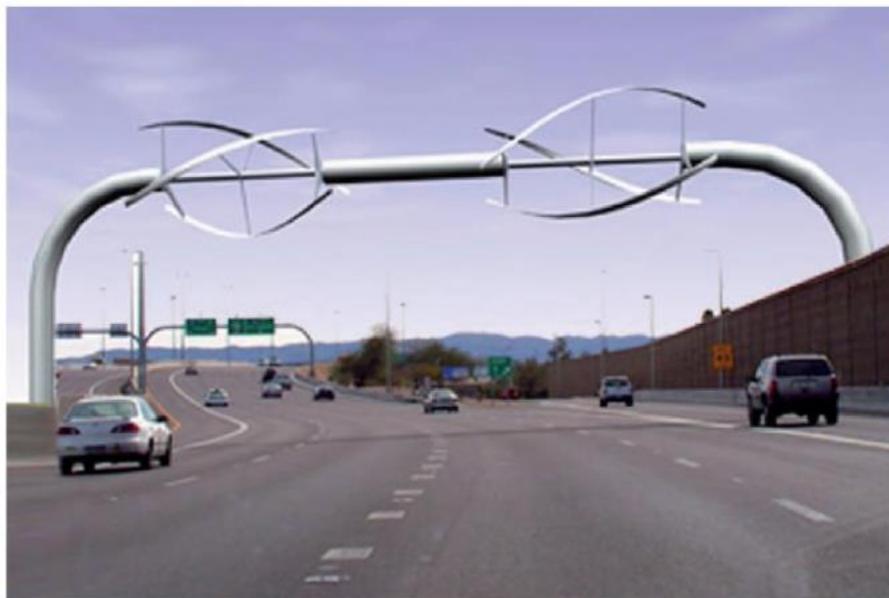
Vemos que el viento sopla desde la 1 de la mañana hasta la 11 de la noche más o menos y con regularidad. Hay un pico a las 3 de la tarde, pero de manera global, es un viento constante y fuerte que sopla a una altura de 50 metros en la aldea de la Algameca Chica.

## SISTEMAS EOLICOS URBANOS

### I. Introducción

La generación de electricidad mediante el recurso eólico se puede lograr a diferentes escalas, hay la gran escala que es conocida por todos con los parques eólicos, pero también existe la escala más pequeña que se llama mini eólica. Ese tipo de generación de electricidad a menor tamaño permite satisfacer la demanda eléctrica para las casas, edificios de oficinas, almacenes y empresas por ejemplo (INIECO, 2011). La mini eólica aún no está completamente desarrollada porque tiene características diferentes de la gran eólica tanto en el plan regulatorio como técnico económico y social (INIECO, 2011). Se estima que se podría generar entre el 30% y el 60% del consumo de energía de una casa y de forma descentralizada lo que permite eliminar las pérdidas debidas al transporte de la electricidad (INIECO, 2011). La ventaja de la mini eólica es que es muy adaptable según los usos, por ejemplo, un aerogenerador de tamaño muy pequeño puede alimentar solo unos aparatos eléctricos tal y como luces y un refrigerador o bien puede alimentar en electricidad una vivienda entera con un aerogenerador de potencia mayor.

La Ilustración 9 muestra un ejemplo de aplicación de la eólica urbana, un concepto de aerogenerador que genera electricidad con la energía de un vehículo al pasar bajo los aerogeneradores en una autovía, donde los vehículos se desplazan a altas velocidades. Ese proyecto se ha desarrollado por un estudiante de arquitectura de la universidad de Arizona y los dos generadores que se pueden ver podrían generar 9.600 kWh de energía anualmente (INIECO, 2011).



*Ilustración 9 - Aprovechamiento del viento generado por la circulación de vehículos, Desarrollo de proyectos de instalaciones energía mini-eólica aislada*

Hemos visto que la mini eólica es bastante flexible ya que se puede instalar en varios ámbitos (INIECO, 2011) :

- El autoconsumo en lugares donde ya existe red eléctrica: sería el caso de una vivienda conectada a la red donde la energía producida es directamente consumida por los varios aparatos que estén funcionando y así se evita comprar esa electricidad.
- Conexión a la red eléctrica en lugares donde existe red, se podría conectar a la red de la compañía eléctrica y vender la energía producida.
- Una combinación de las dos previas condiciones donde se consumiría la energía producida cuando sea necesario y vender los excedentes a la red. Para lograr eso se necesitaría implementar redes inteligentes o smartgrids para redireccionar la energía generada y consumida en un punto.
- El autoconsumo en lugares donde no existe red eléctrica como por ejemplo en granjas o nuestro ejemplo de la Algameca Chica, donde no hay energía y se necesita electricidad para que las personas puedan vivir.

Aún hay muchas mejoras que hacer y los investigadores están trabajando en ello para perfeccionar diversos aspectos como la reducción del ruido, la eliminación de las vibraciones y la reducción del impacto visual. La seguridad es un aspecto primordial y por eso es necesario certificar las máquinas antes de su comercialización (INIECO, 2011).

En España la mini eólica está poca desarrollada y se regula mediante la normativa de la gran eólica, eso hace que se puede desarrollar un mercado de aerogeneradores para la mini eólica competitivo (INIECO, 2011). En los países vecinos de España como Portugal, Italia y Francia tienen regulaciones específicas para la mini eólica, y el país lo más avanzado en este ámbito es Gran Bretaña que tiene como objetivo generar entre el 30% y 40% de la energía eléctrica en 2050 mediante instalaciones de micro generación distribuida en edificios (INIECO, 2011). En el Reino Unido ya cuenta con unas 100.000 instalaciones de micro generación y se dan Certificados Renovables a sus propietarios introduciendo incentivos fiscales para quien produce energía renovable edificios (INIECO, 2011).

Entonces, la mini eólica posee muchas ventajas, además de ser una fuente de energía renovable, también permitiría crear nuevos empleos y así participar en el desarrollo social, económico y ambiental. Además, causa poco impacto visual comparativamente con la gran eólica, es accesible a muchos usuarios sin necesidad de obra civil importante, funciona con vientos moderados, no requiere estudios de viabilidad complicados y puede suministrar electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica como es el caso de la Algameca Chica (INIECO, 2011).

## II. Clasificación

Los aerogeneradores son clasificados en función del uso que se quiere hacer de ellos, y así varía su potencia para poder adaptarse a cualquier tipo de instalación. Las principales diferencias entre la mini eólica y la gran eólica están catalogadas abajo en la Ilustración 11 y más en detalle en la Ilustración 10 más abajo.

<i>Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia</i>			
Denominación	$P_N$ (kW)	$R$ (m) <sup>4</sup>	Aplicaciones
Muy baja <sup>5</sup>	< 1	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación...
	1-10	1-3	Granjas, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), bombeo...
Baja	10-100	3-9	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-diésel), drenaje, tratamiento de aguas...
Media	100-1.000	9-27	Parques Eólicos (terreno complejo).
Alta	1.000-10.000	27-81	Parques Eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	> 10.000	> 81	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. Suponen un salto tecnológico.

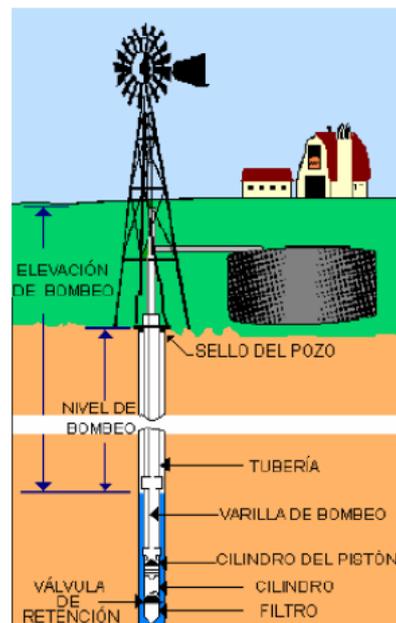
Ilustración 11 - Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia, transparencia clase sistemas eólicos UPCT José Serna Serrano

	Mini eólica	Gran eólica
Altura de los aerogeneradores.	2-20 m	120 m
Diámetro de las aspas.	3 m	90 m
Potencia.	<10 kW	Hasta 3.000 kW
Potencia instalada en España.	7 MW	19.000 MW
Proximidad al lugar de consumo	Si	No

Ilustración 10 - Diferencias básicas entre mini eólica y gran eólica, Desarrollo de proyectos de instalaciones energía mini eólica aislada

Los sistemas de pequeño tamaño solo pueden producir un número reducido de kilovatios hora, sin embargo, esta energía llega mucho más lejos y tiene tanto o más valor para aquellos quienes dependen de ella (Serna Serrano, 2021). Como se ha visto antes, los sistemas de la mini eólica permiten generar electricidad en lugares aislados con un menor impacto ambiental que los aerogeneradores de gran potencia y con una proximidad inmediata con el punto de consumo. Además, las instalaciones son sencillas y los aerogeneradores para la mini eólica pueden funcionar con vientos moderados.

Más allá de eso los molinos de potencia menor también pueden servir para bombear agua, los primeros molinos usando este sistema fueron construidos en 1890 por primera vez (Serna Serrano, 2021), como se puede ver en la Ilustración 12.



*Ilustración 12 - Bombeo de agua mediante un aerogenerador*

### III. Estudio de alternativas

A la hora de elegir diferentes alternativas en cuanto a los aerogeneradores para la Algameca Chica, tenemos que fijarnos primero en la demanda de la comunidad. Hemos visto que como máximo el consumo de todo el asentamiento es de 264 kWh/día, lo que se nos ofrece podrían incluir instalar un aerogenerador de potencia suficiente para cubrir la demanda, o bien instalar varios aerogeneradores de potencia baja y más pequeños. Una opción como la otra tiene sus ventajas y sus desventajas, lo que estudiaremos luego.

Vamos a estudiar cuatro alternativas posibles para la Algameca Chica, analizando los datos técnicos, las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas.

### III.1 Aerogenerador ENAIR E70 PRO

El aerogenerador de ENAIR E70 PRO (Ilustración 13) tiene una potencia de 5500W y su producción diaria se sitúa entorno de los 80kWh/día con un viento medio entre 8 y 12 m/s sabiendo que su rango de funcionamiento es entre los 2 m/s y los 60m/s (*Aerogenerador E70PRO - La última tecnología*, s. f.). Los datos técnicos se pueden encontrar en el anexo 2.



Ilustración 13 - Aerogenerador E70 PRO, Enair

Ese molino, adaptado para la mini eólica, tiene características de la gran eólica, por ejemplo, funciona con un paso variable pasivo de dos velocidades para atraer los vientos de potencia fuerte para mantener la generación de electricidad. Además, este aerogenerador es hecho de una pintura anticorrosiva y anti-salino ideal para la ubicación de la Algameca Chica (*Aerogenerador E70PRO - La última tecnología*, s. f.). El ruido es una preocupación importante en cuanto se trata de aerogeneradores, sin embargo, con ese modelo, el ruido solo está en torno a 1% por encima del ruido ambiente, lo que es inapreciable para nuestro oído (*Aerogenerador E70PRO - La última tecnología*, s. f.). Ese modelo se puede conectar a la red o bien con baterías, la segunda opción siendo la única posible para nuestro caso. El diámetro de su rotor es 4,3m y su longitud lateral es de 3,4m con un peso de 165 kg, siendo un candidato ideal por su tamaño pequeño y su eficiencia.

El diseño de ese aerogenerador es tal y como lo muestra la Ilustración 14:



Ilustración 14 - Componentes aerogenerador 70 PRO

1. Palas de aerogeneradores fabricadas con una nueva generación de tejidos de fibra de vidrio, con un alto poliuretano núcleo y un refuerzo de raíz que ofrece un factor de seguridad de 9.
2. Sistema registrado que permite gestionar pasivamente el ángulo de este nuevo sistema tiene dos velocidades de acción. Los primeros 30 grados están impregnados con ráfagas de viento, los siguientes 15 grados actúan en caso de vientos constantes.
3. El generador tiene un diseño que optimiza la salida manteniendo todos los conductores de cobre en el campo para producir un 15 % más de electricidad.
4. Timón de orientación.
5. Cuerpo diseñado para distribuir todo el peso del aerogenerador hacia el centro de gravedad, haciéndolo mucho más estable y robusto.

6. Electrónica del controlador configurable para coincidir con el tipo de batería o tipo de batería para brindar productividad.
7. Este molino es compatible con la mayoría de los inversores del mercado, se puede conectar a redes tanto monofásicas como trifásicas y permite la colocación en serie de equipos para poder instalar más energía eólica. se puede conectar a redes monofásicas y trifásicas y permite la colocación de equipos en serie para poder instalar más energía eólica.

La Ilustración 15 nos presenta la producción anual en función de la velocidad del viento para ese aerogenerador.



*Ilustración 15 - Producción anual aerogenerador 70 PRO, Enair*

Como hemos visto antes, en la Algameca Chica, la velocidad media del viento es de 5 m/s más o menos, con esa velocidad, se podría producir anualmente 6900 kWh. Ahora, se ha de comprobar si un aerogenerador pudiera cubrir la demanda de toda la aldea durante un día del verano. El consumo diario para el verano era de 264 kWh/día para todas las viviendas. Con una velocidad del viento de 5m/s, la producción anual de ese modelo es de 6900 kWh, por día es de  $6900/365= 18,9$  kWh, es decir 19 kWh/día para un aerogenerador, además,  $264/19=13,8$  es decir 14. Se tendrá que instalar 14 de esos aerogeneradores para alcanzar el consumo diario de las 110 viviendas de la Algameca. Adicionalmente, este tipo de aerogenerador se puede instalar junto las viviendas, aunque habrá que analizar donde instalarlos para repartir bien la producción de electricidad, lo que podría ser un reto. Sin embargo, significaría implementar una mini red dentro de la comunidad para conectar los aerogeneradores a varias casas y no a una sola, lo que implica costes adicionales.

### III.2 Aerogenerador ENAIR 200L

El aerogenerador ENAIR 200L (Ilustración 16) es un modelo de tamaño más grande que el anterior, eso significa con una potencia mayor. En efecto, su potencia nominal es de 10kW y su producción diaria puede alcanzar los 150-200kWh/día con un viento medio de 9m/s (*Aerogenerador E200L - La última tecnología*, s. f.). Los datos técnicos se pueden encontrar en el anexo 3.



*Ilustración 16 - Aerogenerador 200L, Enair*

El aerogenerador 200L tiene las mismas características que el 70 PRO en cuanto a propiedades anticorrosivas y a su sonido muy bajo pero dispone de un control de paso variable activo de protección pasiva, que proporciona una posición de viento variable que cambia la potencia de salida para cada rotación del rotor y velocidad del viento de baja a alta velocidad. Existe una combinación entre el aerogenerador grande por su electrónica avanzada y el mini aerogenerador por su mecánica, que puede maximizar la generación de energía (*Aerogenerador E200L - La última tecnología*, s. f.).

La principal diferencia radica en las características eléctricas y de potencia del aerogenerador, como por ejemplo su diseño (Ilustración 17) (*Aerogenerador E200L - La última tecnología*, s. f.).



Ilustración 17 - Componentes aerogenerador 200L, Enair

1. Palas del aerogenerador con un perfil optimizado con apoyo de simulaciones en Computational Fluid Dynamics y confeccionadas con los nuevos compuestos de resinas basadas en uretano acrílico y epoxi mezcladas con fibras de vidrio y carbono compuestas.
2. Paso variable activo de las aspas con seguridad pasiva, esto proporciona un control preciso de la posición de las aspas y también está protegido automáticamente en caso de falla.

3. Generador.
4. Sistema hidráulico basado en un sensor de posición muy que diagnosticará la colocación de las palas en función del control.
5. La góndola es hecha de acero y es una instalación donde se clavan varios componentes y la cual sostiene todas las cargas decretadas en la Norma IEC 61400-2.
6. El anemómetro es un sensor que detecta el viento, es una herramienta indispensable para la toma de decisiones sobre la conducta del aerogenerador, con el objetivo de desarrollar su rendimiento y seguridad.
7. Sistema de control e inversor con más de 600 parámetros de control y que permiten mejorar la máquina para acondicionarla al lugar de la instalación. Además, aumenta la productividad extraída del generador con algoritmos que determinan el punto de potencia máxima del aerogenerador.

La Ilustración 18 nos presenta la producción anual de electricidad para ese aerogenerador en función de las diferentes velocidades del viento.

## PRODUCCIÓN ANUAL

Energía anual (Wh)

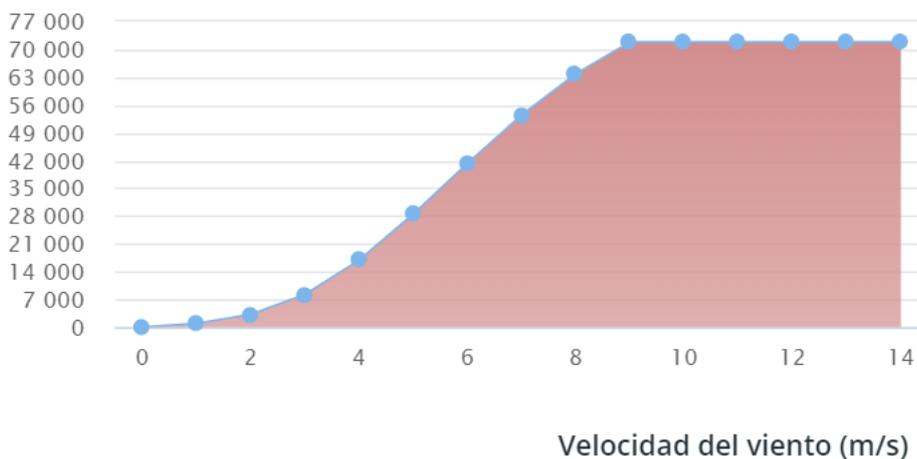


Ilustración 18 - Producción anual aerogenerador 200L, Enair

Con una velocidad media de 5m/s en la Algameca Chica, con ese aerogenerador se podría generar hasta 28507kWh cada año. Sabemos que por un día de verano la demanda necesaria de la Algameca Chica es de 264 kWh/día. En un día un aerogenerador 200L puede generar  $28507/365=78\text{kWh/día}$  para una velocidad de viento de 5m/s. Ahora si queremos conocer el número de aerogenerador necesario, tenemos que dividir los 264kWh/día por los 78kWh/día, lo que nos da 3,38, es decir 4 aerogeneradores de tipo 200L a instalar para cubrir toda la

demanda de la Algameca Chica. Sin embargo, esos molinos son más grandes y no se pueden instalar en cualquier lugar. Además, se necesitaría la implementación de una mini red, con inversores que pueden soportan los 4 aerogeneradores, hay datos más allá de eso que hay que tener en cuenta.

### III.3 Aerogenerador Bornay Wind 25.3+

El aerogenerador 25.3+ (Ilustración 19) es de la compañía Bornay que es especializada en la mini eólica, paneles solares, baterías y electrónica. El modelo 25.3+ es el más potente de sus tres modelos con una potencia nominal de 5000W para una velocidad de viento de 12m/s (*Wind + / Bornay - es, s. f.*). Los datos técnicos se pueden encontrar en el anexo 4.



Ilustración 19 - Aerogenerador Wind 25.3+, Bornay

Ese aerogenerador de 3 palas posee un sistema de control pasivo por inclinación y un regulador electrónico lo que permite a las palas cambiar de ángulo de ataque para sacar al máximo la energía del viento y así generar más electricidad (*Wind + / Bornay - es, s. f.*). Las aplicaciones posibles con el molino 25.3+ son diversificadas, yendo de la conexión a la red, pasando por el bombeo de agua, uso para los Telecomm y finalmente también se usa para la electrificación rural como nuestro caso de estudio (*Wind + / Bornay - es, s. f.*). El rango de funcionamiento de ese aerogenerador se sitúa con vientos entre los 2m/s y los 30m/s con una velocidad para arranque de 3m/s, lo que vendría bien para la Algameca Chica que tiene una velocidad media del 5m/s (*Wind + / Bornay - es, s. f.*). Según Bornay, la producción anual de electricidad en función de la velocidad del viento es la siguiente (Ilustración 20).

## Energía

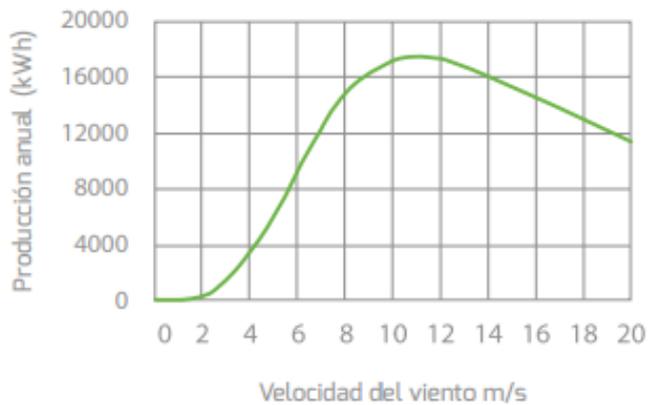


Ilustración 20 - Producción anual aerogenerador 25.3+, Bornay

Para una velocidad del viento de 5m/s en nuestro caso, se podrían sacar aproximadamente 6000kWh al año. Es decir que por día la producción sería de  $6000/365 = 16,5$  kWh/día. Con un consumo de 264 kWh/día como máximo en la Algameca Chica, se tendría que instalar  $264/16,5 = 16$  aerogeneradores Bornay 25.3+. Esas máquinas tienen más o menos el mismo tamaño que los aerogeneradores Enair 70 PRO, lo que facilita su implementación, aunque, como para los demás aerogeneradores, haría falta construir una mini red dentro de la Algameca Chica para conectar todas las viviendas con los aerogeneradores.

### III.4 Conclusión

Para concluir, hemos analizado 3 modelos de aerogeneradores de la mini eólica para una aplicación en la Algameca Chica, desconectado de la red y con una demanda máxima de 264kWh/día. Los 3 podrían ser útiles, pero a la hora de empezar un proyecto como este, se ha de elegir un modelo que sea el mejor para este caso y ese tipo de aplicación. Para hacer esa elección, se ha de sacar diferentes criterios con los cuales vamos a poder comparar cada aerogenerador con el otro. En efecto, hay muchos aspectos que analizar, que sea económico, social, ambiental o tecnológico. La parte más complicada en estudiar es el sitio de implementación de los molinos y sobre todo como conectarlos, con baterías o no, y muchos más otras características que son propias a cada aerogenerador y que van a entrar en juego a la hora de elegir un modelo adaptado.

# LA TOMA DE DECISIONES

## I. Introducción

La toma de decisión es un proceso que cada uno usa cada día, puede ser para asuntos sin importancia hasta asuntos muy importantes. Ese proceso ocurre tanto en situaciones laborales que personales, por ejemplo, al vestirse uno tiene que elegir entre varias alternativas de prendas que tiene, y para elegir, tiene que decidir de criterios y objetivos. Aunque el proceso sea sencillo para una elección de prendas, puede que sea más difícil cuando toca asuntos profesionales, de proyectos importantes, como el de la Algameca Chica. Por eso, herramientas son necesarias para llevar a cabo el proyecto y cumplir las metas. La complejidad de la toma de decisiones ha impulsado el avance de modelos de preferencia, herramientas que brindan un enfoque al problema de decisión multicriterio de una manera científica y metódica, buscando beneficiar al proceso y ayuda al tomador de decisiones (Gómez & Cabrera, 2008). La Ilustración 21 permite representar la técnica de toma de decisiones.

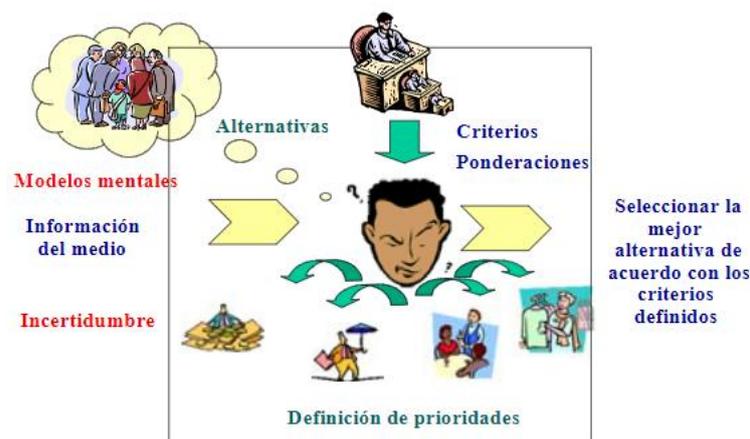


Ilustración 21 – Procedimiento para la evaluación de un problema de decisión multicriterio

Como se ha visto antes, la toma de decisiones multi criterio es un problema cotidiano, cualquier actividad implica de una u otra manera, la estimación de un grupo de alternativas en términos de un grupo de criterios de decisión, donde los criterios están en enfrentamiento los unos con otros (Gómez & Cabrera, 2008).

## II. Las diferentes metodologías

En esta parte revisaremos los dos métodos más usados y conocidos que son el AHP y el TOPSIS.

### II.1 AHP

El AHP, o bien, Proceso Analítico Jerárquico fue implementado en los años 1960 por *Thomas Saaty* para crear una herramienta para apoyar a las personas encargadas de la toma de decisiones. Hoy en día, su método es muy usado y es la base de muchos softwares para las tomas de decisiones complejas (Gómez & Cabrera, 2008). El método AHP es para estructurar, medir y sintetizar gracias a un modelo matemático que evalúa las alternativas teniendo en cuenta diferentes criterios y está fundado en el principio que las costumbres y nuestra experiencia y el conocimiento de las figuras son tan significativos como los datos usados en el procedimiento (Gómez & Cabrera, 2008).

AHP se basa en el principio de confrontación entre varios elementos para crear matrices a partir de estas confrontaciones, luego usa álgebra matricial para priorizar entre elementos de nivel, esto se puede ver más claramente en el desarrollo de que se encuentra en la siguiente sección de este artículo (Gómez & Cabrera, 2008). Las principales ventajas de este modelo son que el efecto cambia a un “nivel superior” en el “nivel inferior” a estudiar, que da una guía sobre el sistema y proporciona una visión global de los números, sus metas y permite flexibilidad para hacer frente a cambios en los elementos para que no dañen el resultado (Gómez & Cabrera, 2008).

La primera etapa es estructurar el problema en jerarquía, analizando el objetivo con los criterios y las alternativas para tener una visión global del problema (Ilustración 22).

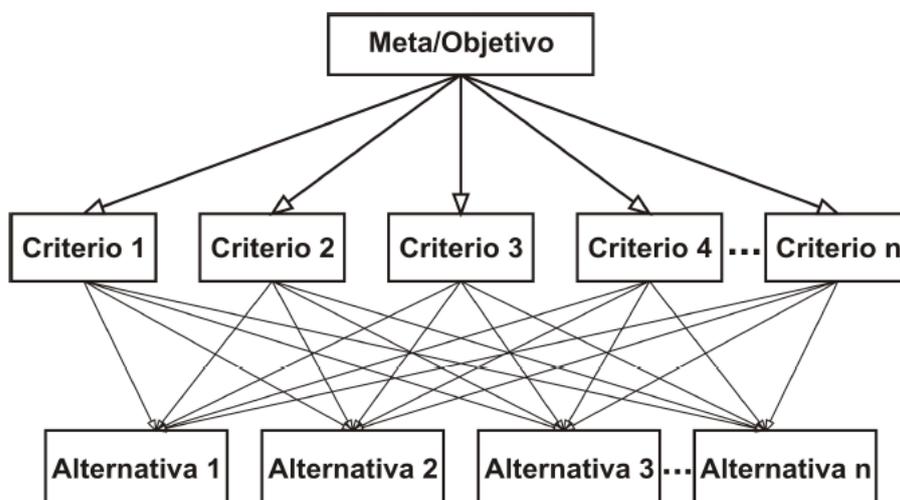


Ilustración 22 - Estructura AHP

El segundo paso sería comparar los criterios y determinar la importancia de cada criterio en función de los demás. Eso se hace gracias a la ayuda de un experto y de la escala de Saaty (Ilustración 23) (Saaty, 1987). Se genera una matriz y se calculan los pesos mediante la media geométrica que es una estimación del vector propio de la matriz. Luego se ha de calcular el  $\lambda_{max}$  de la matriz mediante la fórmula siguiente  $\frac{(\prod_j r_{ij})^{1/n}}{\sum_i (\prod_j r_{ij})^{1/n}}$ ;  $n$  siendo la dimensión de la matriz.

ESCALA FUNDAMENTAL DE COMPARACION PAREADA		
Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos	Utilización para graduación más fina de juicios

Ilustración 23 - Escala Saaty

Con el  $\lambda_{max}$  se calcula el Índice de Consistencia (IC) con la fórmula  $\frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$  y finalmente con el índice de consistencia se puede obtener la ratio de consistencia gracias a la fórmula siguiente  $RC = IC/RI$ ; RI siendo el índice de consistencia aleatorio determinado por la tabla siguiente. La ratio de consistencia ha de ser inferior al 10% o significaría que el experto hizo mal la comparación entre los criterios.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452

Tabla 5 - Índice de consistencia aleatorio

Ya se obtuvieron los pesos de los criterios, ahora se ha de comparar las alternativas entre ellas y para cada criterio. El método usado es exactamente el mismo que el para los criterios, hacer una matriz comparando las alternativas con la escala de Saaty y luego sacar la ratio de consistencia y comprobar si está bajo los 10%. Esa etapa permite obtener los pesos de cada alternativa para cada criterio.

El próximo paso por dar es establecer las prioridades totales asociadas a cada alternativa (Ilustración 24).

Por fin, se ha de calcular el producto entre el peso del criterio por el peso de la alternativa y eso para todos los criterios con cada alternativa. Esos cálculos sacan un resultado para cada alternativa y el ranking se hace de la manera siguiente. La alternativa con el resultado más grande es la mejor alternativa y la con el resultado más pequeño es la peor.

	$w_1$	$w_2$	...	$w_j$	...	$w_n$
	$C_1$	$C_2$	...	$C_j$	...	$C_n$
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	...	...	$x_{1n}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	...	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mj}$	...	$x_{mn}$

Ilustración 24 - Matriz de decisión

## II.2 TOPSIS

El método TOPSIS permite encontrar la mejor solución posible entre un grupo de alternativas establecidas por un medio basado en las matemáticas. A cada una de las alternativas se les aplica un algoritmo según algunos puntos de referencia que son los criterios, y los resultados obtenidos se colocan en una tabla para formar una matriz de decisión, luego los datos de la matriz son transformados en un plano cartesiano que será utilizado para poder identificar el principio básico del método TOPSIS seleccionando las alternativas que tienen una distancia más corta de la alternativa ideal positiva y la distancia más larga de la alternativa ideal negativa (Sánchez-Hernández & Pérez-Domínguez, 2021).

De manera más clara, se verá el método TOPSIS, que será la base de este trabajo, en el caso práctico siguiente (Sánchez-Hernández & Pérez-Domínguez, 2021).

Supongamos que una empresa desea buscar proveedores para obtener un producto X para cumplir su demanda. Los criterios establecidos por la empresa son los siguientes: C1: Precio; C2: Tiempo de entrega; C3: Garantía; C4: Calidad del producto. Después de una investigación se han elegidos 5 proveedores, ahora se puede hacer la matriz de decisión siguiente (Tabla 6).

	C1	C2	C3	C4
Proveedor A	\$300	7 días	45 días	4 estrellas
Proveedor B	\$250	4 días	30 días	4 estrellas
Proveedor C	\$300	7 días	30 días	5 estrellas
Proveedor D	\$275	10 días	60 días	4 estrellas
Proveedor E	\$225	5 días	45 días	3 estrellas

Tabla 6 - Matriz de decisión (1)

El criterio C1 es un criterio de coste a minimizar, la empresa busca una solución la más barata posible. El C2 es un criterio de coste a minimizar, ya que buscan un método de entrega rápido.

El C3 es un criterio de beneficio a maximizar, a la empresa le gustaría tener lo más tiempo posible de garantía. Por fin el C4 es un criterio de beneficio a maximizar, en efecto, la empresa quiere productos de calidad elevada.

El primer paso consiste a normalizar la matriz de decisión, gracias a la formula siguiente  $\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}}$  que se aplica a toda la matriz para obtener los resultados en rojos de la Tabla 7.

	C1	C2	C3	C4
Proveedor A	\$300	7 días	45 días	4 estrellas
Proveedor B	\$250	4 días	30 días	4 estrellas
Proveedor C	\$300	7 días	30 días	5 estrellas
Proveedor D	\$275	10 días	60 días	4 estrellas
Proveedor E	\$225	5 días	45 días	3 estrellas
	607.2478	15.4596	97.2111	9.0553

Tabla 7 - Matriz de decisión (2)

Ahora se debe aplicar la segunda ecuación  $\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}}$  lo que nos da la matriz siguiente (Tabla 8).

	C1	C2	C3	C4
Proveedor A	0.4940	0.4527	0.4629	0.4417
Proveedor B	0.4116	0.2587	0.3086	0.4417
Proveedor C	0.4940	0.4527	0.3086	0.5521
Proveedor D	0.4528	0.6466	0.6172	0.4417
Proveedor E	0.3705	0.3234	0.4629	0.3312
Max/Min	Min	Min	Max	Max

Tabla 8 - Matriz de decisión (3)

La empresa otorgo porcentajes según sus necesidades de mayor interés y de acuerdo con sus criterios, se pueden ver en la tabla siguiente (Tabla 9) en azul con los resultados calculados en función de los resultados anteriores. En la tabla siguiente se han ponderado las alternativas mediante los pesos de los criterios (en azul) y se han obtenido las soluciones ideales, una positiva y otra negativa.

	C1	C2	C3	C4
	30%	20%	20%	30%
Proveedor A	0.148	0.091	0.093	0.133
Proveedor B	0.124	0.052	0.062	0.133
Proveedor C	0.148	0.091	0.062	0.166
Proveedor D	0.136	0.129	0.123	0.133
Proveedor E	0.111	0.065	0.093	0.099
Solución ideal positiva A+	0.111	0.052	0.123	0.166
Solución ideal negativa A-	0.148	0.129	0.062	0.099

Tabla 9 - Matriz de decisión (4)

Después se aplica la ecuación  $\delta_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^+)^2}$  para obtener la solución ideal positiva y la ecuación  $\delta_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_i^-)^2}$  para obtener la solución ideal negativa. Los resultados se encuentran en la tabla siguiente (Tabla 10).

Alternativas	Solución positiva	Solución negativa
Proveedor A	0.005	0.004
Proveedor B	0.005	0.008
Proveedor C	0.007	0.006
Proveedor D	0.008	0.005
Proveedor E	0.006	0.007

Tabla 10 - Distancias de las soluciones negativas y positivas

Finalmente, aplicando la ecuación  $P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$  se pueden calcular los resultados y rankear los mejores proveedores (Tabla 11).

Alternativas	Resultado	Rank
Proveedor A	0.418	4
Proveedor B	0.604	1
Proveedor C	0.468	3
Proveedor D	0.394	5
Proveedor E	0.541	2

Tabla 11 - Resultados finales

Se destaca el proveedor B que según el método TOPSIS, es el más adecuado y apto para la empresa.

## APLICACIÓN DEL METODO AHP

El objetivo de ese trabajo es encontrar un modelo de aerogenerador para la Algameca Chica que sea el más adecuado posible. Para eso, como se ha visto antes, se necesita comparar los modelos de molinos anteriores mediante criterios. Esos criterios tienen que ser comparados los unos con los otros por expertos para sacar una matriz que nos ayudará con el método TOPSIS y AHP. Luego, se asignarán valores para cada criterio y para cada alternativa, con eso se podrá usar el método AHP para determinar el aerogenerador ideal. Igualmente se aplicará el método TOPSIS después para determinar cuál de los dos métodos queda mejor a este caso de estudio.

### I. Elección de los criterios

La elección de los criterios de comparación es un elemento determinante a la hora de elegir un modelo de aerogenerador adecuado, hay que tener en cuenta los criterios más importantes. Sin embargo, hay categorías de criterios que se destacan tal y como los criterios económicos, medio ambientales y tecnológicos/técnicos.

#### I.1 Criterios económicos

Los criterios económicos son importantes a la hora de cumplir con la rentabilidad del proyecto, en primer lugar, el primer criterio económico que se elegirá será el precio de los aerogeneradores y otros costes iniciales. En efecto, es un elemento con un peso importante, ya que los diferentes modelos vienen con potencias diferentes y entonces con precios que pueden ser muy diferentes. El criterio C1 será la inversión inicial.

El segundo criterio económico que se puede tener en cuenta es el coste de mantenimiento, en efecto los aerogeneradores necesitan mantenimiento para seguir funcionando y sacar la mayor producción de energía posible y eso implica un coste adicional que no se ha de dejar de lado. El criterio C2 será el coste de mantenimiento.

#### I.2 Criterio medioambiental

Hoy en día, el aspecto medioambiental se destaca de los demás, siendo unos de los más importantes que hay que tener en cuenta. Dentro de ese ámbito se encuentran varios criterios y todos tienen su importancia. Sin embargo, a la hora de hacer un análisis multicriterio se ha de comprobar cuales podrían ser los más compatibles con el contexto y con el proyecto. Un criterio que tiene su importancia es el ahorro de CO<sub>2</sub>, entre más demanda está alcanzada menos emisiones de CO<sub>2</sub>, serán generados. El criterio C3 es el ahorro de CO<sub>2</sub>.

### I.3 Criterios técnicos y sociales

Los elementos tecnológicos y técnicos tienen su importancia en el proceso del análisis multicriterio. Para este trabajo, hemos calculado la potencia generada para cada aerogenerador en función de la velocidad del viento y de las necesidades de la aldea. La eficiencia de los aerogeneradores es un elemento relevante, en efecto, un aerogenerador con mayor eficiencia generará más electricidad y costará menos a mantener. Entonces el criterio C4 es la eficiencia de los aerogeneradores. Otro criterio que se ha de tener en cuenta es la facilidad de conexión e implementación en función de las características eléctricas de los aerogeneradores y de la disposición de la Algameca Chica, ese criterio, C5, es el de facilidad de conexión e implementación. Se suele olvidar el impacto social de tales instalaciones, pero es uno de los más importantes ya que sin la aprobación de las personas en un proyecto como ese, de comunidad energética local, el proyecto puede fallar. El aspecto que se va a considerar es el impacto visual que va a ser el criterio C6. En efecto, hay varios debates sobre la molestia que pueden generar los aerogeneradores a la hora de su instalación en un entorno urbano, por eso es un criterio que hay que tener en cuenta.

## II. Las alternativas

Se ha visto previamente 3 tipos de aerogeneradores urbanos, cada uno con sus características. Para perfeccionar este trabajo, vamos a considerar 9 alternativas. Se conocen las necesidades energéticas de la Algameca Chica, en cambio no podemos considerar únicamente el caso donde toda la demanda está alcanzada. Ha de tomar en cuenta varios casos y se ha elegido para este trabajo las alternativas siguientes.

- *Alternativa 1:* el 100% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 70 PRO
- *Alternativa 2:* el 80% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 70 PRO
- *Alternativa 3:* el 60% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 70 PRO
- *Alternativa 4:* el 100% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 200L
- *Alternativa 5:* el 80% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 200L
- *Alternativa 6:* el 60% de la demanda está alcanzada y generada por el molino ENAIR 200L

- *Alternativa 7:* el 100% de la demanda está alcanzada y generada por el molino Bornay Wind 25.3+
- *Alternativa 8:* el 80% de la demanda está alcanzada y generada por el molino Bornay Wind 25.3+
- *Alternativa 9:* el 60% de la demanda está alcanzada y generada por el molino Bornay Wind 25.3+

### III. Metodología y aplicación de AHP

#### III.1 La comparación de los criterios

El primer paso en el método AHP es la comparación de los criterios para sacar sus pesos y así poder comparar las alternativas después. Esta etapa se ha de realizar por un experto, en cambio, a pesar de haber contactado varias empresas, ninguna contestó. En ese caso tuve que contactar compañeros de trabajo que estudian ingeniería para darles encuestas y que elijan el orden de los criterios y luego la comparación entre todos los criterios. Con las 5 encuestas que hicieron mis compañeros, solamente una se ha destacado por su ratio de consistencia inferior al 10%. Las demás eran encima de los 10%, por eso las descarté de mi trabajo y solo tuve en cuenta la encuesta consistente que está abajo (Ilustración 25). Esa persona elijo orden de criterio del más importante al menos importante lo siguiente: C1>C5>C2>C4>C3>C6.

		Aj	Aj	Aj	Aj	Aj	Aj					
		C1	C5	C2	C4	C3	C6	Media geométrica				λ max
Ai	C1	1	1	3	3	4	6	2.4495	0.2897	1.7987	6.5451	
Ai	C5	1	1	4	5	7	9	3.2865	0.3887	2.4408	CI	
Ai	C2	0.3333	0.25	1	0.3333	3	5	0.8642	0.1022	0.6931	0.1090	
Ai	C4	0.3333	0.2	3	1	1	5	1.0000	0.1183	0.8092	CR	
Ai	C3	0.25	0.1429	0.3333	1	1	5	0.6249	0.0739	0.4902	0.0871	<0,1
Ai	C6	0.1667	0.1111	0.2	0.2	0.2	1	0.2300	0.0272	0.1776		
							Suma	8.4551	1			

Ilustración 25 - Encuesta comparación criterios AHP

#### III.2 La comparación de las alternativas

Las alternativas fueron comparadas por yo mismo según la escala de Saaty, usando el mismo método que para la comparación de los criterios. Abajo se encuentra un ejemplo de matriz para los criterios C1 y C2 (Ilustración 26). Las demás matrices se encuentran en anexo 5.

C1/C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	Media geométrica			$\lambda_{max}$
A1	1	1/2	1/4	5	6	7	1/2	1/3	1/5	0.9853	0.0753	0.82	10.1468
A2	2	1	1/2	6	7	8	2	1/3	1/5	1.5257	0.1166	1.20	
A3	4	2	1	7	8	9	5	3	1/2	3.1466	0.2404	2.33	CI
A4	1/5	1/6	1/7	1	1/2	1/3	1/4	1/6	1/8	0.2522	0.0193	0.19	0.1433
A5	1/6	1/7	1/8	2	1	1/5	1/4	1/5	1/7	0.2733	0.0209	0.21	
A6	1/7	1/8	1/9	3	5	1	1	1/3	1/5	0.5009	0.0383	0.42	CR
A7	2	1/2	1/5	4	4	1	1	1/2	1/4	0.9032	0.0690	0.67	0.099
A8	3	3	1/3	6	5	3	2	1	1/2	1.8627	0.1423	1.41	
A9	5	5	2	8	7	5	4	2	1	3.6394	0.2780	2.77	
									Total	13.08929659	1		

Ilustración 26 - Comparación alternativas para C1 y C2 AHP

Como se ha dicho antes, lo que viene es poner los pesos obtenidos en una matriz (Ilustración 27) para luego sacar la matriz final (Ilustración 28).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pesos	0.291	0.39	0.098	0.119	0.074	0.027
A1	0.0753	0.0753	0.2941	0.2519	0.2159	0.1556
A2	0.1166	0.1166	0.2187	0.2519	0.2159	0.1556
A3	0.2404	0.2404	0.2187	0.2519	0.2159	0.1556
A4	0.0193	0.0193	0.0767	0.0575	0.1038	0.1556
A5	0.0209	0.0209	0.0568	0.0502	0.0943	0.1556
A6	0.0383	0.0383	0.0636	0.0502	0.0943	0.1556
A7	0.0690	0.0690	0.0289	0.0287	0.0199	0.0222
A8	0.1423	0.1423	0.0218	0.0287	0.0199	0.0222
A9	0.2780	0.2780	0.0208	0.0287	0.0199	0.0222

Ilustración 27 - Matriz ponderada AHP

### III.3 El resultado final

Con los resultados obtenidos, se calcula la suma de cada línea para cada alternativa y se sacan los valores finales con el ranking que se puede ver en la Ilustración 28. Según el ranking la mejor alternativa con el método AHP es con el aerogenerador ENAIR 70 PRO y con el 60% de la demanda alcanzada.

								Ranking
A1	0.0219	0.0294	0.0288	0.0300	0.0160	0.0042	0.1302	4
A2	0.0339	0.0455	0.0214	0.0300	0.0160	0.0042	0.1510	3
A3	0.0700	0.0938	0.0214	0.0300	0.0160	0.0042	0.2353	1
A4	0.0056	0.0075	0.0075	0.0068	0.0077	0.0042	0.0394	8
A5	0.0061	0.0081	0.0056	0.0060	0.0070	0.0042	0.0369	9
A6	0.0111	0.0149	0.0062	0.0060	0.0070	0.0042	0.0494	7
A7	0.0201	0.0269	0.0028	0.0034	0.0015	0.0006	0.0553	6
A8	0.0414	0.0555	0.0021	0.0034	0.0015	0.0006	0.1045	5
A9	0.0809	0.1084	0.0020	0.0034	0.0015	0.0006	0.1969	2

Ilustración 28 - Matriz final AHP

# APLICACIÓN DEL METODO TOPSIS-AHP

## I. Metodología

Ese método se va a basar sobre los resultados del método AHP, y más especialmente en la matriz de comparación de los criterios para AHP. Los datos de los pesos de los criterios del método AHP serán usados para aplicar el método TOPSIS.

La primera etapa para TOPSIS es determinar la matriz de decisión, para eso tenemos 3 criterios cuantitativos que son los criterios de la inversión inicial C1, del coste de mantenimiento C2 y del ahorro en CO<sub>2</sub> C3, y 3 criterios cualitativos que son el C4 eficiencia, C5 facilidad de conexión e implementación y C6 aspecto visual. Los 3 últimos criterios fueron usados mediante una escala de impacto (Ilustración 29).

<b>C4</b>	<b>Escala impacto 1-10</b>
	1 menos eficiente y 10 muy eficiente
<b>C5</b>	<b>Escala impacto 1-10</b>
	1 muy difícil de implementar y 10 muy fácil de implementar
<b>C6</b>	<b>Escala impacto 1-10</b>
	1 impacto visual débil 10 impacto visual fuerte

Ilustración 29 - Escala de impacto TOPSIS

Los datos necesarios para los criterios C1 C2 y C3 se encuentran en la Ilustración 30 e Ilustración 31.

<b>C1</b>		Precio aerogenerador + coste instalacion 7000€	
	ENAIR 70 PRO	13000€ unitario	
	ENAIR E200L	80000€ unitario	
	Bornay Wind 25.3+	10000€ unitario	
<b>C2</b>		3%/año del coste de inversion inicial	
<b>C3</b>		Factor de emision de 0,430 kg CO <sub>2</sub> eq/kWh	

Ilustración 30 - Datos TOPSIS (1)

Para cubrir el 100% de la demanda de 264 kWh/dia:		
<b>A1:</b>	Produce 19kWh/dia	$264/19 = 14$ aerogeneradores
<b>A4:</b>	Produce 78 kWh/dia	$264/78 = 4$ aerogeneradores
<b>A7:</b>	Produce 16,5 kWh/dia	$264/16,5 = 16$ aerogeneradores
Para cubrir el 80% de la demanda, 211,2 kWh/dia:		
<b>A2:</b>	Produce 19kWh/dia	$211,2/19 = 12$ aerogeneradores
<b>A5:</b>	Produce 78kWh/dia	$211,2/78 = 3$ aerogeneradores
<b>A8:</b>	Produce 16,5 kWh/dia	$211,2/16,5 = 13$ aerogeneradores
Para cubrir el 60% de la demanda, 158,4 kWh/dia:		
<b>A3:</b>	Produce 19kWh/dia	$158,4/19 = 9$ aerogeneradores
<b>A6:</b>	Produce 78kWh/dia	$158,4/78 = 2$ aerogeneradores
<b>A9:</b>	Produce 16,5 kWh/dia	$158,4/16,5 = 10$ aerogeneradores

Ilustración 31 - Datos TOPSIS (2)

Con esos datos se pueden calcular los precios totales para el coste de inversión de cada alternativa, el coste de mantenimiento y del ahorro de CO<sub>2</sub> gracias al factor de emisión de un aerogenerador que es entorno al 430g CO<sub>2</sub> eq/kWh generado.

Se obtiene la matriz de decisión siguiente (Ilustración 32).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
<b>Pesos</b>	<b>0.291</b>	<b>0.39</b>	<b>0.098</b>	<b>0.119</b>	<b>0.074</b>	<b>0.027</b>
A1	189000	5670	41434.8	5	7	4
A2	163000	4890	33147.84	5	7	4
A3	124000	3720	24860.88	5	7	4
A4	327000	9810	41434.8	8	4	8
A5	247000	7410	33147.84	8	4	8
A6	167000	5010	24860.88	8	4	8
A7	167000	5010	41434.8	4	7	4
A8	137000	4110	33147.84	4	7	4
A9	107000	3210	24860.88	4	7	4

Ilustración 32 - Matriz de decisión

Con los métodos de cálculos visto en el ejemplo de TOPSIS, se obtiene la matriz de valoración normalizada siguiente (Ilustración 33). Los criterios para minimizar son los del precio de inversión inicial, de coste de mantenimiento y de aspecto visual, al contrario, los criterios de tendencia a maximizar son los del ahorro en CO<sub>2</sub>, de la eficiencia y de la facilidad de conexión e implementación de los aerogeneradores.

<b>MATRIZ DE VALORACION NORMALIZADA</b>						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
<b>Pesos</b>	<b>0.291</b>	<b>0.39</b>	<b>0.098</b>	<b>0.119</b>	<b>0.074</b>	<b>0.027</b>
A1	0.3282	0.3282	0.4082	0.2817	0.3785	0.2357
A2	0.2831	0.2831	0.3266	0.2817	0.3785	0.2357
A3	0.2153	0.2153	0.2449	0.2817	0.3785	0.2357
A4	0.5679	0.5679	0.4082	0.4507	0.2163	0.4714
A5	0.4289	0.4289	0.3266	0.4507	0.2163	0.4714
A6	0.2900	0.2900	0.2449	0.4507	0.2163	0.4714
A7	0.2900	0.2900	0.4082	0.2254	0.3785	0.2357
A8	0.2379	0.2379	0.3266	0.2254	0.3785	0.2357
A9	0.1858	0.1858	0.2449	0.2254	0.3785	0.2357
Max/Min	Min	Min	Max	Max	Max	Min

Ilustración 33 - Matriz de valoración normalizada

Luego se pueden sacar la matriz normalizada ponderada (Ilustración 34), las distancias negativas y positivas (Ilustración 35) y por fin los resultados (Ilustración 36).

<b>MATRIZ NORMALIZADA PONDERADA</b>						
A1	0.0955	0.1280	0.0400	0.0335	0.0280	0.0064
A2	0.0824	0.1104	0.0320	0.0335	0.0280	0.0064
A3	0.0627	0.0840	0.0240	0.0335	0.0280	0.0064
A4	0.1652	0.2215	0.0400	0.0536	0.0160	0.0127
A5	0.1248	0.1673	0.0320	0.0536	0.0160	0.0127
A6	0.0844	0.1131	0.0240	0.0536	0.0160	0.0127
A7	0.0844	0.1131	0.0400	0.0268	0.0280	0.0064
A8	0.0692	0.0928	0.0320	0.0268	0.0280	0.0064
A9	0.0541	0.0725	0.0240	0.0268	0.0280	0.0064
Max/Min	Min	Min	Max	Max	Max	Min

Ilustración 34 - Matriz normalizada ponderada

<b>A+ y A-</b>						
A+	0.1652	0.2215	0.0400	0.0536	0.0280	0.0127
A-	0.0541	0.0725	0.0240	0.0268	0.0160	0.0064
d+ A1	0.1185					
d+ A2	0.1404					
d+ A3	0.1736					
d+ A4	0.0120					
d+ A5	0.0691					
d+ A6	0.1367					
d+ A7	0.1380					
d+ A8	0.1631					
d+ A9	0.1886					
d- A1	0.0724					
d- A2	0.0499					
d- A3	0.0199					
d- A4	0.1886					
d- A5	0.1217					
d- A6	0.0577					
d- A7	0.0545					
d- A8	0.0292					
d- A9	0.0120					

Ilustración 35 - Distancias positivas y negativas

RA1	0.6219		SOLUCION:			
RA2	0.7285					
RA3	0.8540		PREORDEN: A9>A3>A8>A2>A6>A7>A1>A5>A4			
RA4	0.1435					
RA5	0.3801					
RA6	0.7152					
RA7	0.7046					
RA8	0.8103					
RA9	0.8565					

Ilustración 36 - Resultados finales

## II. Resultados

Según la Ilustración 36, el pre-orden de las alternativas es el siguiente: A9>A3>A8>A2>A6>A7>A1>A5>A4.

Entonces, con el método TOPSIS, la mejor alternativa sería la A9, es decir con el aerogenerador Bornay Wind 25.3+ y con el 60% de la demanda alcanzada.

Podemos ver que con esos dos métodos obtenemos resultados similares. En efecto, según AHP, la mejor alternativa es generar un 60% con un aerogenerador que genera 19 kWh/día, y con AHP-TOPSIS es generar el 60% de la demanda con un aerogenerador que genera 16.5 kWh/día. Los aerogeneradores elegidos son bastante parecidos, que sea en término de su potencia que de sus características técnicas. Además, ambos métodos nos recomiendan generar el 60% de la demanda y no el 100% como se podría pensar como mejor alternativa. Por fin, la alternativa A3 según AHP-TOPSIS está en segunda posición y esa es la primera alternativa según AHP, igualmente, la A9 que resulta ser la mejor alternativa según AHP-TOPSIS es la segunda mejor alternativa según AHP, lo que significa que ambas alternativas se pueden equivaler.

## ANÁLISIS Y CRÍTICA DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos con los métodos AHP y AHP-TOPSIS son muy similares, y van en el mismo sentido, en cambio, las diferencias entre los resultados se podrían explicar por las razones siguientes.

Primero, hay que tener en cuenta las diferencias en ambos métodos. AHP va a calcular los pesos de los criterios y comparar una alternativa con otra para cada criterio, y eso con todas las alternativas. El método TOPSIS permite comparar directamente todas las alternativas con los pesos de los criterios. En cambio, para eso, se necesitan los pesos de los criterios que se obtienen mediante el método AHP. Además, con TOPSIS, se pueden medir las alternativas en función de si son cuantitativas o cualitativas, como en nuestro caso donde los tres primeros criterios eran cuantitativos (precios y ahorro en CO<sub>2</sub>) aunque los tres últimos eran cualitativos.

Teniendo criterios cuantitativos permite reducir la margen de incertidumbre ya que son datos que son conocidos y ciertos.

Por otro lado, el método AHP hace recurrir a personas expertas en un ámbito especificado, en ese caso en los aerogeneradores. Desgraciadamente, no pudimos recurrir a la ayuda de expertos para este trabajo, las encuestas que sirven para comparar los criterios y obtener sus pesos provienen de personas con conocimientos sobre energías renovables en general pero que no son expertos. Igualmente, la comparación entre las alternativas la hice yo, y tampoco soy un experto en aerogeneradores.

Eso dicho, las incertidumbres que se encuentran son las para el método AHP ya que todo el trabajo se basó en opiniones y conocimientos de personas fuera del ámbito de la pericia. Aunque el método AHP suponga problemas para las comparaciones, el método TOPSIS también ya que los pesos de los criterios usados son los de AHP. Entonces, se supone un problema aquí también porque los pesos de los criterios no se pueden considerar como totalmente fiables.

Un medio para paliar este problema sería sin duda recurrir a la ayuda de varios expertos para que pesen bien los pesos de los criterios y así poder tener pesos representativos y fiables en un objetivo de llevar a cabo ese estudio. Además, trabajar con un número mayor de expertos podría agregar más fuerza al trabajo ya que se tendrían más opiniones.

## CONCLUSIÓN

Se ha visto en ese trabajo la situación de precariedad en la que se encuentra la Algameca Chica al nivel energético, en efecto, no están conectados a la red eléctrica y por lo tanto necesitan recurrir a energías fósiles como los generadores diésel. Aunque algunas viviendas tengan paneles fotovoltaicos instalados, el asentamiento está dependiente de los generadores diésel. Este estudio pretendía encontrar una solución de energía renovable y que sea la mejor posible, por eso se han estudiado diferentes temas como la situación energética en la Algameca Chica y datos del recurso eólico. Con esos datos se han analizado varias alternativas con 3 aerogeneradores de eólica urbana. Las alternativas incluyen 3 niveles de demanda, el 100%, el 80% y el 60%. Métodos de toma de decisiones se han aplicados, el AHP y el AHP-TOPSIS, para comparar las alternativas con los criterios elegidos y los resultados encontrados fueron bastante similares. Según el método AHP la mejor alternativa es generar el 60% con el aerogenerador ENAIR 70 PRO y según el método AHP-TOPSIS la mejor alternativa es generar el 60% de la demanda total con el aerogenerador Bornay Wind 25.3+.

A pesar de las ligeras incertidumbres y diferencias encontradas en los resultados, ese trabajo resultó ser fiable según las hipótesis mencionadas a lo largo del trabajo. En efecto, tenemos como mejores alternativas, la misma demanda alcanzada y aunque los aerogeneradores sean diferentes, esos mismos son muy parecidos en cuanto a su precio, su potencia, facilidad de conexión, impacto visual y todas sus otras características. El trabajo realizado solo es una estimación, pero podría servir como base para un futuro estudio más completo sobre la implementación de aerogeneradores en la Algameca Chica, gracias a la ayuda de expertos que sí tienen conocimientos más desarrollados.

## BIBLIOGRAFIA

Huang, L., Chen, Z., Cui, Q., Zhang, J., Wang, H., & Shu, J. (2019). Optimal planning of renewable energy source and energy storage in a medium- and low-voltage distributed AC/DC system in China. *The Journal of Engineering*, 2019(16), 2354-2361.  
<https://doi.org/10.1049/joe.2018.8546>

*Comunidades Energéticas | Idae.* (s. f.). Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>

*Reducción de emisiones en la UE: Objetivos nacionales para 2030 | Noticias | Parlamento Europeo.* (2018, febrero 13).  
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180208STO97442/reduccion-de-emisiones-en-la-ue-objetivos-nacionales-para-2030>

*DIRECTIVA (UE) 2019/ 944 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 5 de junio de 2019 Sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/ 27/ UE.* (s. f.). 75.

García Brea, J. (2020, noviembre 10). *La eficiencia energética en la Directiva del mercado interior de la electricidad—La Oficina de Javier García Brea.*  
<https://www.tendenciasenenergia.es/eficiencia-energetica-directiva-mercado-interior-electricidad/6001>

*DIRECTIVA (UE) 2018/ 2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018— Relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.* (2018). 128.

*BOE.es—BOE-A-2020-6621 Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.* (2020, junio 24). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>

Gobierno de Navarra. (s. f.). *Guía rápida para constituir una Comunidad Energética (CE).*

Sánchez, J. M., & Gómez, J. F. (2022). *COMUNIDADES ENERGÉTICAS.* 125.

La Algameca Chica. (2022). En *Wikipedia, la enciclopedia libre.* [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=La\\_Algameca\\_Chica&oldid=146561990](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=La_Algameca_Chica&oldid=146561990)

Torquemada, J. (2021, agosto 4). *La Algameca Chica o la Shanghái de Cartagena, un pequeño milagro—España Fascinante.* <https://espanafascinante.com/lugares/la-algameca-chica-la-shanghai-cartagena-pequeno-milagro/>

*Cartagena (España)—Wikipedia, la enciclopedia libre.* (s. f.). Recuperado 2 de noviembre de 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Cartagena\\_\(Espa%C3%B1a\)#Clima](https://es.wikipedia.org/wiki/Cartagena_(Espa%C3%B1a)#Clima)

*SUREMET.* (s. f.). [suremet.es.](https://www.suremet.es/) Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.suremet.es/>

*Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cartagena.* (s. f.). meteoblue. Recuperado 2 de noviembre de 2022, de [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cartagena\\_espa%c3%b1a\\_2520058](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cartagena_espa%c3%b1a_2520058)

*Mapa de perfiles del viento en España.* (s. f.). Mapa Eólico Ibérico. Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.mapaeolicoiberico.com/map>

INIECO, E. (2011). *Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada.* Editorial Vértice.

Serna Serrano, J. (2021). *Tema 5 Sistemas eólicos aislados.* Ingeniería de los sistemas eólicos.

*Aeronogenerador E70PRO - La última tecnología.* (s. f.). Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>

*Aeronogenerador E200L - La última tecnología.* (s. f.). Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200l>

*Wind + / Bornay—Es.* (s. f.). Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/wind-plus>

Gómez, J. C. O., & Cabrera, J. P. O. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 2(39), Art. 39. <https://doi.org/10.22517/23447214.3217>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used.

*Mathematical Modelling*, 9(3), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Sánchez-Hernández, N., & Pérez-Domínguez, D. (2021). Revisión de literatura del Método

TOPSIS. *RIDCE*, 1(1), 19-28.

# ANEXOS

## Anexo 1.

### Pj. Ciprés-Perín Cartagena

Fecha	Temperatura			Humedad relativa			Presión			Viento		
	Mínima °C	Media °C	Máxima °C	Mínima %	Media %	Máx %	Mínima hPa	Media hPa	Máxima hPa	Media km/h	Domin.	Racha km/h
29-09-2021	17,7	24,6	28,1	49	72	97	1.021	1.023	1.025	4,5		20
30-09-2021	17,7	23,1	28,1	49	78	97	1.021	1.023	1.025	4,7		20
01-10-2021	18,6	22,3	27,7	54	80	96	1.018	1.020	1.025	5,6		24
02-10-2021	18,6	22,2	26,8	54	81	96	1.014	1.017	1.023	3,8		24
03-10-2021	18,0	22,3	26,6	48	74	95	1.008	1.011	1.019	8,5		44
04-10-2021	15,8	19,5	26,4	22	49	91	1.008	1.018	1.021	8,5		44
05-10-2021	15,6	20,3	25,4	22	52	76	1.014	1.020	1.022	9,0		40
06-10-2021	15,6	22,2	26,1	30	63	90	1.018	1.021	1.023	6,9		39
07-10-2021	18,2	20,9	26,1	46	79	93	1.017	1.020	1.023	3,6		35
08-10-2021	16,7	20,3	24,9	61	82	95	1.017	1.019	1.022	4,3		22
09-10-2021	16,6	20,1	24,9	61	79	95	1.017	1.019	1.021	3,9		22
10-10-2021	16,6	19,9	24,6	56	76	92	1.018	1.020	1.022	3,8		20
11-10-2021	16,6	20,3	24,6	56	78	90	1.019	1.020	1.022	6,3		30
12-10-2021	16,6	19,8	24,6	54	75	90	1.016	1.018	1.021	4,8		30
13-10-2021	15,0	18,8	24,3	54	76	90	1.016	1.018	1.022	4,1		24
14-10-2021	14,9	18,7	23,5	57	77	91	1.016	1.022	1.023	5,1		24
15-10-2021	14,8	19,0	24,0	50	76	94	1.016	1.020	1.023	5,8		26
16-10-2021	14,8	20,6	26,0	38	72	95	1.015	1.016	1.023	3,3		26
17-10-2021	15,1	20,6	26,0	38	80	95	1.015	1.018	1.022	3,2		28
18-10-2021	16,3	19,5	25,4	51	84	97	1.017	1.023	1.026	3,7		28
19-10-2021	16,3	19,9	24,3	55	79	97	1.021	1.026	1.028	5,1		22
20-10-2021	14,9	19,3	25,2	49	77	92	1.019	1.023	1.028	5,6		26
21-10-2021	14,9	21,2	27,8	40	71	94	1.014	1.017	1.026	4,3		37
22-10-2021	15,7	18,0	27,8	40	92	97	1.014	1.016	1.020	5,9		37
23-10-2021	15,0	17,6	21,8	58	75	97	1.014	1.021	1.024	8,1		30
24-10-2021	13,4	17,5	22,0	58	81	93	1.019	1.023	1.024	5,7		28
25-10-2021	13,3	16,9	22,4	55	81	96	1.019	1.021	1.024	4,5		22
26-10-2021	13,3	17,9	22,4	55	80	96	1.019	1.021	1.023	7,9		24
27-10-2021	15,4	18,0	21,9	57	80	96	1.020	1.021	1.023	6,1		24
28-10-2021	14,4	17,4	21,9	57	79	93	1.016	1.018	1.023	6,5		22
29-10-2021	14,4	17,5	21,5	57	84	96	1.012	1.015	1.020	4,6		33
30-10-2021	14,4	20,3	25,4	53	81	96	1.010	1.011	1.017	11,9		35

31-10-2021	16,5	24,1	27,9	52	67	94	1.010	1.013	1.014	12,5	40
01-11-2021	20,0	24,9	27,9	47	57	87	1.010	1.011	1.014	10,5	42
02-11-2021	15,6	20,3	27,9	45	65	82	1.008	1.011	1.014	5,7	46
03-11-2021	11,2	17,4	24,0	31	49	82	1.005	1.008	1.014	9,8	46
04-11-2021	9,1	14,0	20,5	31	46	70	1.005	1.013	1.017	9,9	37
05-11-2021	9,1	12,9	18,3	32	53	87	1.011	1.019	1.022	10,8	46
06-11-2021	8,8	12,4	17,5	25	56	93	1.017	1.021	1.023	10,9	46
07-11-2021	8,9	14,1	19,5	15	42	92	1.018	1.020	1.023	11,2	52
08-11-2021	10,6	15,2	20,9	15	44	61	1.014	1.016	1.022	9,7	52
09-11-2021	10,6	15,4	20,9	31	62	85	1.014	1.016	1.018	6,2	46
10-11-2021	12,1	15,8	21,6	41	65	86	1.015	1.017	1.018	10,5	44
11-11-2021	11,6	16,6	21,6	32	55	82	1.015	1.017	1.018	9,9	50
12-11-2021	11,6	17,1	21,8	32	56	74	1.014	1.016	1.018	9,9	52
13-11-2021	13,9	16,6	21,8	44	70	86	1.014	1.018	1.019	6,2	52
14-11-2021	11,3	15,3	20,7	57	80	95	1.013	1.016	1.019	7,3	30
15-11-2021	10,8	14,7	19,7	35	53	95	1.013	1.016	1.019	11,8	61
16-11-2021	10,8	14,2	19,4	34	54	79	1.014	1.018	1.019	7,1	61
17-11-2021	10,0	13,7	19,4	34	73	93	1.016	1.020	1.023	7,3	22
18-11-2021	10,0	13,1	18,4	52	91	98	1.018	1.025	1.027	5,6	26
19-11-2021	11,7	14,2	16,9	72	88	98	1.022	1.026	1.028	7,5	28
20-11-2021	12,0	15,6	16,9	81	94	98	1.017	1.021	1.028	5,2	28
21-11-2021	12,4	14,7	18,0	62	83	98	1.012	1.015	1.024	8,4	24
22-11-2021	11,6	15,1	19,2	56	75	98	1.008	1.010	1.017	4,7	22
23-11-2021	9,1	12,9	19,2	37	70	94	1.008	1.011	1.013	6,1	31
24-11-2021	7,9	11,0	16,4	37	60	94	1.008	1.012	1.015	9,8	35
25-11-2021	7,9	12,7	17,9	39	56	82	1.006	1.009	1.015	7,4	35
26-11-2021	8,6	11,5	17,9	40	58	76	1.006	1.009	1.011	10,5	37
27-11-2021	8,3	11,9	17,0	33	50	76	1.004	1.008	1.011	13,3	52
28-11-2021	7,7	10,6	17,0	28	40	67	1.004	1.014	1.017	19,7	53
29-11-2021	7,7	14,4	20,3	28	49	73	1.010	1.018	1.023	13,2	53
30-11-2021	10,4	13,9	20,3	38	61	92	1.015	1.025	1.027	6,6	40
01-12-2021	7,2	12,6	18,1	45	79	96	1.014	1.021	1.027	5,1	30
02-12-2021	7,2	12,5	16,5	41	58	96	1.009	1.011	1.026	15,3	46
03-12-2021	9,1	12,5	17,1	31	42	85	1.009	1.020	1.025	13,0	46
04-12-2021	9,1	14,1	18,5	31	53	71	1.018	1.022	1.025	6,8	44
05-12-2021	9,0	14,0	19,2	21	49	73	1.016	1.019	1.024	9,9	46
06-12-2021	9,0	13,8	19,2	21	50	73	1.016	1.023	1.025	10,0	52
07-12-2021	10,4	15,5	19,3	33	55	74	1.014	1.020	1.025	6,5	52
08-12-2021	11,7	16,4	19,3	32	46	74	1.012	1.014	1.024	12,2	37
09-12-2021	10,1	14,2	18,9	32	47	72	1.012	1.021	1.024	11,2	37
10-12-2021	10,1	16,8	19,0	35	50	62	1.014	1.017	1.024	16,5	48
11-12-2021	12,0	17,3	21,7	37	49	65	1.014	1.020	1.023	7,5	48
12-12-2021	11,2	15,5	21,7	37	67	96	1.018	1.025	1.028	4,7	31
13-12-2021	9,8	12,3	18,8	53	90	97	1.023	1.027	1.028	4,3	18
14-12-2021	9,8	12,4	16,9	65	83	97	1.024	1.026	1.028	6,5	24
15-12-2021	10,4	12,2	16,0	65	82	91	1.024	1.026	1.027	6,4	24
16-12-2021	11,1	12,6	15,3	73	84	91	1.025	1.027	1.028	6,2	26
17-12-2021	10,1	11,9	15,3	69	83	91	1.026	1.028	1.029	5,9	31
18-12-2021	10,1	12,0	14,1	69	84	97	1.026	1.027	1.029	7,6	31
19-12-2021	10,9	12,4	14,5	82	87	96	1.024	1.025	1.028	4,5	18
20-12-2021	8,9	12,3	15,5	71	86	96	1.021	1.023	1.028	5,6	24
21-12-2021	8,9	14,4	20,8	60	82	95	1.019	1.021	1.025	3,2	24
22-12-2021	10,3	14,5	20,8	60	83	95	1.019	1.020	1.023	3,7	17
23-12-2021	10,4	13,4	18,3	70	91	95	1.019	1.021	1.023	2,3	17
24-12-2021	10,6	13,8	17,0	77	89	96	1.011	1.015	1.023	2,8	22
25-12-2021	10,6	14,5	17,9	61	79	96	1.008	1.010	1.019	9,4	35
26-12-2021	10,8	16,8	20,1	50	69	89	1.008	1.012	1.014	8,7	35
27-12-2021	14,0	20,0	24,4	36	53	89	1.009	1.015	1.020	12,3	37
28-12-2021	13,7	19,1	24,9	35	49	74	1.012	1.020	1.023	7,7	37
29-12-2021	12,9	17,1	24,9	35	54	71	1.019	1.023	1.025	6,8	35
30-12-2021	11,5	15,4	21,3	36	60	81	1.021	1.024	1.026	3,0	31
31-12-2021	7,7	12,8	21,1	36	79	94	1.023	1.027	1.029	2,0	18
01-01-2022	4,1	10,0	19,1	58	91	98	1.025	1.029	1.031	2,4	11
02-01-2022	4,1	11,0	16,1	62	82	98	1.027	1.029	1.031	3,1	13
03-01-2022	6,1	11,6	16,9	50	74	95	1.022	1.026	1.030	3,3	13
04-01-2022	6,8	13,9	19,8	36	66	87	1.010	1.015	1.028	7,7	62
05-01-2022	8,8	12,3	19,8	36	48	84	1.010	1.016	1.021	17,3	68
06-01-2022	5,7	10,0	15,9	29	57	86	1.014	1.018	1.023	7,5	68
07-01-2022	5,5	10,1	16,2	29	52	86	1.015	1.025	1.029	6,0	33
08-01-2022	5,5	12,2	17,4	29	51	75	1.022	1.027	1.029	10,7	42
09-01-2022	7,5	14,0	19,1	22	38	75	1.018	1.021	1.029	5,7	42
10-01-2022	7,5	18,6	23,1	22	47	67	1.015	1.017	1.023	14,3	59
11-01-2022	8,6	11,6	23,1	37	91	98	1.015	1.024	1.027	2,7	59
12-01-2022	6,9	10,1	14,1	66	84	98	1.020	1.029	1.032	2,8	17
13-01-2022	6,9	9,8	14,1	54	78	96	1.026	1.033	1.034	5,1	24
14-01-2022	7,2	9,6	13,4	54	76	93	1.031	1.032	1.034	6,9	24

15-01-2022	6,9	9,7	14,4	62	81	91	1.027	1.029	1.034	4,7	24
16-01-2022	5,5	9,9	15,4	40	70	91	1.027	1.030	1.033	6,8	20
17-01-2022	5,0	9,0	15,5	40	71	89	1.028	1.033	1.036	4,4	20
18-01-2022	5,0	8,7	15,5	46	77	91	1.030	1.032	1.036	7,3	26
19-01-2022	5,2	9,1	14,9	52	77	91	1.029	1.031	1.033	8,4	26
20-01-2022	5,6	8,8	14,5	56	80	89	1.025	1.028	1.033	7,5	26
21-01-2022	5,6	9,1	14,1	56	79	92	1.024	1.026	1.030	5,6	20
22-01-2022	6,1	9,1	14,1	56	93	98	1.024	1.029	1.032	3,1	18
23-01-2022	7,6	10,0	13,6	64	86	98	1.026	1.028	1.032	4,4	18
24-01-2022	8,1	10,0	13,6	64	81	96	1.026	1.028	1.030	6,3	26
25-01-2022	8,1	11,1	14,4	69	85	95	1.027	1.030	1.031	8,6	35
26-01-2022	9,1	10,8	14,4	69	85	95	1.028	1.029	1.031	9,2	35
27-01-2022	9,1	11,0	13,4	81	87	93	1.028	1.029	1.031	7,7	35
28-01-2022	8,2	11,0	14,8	61	85	94	1.028	1.031	1.033	7,2	30
29-01-2022	6,8	10,9	17,9	18	53	94	1.029	1.033	1.035	6,6	28
30-01-2022	5,6	11,5	18,6	18	44	85	1.026	1.029	1.035	4,7	26
31-01-2022	6,6	16,2	22,3	17	26	62	1.020	1.023	1.032	7,7	40
01-02-2022	8,9	13,4	22,3	17	48	82	1.020	1.025	1.029	9,4	40
02-02-2022	8,5	15,0	20,6	24	45	82	1.022	1.026	1.029	6,0	37
03-02-2022	8,5	16,0	22,4	25	45	75	1.019	1.021	1.029	3,0	35
04-02-2022	9,0	17,3	22,4	25	41	66	1.019	1.020	1.024	3,2	17
05-02-2022	11,7	13,1	22,4	30	86	94	1.019	1.024	1.027	4,6	22
06-02-2022	8,5	12,4	15,1	67	89	97	1.021	1.028	1.030	3,1	22
07-02-2022	6,7	11,6	17,6	57	81	97	1.025	1.028	1.030	3,4	22
08-02-2022	6,7	11,5	17,6	57	85	97	1.025	1.031	1.033	3,6	22
09-02-2022	7,5	11,4	15,7	59	81	94	1.029	1.031	1.033	5,5	18
10-02-2022	7,5	10,7	15,5	59	81	95	1.026	1.028	1.033	5,3	18
11-02-2022	7,5	10,7	15,4	59	83	95	1.025	1.026	1.030	4,1	17
12-02-2022	7,9	11,0	17,2	55	80	94	1.024	1.026	1.028	3,3	17
13-02-2022	6,0	11,2	17,2	55	82	95	1.020	1.023	1.028	4,0	20
14-02-2022	6,0	14,4	20,1	26	58	95	1.016	1.018	1.026	4,9	26
15-02-2022	10,0	13,4	20,1	26	49	93	1.016	1.026	1.028	12,9	39
16-02-2022	7,1	13,9	20,1	24	43	77	1.023	1.026	1.029	5,9	39
17-02-2022	7,1	16,5	22,6	24	44	66	1.022	1.024	1.029	6,6	28
18-02-2022	6,7	13,9	22,6	29	57	86	1.014	1.019	1.026	2,2	28
19-02-2022	6,7	13,2	21,8	29	80	93	1.014	1.018	1.026	6,2	33
20-02-2022	8,5	12,8	17,4	56	75	92	1.014	1.028	1.030	4,1	33
21-02-2022	6,8	14,0	20,7	35	63	95	1.023	1.026	1.030	5,5	31
22-02-2022	6,8	14,8	20,7	21	43	95	1.023	1.027	1.029	4,2	21
23-02-2022	7,6	11,9	19,7	21	65	85	1.023	1.025	1.029	3,4	22
24-02-2022	7,6	14,1	19,4	38	73	90	1.018	1.021	1.028	3,6	22
25-02-2022	8,2	13,2	19,4	38	82	91	1.018	1.024	1.025	6,3	30
26-02-2022	10,0	12,2	16,2	61	78	91	1.022	1.023	1.025	7,2	37
27-02-2022	9,7	11,5	13,8	57	73	88	1.022	1.023	1.025	6,3	37
28-02-2022	8,8	11,9	16,5	54	73	87	1.022	1.027	1.029	3,9	26
01-03-2022	8,4	12,9	18,9	54	76	89	1.024	1.026	1.029	4,1	24
02-03-2022	6,5	12,5	18,9	36	71	96	1.019	1.023	1.029	5,7	31
03-03-2022	6,5	15,5	20,4	36	62	96	1.010	1.016	1.027	2,9	31
04-03-2022	8,8	10,8	20,4	38	84	94	1.009	1.013	1.021	11,4	50
05-03-2022	8,1	11,3	15,8	58	82	95	1.009	1.016	1.019	2,0	50
06-03-2022	8,1	9,9	15,8	58	95	97	1.012	1.013	1.018	8,0	39
07-03-2022	8,9	10,9	14,6	71	88	97	1.012	1.015	1.018	4,6	39
08-03-2022	7,8	11,5	17,3	58	82	95	1.013	1.019	1.022	3,8	28
09-03-2022	7,8	13,0	18,7	45	72	94	1.017	1.022	1.024	4,4	28
10-03-2022	8,6	12,6	18,7	45	83	94	1.019	1.022	1.024	3,5	20
11-03-2022	9,8	13,1	17,5	58	86	94	1.014	1.017	1.024	4,0	39
12-03-2022	9,1	14,4	20,1	29	66	95	1.014	1.015	1.020	7,5	39
13-03-2022	9,1	14,9	20,4	29	66	95	1.013	1.015	1.017	2,9	30
14-03-2022	11,1	15,1	23,3	24	82	96	1.006	1.010	1.016	7,6	42
15-03-2022	11,8	17,5	23,3	21	64	96	1.006	1.013	1.015	6,3	42
16-03-2022	10,7	13,7	23,1	21	91	99	1.009	1.013	1.015	5,1	42
17-03-2022	10,3	12,0	16,1	72	96	99	1.011	1.015	1.020	15,3	64
18-03-2022	10,3	13,1	16,2	67	82	99	1.011	1.021	1.024	10,8	64
19-03-2022	10,8	12,3	16,2	67	90	97	1.020	1.023	1.025	8,2	48
20-03-2022	10,8	13,1	15,3	80	94	99	1.021	1.023	1.025	7,2	48
21-03-2022	11,4	13,8	16,8	80	95	99	1.018	1.020	1.024	5,4	42
22-03-2022	12,1	13,1	16,8	80	98	99	1.018	1.022	1.023	9,2	55
23-03-2022	11,7	12,5	14,3	92	99	99	1.016	1.019	1.023	9,8	55
24-03-2022	11,7	13,4	14,4	92	97	99	1.016	1.018	1.022	9,3	44
25-03-2022	12,2	13,1	14,4	92	96	99	1.013	1.015	1.020	10,5	44
26-03-2022	11,5	13,2	14,6	79	92	98	1.014	1.016	1.021	8,3	35
27-03-2022	10,7	13,2	16,9	69	82	98	1.014	1.023	1.026	4,8	35
28-03-2022	10,2	12,8	16,9	69	88	94	1.017	1.021	1.026	6,3	28
29-03-2022	10,2	13,6	17,9	70	83	94	1.005	1.009	1.026	4,9	28
30-03-2022	10,9	13,8	17,9	70	95	99	1.001	1.003	1.016	2,5	26
31-03-2022	11,0	14,7	20,5	46	62	99	1.001	1.005	1.008	9,0	28
01-04-2022	10,3	13,8	20,5	32	55	76	1.003	1.011	1.017	8,2	28

02-04-2022	4,9	10,8	17,1	23	44	76	1.007	1.017	1.019	10,2	35
03-04-2022	4,9	9,5	16,0	23	61	82	1.013	1.015	1.019	6,6	35
04-04-2022	5,7	8,5	13,4	45	89	99	1.012	1.013	1.017	14,4	46
05-04-2022	6,1	8,0	9,1	63	96	99	1.010	1.012	1.015	12,3	46
06-04-2022	5,8	10,7	15,4	56	78	99	1.010	1.016	1.020	9,5	31
07-04-2022	5,8	16,0	20,9	33	51	90	1.013	1.020	1.022	7,4	30
08-04-2022	10,4	17,6	22,4	32	54	71	1.015	1.018	1.022	5,2	28
09-04-2022	12,8	18,4	22,8	32	55	70	1.015	1.017	1.020	5,7	24
10-04-2022	10,8	14,8	22,8	45	84	99	1.015	1.017	1.019	4,2	24
11-04-2022	10,8	14,0	18,3	62	87	99	1.008	1.012	1.019	5,2	24
12-04-2022	11,8	14,3	16,6	70	92	99	1.008	1.011	1.015	3,3	20
13-04-2022	10,6	13,5	18,6	63	88	99	1.009	1.011	1.013	5,2	26
14-04-2022	10,6	15,4	20,6	46	77	99	1.009	1.015	1.019	10,4	31
15-04-2022	12,4	17,3	23,9	37	54	94	1.012	1.020	1.022	7,9	31
16-04-2022	12,4	20,3	25,9	37	53	81	1.017	1.019	1.022	7,3	30
17-04-2022	12,8	19,9	26,0	38	61	96	1.015	1.016	1.021	3,2	22
18-04-2022	11,8	17,1	26,0	42	81	98	1.012	1.016	1.018	1,8	20
19-04-2022	11,8	16,8	24,0	57	82	98	1.005	1.010	1.018	3,2	20
20-04-2022	8,5	12,2	21,9	61	85	97	1.002	1.004	1.013	7,3	30
21-04-2022	8,5	15,3	20,7	40	55	97	1.002	1.006	1.008	12,0	31
22-04-2022	10,6	15,3	20,7	40	64	79	1.001	1.004	1.008	10,6	40
23-04-2022	10,6	15,9	20,4	27	60	89	1.000	1.005	1.012	16,0	44
24-04-2022	9,9	15,7	20,9	27	62	89	1.000	1.013	1.014	4,4	44
25-04-2022	9,2	15,8	22,3	40	69	91	1.011	1.013	1.015	1,9	22
26-04-2022	9,2	15,1	22,3	45	72	92	1.012	1.014	1.016	3,7	22
27-04-2022	10,8	14,3	20,4	45	75	94	1.013	1.017	1.020	2,4	22
28-04-2022	11,9	13,2	18,3	48	92	99	1.014	1.020	1.023	2,9	15
29-04-2022	11,9	15,9	19,9	54	73	99	1.018	1.023	1.025	5,3	24
30-04-2022	12,1	18,7	25,2	25	51	89	1.019	1.022	1.025	8,5	24
01-05-2022	12,5	19,8	26,6	25	60	92	1.015	1.018	1.024	3,6	24
02-05-2022	13,5	17,2	26,6	38	86	95	1.009	1.012	1.020	3,8	22
03-05-2022	11,8	16,6	22,5	63	83	97	1.009	1.011	1.015	3,4	25
04-05-2022	11,8	14,1	21,7	63	97	99	1.009	1.014	1.018	7,3	26
05-05-2022											
06-05-2022											
07-05-2022											
08-05-2022	13,6	17,7	21,9	41	62	99	1.012	1.020	1.021	1,6	24
09-05-2022	12,5	18,1	23,9	41	70	99	1.012	1.022	1.024	3,1	24
10-05-2022	12,5	18,5	24,9	41	60	99	1.021	1.024	1.025	2,8	17

11-05-2022	11,9	18,4	25,3	41	66	92	1.020	1.022	1.025	2,7	17
12-05-2022	11,9	18,2	25,3	42	78	93	1.019	1.021	1.023	4,1	18
13-05-2022	13,9	20,0	26,0	57	78	96	1.019	1.021	1.023	3,3	18
14-05-2022	14,1	19,9	26,1	34	66	96	1.017	1.019	1.022	2,6	13
15-05-2022	14,1	21,1	26,8	34	62	89	1.015	1.017	1.021	2,8	13
16-05-2022	15,4	22,5	28,8	39	62	84	1.015	1.019	1.020	2,6	13
17-05-2022	15,5	22,8	28,8	41	65	89	1.017	1.019	1.021	2,9	13
18-05-2022	16,0	22,1	28,6	40	69	91	1.017	1.019	1.021	2,6	15
19-05-2022	16,4	22,2	28,4	40	63	89	1.017	1.020	1.022	5,1	22
20-05-2022	17,5	23,0	26,9	50	63	79	1.019	1.022	1.023	6,9	33
21-05-2022	18,2	22,9	28,0	37	62	84	1.018	1.020	1.023	4,6	33
22-05-2022	18,1	24,7	31,6	30	48	84	1.009	1.013	1.022	5,2	31
23-05-2022	18,1	24,6	31,6	30	52	83	1.007	1.009	1.017	7,3	44
24-05-2022	17,8	23,5	29,8	37	63	91	1.005	1.008	1.011	4,9	44
25-05-2022	15,3	19,6	29,3	32	59	94	1.005	1.017	1.023	6,7	33
26-05-2022	12,8	19,6	25,6	32	61	94	1.012	1.023	1.024	4,1	31
27-05-2022	12,8	22,4	28,8	25	44	90	1.017	1.020	1.024	5,6	42
28-05-2022	14,5	23,7	30,5	25	42	69	1.011	1.015	1.022	4,0	42
29-05-2022	15,5	25,7	33,6	27	45	71	1.003	1.007	1.019	5,6	30
30-05-2022	17,3	23,7	33,6	27	56	80	1.003	1.008	1.011	4,5	26
31-05-2022	16,6	23,1	29,8	37	59	89	1.006	1.013	1.015	3,5	20
01-06-2022	16,3	22,1	28,2	41	78	98	1.011	1.015	1.016	2,6	17
02-06-2022	16,2	23,0	29,4	43	75	98	1.011	1.013	1.016	2,9	20
03-06-2022	16,2	22,8	29,4	47	77	97	1.011	1.013	1.015	3,9	20
04-06-2022	16,7	22,9	29,7	36	63	97	1.012	1.014	1.016	6,1	37
05-06-2022	16,7	25,3	32,2	25	45	92	1.013	1.018	1.020	5,7	37
06-06-2022	17,9	25,2	32,2	25	42	86	1.017	1.018	1.020	3,3	33
07-06-2022	17,9	25,2	32,2	28	54	79	1.015	1.017	1.020	3,0	26
08-06-2022	17,4	25,8	32,7	27	58	89	1.012	1.014	1.019	3,2	18
09-06-2022	17,4	25,4	32,7	27	66	92	1.012	1.017	1.020	5,7	24
10-06-2022	19,1	24,3	30,2	43	74	96	1.014	1.020	1.022	3,5	35
11-06-2022	17,7	24,0	30,2	34	59	96	1.019	1.021	1.022	5,5	35
12-06-2022	17,7	25,3	30,9	24	40	85	1.019	1.021	1.022	4,9	33
13-06-2022	18,6	26,4	32,2	21	39	75	1.016	1.018	1.022	5,0	26
14-06-2022	20,9	27,1	34,2	21	48	89	1.013	1.016	1.020	3,2	18
15-06-2022	21,1	27,4	34,2	26	57	90	1.013	1.017	1.019	4,0	20
16-06-2022	21,2	27,6	33,7	29	50	83	1.015	1.018	1.020	3,3	20
17-06-2022	21,2	29,1	35,0	21	34	83	1.017	1.019	1.020	4,2	20
18-06-2022	22,9	28,6	35,0	21	35	53	1.012	1.016	1.020	4,7	20

19-06-2022	20,8	25,3	34,7	26	65	87	1.008	1.011	1.019	2,5	20
20-06-2022	19,3	24,6	31,7	40	74	90	1.008	1.010	1.013	3,7	18
21-06-2022	19,3	25,2	32,1	39	71	92	1.008	1.010	1.013	3,5	22
22-06-2022	19,7	23,3	32,1	39	68	92	1.008	1.011	1.014	6,2	31
23-06-2022	16,5	23,5	29,0	30	59	90	1.010	1.013	1.016	7,7	31
24-06-2022	16,5	24,1	30,7	29	51	90	1.012	1.014	1.016	4,0	30
25-06-2022	16,8	23,9	33,2	23	62	90	1.008	1.011	1.016	3,2	18
26-06-2022	16,8	23,7	33,2	23	67	90	1.008	1.010	1.014	3,3	17
27-06-2022	17,0	23,5	29,7	36	69	90	1.008	1.013	1.019	3,4	22
28-06-2022	17,7	24,2	29,6	41	73	89	1.011	1.018	1.019	3,6	22



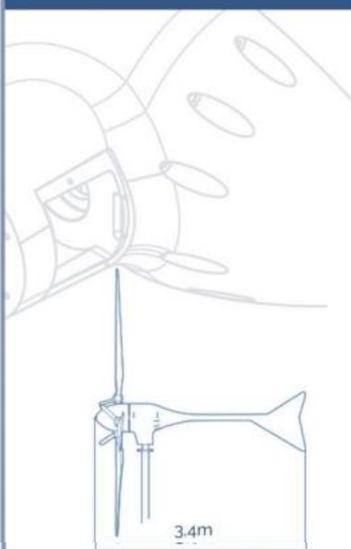
# E70PRO

## FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/día

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

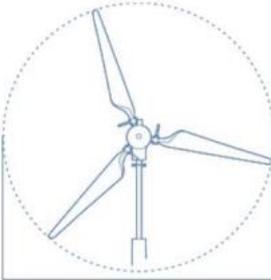
Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales   imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14.5m <sup>2</sup>
Peso	165kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB   Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



3.4m



165kg



4.3m

### Anexo 3.



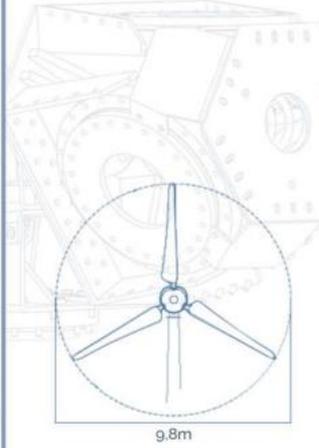
# E200L

## FICHA TÉCNICA

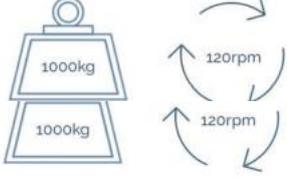
Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

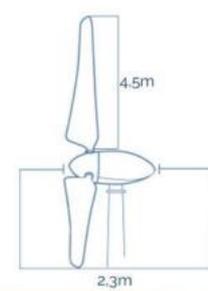
<b>GENERADOR</b>	Potencia	20kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
<b>AEROGENERADOR</b>	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	10kW - IEC 61400, limitada por software
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
<b>ROTOR</b>	Orientación	Orientación aerodinámica
	Diámetro	9.8m
	Área de barrido	75.4m <sup>2</sup>
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
<b>SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO</b>	Tipo de control	Paso variable activo, regul. electrónica y freno
	Peso	Peso variable con control activo Por viento y potencia
<b>CONTROL DE LA TURBINA</b>	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos en la red - Fallo de sensores
<b>INVERSORES</b>	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
	Software	Software personalizado. Pantalla datos (opc.)
<b>INVERSORES</b>	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V



9.8m



1000kg  
1000kg  
120rpm  
120rpm



4.5m  
2.3m



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España  
+34 96 556 00 18    info@enair.es

[www.enair.es](http://www.enair.es)

## Anexo 4.



# 25.3+

Número de hélices	3
Diámetro	4 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación 3) Mecánico por inclinación

### Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	5000 W
Voltaje nominal	220 Vac
RPM	@ 400
Controladores	Regulador MPPT Wind+ Multitensión: 12, 24 ó 48 Vdc Intensidad: Max. 125 Amp Tipo de batería: Inundada, AGM, Gel Litio Interface Wind+ Bombeo directo de agua Telecom Conexión a red

### Velocidad de viento

Rango de funcionamiento	2 -30 m/s
Para arranque	3 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

### Características físicas

Peso aerogenerador	107 kg
Peso regulador	33 kg
Peso interface	24 kg
Embalaje	120 x 80 x 80 cm - 149 Kg
Dimensiones - peso	260 x 40 x 15 cm - 22 Kg
Total	0,91 m <sup>3</sup> - 171 Kg
Garantía	3 años

## Anexo 5.

C3	A4	A1	A7	A5	A2	A8	A6	A3	A9	Media geométrica			$\lambda_{max}$
A4	1	2	2	5	6	6	7	8	8	4.0932	0.2941	2.82	9.5650
A1	0.5	1	1	4	5	5	7	8	8	3.0434	0.2187	2.04	
A7	0.5	1	1	4	5	5	7	8	8	3.0434	0.2187	2.04	CI
A5	1/5	1/4	1/4	1	2	2	4	3	3	1.0675	0.0767	0.73	0.0706
A2	1/6	1/5	1/5	0.5	1	1	4	3	3	0.7901	0.0568	0.54	
A8	1/6	1/5	1/5	0.5	1	1	4	5	5	0.8851	0.0636	0.62	CR
A6	1/7	1/7	1/7	0.25	0.25	0.25	1	2	3	0.4019	0.0289	0.29	0.049
A3	1/8	1/8	1/8	0.3333	0.3333	0.2	0.5	1	1	0.3033	0.0218	0.21	
A9	1/8	1/8	1/8	0.3333	0.3333	0.2	0.3333	1	1	0.2899	0.0208	0.20	
<b>Total</b>										<b>13.9178</b>	<b>1</b>		

C4	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A7	A8	A9	Media geométrica			$\lambda_{max}$
A4	1	1	1	6	6	6	7	7	7	3.4760	0.2519	2.41	9.3031
A5	1	1	1	6	6	6	7	7	7	3.4760	0.2519	2.41	
A6	1	1	1	6	6	6	7	7	7	3.4760	0.2519	2.41	CI
A1	1/6	1/6	1/6	1	1	1	3	3	3	0.7937	0.0575	0.53	0.0379
A2	1/6	1/6	1/6	1	1	1	2	2	2	0.6934	0.0502	0.46	
A3	1/6	1/6	1/6	1	1	1	2	2	2	0.6934	0.0502	0.46	CR
A7	1/7	1/7	1/7	0.3333	0.5	0.5	1	1	1	0.3966	0.0287	0.26	0.026
A8	1/7	1/7	1/7	0.3333	0.5	0.5	1	1	1	0.3966	0.0287	0.26	
A9	1/7	1/7	1/7	0.3333	0.5	0.5	1	1	1	0.3966	0.0287	0.26	
<b>Total</b>										<b>13.7984</b>	<b>1</b>		

C5	A1	A2	A3	A7	A8	A9	A4	A5	A6	Media geométrica			$\lambda_{max}$
A1	1	1	1	3	3	3	8	8	8	2.8845	0.2159	1.89	9.2766
A2	1	1	1	3	3	3	8	8	8	2.8845	0.2159	1.89	
A3	1	1	1	3	3	3	8	8	8	2.8845	0.2159	1.89	CI
A7	1/3	1/3	1/3	1	1	1	8	8	8	1.3867	0.1038	1.01	0.0346
A8	1/3	1/3	1/3	1	1	1	6	6	6	1.2599	0.0943	0.87	
A9	1/3	1/3	1/3	1	1	1	6	6	6	1.2599	0.0943	0.87	CR
A4	1/8	1/8	1/8	0.125	0.1667	0.1667	1	1	1	0.2665	0.0199	0.19	0.024
A5	1/8	1/8	1/8	0.125	0.1667	0.1667	1	1	1	0.2665	0.0199	0.19	
A6	1/8	1/8	1/8	0.125	0.1667	0.1667	1	1	1	0.2665	0.0199	0.19	
<b>Total</b>										<b>13.3596</b>	<b>1</b>		

C6	A1	A2	A3	A7	A8	A9	A4	A5	A6	Media geométrica			$\lambda_{max}$
A1	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	9.1862
A2	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	
A3	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	CI
A7	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	0.0233
A8	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	
A9	1	1	1	1	1	1	7	7	7	1.9129	0.1556	1.43	CR
A4	1/7	1/7	1/7	0.1429	0.1429	0.1429	1	1	1	0.2733	0.0222	0.20	0.016
A5	1/7	1/7	1/7	0.1429	0.1429	0.1429	1	1	1	0.2733	0.0222	0.20	
A6	1/7	1/7	1/7	0.1429	0.1429	0.1429	1	1	1	0.2733	0.0222	0.20	
<b>Total</b>										<b>12.2974</b>	<b>1</b>		

