



Universidad de Cantabria



Escuela Politécnica de
Ingenieros de Minas y
Energía

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS

ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO EN CANTABRIA MEDIANTE MODELOS REGIONALES Y SU APLICACIÓN



Torrelavega, 16 de Septiembre de 2013

Autor: Marta GUTIÉRREZ SOLA

Tutor: Jesús FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Este proyecto se plantea según la norma UNE 157001 (Rodríguez, 2012) que establece un conjunto de documentos básicos a cumplir como parte integrante del proyecto y que relacionamos entre sí, estos son: índice general, memoria, anexos, planos, pliego de condiciones, estado de mediciones y presupuesto.

INDICE

INDICE	1
RESUMEN	1
SUMMARY	2
1 MEMORIA	1
1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO	1
1.2 MEMORIA JUSTIFICATIVA	4
1.2.1 INTRODUCCION, OBJETO DEL PROYECTO.	4
1.2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA EÓLICA	8
1.2.3 ESTADO DEL ARTE	14
1.2.3.1 EL VIENTO COMO FUENTE DE ENERGÍA.	24
1.2.3.2 MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN.	25
1.2.4 ESTADÍSTICAS DE VIENTO	33
1.2.4.1 PARAMETROS QUE DEFINEN EL VIENTO	33
1.2.4.2 RECURSO EÓLICO	33
1.2.4.2.1 CLASIFICACIONES DEL VIENTO	37
1.2.4.2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA	38
1.2.4.2.3 HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN	39
1.2.4.3 VIENTO EN ZONAS SIN OBSERVACIONES	42
1.2.5 PORTAL WEB: MAPA EÓLICO	46
1.2.6 APLICACIÓN A UNA INSTALACIÓN DE MINIEÓLICA EN EL T.M DE VALDEOLEA	59
1.2.6.1 CALCULO RECURSOS EÓLICOS.	60
1.2.6.2 CALCULO PRODUCCIÓN ENERGETICA	63

<u>2</u>	<u>PLANOS</u>	<u>1</u>
2.1	PLANO DEL RECURSO EÓLICO EN CANTABRIA	1
2.2	PLANO DE UBICACIÓN	1
<u>3</u>	<u>PLIEGO DE CONDICIONES</u>	<u>1</u>
3.1	SUMINISTRO	1
3.2	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	1
3.3	CARRETERA DE ACCESO	2
3.4	NORMATIVA	2
<u>4</u>	<u>ESTUDIO ECONÓMICO</u>	<u>4</u>
4.1	VIABILIDAD ECONOMICA	6
4.1.1	FLUJO DE CAJA O CASH FLOW (FC)	6
4.1.2	VALOR ACTUALIZADO NETO (VAN)	7
4.1.3	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	7
4.1.4	CONCLUSIONES	7
<u>5</u>	<u>PRESUPUESTO</u>	<u>1</u>
5.1	TOTAL PRESIPUESTO	10
<u>6</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>1</u>
6.1	TEXTO	1
6.2	ILUSTRACIONES	4
6.3	TABLAS	6
6.4	ECUACIONES	7

RESUMEN

El recurso eólico presenta una gran variabilidad espacial y dependencia con factores locales como la orografía o la rugosidad del terreno. La evaluación detallada de este recurso requiere de densas redes de observación durante largos periodos de tiempo que normalmente no están disponibles en las localizaciones de interés para la colocación de generadores eólicos. Para obtener estimaciones del recurso en lugares donde no hay observaciones es necesario recurrir a la simulación numérica de la atmósfera. Los modelos regionales proporcionan variables meteorológicas consistentes con los factores locales de una región. Son un instrumento ideal para la obtención de variables como el viento, en puntos sin observaciones. Obviamente esto necesita una evaluación previa de la pericia del modelo, que se puede contrastar en puntos donde sí hay observación. Se presenta una descripción detallada de este tipo de modelos, su validación en Cantabria y una aplicación en la proyección de una instalación eólica en esta región.

SUMMARY

The wind resource shows a large spatial variability and a dependence on local factors like topography or terrain roughness. A detailed evaluation of this resource requires dense networks of observation for long periods of time that are usually not available at the locations of interest for the placement of wind turbines. To obtain estimations of wind resource in places where there are not any observations, it is necessary to use numerical simulation models. Regional models provide meteorological variables based on the local factors of a determined region. They are an ideal instrument to obtain variables such as wind, in points with no observations. This requires a previous assessment of the model skill, which can be evaluated at points where there are observations. We present a detailed description of this type of model, its validation in Cantabria and an application in the projection of a wind power installation in this region.

1 MEMORIA

1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

Gracias a la energía procedente de la radiación solar una parte de la energía se transforma en energía cinética. Esta energía va a producir el movimiento de las masas de aire generando un tipo de energía natural y aprovechable, es la energía eólica. El presente estudio tiene como objetivo el estudio del recurso eólico y su capacidad de aprovechamiento energético.

En la primera parte se realiza un recorrido por la historia considerando el aprovechamiento que nuestros antepasados hacían de este recurso natural, el viento. Su evolución histórica ha supuesto una fuente de conocimiento que data de hace más de cinco mil años, con aplicaciones tales como los barcos de vela usados en navegación y los molinos de viento, pequeños aerogeneradores para casos de suministro aislado, hasta potentes aerogeneradores que convierten la energía del viento en electricidad en grandes centrales (parque eólicos) conectadas a la red eléctrica.

Se habla de la tecnología eólica en la actualidad en el apartado del estado del arte, el comportamiento ante el medio ambiente, cómo son, sus partes, tipología y características. Se incluyen las especificaciones técnicas del aerogenerador TURBEC 100 KW elegido por su rentabilidad, fiabilidad y fabricación española.

Mediante modelos numéricos de predicción climática obtenemos una estimación del recurso eólico. Estos modelos dividen nuestro planeta una estructura virtual de celdillas que forman una malla. En cada punto de esta malla el modelo simula una serie temporal de las principales variables climáticas, incluido el viento.

Para ello, resuelve las ecuaciones que gobiernan la dinámica atmosférica a partir de unas condiciones iniciales. Nos centraremos en los modelos climáticos regionales (RCMs) que nos proporcionan resoluciones de unos 10 Km en simulaciones hechas cada 25 Km (se está estudiando que sean cada 12 Km), y que se encuentran anidadas sobre los modelos globales (GCMs) que proporcionan valores cada 200 Km.

El viento es una variable natural y un recurso indispensable. Definimos y describimos los aspectos más generales en el apartado estadísticas de viento, la intensidad y su dirección, siendo estas relevantes a la hora de darnos un reflejo del recurso eólico en un lugar determinado y así posteriormente poder aprovechar su energía. Ver la variabilidad que tiene el recurso del viento ante la altura o cambios estacionales, conocer los tipos de vientos y saber cómo se mide además de la utilización de otras herramientas, serán clave para estimar el potencial eólico en un emplazamiento.

Podemos pensar en el inconveniente que supone medir los datos eólicos en un lugar donde no existen observaciones, pero para esto utilizaremos los modelos mencionados anteriormente, una vez validados en aquellos puntos donde sí disponemos de observaciones.

Como medio para poder apreciar el aprovechamiento eólico en una ubicación determinada utilizamos la herramienta Web del Mapa Eólico de la Universidad de Murcia (servidor espacial CIOYN-INUAMA) basada en modelos climáticos regionales, y que nos devolverá un informe del recurso eólico en una determinada zona. Ver y observar por ejemplo accesos, conexiones a redes eléctricas, obstáculos etc., forman parte de la elección del emplazamiento, además de los resultados que nos aporta el citado mapa eólico. Escogemos la región de Cantabria (España), concretamente el término municipal de Valdeolea debido a su altitud y sus datos de viento que están dentro de la media de velocidades de 5 a 6 m/s (la velocidad de conexión del aerogenerador es a partir de los 3,5 m/s), siendo buen punto de partida para la producción energética.

Aplicamos nuestro sistema eólico conectado a una red eléctrica de baja tensión para la venta de energía. A partir de ahí, este estudio calcula el recurso eólico y la

producción energética en una zona favorable de viento con un aerogenerador de minieólica *Turbec de 100 KW* partiendo de la curva de potencia del fabricante, la velocidad y las horas de viento.

1.2 MEMORIA JUSTIFICATIVA

1.2.1 INTRODUCCION, OBJETO DEL PROYECTO.

Este trabajo se ha realizado con dos objetivos primordiales:

1) Un primer objetivo intrínseco, que es la aplicación de los conocimientos y competencias adquiridas dentro del Plan de Estudios de la Adaptación al Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros (UC), que se accede mediante las titulaciones oficiales de Ingeniero Técnico de Minas, Explotación de Minas e Instalaciones Electromecánicas Mineras, y que conforman el Espacio Europeo de Educación Superior, para la resolución de problemas típicos en el ámbito de la Ingeniería (Universidad de Cantabria, 2013).

2) El objeto del estudio es describir las características generales del viento como recurso natural en cuanto a su capacidad de aprovechamiento energético, incluyendo aspectos locales y temporales de esta fuente de energía, y que consiste en hacer un estudio de la utilidad de los modelos de simulación numérica del tiempo, para evaluar el recurso eólico en zonas sin observaciones, y planificar las instalaciones para su aprovechamiento.

Todas estas simulaciones numéricas van a ser el resultado de estudios complejos con variables latentes del sistema climático, y que mediante la resolución de ecuaciones que gobiernan la atmósfera, tanto ecuaciones de conservación (momento, masa, energía, vapor de agua) como de estado, la finalidad será conseguir un modelo de predicción climática.

La base de la generación de masas de aire sobre el planeta está en la radiación solar incidente y desigual. Una parte de la energía de radiación solar que llega a la Tierra se transforma finalmente en energía cinética de los gases de la atmósfera, cuyas moléculas están en consecuencia siempre en movimiento. El viento es el movimiento natural del aire atmosférico. En meteorología, esta palabra se refiere, en general, a un movimiento de conjunto del aire cerca de la superficie terrestre o en altitud (Retallack, 1973). Como movimiento del aire suele ser irregular y se debe a la diferencia de temperatura entre la tierra y el mar (Guerrero); cuando hace sol, la tierra se calienta

más rápido que el agua, y por la noche la tierra se enfría más rápido. Como el aire caliente es menos denso sube y el aire frío baja, creando las corrientes de aire que se conocen comúnmente como brisa o viento.

Al haber obstáculos en la superficie de la tierra tales como rocas, casas, árboles, etc., se interrumpe el movimiento del suelo y se hace más suave. Es en lugares planos, como en el mar o en campo

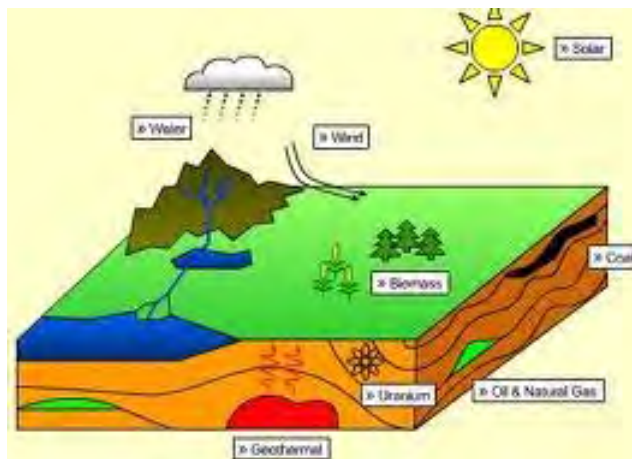


Ilustración 1: Diversas fuentes de energía utilizadas en la actualidad. FUENTE: eliseosebastian.com

abierto donde hay viento más fuerte. El aire, al ser un fluido, aumenta de presión al ser comprimido. Cuando el aire circula

de un lugar abierto y pasa por un espacio restringido (por ejemplo entre dos montañas) se hace más fuerte y rápido. La energía eólica aprovecha energía cinética de las masas de aire en movimiento, es decir, la fuerza del viento.

Esta energía se emplea para impulsar barcos en su desplazamiento a través de ríos, lagos o mares, bombear agua, moler grano o, en su aplicación más desarrollada en la actualidad, producir energía eléctrica.

Las energías renovables fueron la base de la actividad del hombre en épocas remotas como hemos comentado con anterioridad al referirnos a los barcos de vela. Otros tipos de energía hoy, siguen siendo de utilidad tales como la leña de quemar o los saltos de agua en molinos, son formas de aprovechamiento energético utilizadas desde la antigüedad, hasta la llegada del petróleo y carbón, en las sucesivas revoluciones industriales. Sin embargo, el actual contexto energético y medioambiental, con el trasfondo del posible agotamiento de los combustibles fósiles y del cambio climático, ha hecho que el mundo desarrollado vuelva su mirada a las renovables, a pesar de mantener muchas otras fuentes de energía (Ilustración 1).

Se trata de elegir un emplazamiento en Cantabria que permita aprovechar el recurso eólico al máximo, teniendo en cuenta la diversidad de factores que influyen en la elección. Buscamos mediante el mapa eólico las zonas de Cantabria donde el viento sopla con más fuerza y que aparecen sombreadas de color amarillento como vemos en la sección 1.2.5 (zona suroeste de Cantabria) .Todas estos resultados se logran mediante los sistemas de predicción meteorológica basados en modelos numéricos realizados en redes de observación.

Los sistemas de predicción meteorológica han tenido siempre una gran relevancia en la sociedad, y permiten definir las políticas de prevención, adaptación y mitigación ante cambios en los regímenes medios (climatología, ciclo estacional etc.) o extremos (inundaciones, sequías, etc.) (García, 2011).

Los modelos de circulación atmosférica son la principal herramienta para la simulación y predicción meteorológica (Fernández, 2007). Estos modelos consideran las ecuaciones físicas que gobiernan la dinámica de la atmósfera y las resuelven numéricamente con rejillas apropiadas que cubren el globo, y que conllevan el uso de computadoras de alto rendimiento.

Una vez ejecutados los modelos numéricos de predicción como forma obtener datos, se pueden utilizar técnicas estadísticas o empíricas basadas en observaciones, que buscan relaciones entre variables de un modelo y variables medidas localmente, para poder aplicarlas posteriormente para predecir las variables locales. Estas técnicas estadísticas solo se pueden analizar en lugares donde existen observaciones como veremos en el mapa eólico los resultados que nos dan las observaciones reales.

El portal Web que utilizamos para obtener y validar el viento de uno de estos modelos es el mapa eólico de la Península Ibérica y Baleares cuya url es <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>. Esta herramienta Web nos proporciona información para estimar la fiabilidad de los datos modelados en una ubicación de interés, estimar la potencia del viento en la Península Ibérica y la estimación de los resultados eólicos de una instalación de minieólica para un lugar determinado. En lugares donde no hay observaciones nos basamos en puntos de observaciones reales que mediante interpolación de datos entre puntos nos muestran información del recurso eólico.

Una vez decidida la ubicación mediante el mapa eólico y otros datos que veremos en la sección 0, se decide comprar un aerogenerador de 100 Kw que nos genere la suficiente energía para poder verte a la red la energía que genera la turbina eólica mediante la captación de viento. Los presupuestos solicitados a varias empresas no difieren mucho entre sí, por lo que se opta por el Turbec que según su documentación ofrece gran rentabilidad y fiabilidad.

Situamos el aerogenerador en la finca situada en Valdeolea (Cantabria) con vientos entre 5-6 m/s, y que hemos escogido no solo por su altitud y vientos sino también por su cercanía a la red eléctrica Española, Los accesos son suficientes para permitir su instalación y transporte.

Es conveniente hacer un estudio geotécnico y medioambiental de la zona, pero como se trata de un solo aerogenerador de momento no es necesario. El firme parece ser el adecuado porque en la citada zona se ve que hay una estructura de suelo formada en su mayor parte de roca caliza y arenisca, además de estar cubierta de vegetación arraigada al terreno

A partir de ahí y cuando el viento permita arrancar al sistema eólico se comienza a producir energía, que dependerá de la velocidad del viento de la zona sección 0 y la curva de potencia del aerogenerador sección 1.2.6.2.

Se realiza el estudio de viabilidad económica para ver si es factible o no nuestro sistema eólico. Vemos y concluimos como a partir de un determinado año el rendimiento es positivo, por tanto mediante el cálculo del Flujo de Caja, VAN y TIR, calculamos la rentabilidad.

1.2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA EÓLICA

Desde tiempo inmemorial las más diversas culturas han tenido abundantes medios naturales de subsistencia y también fuerzas físicas para desarrollar sus actividades. Supieron crear sus propias técnicas con los recursos a su alcance. El sol, el calor, el frío, el agua, el viento. Tenían los elementos naturales pero no los dominaban y escasamente pudieron generar fuerza. Muy a pesar de los tiempos actuales no podemos dejar de admirar a nuestros milenarios antecesores, cuando aún hoy hemos conseguido de otra manera, y mediante el avance de la ciencia aprovechamos el recurso eólico que nos brinda la naturaleza. Potentes maquinas eólicas que parecen sustentar el cielo, se alzan con sus palas para ‘absorber’ la fuerza del viento y producir energía eléctrica. Pero nos falta un largo camino por recorrer para aprovechar todo lo que la naturaleza nos ofrece, en este caso la energía cinética del viento, pero ¿se podrá



Ilustración 2: Barco de vela vikingo.

FUENTE:http://es.123rf.com/photo_14193007_modelo-antiguo-barco-vikingo-aislado-en-blanco.html

en un futuro mover las potentes palas del aerogenerador con 0,2 m/s (calma-escala de Beaufort) sección 1.2.4.2.1. La problemática es cómo dominarla para obtener más, no una, sino muchas y grandes utilidades, según las múltiples formas de canalizarla.

La etimología de la palabra eólico está relacionada con *Aeolos*, Dios del viento en la mitología griega y romana. El recurso eólico o energía es una fuente de energía utilizable que desde siempre pertenece al grupo de las llamadas energías renovables. La energía eólica comenzó históricamente con su aprovechamiento para generar movimiento e impulsar los barcos de vela (Ilustración 2), en los desplazamientos en ríos y mares de todo el mundo; de hecho los egipcios utilizaban el viento con este fin, hace casi siete mil años. Así comenzó el transporte y se dio paso al comercio entre los territorios.

Sin embargo no fue hasta el siglo VII antes de Cristo que aparecieron los primeros molinos de viento (Capilla, 2011). Fue en Asia Menor y en China donde estos

ingenios mecánicos eran utilizados para bombear agua y así poder regar grandes extensiones de terreno, aumentando el rendimiento de la agricultura. Se trataba de rudimentarias máquinas hechas de madera y tela, con el eje de giro en posición vertical, que sobrevivieron durante largo tiempo a pesar de su reducida eficiencia. En España los molinos de viento se han utilizado durante siglos para moler grano o caña y producir



Ilustración 3: 'Del buen suceso que el valeroso Don Quijote tuvo en la espantable y jamás imaginada aventura de los molinos de viento'. FUENTE:
<http://natapasoapaso.blogspot.com.es/2010/10/del-buen-suceso-que-el-valeroso-don.html>

harina, en particular en amplias zonas de las dos Castillas, el Mediterráneo, Andalucía etc.; tenían un muro en forma de media luna que cubría la mitad del molino; al dar vueltas, ésta trituraba, frotaba las semillas entre la pared y la orilla del molino, y la otra mitad del molino estaba a la intemperie para poder ser movido por el viento y desempeñar el triturado. En la Mancha, todavía hoy, la visión de los molinos (Ilustración 3) evoca la imagen del caballero hidalgo Don Quijote, proporcionando una bella estampa alrededor de la cual ha aparecido una actividad turística de primer orden.

En el siglo XIII de nuestra era aparecieron los primeros molinos de eje horizontal en Europa, que también se utilizaron para bombeo (Capilla, 2011). Existen documentos alemanes de la época que



Ilustración 4: Molino de bombeo. Los molinos de bombeo son los dispositivos eólicos fabricados en mayor número a lo largo de la historia. FUENTE:
[www.arrakis.nl/reports/pr-98-02-1-def\(sp\).pdf](http://www.arrakis.nl/reports/pr-98-02-1-def(sp).pdf)

constatan su existencia. También fueron utilizados en Holanda, en el siglo XV, y el propio *Leonardo da Vinci* da fe de su utilización en algunos grabados de sus manuscritos de aquella época.

Posteriormente, su utilización para producir harina a partir de cereales, base de alimentación de numerosas culturas desde siempre, hizo que se generalizaran.

La extensión de la energía eólica a gran escala no tuvo lugar hasta el siglo XIX, en Estados Unidos, donde se fabricaron más de seis millones de molinos para bombeo de agua (Capilla, 2011). Estos molinos se utilizaron masivamente para el suministro de agua procedente de pozos durante la colonización del lejano Oeste Americano (Ilustración 4).

Las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores, son los modernos molinos de viento utilizados para producir corriente eléctrica., que aparecieron a finales del siglo XIX, en Dinamarca (Ilustración 5). El profesor *Poul Lacour* desarrolló en aquel país un



Ilustración 5 Aerogeneradores europeos del siglo XIX, antecesores de la moderna tecnología eólica. FUENTE: <http://www.poullacour.dk/>

molino capaz de generar 25 Kw. de potencia, con un diámetro de 25 metros.

A partir del siglo XX, la teoría aerodinámica sufre un importante desarrollo, los diferentes estudios aerodinámicos se centran en profundizar el conocimiento de las fuerzas que aparecen en las palas de las turbinas eólicas. Estas teorías son desarrolladas, fundamentalmente, por investigadores en el campo de la aeronáutica procedentes de Rusia, Alemania y Francia. Cabe destacar en esta época el trabajo del

alemán *Betz*, quien demostró que el rendimiento de un aerogenerador aumenta con la velocidad de rotación y que existe un valor límite para dicho rendimiento – el denominado *límite de Betz* - por debajo del 60 %.(máxima potencia aprovechada). Es decir, no toda la energía del viento se puede aprovechar ya que el viento es frenado por un obstáculo y consecuentemente su velocidad de salida es menor.

La tecnología de los ingenios mecánicos utilizados para el aprovechamiento eólico se beneficia de los resultados de todos estos trabajos. Sirva como ejemplo que, ya en los años 20, las palas de los aerogeneradores son diseñadas utilizando los perfiles aerodinámicos desarrollados para las alas de los aviones comerciales. Tras la Primera Guerra Mundial transcurre un periodo de cierto auge para la eólica. En efecto, se produce en esta época la generalización de la electricidad como fuente de energía, que coincide con la aparición de ciertas dificultades para las importaciones de petróleo como consecuencia de las tensiones políticas. Además, el avance tecnológico sigue su cauce, tanto en el pequeño desarrollo de pequeños aerogeneradores para zonas aisladas de la red eléctrica, como en el de las grandes turbinas eólicas para la producción masiva de electricidad.

Varias décadas después, con la primera crisis del petróleo de, la energía eólica recibe un nuevo impulso, ante la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de energía que permitieran reducir las importaciones de crudo, disminuyendo la dependencia energética de los productores de la OPEP (Asociación de Países Productores de Petróleo). Fruto del esfuerzo investigador realizado en esta época, surge una nueva generación de aerogeneradores comerciales, más grandes, más eficientes y que permiten un abaratamiento significativo de la energía eléctrica producida.

A mediados de los 80 y debido a los altos precios que alcanza el petróleo, es cuando arranca la nueva industria eólica en España. Así, la primera turbina eólica con tecnología moderna que se instaló en nuestro país fue un prototipo situado en Tarifa, en 1981. Tenía una potencia de 100 Kw.

Ya en 1987 comenzó el desarrollo de los parques eólicos, instalaciones conectadas a la red eléctrica con fines comerciales. Los primeros se instalaron en

Gerona y Tenerife. La evolución de potencia instalada fue muy lenta hasta principios de los años 90. Es entonces cuando, gracias a la introducción de medidas de apoyo en el plan energético nacional, se produce el despegue de esta tecnología en el país.

Desde entonces, y tras muchos años de intenso desarrollo, tanto en los aspectos tecnológicos como de mercado, y de la mano de legislaciones específicas para impulsar las energías renovables como herramienta para paliar el cambio climático y para garantizar la creciente demanda de energía, la energía eólica sigue su imparable penetración en los mercados de todo el mundo. En la actualidad la eólica es la más desarrollada de las energías renovables y constituye una fuente de generación eléctrica de primer nivel en muchos países del mundo. Así, a finales del año 2009 en España la energía eólica suministró el 13% del consumo anual de energía eléctrica (Capilla, 2011).

La evolución de los aerogeneradores modernos se ha manifestado además de en otros aspectos técnicos, en el imparable aumento de su tamaño. Cronológicamente con el paso de los años podemos ver como aumenta la potencia en los grandes aerogeneradores desde 100 Kw a finales de los 80, a 200 Kw. a comienzos de los 90. Ya en el año 2009 el tamaño medio rondaba los 1800 Kw. Actualmente existen grandes aerogeneradores de más de 2 MW (2000 Kw.) y prototipos de hasta 5 MW.



Ilustración 6: Parque eólico offshore. FUENTE:

<http://news.solidclima.com/noticias/energia-eolica/pagina/4>

En los últimos tiempos, los parques eólicos han encontrado un nuevo hábitat en el mar (Ilustración 6), en las llamadas instalaciones '*offshore*', por ello se prevé que estas instalaciones alcancen un gran auge en los próximos años, con lo que es posible que se produzca un nuevo impulso de la energía eólica de la mano de los parques marinos.

Allí, la disponibilidad de viento es significativamente mayor que en la tierra como se puede ver en el mapa eólico sección 1.2.5 (zonas que bordean la península ibérica y mar adentro), con la ventaja adicional que el recurso eólico suele ser más constante, con menos variaciones estacionales. Además en los países más avanzados, la eólica terrestre empieza a notar cierta saturación en cuanto a la disponibilidad de los mejores asentamientos, mientras que el inmenso potencial marino está casi sin explotar.

Pero no todo son ventajas, existen ciertos inconvenientes que conviene destacar y que producen variaciones en el medio ambiente, estos son:

- El costo de instalación es bastante más alto que el terrestre.
- Modificación de corrientes marinas que conllevan una variación en el ancho de las playas.
- Impacto visual tanto en tierra (conexiones eléctricas ‘camufladas’ con hormigón) como en mar adentro. Los sistemas eólicos deben ir dotados de balizas para impedir el choque de barcos y aviones. Algunos estudios muestran que la instalación deja de ser visible a una distancia de 45 Km.-50 Km., considerando 155 metros como la altura de un aerogenerador (Narejos, 2011).
- Contaminación acústica dependiente del aerogenerador.
- Paso de aves.

1.2.3 ESTADO DEL ARTE

A continuación describo el estado del arte de la tecnología que aprovecha la fuente del viento, limpia, natura e inagotable, para obtener energía. En un principio hablábamos de los molinos de viento utilizados durante siglos para moler grano y producir harina, hoy, fruto del avance de la técnica e investigación, como variable sustitutiva a los métodos tradicionales para obtención de energía, se fabrican aerogeneradores como alternativa para suministro de energía a nuestras redes. La utilización de energías renovables, en este caso, la fuerza del viento, supone dar un paso hacia adelante dejando métodos costosos, obsoletos y tradicionales. Como inconveniente cito el 'desnivel' que puede existir en la naturaleza ante la colocación de un aerogenerador, en poblaciones rurales y lugares cargados de historia que mantienen sus normas subsidiarias adosadas a la belleza y encanto del lugar. Además

1 kwh producido con: Emite (kg de CO ²):	Emite (kg de CO ²):
Carbón	0.75 kg (valor poco exacto, y dependiente del tipo de carbón)
Fuel o gasoil	0.60 kg
Gas "natural", central convencional	0.37 kg
Gas "natural", central de ciclo combinado	0.26 kg
Nuclear	poco, pero no despreciable (minería de uranio, transportes, etc)
Hidráulica	despreciable
Eólica	despreciable

Ilustración 7: Ecología.

Fuente: <http://www.windspot.es/aerogeneradores-minieolica.html>

cabe destacar que aunque son despreciables las emisiones de CO₂ (Ilustración 7) a la atmósfera con respecto a otros recursos, suponen un impacto medioambiental en los casos de turbinas de gran potencia,

sobre todo visualmente, claro que conllevan dificultades en la concesión de licencias. Entre las

implicaciones que se tiene con el medio ambiente, una es el castigo a las aves por ser zonas de paso de la avifauna. No obstante, Expertos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y de la Fundación Migres ultiman un dispositivo con cámara de televisión capaz de detectar la presencia de aves, con el fin de detener las palas de los aerogeneradores para evitar su muerte. Los buitres son la especie que sufre en mayor medida el impacto de las alas de los aerogeneradores. Le siguen las aves migratorias, las rapaces y las gaviotas (en las zonas costeras). Los científicos españoles

han elaborado en los últimos años inventarios sobre estas mortandades en distintos parques eólicos: la media es de 0,5 aves muertas por año en cada aerogenerador (Muñoz, 2012).

En la actualidad centramos el área de conocimiento en modernas máquinas que pueden suministrar potencias de hasta varios megavatios. Los modelos que existen se clasifican atendiendo a diversidad de criterios tales como la potencia proporcionada, número de palas e incluso en la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa con la red de distribución convencional).

ESTRUCTURA

Los componentes principales del aerogenerador (Componentes de un aerogenerador, 2009), que van a transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica son:

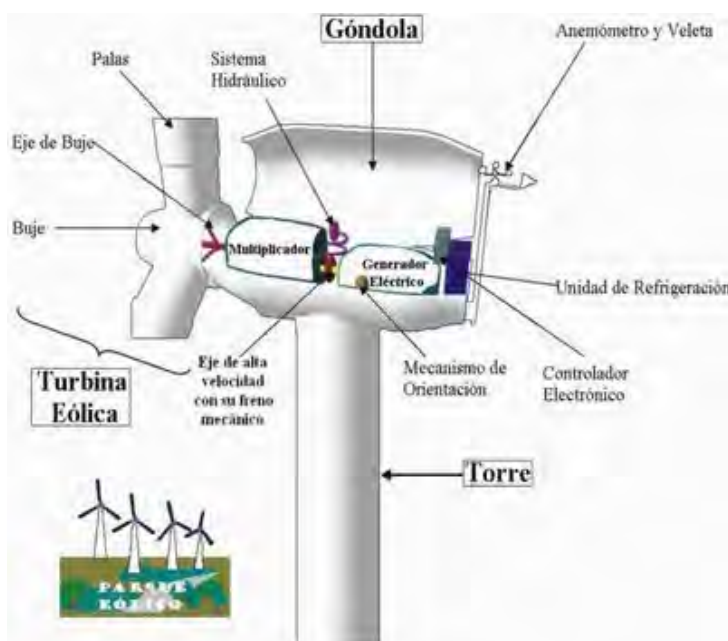
- La torre: Principal elemento de sujeción, base de la góndola y el rotor que están situados en la parte alta (ilustración 8). Cuanto más alta sea la torre más alta es la velocidad del viento, como se justifica su intensidad aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Debe ser estable para la captación del viento y resistente, ya que tiene que soportar todo el peso. Suelen ser de acero con protecciones contra la corrosión, aunque también las hay de hormigón y aluminio. Los tipos más habituales son las torres tubulares, más utilizadas en los modernos aerogeneradores y más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. Es el elemento responsable del 15-20 % del coste del aerogenerador. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas porque utilizan secciones enrejadas de acero soldadas o atornilladas. Las podemos ver sustentando las líneas de alta tensión.

- El mecanismo de orientación: Está activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta. Los aerogeneradores de eje horizontal deben situarse en dirección perpendicular a la dirección del viento sin embargo los de eje vertical siempre están dispuestos de manera que capturen el viento.

- Cimentación: Soporta y fija la estructura del aerogenerador. Dependiendo de su estructura pueden requerir una obra civil considerable, que por ejemplo en un parque eólico depende aproximadamente del 10 % del coste del proyecto. La base suele ser de hormigón armado y pueden añadirse pilares para fijar mejor la sujeción.

- La góndola: Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir las palas y el buje. En lo alto suelen ubicarse elementos de medida del viento como la veleta o el anemómetro.

- El rotor: Capta la energía del aire en movimiento y la transforma en energía



mecánica. Está formado por las palas del rotor que capturan el viento y transmiten su potencia hacia la pieza central denominada buje. El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador. El eje de baja velocidad conecta el buje del rotor al multiplicador. El controlador electrónico es un

Ilustración 8: Componentes de un aerogenerador

FUENTE: <http://alumnatbioqeo.blogspot.com.es/2009/03/componentes-de-un-aerogenerador.html>

ordenador que continuamente monitoriza las

condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante modem.

- La unidad de refrigeración: Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite

empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

TIPOS DE AEROGENERADORES

- Según el eje de giro del rotor
- Según la potencia suministrada
- Según la orientación
- Según el tipo de torre

- Según el eje de giro del rotor

Existen dos tipos de aerogeneradores según la disposición de su eje de rotación. Los aerogeneradores de eje horizontal y los de eje vertical. Los aerogeneradores de eje horizontal son los que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo. Y los aerogeneradores de eje vertical son los que el eje de rotación está perpendicular. Por motivos de eficiencia y mayor rendimiento el tipo de aerogenerador más habitual en la actualidad es el aerogenerador de eje horizontal.

+Aerogeneradores de eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical no necesitan mecanismo de orientación y el generador eléctrico puede ir al suelo. Su producción energética es menor que un aerogenerador de eje horizontal de la misma potencia y necesitan de un motor para facilitar su puesta en marcha.



Ilustración 9: Savonius.

FUENTE: energiasorolla.wikispaces.com



Ilustración 11: Darrieus.

FUENTE: opex-energy.com

Hay tres tipos: El Savonius: está formado por dos semicírculos desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire (desarrolla poca potencia) ilustración 11.

Ilustración 10: Giromill.

FUENTE: opex-energy.com

El Giromill: conjunto de palas verticales unidas con dos barras en el eje vertical (10-20 Kw) ilustración 9.

El Darrieus: está formado por dos o tres palas biconvexas (ilustración 10) unidas al



eje vertical por la parte inferior y superior, aprovechan el viento dentro de una banda ancha de velocidades (500 Kw).

+Aerogeneradores de eje horizontal

En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen conectados a red son de eje horizontal tripalas. Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

Los de eje horizontal son los más utilizados y permiten cubrir desde aplicaciones aisladas de pequeña potencia (de aproximadamente 1 Kw) hasta instalaciones en grandes parques eólicos, donde se puede llegar a utilizar aerogeneradores hasta 7 MW de potencia.

Un aerogenerador de eje horizontal es una máquina rotacional, el movimiento de la cual es producido por la energía cinética del viento, cuando éste actúa sobre un rotor que normalmente dispone de tres palas. El movimiento producido es transmitido y multiplicado mediante un multiplicador de velocidad, hasta un generador que produce la energía eléctrica. Todos estos componentes se instalan sobre una góndola que se sitúa arriba de una torre de apoyo.

Cada aerogenerador dispone de un microprocesador que controla y regula las variables de puesta en marcha, funcionamiento y paro, transmitiendo toda esta información a la central de control de la instalación. Cada aerogenerador incorpora, en la base de la torre, un armario con todos los componentes eléctricos (interruptores automáticos, transformadores de intensidad, protectores de sobre tensión, etc)

La energía obtenida por un aerogenerador determinado depende básicamente de la potencia del viento atravesando el rotor y es directamente proporcional a la densidad del aire, la superficie barrida por sus palas y la velocidad del viento. El funcionamiento de un aerogenerador está caracterizado por su curva de potencia que indica el rango de velocidades de viento en las que puede operar y la potencia que puede alcanzar en cada caso.

Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada.

Tripala: Es el más empleado en la actualidad, consta de 3 palas colocadas formando 120° entre si.

Bipala: Ahorra el peso y coste de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripála, pero necesitan mayores velocidades de giro para producir la misma energía que aquellos. Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre.

Monopala: Tienen, en mayor medida, los mismo inconvenientes que los bipala, necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo.

- Según la potencia suministrada

*Equipos de baja potencia: Proporcionan potencias hasta 100 KW, aunque pueden utilizarse varios equipos adyacentes para aumentar la potencia total suministrada. Hoy en día siguen utilizándose como fuente de energía para sistemas mecánicos o como suministro de energía en equipos aislados.

*Equipos de media potencia: Son los que se encuentran en el rango de producción de energía de 250 KW. No suelen estar conectados a baterías de almacenamiento, por lo que se utilizan conectados a red o junto con sistemas de respaldo.

*Equipos de alta potencia: Son los utilizados para producción de energía de forma comercial, aparecen conectados a red y en grupos formando parques eólicos, ya sea en tierra como en el mar (offshore). Su producción llega hasta el orden del gigavatio. El diseño elegido mayoritariamente para estos equipos son los aerogeneradores de eje horizontal tripalas, orientados a barlovento y con torre tubular.

- Según su orientación

Orientadas a barlovento: Cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante, consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento. Es el caso preferido para el diseño actual de aerogeneradores.

Orientadas a sotavento: Cuando el rotor se encuentra enfocado en sentido contrario a la dirección del viento dominante, la estructura de la torre y la góndola disminuye el aprovechamiento del viento por el rotor, en este caso el viento es el que orienta con su propia fuerza a la góndola, por lo que no son necesarios elementos de reorientación automatizada en la teoría, aunque si suelen utilizarse como elemento de seguridad. Las palas y la góndola son construidos con una mayor flexibilidad en este caso.



Ilustración 12: Torres de celosía.

FUENTE: opex-energy.com

- Según el tipo de torre

Torres de celosía: Son las construidas mediante perfiles de acero unidos mediante tornillería (Ilustración 12). Son muy baratas y fáciles de construir pero necesitan de verificaciones periódicas de la correcta sujeción de los segmentos de acero entre si. Necesitan un emplazamiento extra para la instalación de los equipos de suelo como sistemas de control o equipos eléctricos, el acceso a la góndola se realiza por escalerillas exteriores. No se utilizan para aerogeneradores de gran potencia.

Torres tubulares: Consisten en grandes tubos de acero de forma tubular o cónica que ofrecen en su interior espacio para los equipos de suelo y para el acceso hacia la góndola. Necesitan de una instalación más laboriosa y cara, pero ofrecen una mayor resistencia y menos mantenimiento necesario que las torres de celosía. Son las más empleadas en equipos de generación de energía.

El aerogenerador que proporciona nuestro resultado de modelización mediante la plataforma Web del servidor espacial CIOYN, es de la marca *Sonkyo* 3,5 Kw. Se trata de un aerogenerador de poca potencia ligada a su diseño, cálculo, aerodinámica, sistemas mecánicos, generadores eléctricos, regulación y control. Sin embargo para

conseguir resultados más rentables en la producción se utilizará el aerogenerador de minieólica de *100 Kw. TURBEC 100*. A continuación se exponen sus características técnicas y a lo largo del proyecto realizaremos su análisis de rentabilidad.

AEROGENERADOR **TURBEC 100** KW



Somos tu energía

Argolabe Ingeniería

ESPECIFICACIONES TECNICAS

General

Tipo	Tripala, Eje horizontal
Potencia	100 KW
Clase de diseño	IEC IIIa
velocidad de conexión	3.5 m/s
Velocidad nominal	10.5 m/s
Velocidad de corte	20 m/s
Control de potencia	Pitch variable-velocidad variable

Rotor

Diámetro	22.5 m
Área barrida	397.6 m ²
Rango de velocidad de giro	20-46 rpm

Tren de potencia

Multiplicadora	2 etapas de planetarios
Relación de multiplicación	1:16.9
Generador	Asíncrono de inducción 8 polos

Red

Convertidor	IGBT – Conversión total
Voltaje	400 V – baja tensión
Frecuencia	50 Hz

Torre

Altura	36 m
Construcción	Tubular acero

TURBEC 100

El aerogenerador TURBEC 100 posee un concepto de diseño que le dota de **alta fiabilidad** y **elevado rendimiento**. Está diseñado de acuerdo a los estándares más rigurosos, como IEC 61400-1 y GL.

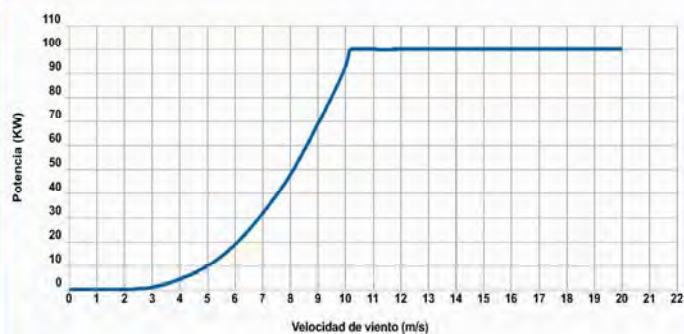
El TURBEC 100 se conecta en redes de **baja tensión** por lo que se puede instalar junto al punto de consumo eléctrico. Este concepto de aerogenerador es la opción para la **generación eléctrica distribuida**. Permite el **autoconsumo** eléctrico en el lugar de demanda y la venta a la red del excedente de potencia producido.

El TURBEC 100 es la mejor solución energética para gran variedad de aplicaciones; parques empresariales, fábricas, urbanizaciones, granjas, bodegas, puertos, canteras, complejos deportivos, electrolíneas, instalaciones remotas y aisladas, etc.

El rendimiento y fiabilidad del TURBEC 100 garantizan la **máxima rentabilidad** en emplazamientos de viento bajo.



CURVA DE POTENCIA TURBEC 100



Densidad aire 1,225 gr/cm³

Argolabe Ingeniería

Lascaray, 9 – Of.3
01008 Vitoria, Spain
Tel: 34- 945 000 978
www.argolabe.es

Hacemos la tabla 1 con las medidas correspondientes que nos da la curva de potencia suministrada por el fabricante de la maquina eólica para ver su rendimiento, y que será el punto de partida en un determinado emplazamiento junto a los datos del viento, para calcular de manera aproximada la producción anual y la cantidad de horas en tanto por ciento a lo largo del año (Factor de carga).

Tabla 1: Curva de Potencia del Aerogenerador TURBEC 100

VELOCIDAD (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
POTENCIA (Kw)	0	0	0	5	10	20	32	49	70	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

1.2.3.1 EL VIENTO COMO FUENTE DE ENERGÍA.

El viento es una fuente de energía que aprovecha la energía cinética de masas de aire en movimiento. La energía eólica pertenece al grupo de las llamadas energías renovables, que son un conjunto de tecnologías de producción de energía que se sirven de recursos naturales inagotables. Se estima que la energía que contiene el viento es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra (Guerrero, 2013). La velocidad del viento determina la cantidad de energía que nosotros podemos utilizar. La diferencia de temperaturas entre la tierra y el mar produce el movimiento del aire, calentando la tierra antes que el mar cuando el sol calienta, sin embargo por la noche la tierra se enfría más rápido. Al chocar el viento contra un obstáculo produce una fuerza y a la vez una resistencia, que conviene aprovechar y dirigir para producir energía. Los tipos de energía que produce este recurso natural que es el viento son:

Energía mecánica- Los aerogeneradores expuestos a esta fuente inagotable que es el recurso eólico, producen trabajo en su eje, y es el generador (componente) el que se va a encargar de transformar esta energía mecánica en energía eléctrica con corriente alterna debido al movimiento del rotor. Sus aplicaciones principales son para el bombeo de agua y riego.

Energía térmica - es debida a la energía mecánica por el calentamiento del agua, rozamiento mecánico o bien por compresión de fluido refrigerante de una bomba de calor.

Energía eléctrica- Es la más utilizada, y es frecuente en aplicaciones centralizadas con producción de energía eléctrica en grandes parques eólicos o aerogeneradores de gran potencia que transforman la energía cinética de las masas de aire en energía eléctrica que son vertidas directamente a la red de distribución para su transporte y distribución a puntos de consumo. Otra aplicación bastante común es la alimentación de sistemas aislados recomendable para viviendas que están alejadas de la población, viviendas no conectadas a redes eléctricas, granjas, sistemas de telecomunicaciones, barcos etc.

Hay que tener en cuenta que dado que la electricidad se produce de manera intermitente, su energía solo es aprovechable en los momentos que el viento sopla con suficiente fuerza. Como su suministro debe estar disponible en los momentos que sea necesario su uso, como es el caso de las viviendas aisladas, es necesario su almacenamiento de manera eficiente para garantizar su consumo. En realidad son las instalaciones aisladas las que más utilizan almacenamiento de energía mediante baterías que almacenan la electricidad. Los volantes de inercia o las instalaciones hidroeléctricas de bombeo son soluciones de cara a sistemas medianos y grandes. Se están investigando otros recursos como el empleo de hidrogeno, almacenamiento en frío o a gran escala etc.

1.2.3.2 MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN.

En 1975, el Programa Global de Investigación de la Atmósfera (*Global Atmospheric Research Programme o GARP*) de la Organización Meteorológica Mundial estableció que el sistema climático (Ilustración 13) estaba formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie del suelo y la biosfera. Mediante modelos numéricos se representan los componentes que interactúan entre si produciendo intercambios de calor tales como la radiación solar y la radiación terrestre, intercambios de materia y momento, y multitud de interacciones físicas, químicas y biológicas que hacen al sistema complejo. (J.M.Gutiérrez y M.R.pons, 2006).

Atmósfera + Hidrosfera + Criosfera + Litosfera + Biosfera

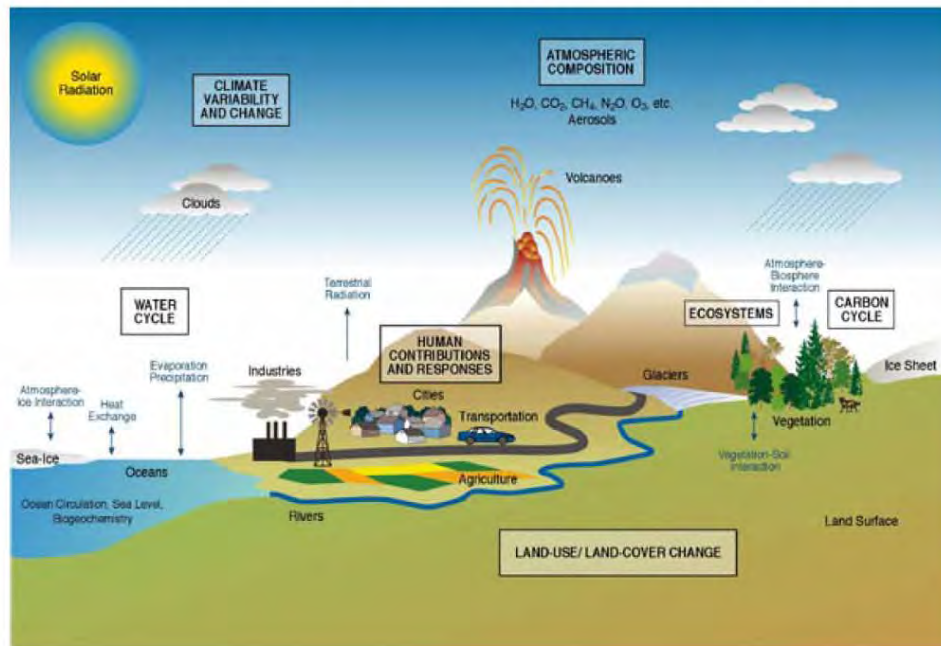


Ilustración 13: El sistema climático

FUENTE: *Esta figura es un informe del IPCC*

La presencia y evolución de masas de aire está ligada a la circulación atmosférica siendo secuela sobre todo de cambios de presión y vientos dominantes, y

van a provocar un movimiento de las masas de aire horizontal y vertical. Estas masas de aire dinámicas y no homogéneas, debido a sus diferencias de temperatura, humedad y estabilidad son el resultado de la distribución de la radiación solar y su presión sobre la Tierra. La radiación solar es la fuente de energía del sistema climático y su reparto desigual da lugar a la circulación general de la atmósfera. Distinguimos en la

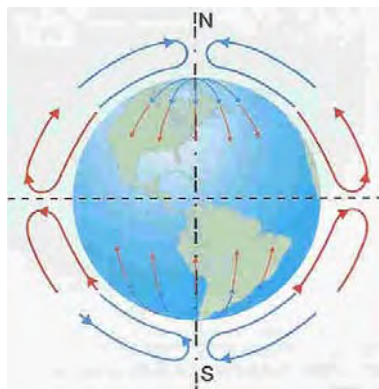


Ilustración 14: Circulación general atmosférica. FUENTE: Apuntes de Meteorología ARES

Ilustración 14 de la circulación general de la atmósfera, que en el hemisferio Norte es en el sentido horario y en el Sur en sentido contrario. Como la tierra es móvil

actúa sobre ella una fuerza, que va a ser la encargada de desviar los vientos e impedir que la trayectoria sea continua, esta es la fuerza de Coriolis. Se produce un ascenso convectivo del aire ecuatorial (intenso calentamiento) desplazándose hacia los polos y

siendo desviada hacia la derecha en el hemisferio Norte (izquierda en el Sur), claro que al alcanzar los 30° de latitud se hace paralela al ecuador.

Tres zonas configuran en cada hemisferio la respectiva dirección de los vientos, vemos pues, tres células (Ilustración 15) que definiremos a continuación:

CELDA DE HADLEY.- Abarca desde el ecuador hasta los 30° de latitud, en el Hemisferio Norte y en el Hemisferio Sur. Como se puede apreciar en la figura, los vientos sobresalientes son los procedentes del noreste alisios del noreste (y sureste), de ahí que sean cálidos y secos, y son desviados hacia el Oeste

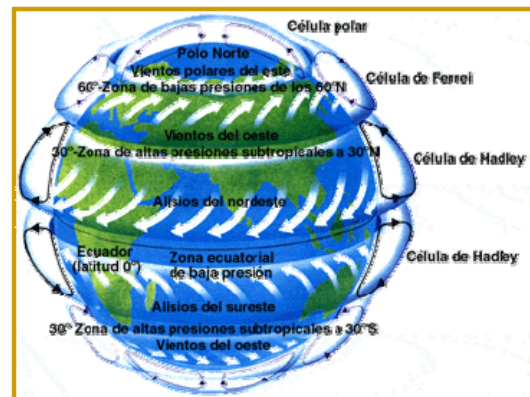


Ilustración 15: Circulación atmosférica.

FUENTE: geogracid.blogspot.com

provocado por el movimiento rotacional terrestre.

CELDA DE FERREL.- Por encima de la celda Hadley se 'sustenta' la celda de Ferrel con su simétrica correspondiente en el hemisferio Sur. Se encuentra en las latitudes intermedias que cubren los 30° y 60°, y en ella destacan los vientos intensos, con

abundante nubosidad y precipitación. Dominan vientos del oeste y suroeste llamados ponientes (Valencia), se caracterizan por ser húmedos y frescos, y son los que originan precipitaciones.

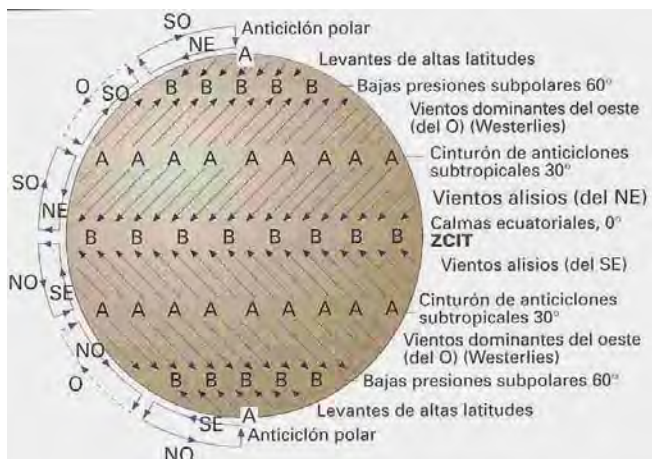


Ilustración 16: Diagrama de circulación atmosférica.

FUENTE: Temario de meteorología academia ARES

CELDA POLAR.- Con vientos dominantes llamados vientos polares del este que se extienden desde los polos hasta los 60° de latitud en ambos hemisferios. Al ser

más pesado el aire frío se desplaza en superficie hasta el Ecuador sustituyendo a las masas de aire que avanzan en altura hasta los polos.

Podemos ver en la ilustración 16 el diagrama de la circulación general de la atmósfera resultado de la desigual distribución de los rayos solares, en la que se distinguen tres zonas con sus vientos dominantes correspondientes. La zona de bajas presiones ubicada en el cinturón ecuatorial es la franja de convergencia intertropical (ZCIT), caracterizada por ser una línea imaginaria no uniforme, en la que confluyen los alisios del noreste y sureste. Este cinturón se caracteriza por ser zona de descargas eléctricas, fuertes precipitaciones y nubosidad, y su grosor variar de un sitio a otro, también su comportamiento en zonas marítimas y continentales.

En los mapas del tiempo, las líneas continuas que unen los lugares de igual presión se denominan isobaras. Estas isobaras nos van a ser útiles para saber la Intensidad del viento y su dirección. Muchas veces indicadas por una flecha en estos mapas, se dirigen desde los anticiclones (zonas de altas presión-sentido horario) hacia las borrascas (bajas presiones-sentido anti horario). También podemos ver que a mayor diferencia de presión (gradiente de presión) mayor es la intensidad del viento. Estudiando la dirección del viento podemos saber las características de esa masa de aire, es decir si viene del Norte será frío, si procede del Sur cálido, si su origen está en las masas oceánicas será húmedo, y si procede del continente estará caracterizado por su sequedad.

Hablamos de cambio climático, como resultado de un calentamiento global del planeta, cuyo resultado es la pérdida de vegetación, incremento de sequías, disminución de masas de hielo, inundaciones, etc. Estamos ante un sistema climático complejo que abarca los componentes principales del sistema climático, por ello su estimación ante los futuros cambios climáticos no permite obtener los adecuados detalles geográficos.

Los modelos de circulación atmosféricos son el instrumento principal para la simulación meteorológica y la previsión numérica del estado del sistema climático (ilustración 18). Estos modelos se basan en las ecuaciones físicas y matemáticas que son resueltas de forma numérica discretizando el espacio (horizontal y verticalmente) en una malla de puntos (García, 2011)..

Esta discretización hace necesaria la inclusión de nuevas ecuaciones, conocidas como *parametrizaciones*. Nuestro estudio se centra en la validación de modelos locales que a su vez subyacen y dependen de modelos globales a gran escala, en este

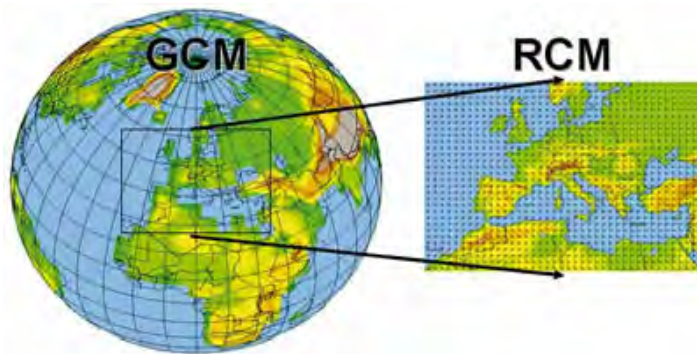


Ilustración 17: Representación esquemática de los modelos regionales de climáticos.

FUENTE:

http://www.wmo.int/wcc3/bulletin/57_2_en/giorqi_en.html

caso el *Global Climate Model* (GCMs) integrado por variables experimentales dentro de una rejilla de cientos de kilómetros de distancia. Los GCMs son de baja resolución debido a su gran

distancia entre los puntos clave de la red, pero son el punto de partida para relacionar estas variables empíricas con variables locales del modelo

regional '*Regional Climate Models (RCMs)*'. Hay que tener en cuenta que no es lo mismo interpolar a 25 Km que a 100 Km a tal fin los resultados de las variables

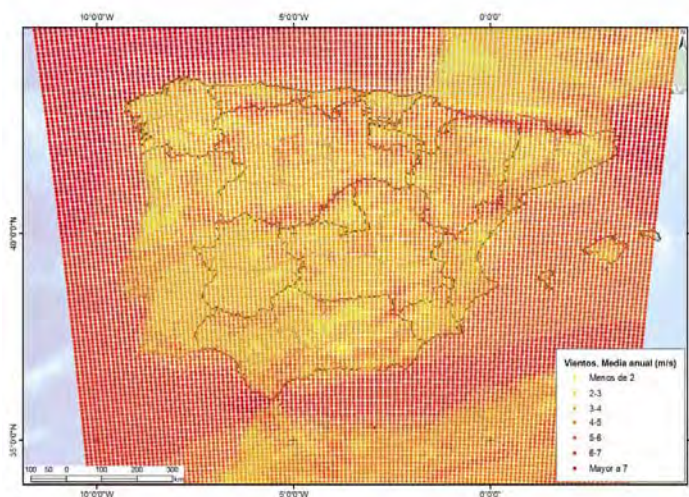


Ilustración 18: Distribución espacial de los puntos del mallado para el modelo MM5 con información referente a direcciones y velocidades del viento para diferentes alturas.

FUENTE:

http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/sites/default/files/Alonso_F.pdf

climáticas son bastante limitadas y menos precisas cuando se trata de distancias mayores. Los GCMs son de resolución espacial y están formados por una distribución uniforme de cuadrados (rejilla), en los que cada punto de unión, es decir

cada punto de la esquina es una fuente con información que aporta valores a los modelos regionales climáticos. Los RCMs al aportar

información a escala más precisa en las previsiones requieren de mayor alcance en las supercomputadoras y por tanto más tiempo de ejecución (Ilustración 17).

Los RCMs son usados para la generación bases de datos de alta resolución y tienen una distribución homogénea de datos sobre el viento. Destacamos la lista de RCMs: RegCM3, CHRM, CLM, MM5 (CMM5, MM5-ISU, MM5-ANL,...), REMO, CRCM, RSM (NCEP, Scripps), RCA, PROMES, RAMS, WRF. El modelo que usamos en este estudio es el MM5 que se aplica al mapa eólico de la Universidad de Murcia y que podemos ver en las ilustraciones 19, 20 y 21.

En resumen, de lo que se trata es de buscar una aproximación en los resultados de previsión climáticos lo más fiables, con predicciones de la mayor precisión posible, claro que en gran parte es dependiente del usuario en la elección del método (Fernández, 2007), estas son:

- Condiciones iniciales variabilidad interna, en la que generamos un conjunto de predicciones. Estas condiciones iniciales son perturbables sensiblemente ya que pueden ser alteradas por cualquier cambio climático, por lo tanto no son lineales (Caos Lorenz 1963), y mediante modelos y parametrización se genera un conjunto de predicciones. La resolución al ser alta es complicada la validación por falta de redes de observación, resultando errores de representatividad. Son necesarios más estudios de sensibilidad.
- Dependen de los forzamientos.
- El tamaño y colocación del dominio, y las condiciones de la frontera.

Nos basaremos en un tipo de RCMs (Regional climate models) son usados para generar una base de datos del recurso eólico, con alta resolución y homogeneidad en la distribución espacial. La modelización para el análisis del potencial eólico se basa en el modelo numérico de clima regional MM5 que genera simulaciones regionales en el intervalo de tiempo 1960-2007 (R.Lorente-Plazas y colab 2012) y que da como resultado una base de datos de intensidad en los vientos.

El modelo MM5 (F.Gomaríz Castillo y colab, 2012) tiene las siguientes características:

- Genera simulaciones regionales en intervalo temporal de 1960-2007
- La potencia de vientos para dicho periodo abarca los 15.625 puntos.
- La equidistancia entre los puntos de la malla es de 10 Km, y se asocian dos tablas de 125.000 filas por 423 columnas con información referida a direcciones y velocidades de viento para diferentes estratos.
- Una segunda capa espacial de datos reales, estaciones automáticas con datos de velocidad y dirección de viento extrapolada a 10 m sobre el suelo y resolución temporal horaria.
- Los datos resultantes se muestran en una tabla de 421 columnas referentes al Id, coordenadas, altitud, altura, y variables referentes a la dirección y velocidad.



Ilustración 19: Base de datos de viento.

FUENTE:

[http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/sites/default/files/Alo
nso.F.pdf](http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/sites/default/files/Alo
nso.F.pdf)



Ilustración 20: Distribución espacial de los puntos con observaciones reales de los observatorios incluidos en la base de datos, con información referente a velocidad y dirección de viento. FUENTE: http://age-tig.es/2012_Madrid/ponencia3/Alonso,F_final.pdf

- Ejecución del plugin bajo p.mapper como interfaz de comunicación entre cliente y servidor ha resultado de gran utilidad

Las estadísticas de viento son el resultado de ‘estrategias de regionalización’ (Fernández, 2009), que suponen un desarrollo y a la vez apoyo, para la obtención datos climáticos cuyos impactos deben ser evaluados. Estas técnicas permiten aumentar la precisión a varios tipos de escalas regionales (orografía, lagos, vegetación...), y se denominan *downscaling*, a continuación se citan los tipos:

- Técnicas estadísticas o empíricas son las que buscan relaciones empíricas entre las variables de un modelo y variables medidas localmente para poder aplicarlas posteriormente para predecir las variables locales.
- Técnicas dinámicas- se basan en la resolución de las ecuaciones primitivas de la atmosfera mediante modelos numéricos.

1.2.4 ESTADÍSTICAS DE VIENTO

1.2.4.1 PARAMETROS QUE DEFINEN EL VIENTO

El viento es una variable climática que requiere de dos parámetros independientes (Jansá, 1969), aunque en realidad los dos conjuntamente definen la variable viento, estos son:

Dirección.- es vectorial en el sentido y nos indica la procedencia del viento.

Velocidad.- hace referencia a la presión o fuerza que se ejerce sobre una superficie plana, normal a la dirección.

Se dice que el viento es escalar y es vectorial, ya que además de su módulo escalar se indica su dirección (rumbos).

1.2.4.2 RECURSO EÓLICO

Este apartado se refiere a cómo se distribuye la intensidad y dirección del viento, como cambia con la altura y formas de representarlo. Los datos eólicos se obtienen a partir de la observación instrumentos de medida, pero es difícil medir la intensidad y dirección del viento en superficie con exactitud suficiente, ya que su fuerza es perturbada por diversos factores tales como obstáculos, rugosidad del suelo, la naturaleza de la superficie, las fuentes de calor, etc.

VARIACIÓN DEL VIENTO CON LA ALTURA

Como regla general, la intensidad del viento aumenta con la altura sobre la superficie terrestre. En consecuencia, para la obtención de medidas que sean comparables en diversos lugares, es preciso adoptar una altura modelo para la medida del viento en superficie. A fin de evitar perturbaciones se utiliza como altura normalizada de los instrumentos de medida del viento en superficie, los 10 m sobre el suelo, en terreno llano y descubierto, aunque para otro tipo de mediciones concretas (García F. F., 1996) se usan torres de viento de hasta 100 m.

A medida que nos vamos adentrando en la superficie terrestre, el viento es frenado por la fuerza de rozamiento producida por el efecto orográfico, esto resulta de

una variación en la velocidad que no la mantiene constante. La variación del viento con la altura se puede calcular de manera aproximada por métodos analíticos mediante la aproximación exponencial de *Hellman* (Ecuación 1) que estima el aumento de la velocidad con la altura y cuya expresión es:

Ecuación 1: Aproximación exponencial Hellman

$$\frac{V_Y}{V_{Y_0}} = \left[\frac{Y}{Y_0} \right]^\alpha$$

$$V_Y = V_{Y_0} \left[\frac{Y}{Y_0} \right]^\alpha$$

V_Y = Velocidad del viento a una altura Y

V_{Y_0} = Velocidad de referencia a una altura Y_0 conocida

α = coeficiente de rugosidad

Información				
Media anual				
Coordenadas UTM(m): 414945,4798969				
Elevación (m): 43				
Rugosidad (m): 0.15				
	30m.	60m.	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	3.98	4.54	4.78	4.95
Weibull C (m/s)	4.67	5.31	5.57	5.72
Weibull K	1.874	1.848	1.811	1.752

Ilustración 21: Resultado de seleccionar con el ratón un punto del mapa eólico. Puede verse la media anual sobre un punto en la que se aprecia que a medida que la velocidad aumenta con altura el índice C de Weibull también. FUENTE: <http://atlaseolico.idae.es/>

En la tabla 2 se puede apreciar la variabilidad del coeficiente de rugosidad vinculado a la orografía del terreno (Capilla, 2011). También vemos en la ilustración 21 el coeficiente de rugosidad que aparece en la media anual.

Tabla 2: Coeficiente de rugosidad

Terreno llano con hielo o hierba	0,1-0,12
Terreno llano(mar)	0,14
Terreno poco accidentado	0,13-0,16

Zonas rusticas	0,2
Terreno accidentado, bosques	0,2-0,26
Terreno muy accidentado y ciudades	0,25-0,4

Así podemos deducir, que los valores del coeficiente de rugosidad en un terreno poco accidentado son aproximados a 0,1, a diferencia de terrenos muy abruptos y con grandes obstáculos cuyo valor cercano alcanza 0,4. Deducimos así que

la velocidad del viento varía mucho con la altura, y por tanto es muy acusada su influencia en el funcionamiento del sistema eólico, por lo tanto la producción de energía está ligada a la altura y a mayor altura mayor producción siempre y cuando haya viento. En las imágenes se puede ver como varía el viento con la altura, según la *Ley exponencial de Hellmann*. (Ilustración 22 y 23)

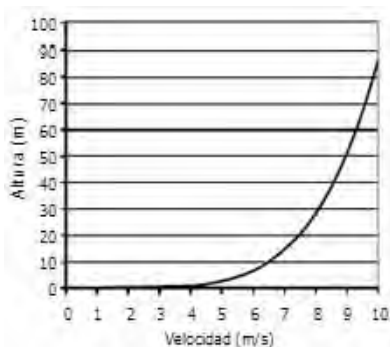


Ilustración 22: Variación de la velocidad con la altura, según la ley exponencial de rugosidad 0,2.

FUENTE: Energía eólica CEU

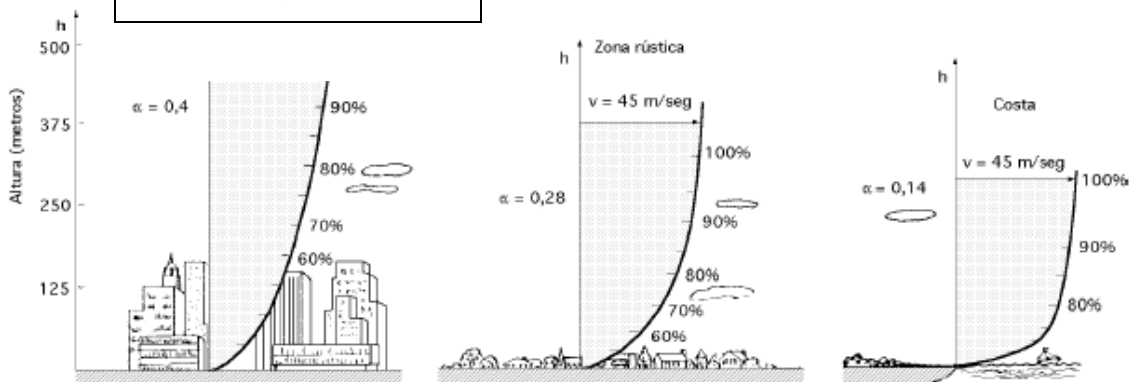


Ilustración 23: Variación de la velocidad con la altura en zonas urbanas, rusticas y costa.

FUENTE: energíasargentinas.com.ar

VARIACIONES ESTACIONALES DEL VIENTO

El movimiento del viento no es regular y sufre variaciones temporales debido a la radiación solar que llega a la Tierra que no siempre la misma, una parte de ella se

convierte en energía cinética por los gases de la atmósfera, esto conlleva que sus intervalos de tiempo pueden ser más o menos largos de tiempo, o puedan ocurrir bruscamente.

En la siguiente tabla (ilustración 24) vemos la sucesión de estaciones a lo largo del año, y se puede apreciar como ejemplo que en los periodos de tiempo estable (verano) la generación eólica es menos propicia, de lo contrario ocurre en los meses de invierno que son más ventosos.

Información				
Valores estacionales a 80m.				
Coordenadas UTM(m): 414945, 4798969				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Velocidad (m/s)	4.47	3.7	5.22	5.71
Weibull C (m/s)	5.15	4.32	5.98	6.45
Weibull K	1.883	2.107	1.884	1.853

Ilustración 24: Resultado de seleccionar con el ratón un punto del mapa eólico.
Valores estacionales a 80 m. FUENTE: <http://atlaseolico.idae.es/>

Como el movimiento del aire es inestable debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre, se van a originar desplazamiento horizontales del aire cuya la componente vertical destaca en forma en tornados, tormentas y remolinos pequeños de dimensiones y forma variada llamados turbulencias, que se desarrollan en el aire y perturban su flujo. El efecto de la turbulencia cerca de la superficie terrestre produce variaciones rápidas e irregulares en la intensidad y dirección del viento, y cuando estas fluctuaciones de frecuencia son independientes unas de otras y producen las llamadas ráfagas alcanzando velocidades media superiores a los 15 m/s. (García F. F., 1996). Se denomina racha al aumento brusco de corta dirección de la velocidad instantánea del viento, producida generalmente por las tormentas.

1.2.4.2.1 CLASIFICACIONES DEL VIENTO

Aparte de la observación directa sobre la superficie terrestre, en 1905 se introdujo por un marino holandés la escala de Beaufort (que lleva su nombre), usada como en un principio como apoyo en la navegación marítima, y que posteriormente se direccionó hacia la meteorología (Ilustración 25). En la actualidad a pesar de ser un instrumento cómodo para apreciar la velocidad o la intensidad del viento, su uso se ha visto sustituido por las estaciones terrestres. En ella se establecen 12 cifras ordenadas de menor a mayor según la velocidad del viento. La velocidad se suele dar en nudos (milla marina/hora), su equivalencia es: $1 \text{ nudo} = 1,852 \text{ Km/h} = 0,514 \text{ m/s}$

Cifra	Nombre	Velocidad en			Efectos del viento en alta mar
		nudos	metros/seg.	km/h	
0	calma	1	0 - 0,2	1	Mar como un espejo
1	velolina	1 - 3	0,3 - 1,5	1 - 5	Rizos como escamas de pescado pero sin espuma.
2	flojito	4 - 6	1,6 - 3,3	6 - 11	Pequeñas olas, crestas de apariencia vítrea, e inrompibles
3	flojo	7 - 10	3,4 - 5,4	12 - 19	Pequeñas olas, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo aislados velones de espuma
4	boronable-moderado	11 - 16	5,5 - 7,9	20 - 28	Pequeñas olas creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas
5	fresquito	17 - 21	9,0 - 10,7	29 - 38	Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)
6	fresco	22 - 27	10,8 - 13,8	39 - 49	Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca (salpicaduras frecuentes)
7	frescachón	28 - 33	13,9 - 17,1	50 - 61	El mar crece; la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento
8	temporal	34 - 40	17,2 - 20,7	62 - 74	Olas de altura media y mas alargadas, del borde superior de sus crestas comienzan a destacarse torbellinos de salpicaduras
9	temporal fuerte	41 - 47	20,8 - 24,4	75 - 88	Grandes olas, espesas estelas de espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad
10	temporal duro	48 - 55	24,5 - 28,4	89 - 102	Olas muy grandes con largas crestas en penachos, la espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas en conjunto la superficie esta blanca, la visibilidad esta reducida
11	temporal muy duro	56 - 63	28,5 - 32,6	103 - 117	Olas de altura excepcional (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje pequeño y medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad esta reducida
12	temporal huracanado	más de 64	más de 32,7	más de 118	Aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma visibilidad muy reducida

Ilustración 25: Escala de Beaufort.

FUENTE: apuntes de meteorología ARES

Clase	v (m/s)					
	10 m		50 m		80 m	
1	0	4,4	0	5,6	0	5,9
2	4,4	5,1	5,6	6,4	5,9	6,9
3	5,1	5,6	6,4	7,0	6,9	7,5
4	5,6	6	7,0	7,5	7,5	8,1
5	6	6,4	7,5	8,0	8,1	8,6
6	6,4	7	8,0	8,8	8,6	9,4
7	>7		>8,8		>9,4	

Ilustración 26: Clasificación del viento en clases. FUENTE: Energía eólica CEU

También existe otra clasificación del viento en clases (ilustración 26), que relaciona la velocidad media con respecto a diferentes alturas, siendo el coeficiente de rugosidad igual a 1/7 (Capilla, 2011).

1.2.4.2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

VELETAS

Son los dispositivos que permiten determinar la dirección del viento en superficie. Formados por un elemento móvil equilibrado con la vertical y que debe girar alrededor de su eje con el mínimo rozamiento. La orientación hacia el norte verdadero es necesario que sea lo más precisa posible.



Ilustración 27: Transductor de viento-veleta. FUENTE: mercamania.es

Si además se registran los datos de la dirección del viento medidos en un determinado momento, las mediciones se hacen mediante un transductor (Ilustración 27), que transforma la posición de la veleta en una señal.

Para la aviación, es preferible a menudo utilizar un sensor a distancia y la veleta debe reaccionar a los cambios de dirección.

ANEMOMETROS

Se llaman anemómetros los instrumentos que se utilizan para medir la intensidad del viento en superficie. Existen dos tipos principales unos son los anemómetros rotatorios y otros los anemómetro de presión.

El más común es el anemómetro de cazoletas, y la velocidad de rotación depende de la intensidad del viento, independientemente de su dirección. Los anemómetros de hélice son igualmente rotatorios. La hélice se mantiene frente al viento mediante una veleta y la rotación de la hélice, por efecto del viento, se transmite a un aparato indicador.

DATALOGGER

Son dispositivos de almacenamiento, que sitúan en la base de la torre meteorológica para registrar



Ilustración 28: Datalogger.

FUENTE:

<http://www.eltiempodelosaficionados.com/PARAQUESIRVE.html>

durante largos periodos de tiempo los datos de las medidas de velocidad y dirección del viento (Ilustración 28).

En la actualidad el instrumento de medida que mide la velocidad del viento y dirección es el anemocinemógrafo que además tiene una salida analógica para registrar los datos leídos.

1.2.4.2.3 HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN

Para dar una estimación de la producción energética, su viabilidad y potencial de rentabilidad de la instalación del aerogenerador en la ubicación correcta, son necesarias las herramientas que exponemos seguidamente, y que son el resultado de la extracción y procesamiento de datos de las mediciones tomadas.

ROSA DE LOS VIENTOS

La rosa de los vientos representa un gráfico de un círculo dividido en direcciones que son los ocho rumbos. En ella se muestran los datos, por un lado de la velocidad media, y por otro, la probabilidad de que el viento sople en cada una de las direcciones del emplazamiento al que se refiere. En una de las representaciones se ve que la frecuencia más alta con un 35% es en dirección N.E, y en la otra representación es la dirección NE la que más intensidad tiene el viento alcanzando los 12 m/s.

Existen cuatro tipos de rosas de los vientos aunque las representaciones gráficas más usuales son las dos primeras estas son: rosa de frecuencias, rosa velocidad vientos medios (puede ser conjunta rosa de los vientos de frecuencia y velocidad), (García F. F., 1996) rosa de rachas máximas (frecuencias referidas a direcciones correspondiente a rachas máximas e intervalos de velocidad en un instante), y rosa de contaminación (dirección viento-contaminación).

DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Es otra herramienta importante que permite estimar la energía suministrada por un aerogenerador en función de sus características. En ella se representa un

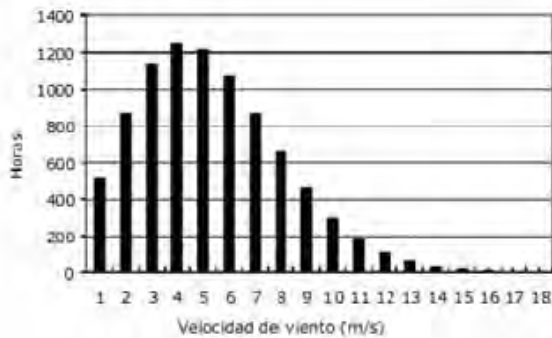


Ilustración 29: Gráfico de barras con la distribución de velocidades en un emplazamiento.

FUENTE: Energía Eólica CEU

diagrama de barras (ilustración 29) que

relaciona la distribución de las velocidades del viento con el número o

porcentaje de horas anuales para un emplazamiento dado.

Tabla 3: Distribución de velocidades y horas en forma tabular

Velocidad (m/s)	Horas
1	515
2	871
3	1137
4	1248,2
5	1215,1
6	1074,2
7	873,4
8	658
9	461,6
10	302,6
11	185,7
12	107
13	57,9
14	29,4
15	14,1
16	6,4
17	2,7
18	1,1
Total	8760

También podemos ver la representación tabular (tabla 3) que

muestra para cada velocidad su correspondiente número de horas que funciona el aerogenerador.

Para obtener las frecuencias o tiempos para esta gráfica, se utiliza el polinomio de Weibull:

Ecuación 2: Ecuación de Weibull

$$P = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

Dónde:

- P = porcentaje o frecuencia
- V = velocidad de estudio.
- c = parámetro de escala (m/s)
- k = parámetro de forma (adimensional)

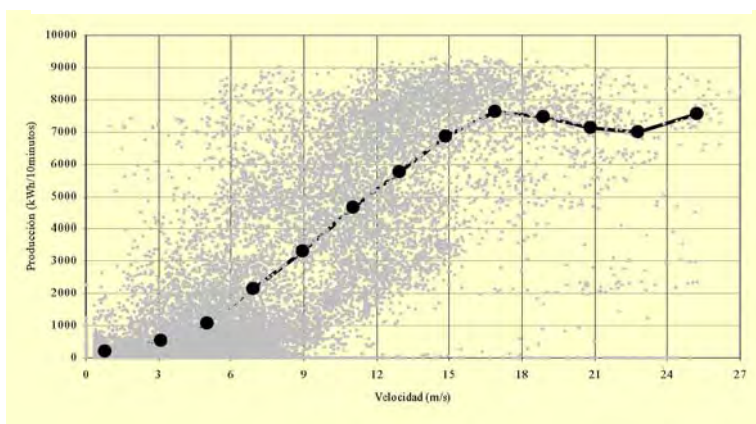
CURVA DE POTENCIA DE LOS AEROGENERADORES

La curva de potencia (ilustración 30), es suministrada por el fabricante del aerogenerador, y su obtención se realiza mediante mediciones simultáneas de la

Ilustración 30: Curva de potencia de un aerogenerador.

FUENTE:

www.uclm.es/profesorado/gjbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf



potencia y la velocidad del viento. Los anemómetros se sitúan a la altura del buje, sobre un mástil

relativamente cerca del aerogenerador pero con el cuidado debido de generación de turbulencias, y las medidas han de realizarse con el mayor rigor y precisión posible debido a la gran influencia de la

velocidad del viento en la energía contenida en éste, aunque siempre hay que considerar un margen de error del 10 %.

Una vez que disponemos del gráfico podemos distinguir los siguientes datos:

- A cada velocidad del viento le corresponde una potencia generada, y la potencia a plena carga se aproxima a 8 MW.
- La velocidad a la que empieza a girar el aerogenerador (entre 3-5 m/s), es la velocidad de conexión.
- La potencia perdida hasta que empieza a funcionar.
- La potencia máxima que expresa la potencia a plena carga en condiciones óptimas de viento.
- Existe la zona denominada de funcionamiento con un amplio rango de velocidades para las que la potencia suministrada es menor.
- La velocidad a la que desconecta el aerogenerador, ya que el aerogenerador se programa a una velocidad de corte para evitar los posibles daños cuanto la fuerza del viento es grande.

- Con este gráfico podemos calcular la producción anual del aerogenerador y el factor de carga en horas y en tanto por ciento.

FACTOR DE CARGA

Una de las formas de conocer la producción anual de un aerogenerador en una localidad concreta es calculando el denominado factor de carga o de capacidad. El factor de carga se define como la producción anual de energía dividida por la potencia nominal del aerogenerador:

Ecuación 3: Factor de carga

$$FC = \frac{\text{Energía Anual (Kwh)}}{\text{Potencia Aero (Kw)}} \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{Kw}} \right)$$

El significado del factor de carga son las horas equivalentes de funcionamiento a máxima potencia del aerogenerador al cabo de un año.

También se suele expresar en %:

$$FC = \frac{FC \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{Kw}} \right)}{8.760} 100$$

En la práctica el factor de carga suele alcanzar valores entre el 15 y el 30 %.

1.2.4.3 VIENTO EN ZONAS SIN OBSERVACIONES

Se trata es de realizar una estadística en un lugar donde no se ha observado el recurso eólico, a tal fin sería recomendable la toma de datos de las siguientes maneras:

- Las estadísticas de viento se calculan a partir de redes de observación y si en un lugar no hay datos eólicos, entre estaciones contiguas se calcula por interpolación los datos medios sección 1.2.5, a determinadas distancias entre puntos de la malla. No deja de ser un reflejo de los RCMs que son el resultado de cálculos numéricos mediante discretización de GCMs .

Ilustración 31: mapa de vientos en España.

FUENTE: comevientos.16mb.com



- En la actualidad, aparte de las bibliotecas cargadas de libros de conocimiento, nos valemos de otros recursos más rápidos y que reúnen desde cualquier lugar y momento los datos necesarios para aportarnos información, estos son los recursos online (Web, ftp, Server, SQL...).

Los recursos Web se valen de herramientas que nos proporcionan documentación, por ejemplo en una URL (*Uniform Resource Locator*) de Internet encontramos la ilustración 31 que nos muestra la disposición de vientos en la Península Ibérica y Baleares. Conocer los vientos que azotan un lugar, indica la existencia de viento y su dirección. Ya comentamos con anterioridad que las variaciones del viento importantes en intensidad y sentido pueden ser causadas por la orografía de una zona, de hecho conviene mencionar que hay determinados lugares en la península con mayor potencial eólico que los demás, y la presencia del viento supone un privilegio para el aprovechamiento de energía. En zonas como el valle del Ebro (viento Cierzo N.O), la Mancha (viento abrego procedente del S.O), el Estrecho (viento levante procedente del E) o el Cantábrico (viento galerna O al NO), los vientos reciben denominaciones de origen con cierta profusión (Capilla, 2011).

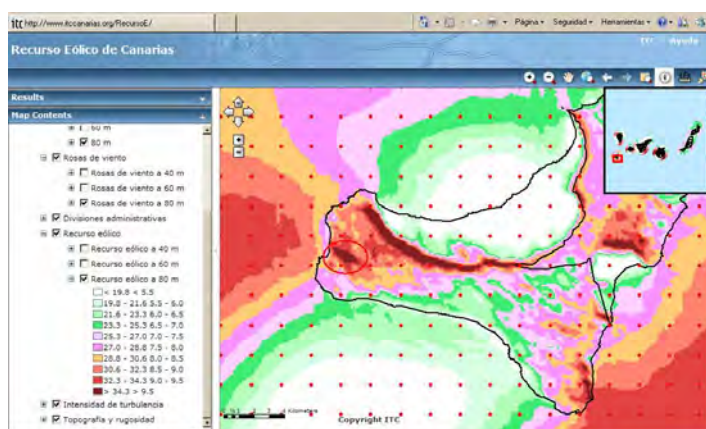
- Otros recursos utilizados son los propios sistemas de información geográfica (GIS, SIG), como el del Gobierno de Cantabria manejable y rápido, que nos aporta datos en capas, y una correlación de ortofotos que refleja la generación de vientos.

- Es necesario partir de una observación visual del terreno en la que queremos colocar nuestro aerogenerador, si está libre de obstáculos árboles, edificios etc. Conviene fijar la atención en todo aquello que suponga una obstrucción en la dirección e intensidad del viento. Además centramos la atención en especial hacia el relieve, supervisando las zonas de más elevación dado que conseguiremos mejores resultados de producción de energía al colocar nuestro aerogenerador en una zona alta y libre de obstáculos.

Ilustración 32: El Sabinar del Hierro' (Isla del Hierro). FUENTE:<http://www.canariasnatural.net/flora-y-fauna-canaria/el-sabinar-de-el-hierro/>



La observación visual frente a un mapa, plano o carta, tiene la ventaja de saber en ese preciso instante todos los aspectos relacionados con la ubicación, tales como caminos, plantaciones, viviendas, accesos de la línea de transporte, pero el inconveniente de tener que desplazarnos al lugar. Saber a dónde se va dirigir la producción supone un aspecto bastante importante, por eso es conveniente para la reducción de costes la elección de un lugar cercano a la red eléctrica. Un plano, fotografía aérea u ortofoto va a dar la información necesaria con una visión más amplia en dos o tres dimensiones pero desactualizado con respecto al actual momento.



- De interés es el servidor cartográfico espacial CIOYN-INUAMA (Universidad de Murcia), que aporta un completo y manejable visor para evaluar el recurso del viento y que veremos en la sección 1.2.5.

Ilustración 33: Resultado grafico en la Isla del Hierro de la distribución del recurso eólico.

FUENTE: <http://www.itccanarias.org/recursoeolico/>

Ver y observar como en algunos lugares el azote del viento ha

provocado cambios permanentes en terrenos (desiertos, suelos erosionados), en la vegetación tales como troncos, ramas que presentan cierta inclinación en la dirección predominante del viento, es un signo de que el 'Dios Eolo' sopló con bastante fuerza en aquel lugar. En la Ilustración 32 se puede ver 'El Sabinar de la Isla del Hierro', donde los árboles adquieren formas extrañas provocadas por vientos muy acusados.

De hecho como ejemplo práctico, si utilizamos la plataforma Web del ITC - Instituto Tecnológico de Canarias (Recurso Eólico de Canarias) <http://www.itccanarias.org/recursoeolico/>, ahí podemos ratificar que el recurso eólico en la zona 'El Sabinar' es el más oscuro (Ilustración 33), y a una altura de 80 m el viento actúa con velocidades superiores a otras zonas de la Isla.

- Como hemos comentado con anterioridad con el acceso a los recursos online obtenemos informaciones meteorológicas, cuyo origen de los datos se extrae de estaciones meteorológicas de primer orden.

- Otra información muy importante es la de la climatología aeronáutica de España, en la cual se recogen datos del viento en los principales aeropuertos y aeródromos de España, obteniendo informaciones de las 16 direcciones y los 12 intervalos de velocidad a distintas horas durante todo el año. (García F. F. 1996)

Recopilando todas estas observaciones y mediciones, podemos calificar un terreno en función de su recurso eólico para el futuro emplazamiento del aerogenerador.

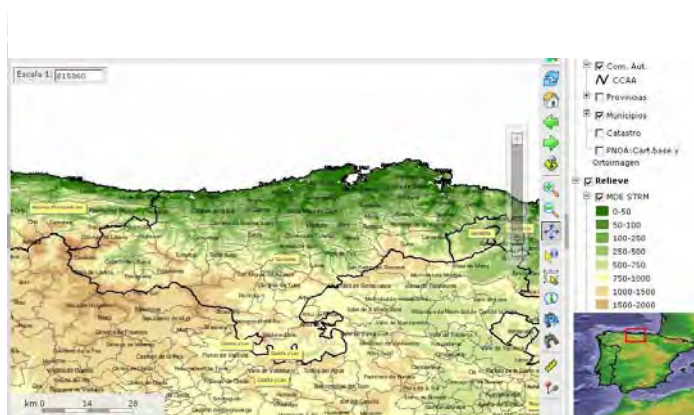
1.2.5 PORTAL WEB: MAPA EÓLICO

El mapa eólico espacial CIOYM-INUAMA es una potente herramienta de evaluación del potencial eólico en la península Ibérica, proyecto presentado por el Gobierno de España y de aplicación a instalaciones de minieólica (R.Lorente y colab, 2012).

Ilustración 34: Relieve y datos administrativos en Cantabria- Mapa eólico.

FUENTE: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>

Utilizando este servidor espacial Web cuya URL es: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.phtml> he buscado una zona (Ilustración 34)



entre los 750 y 1000 de altitud para evaluar vientos con más intensidad, pudiendo ver en la ilustración 36 la capa relieve activada además de los datos observados reales, datos medios y datos medios a 1Km de la velocidad del viento que están entre 5 y 6 m/s (Ilustración 35).

Previamente se busca en la región de CANTABRIA el municipio de VALDEOLEA, bien con el buscador o mediante el zoom, y vamos activando capas según las necesidades de cada usuario hasta encontrar nuestra zona de actuación. Se ha activado la capa PNOA del IGN, municipio, y la capa catastro (solo aparecen los polígonos) para favorecer su localización. Aunque es más que suficiente las herramientas que nos aporta este servidor Web, nos podemos valer además de otros visores como son el que se encuentra en la Web de la Sede Electrónica del Catastro (más específica con datos del número de parcela y polígono con herramientas para realizar mediciones), y la plataforma del Gobierno de Cantabria (<http://www.territoriodecantabria.es/visor/>) rápida, sencilla y manejable nos brinda herramientas que permiten la búsqueda de la finca catastral en muy pocos pasos, pudiendo comparar una misma zona con respecto a otros años.

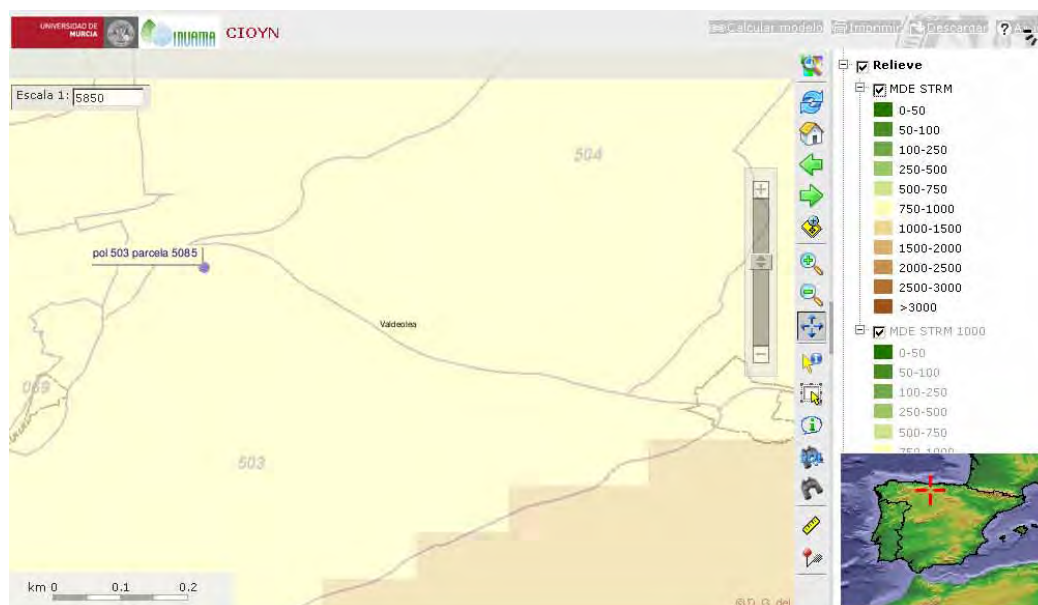


Ilustración 36: Relieves mapa eólico.

FUENTE: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>

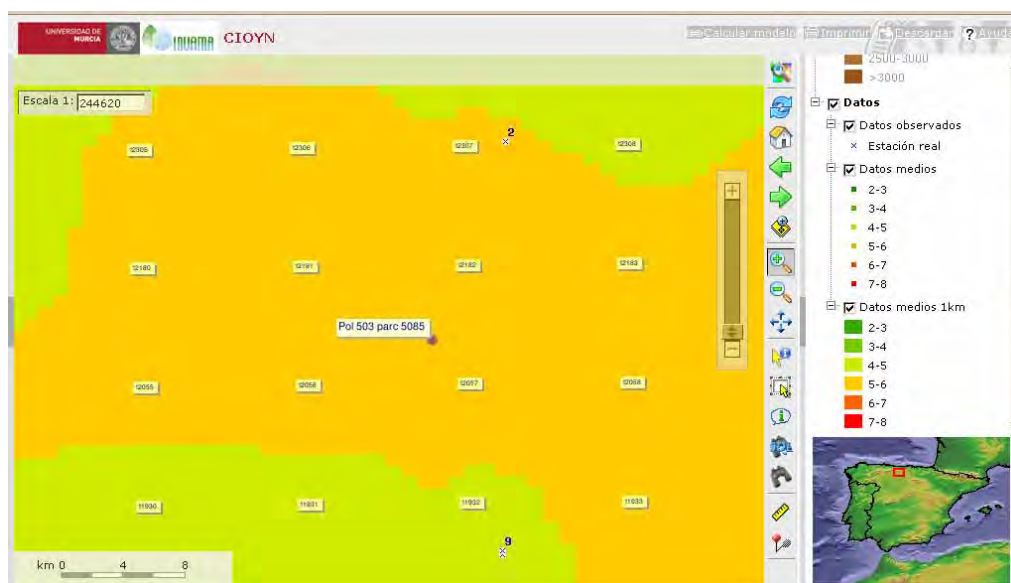


Ilustración 35: Datos de viento en estaciones reales, datos medios y datos medios 1Km. FUENTE: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>

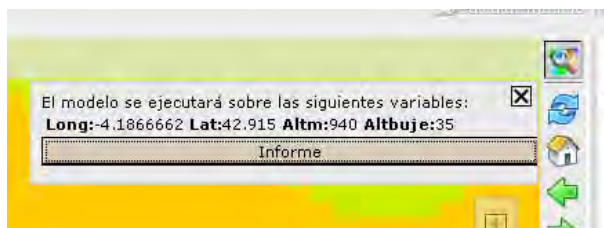


Ilustración 35: Ejemplo de generación del informe.

FUENTE: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>

Con la herramienta que se encuentra en el borde superior derecho ilustración 37, y una vez seleccionada la finca de actuación número 5.085 del polígono 503, se genera un informe con los datos eólicos correspondientes a dicha localización. Dentro de la capa datos podemos ver en el visor que la parcela 5085 se encuentra entre las estaciones reales 2 y 9, entre la malla de puntos de datos medios 12181-12182 abajo 12056-12057, y otra capa con zonas coloreadas que nos aporta la media a un Km. con vientos en esa zona que se encuentran entre 5 y 6 m/sg.

El servidor nos devuelve un estudio eólico con formato del Adobe Reader (pdf) con múltiples datos y representaciones que se analizan y que son los siguientes:

- Localización del punto con sus coordenadas geográficas, altura del terreno (750-1000) y altura del aerogenerador. Se indican además, las estaciones reales observadas más cercanas (2 y 9). Además se representa el grafico de Weibull que relaciona el modulo velocidad con las horas. Véase en el informe generado que aparece en las siguientes hojas y mismo apartado, como en velocidades entre aproximadamente 5 y 8 m/s de viento, el tanto por ciento en duración del viento es mayor y está entre el 10-12 %, alcanzando la cota más alta en la curva del gráfico.

- La rosa de los vientos nos proporciona la orientación más apta para favorecer la producción, en este caso es en el rumbo S.O, pudiendo alcanzar la velocidad más alta del viento entre los 16 y 19 m/s, y rozando aproximadamente el 20 % de horas de intensidad eólica. La variabilidad interanual muestra un gráfico que relaciona los años con el modulo del viento, puede apreciarse que ante tal variabilidad la secuencia no llega a ser constante en exactitud, pero es repetitiva en aproximaciones a una determinada velocidad. Por ejemplo en los años 1980 y 2000 la fuerza del viento superó los 13 m/s y fluctuaba hasta los 3 m/s. También ver la media de flujo de aire en color rojo que sufre variaciones debido a cambios estacionales.

- Comparaciones entre tres estaciones con respecto al punto de interés. Nos dan las coordenadas geográficas, y la distancia al punto de las tres estaciones. Existe una aproximación de datos de las estaciones 217 y 9 al modelo, y también la orientación óptima mensual que nos da la rosa de los vientos es la S.O.

- Análisis de un prototipo de aerogenerador de minieólica de 3,5 Kw *SonKya*, no obstante en el emplazamiento indicado enclavaremos un sistema eólico de 100 Kw que supondrá la aplicación de los contenidos de este estudio.



GOBIERNO DE ESPAÑA **MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**

PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO EN MINIEÓLICA

Subproyecto 3.2

“Mapa Eólico Nacional para Minieólica”



GOBIERNO DE ESPAÑA **MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Entidades participantes:



UNIVERSIDAD DE MURCIA



GOBIERNO DE ESPAÑA **MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**



Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas



PAUMA

Grupo de Modelización Atmosférica
Departamento de Física
Universidad de Murcia

Unidad de Energía Eólica
CIEMAT

Grupo Palma
Departamento de Física de la Atmósfera
Universidad Complutense de Madrid

Entidades colaboradoras:



INUAMA
INSTITUTO UNIVERSITARIO DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE



Global FORECASTERS
Climatología Eólica

Grupo GIS
INUAMA
Universidad de Murcia

Global Forecasters
Unidad de Climatología Eólica

S.1

Evaluación para el punto seleccionado

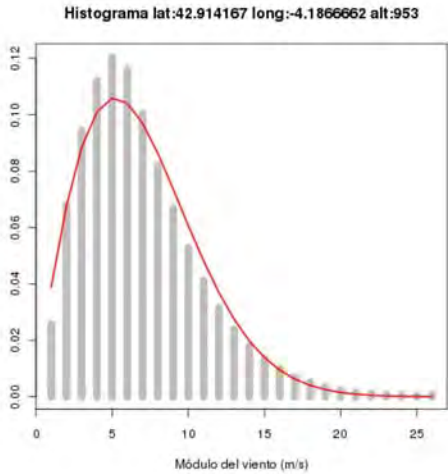
Localización del punto:

Latitud = -4.186666
Longitud = 42.91417
Altura de Terreno = 953
Altura del aerogenerador = 36
Localidad = PRUEBA
Provincia = PRUEBA



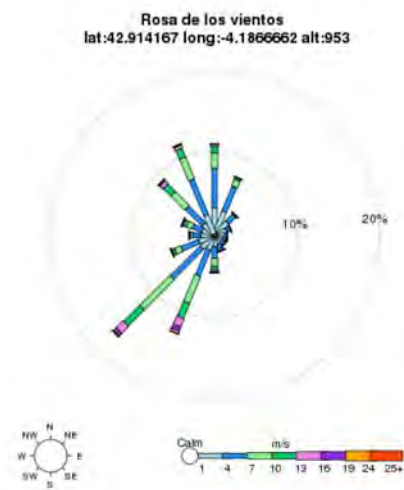
1.1 Valores calculados

1.1.1 Histograma

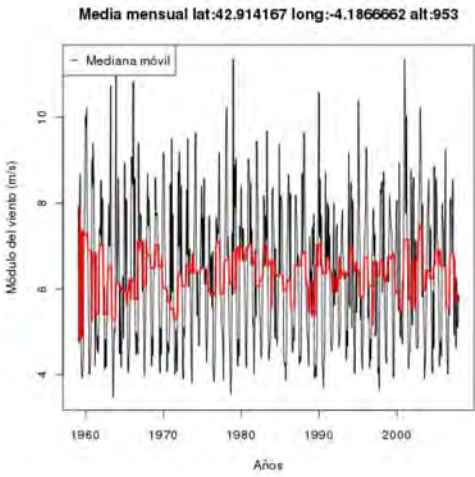


	Media	Desv. Std.	Forma	Escala
1	6.885787	15.042163	1.878906	7.782013

1.1.2 Rosa de los vientos



1.1.3 Variabilidad interanual

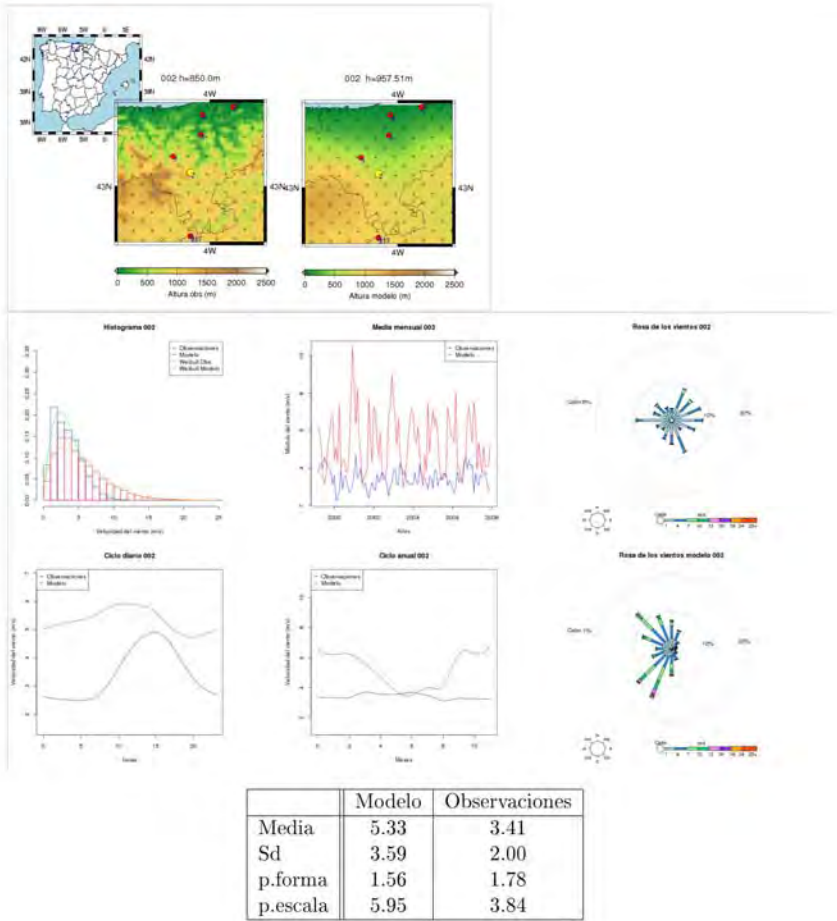


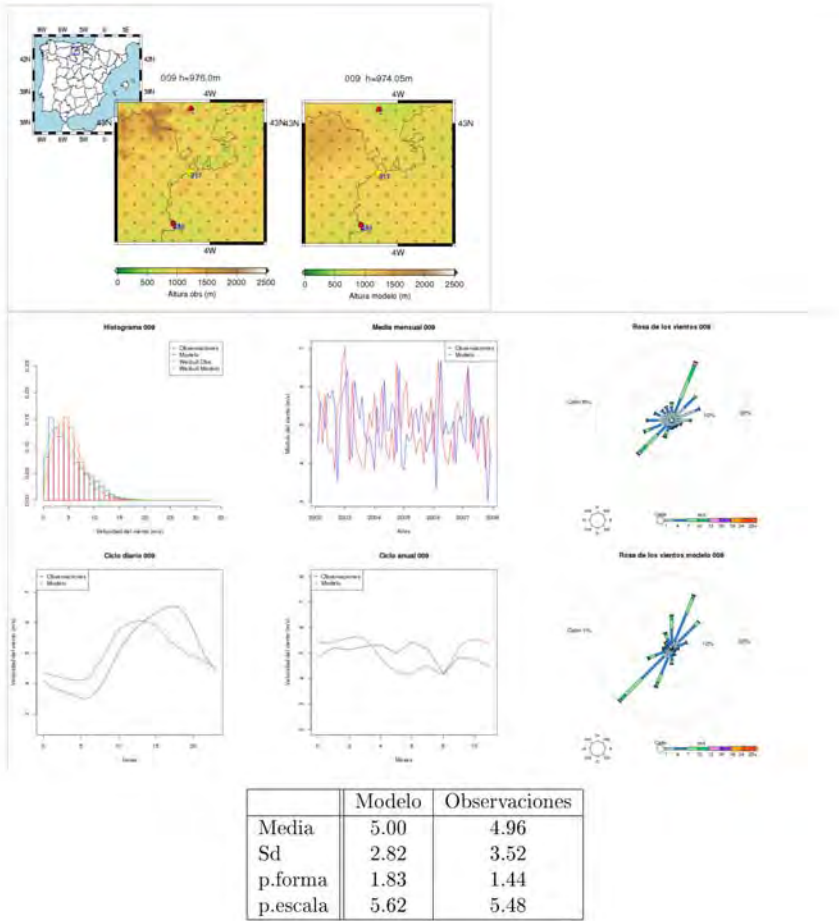
S.2

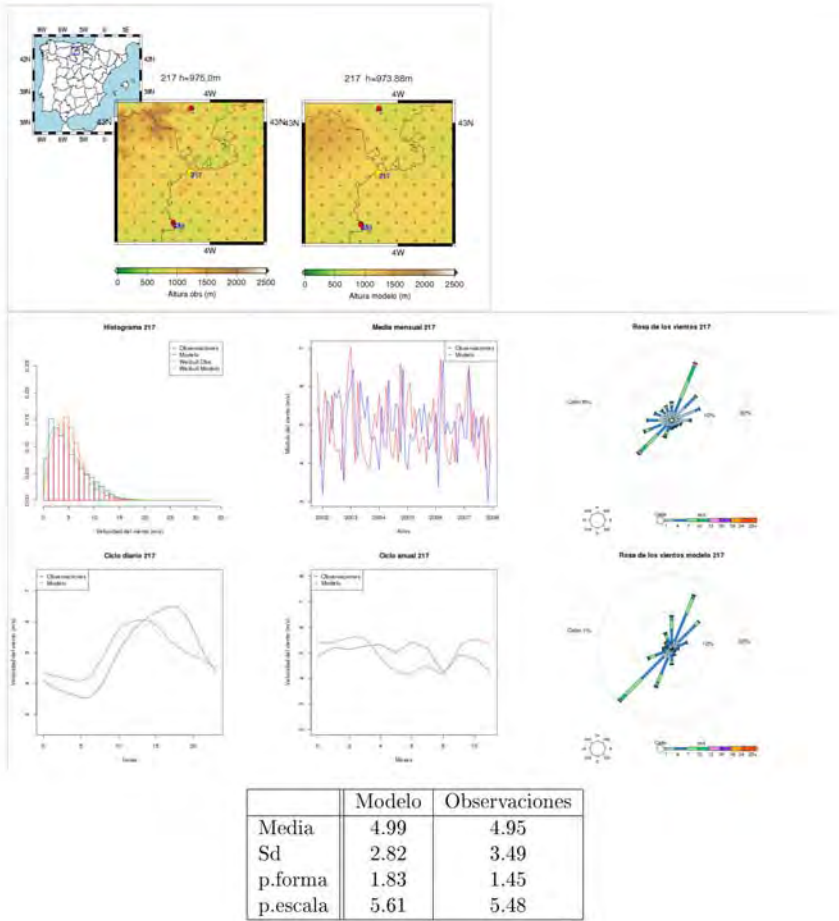
Comparación con estaciones cercanas

Se han analizado las estaciones de datos obsevacionales (tomados a 10m del terreno) más cercanas a las coordenadas proporcionadas por el usuario. Las estaciones más cercanas de las que disponemos son:

Estación	Longitud	Latitud	Distancia (g)
2	-4.13	43.07	43.07
9	-4.132	42.75	42.75
217	-4.132	42.747	42.747



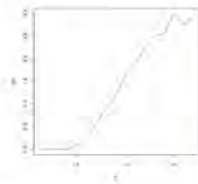




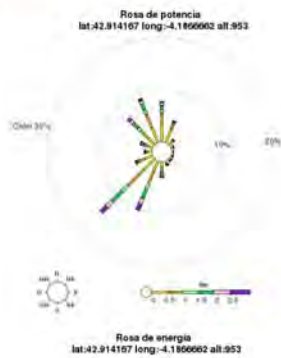
S.3

Estudio de la eficiencia del aerogenerador

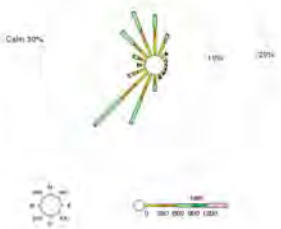
3.1 Aerogenerador Sonkyo



v(m/s)	Frec.	P(kw)	Horas	producción (kwh)
1.00	2.56	0.00	224.26	0.00
2.00	6.81	0.00	596.56	0.00
3.00	9.44	0.00	826.94	0.00
4.00	11.21	0.00	982.00	0.00
5.00	12.04	0.10	1054.70	105.47
6.00	11.60	0.25	1016.16	254.04
7.00	10.02	0.60	877.75	526.65
8.00	8.19	0.90	717.44	645.70
9.00	6.69	1.20	586.04	703.25
10.00	5.28	1.63	462.53	753.92
11.00	4.13	1.88	361.79	680.17
12.00	3.14	2.23	275.06	613.38
13.00	2.38	2.50	208.49	521.23
14.00	1.79	2.55	156.80	399.84
15.00	1.35	2.98	118.26	352.41
16.00	0.99	2.75	86.72	238.48
17.00	0.71	2.90	62.20	180.38



Veloc. Media	Frec.	Horas anuales	Producción kwh
6.6	98.0	6000.0	6000.0



Disponibilidad	Horas equivalentes	Factor de capacidad
68.00	2000.00	0.23

1.2.6 APLICACIÓN A UNA INSTALACIÓN DE MINIEÓLICA EN EL T.M DE VALDEOLEA

La **energía minieólica** aprovecha la fuerza del viento de forma limpia y sostenible mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 Kw. Su impacto visual es pequeño y sus usos son muchos y variados, teniendo en común la producción de energía para verterla a una red o para el propio autoconsumo. Entre las aplicaciones más comunes y que han alcanzado mayor grado de desarrollo están:

- **Producción de electricidad.-** Se puede producir energía excedente para venderla a la red y para casos aislados (Ilustración 38). Así se genera corriente continua mediante un controlador-cargador, a partir de corriente alterna a un voltaje y frecuencia determinada que varía en función del viento. No obstante si se quiere convertir de nuevo esta corriente en alterna se utiliza un inversor. Si hay un exceso de potencia debido a que la velocidad alcanzada es grande entonces es desviada hacia resistencias de descarga. En los casos aislados, el almacenamiento de la energía para su consumo se realiza mediante baterías. En este trabajo producir electricidad va ser el objetivo, a tal fin se ha elegido

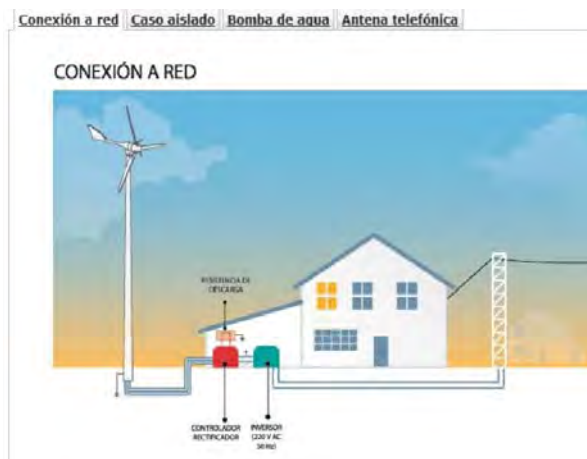


Ilustración 36: Producción de electricidad para vivienda aislada y venta de excedente a la REE.

FUENTE: www.windspot.es/

una zona que asegure cierta intensidad en los vientos, y situada lo más cerca de la red eléctrica Española para verter la energía producida.

- **Bombeo de agua.-** Su objetivo es la extracción de agua de un pozo subterráneo con el empleo de bombas mecánicas o eléctricas,

para más tarde almacenarla en un depósito. Su utilización principal es riego

agrícolas, iluminación de invernaderos o granjas, sistemas de ordeño, refrigeración, fabricación de hielo etc.

- **Telecomunicaciones.**- usadas para el autoabastecimiento en la alimentación de antenas, señalización marítima, faros, repetidores y reemisores de radio, televisión y telefonía, dispositivos de alarma, etc. Disponen también de baterías, controlador rectificador, y la resistencia de descarga.

1.2.6.1 CALCULO RECURSOS EÓLICOS.

Recopilaremos los datos eólicos *Atlas Eólico de España del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*, de la PARCELA 5085 polígono 503. Estos datos están medidos a una altura de 80 m sobre el nivel del suelo, por lo que tendremos que transformarlo a la altura del buje del aerogenerador *TURBEC 100Kw* que es 36 m (Tabla 4). La capa **"2.5 km - direcciones a 80 m"** o **"Rosas de Viento a 80 m"**, representada mediante la simbología , contiene datos direccionales, en concreto: la frecuencia anual (porcentaje de horas que el viento sopla en una dirección), velocidad media (como una fracción de la velocidad media en todas las direcciones), potencia media y parámetros C y K de Weibull. También se indican las coordenadas UTM del punto consultado (IDAE).

Tabla 4: Valores de la frecuencia, velocidad, potencia, weibull y calculo de la velocidad a 36 m

VALDEOLEA						TURBEC 100 Kw
Distribución por direcciones a 80m.						
Coordenadas Geográficas: 418445,4752068						
Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K	Velocidad (m/s) H=36 m.
N	14,340	6,754	9,300	7,764	2,611	6,39
NNE	12,010	5,745	4,890	6,699	2,706	5,43
NE	4,100	4,017	0,620	4,707	2,487	3,80
ENE	2,670	3,747	0,320	4,285	2,296	3,54
E	2,490	3,939	0,360	4,488	2,134	3,72
ESE	2,620	4,330	0,520	4,813	1,933	4,09
SE	2,610	4,678	0,660	5,301	2,025	4,42
SSE	2,720	4,728	0,900	5,610	1,849	4,47
S	3,470	6,250	2,820	7,203	1,661	5,91
SSW	10,010	9,307	21,020	10,610	1,956	8,80
SW	17,690	9,776	34,720	11,138	2,503	9,24

WSW	7,060	8,020	8,220	9,057	2,195	7,58
W	2,030	5,304	0,860	6,122	1,863	5,02
WNW	1,980	5,169	0,750	5,902	1,877	4,89
NW	4,510	7,465	4,640	8,358	1,955	7,06
NNW	9,610	7,601	9,400	8,658	2,305	7,19

La capa "100 m - anual y estacional a 80 m", representada mediante , contiene dos tipos de datos, teniendo que seleccionar uno de ellos para poder realizar la consulta. En ambos casos, la cifra 100 m indica la resolución de los datos, es decir, el espaciado de la red.

- "100 m - anual": contiene los valores de velocidad media y los parámetros C y K de Weibull para las 4 alturas incluidas en el Atlas (30, 60, 80 y 100 m), ver tabla 5. Asimismo, se indican las coordenadas UTM, elevación y rugosidad del punto consultado:

Información				
Media anual				
Coordenadas UTM(m): 418445,4752068				
Elevación (m): 996				
Rugosidad (m): 0.07				
	30m.	60m.	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	5.31	6.19	6.57	6.88
Weibull C (m/s)	6.22	7.15	7.54	7.83
Weibull K	1.994	2.01	2.014	2.013

Tabla 5: Valores de la velocidad media, parámetro C, y K a cuatro alturas

- "100 m - estacional a 80 m": comprende los valores de velocidad media, así como los parámetros de C y K de Weibull para las 4 estaciones del año y a una

Información				
Valores estacionales a 80m.				
Coordenadas UTM(m): 418445, 4752068				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Velocidad (m/s)	6.29	5.24	6.87	7.87
Weibull C (m/s)	7.13	5.87	7.8	8.93
Weibull K	2.033	2.254	2.107	2.032

Tabla 6: valores estacionales en un punto a 80 m

m

altura modelizada de 80 m (tabla 6). Además, se indican las coordenadas UTM del punto consultado. (IDAE). Tomamos los coeficientes de Weibull c y K e interpolamos para una altura de 36 m. Con estos datos ya podemos calcular la frecuencia (ecuación de Weibull sección 1.2.4.2.3 y las horas.

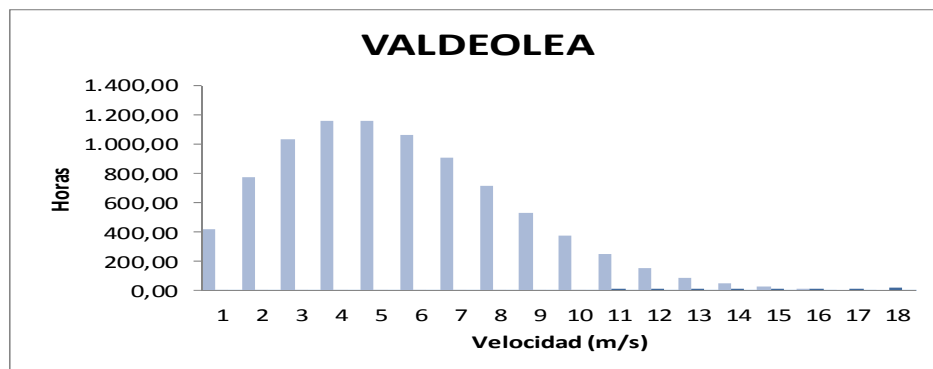


Ilustración 37: Diagrama resultado de horas-frecuencia mediante el programa Excel

Tabla 7: Representación tabular de las horas y frecuencia

TURBEC 100 Kw		
VELOCIDAD (m/s)	FRECUENCIA	HORAS
1	0,05	418,19
2	0,09	775,76
3	0,12	1.028,83
4	0,13	1.155,67
5	0,13	1.159,48
6	0,12	1.063,96
7	0,10	904,28
8	0,08	717,26
9	0,06	533,54
10	0,04	373,44
11	0,03	246,53
12	0,02	153,78
13	0,01	90,75
14	0,01	50,72
15	0,00	26,87
16	0,00	13,50
17	0,00	6,44
18	0,00	2,92
19	0,00	1,25
20	0,00	0,51

Podemos elaborar la rosa de los vientos manualmente mediante el software de Autocad (ilustración 40) desde la representación tabular calculada a continuación, ya que hemos transformado de 80 m a una altura de 36 m, para la localidad de Valdeolea con velocidades, frecuencias y la distribución de frecuencias Weibull.

Tabla 8- Representación tabular frecuencia-horas del Turbec 100 Kw

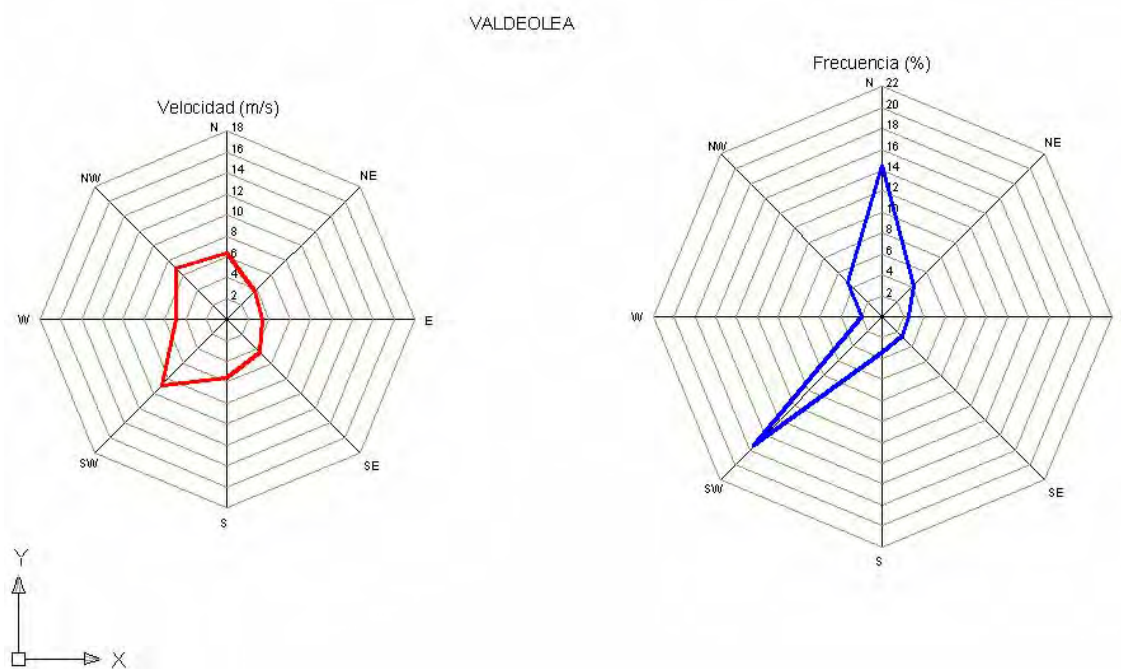


Ilustración 38: Rosa de los vientos calculada mediante Autocad de la velocidad y frecuencia

1.2.6.2 CALCULO PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Vemos la tabla 9, que a partir de la curva de potencia se hace la representación tabular para facilitar los futuros cálculos. Ya disponemos de datos como la velocidad, la potencia y horas para el cálculo de producción (tabla 10).

VELOCIDAD (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
POTENCIA (Kw)	0	0	0	5	10	20	32	49	70	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 9: Curva de potencia del aerogenerador Turbec 100

TURBEC 100			
VELOCIDAD(m/s)	POTENCIA (KW)	HORAS	PRODUCCIÓN (KWH)
1	0	418,19	0,00
2	0	775,76	0,00
3	0	1.028,83	0,00
4	5	1.155,67	5.778,33
5	10	1.159,48	11.594,81
6	20	1.063,96	21.279,12
7	32	904,28	28.936,91
8	49	717,26	35.145,91
9	70	533,54	37.348,13
10	94	373,44	35.103,76
11	100	246,53	24.653,42
12	100	153,78	15.377,62
13	100	90,75	9.074,92
14	100	50,72	5.072,13
15	100	26,87	2.687,15
16	100	13,50	1.350,32
17	100	6,44	643,97
18	100	2,92	291,59
19	100	1,25	125,41
20	100	0,51	51,25

TOTAL	234.514,73
--------------	-------------------

Tabla 10: Calculo de la producción del aerogenerador TURBEC 100 Kw

Con la producción y la formula de la sección 1.2.4.2.3 calculo el factor de carga que nos da como resultado 26,77 % (Tabla 11).

AEROGENERADOR TURBEC 100			
LOCALIDAD	PRODUCCIÓN (KWh/AÑO)	FC Kwh/Kw)	FC (%)
VALDEOLEA	234.514,73	2.345,15	26,77

Tabla 11: Calculo del Factor de Carga

2 PLANOS

2.1 PLANO DEL RECURSO EÓLICO EN CANTABRIA

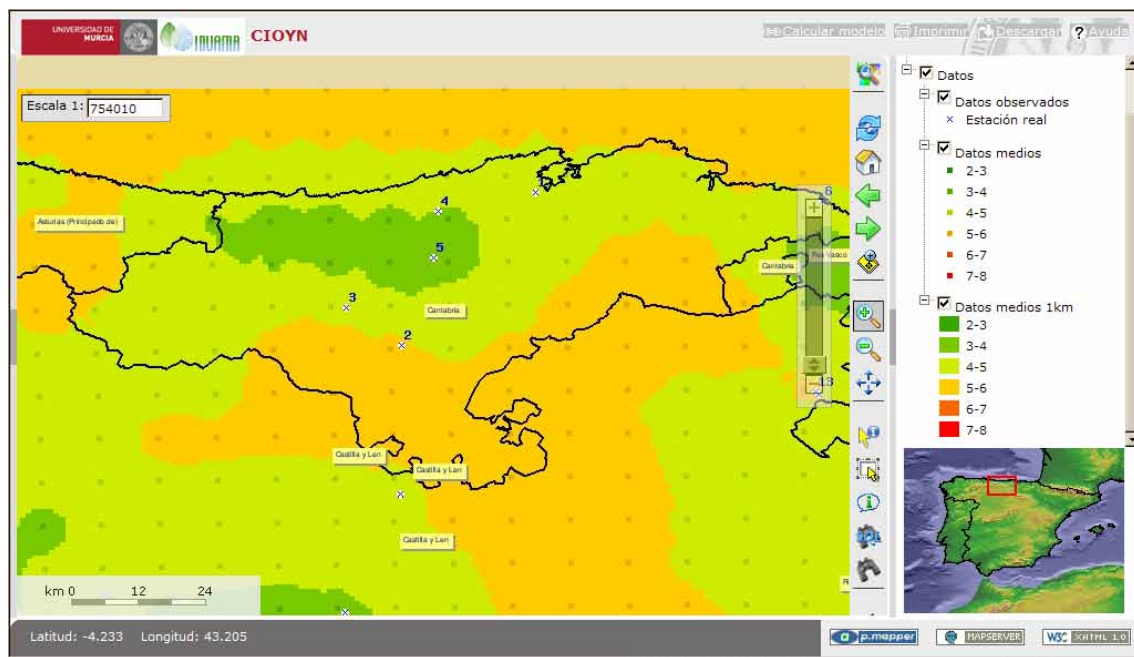


Ilustración 39: Datos eólicos en Cantabria.

FUENTE: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.phtml>

2.2 PLANO DE UBICACIÓN

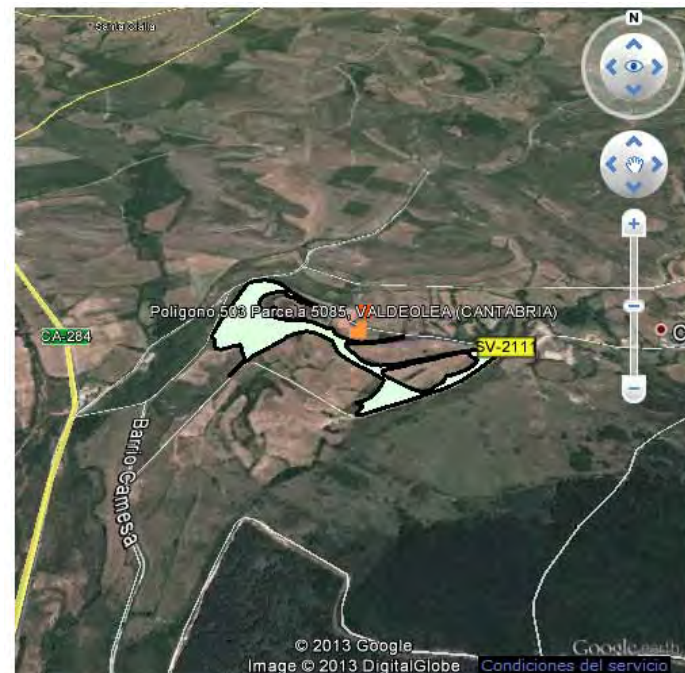


Ilustración 40: Plano catastral de la finca.

FUENTE: www.catastro.meh.es/

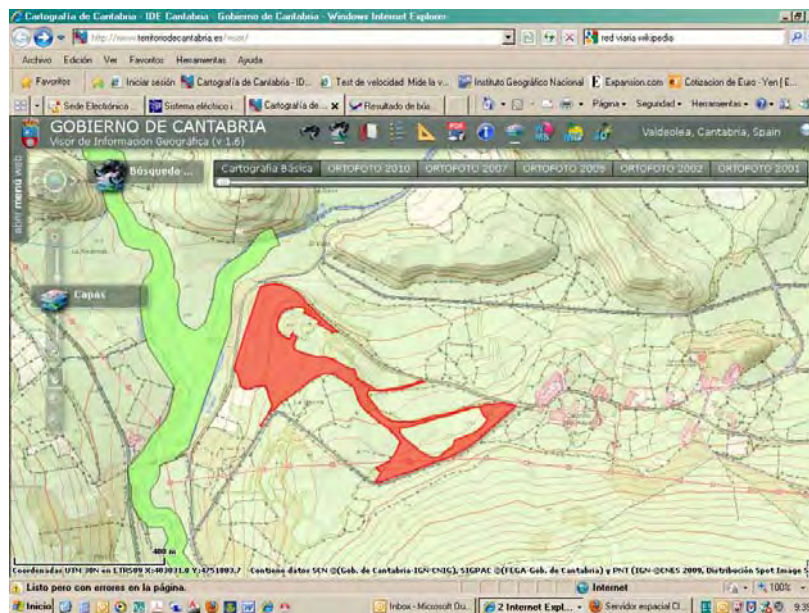


Ilustración 41: Ilustración 39: Visor cartográfico Gobierno de Cantabria. FUENTE: www.territoriodecantabria.es/Visor-Cartografico

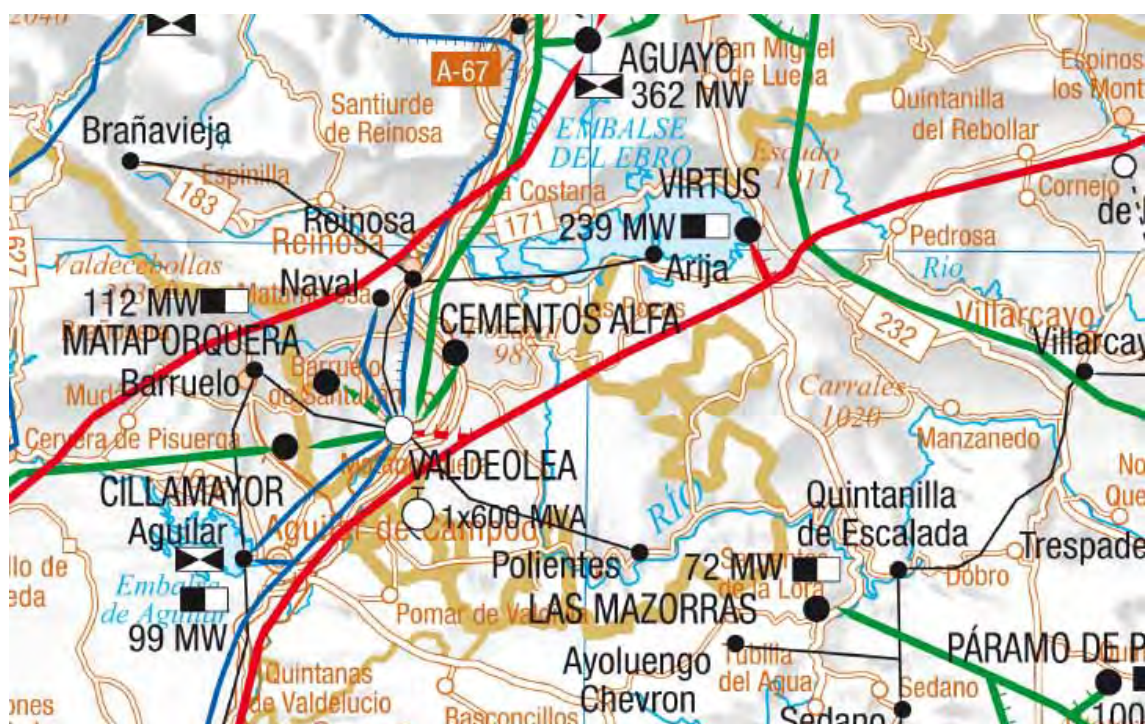


Ilustración 42: Distribución de la red eléctrica en el TM de Valdeoléa.

FUENTE: REE- Red Eléctrica España

3 PLIEGO DE CONDICIONES

3.1 SUMINISTRO

El aerogenerador, tal como se ha descrito anteriormente, salvo especificación en contra, se entregará ensamblado, instalado, y en condiciones de puesta en marcha en funcionamiento automático, sin incluir la conexión necesaria a la red eléctrica (que se detalla a continuación).

3.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Ubicación de la unidad de control:

La cabina de la unidad de control, fabricada con metal resistente a la corrosión, irá colocada en el interior de la base de la torre, a fin de protegerla contra el medio ambiente. Sus dimensiones son:

Altura.2.000 mm

Anchura.1.000 mm

Fondo. 400 mm

Conexión a la red eléctrica:

El cableado debe dimensionarse para un mínimo de 450 A, e incorporar protecciones (fusibles, etc), de 500 A. La sección de los cables de conexión dependerá de la longitud y el material; siendo de cobre las bornas de conexión en la unidad de control, con agujeros de 12 mm.

Puesta a tierra:

La turbina y el controlador deben ponerse a tierra mediante conductores de sección mínima 50 mm², y picas de puesta a tierra. La resistencia máxima del sistema debe ser inferior a 10 S.

Iluminación de la torre:

El cuadro de control incorpora una fuente de alimentación (10 A, 220V) para suministro de luz y potencia en la torre.

Disposición de contadores:

Pueden ser instalados junto al controlador, pero debe acordarse su ubicación con la compañía de suministro eléctrico, instalándose comúnmente junto a la estación transformadora.

Responsabilidades:

La conexión a la red es responsabilidad del instalador eléctrico, y no está incluida en la entrega, salvo especificación en contra.

Cimentación:

La empresa debe suministrar los planos e instrucciones necesarias para construir la cimentación estándar, así como la sección especial de cimentación, si éstas no se hubiesen incluido en el pedido.

El estudio geotécnico del terreno, así como los cálculos de cimentaciones especiales, no están incluidos en el suministro.

3.3 CARRETERA DE ACCESO

Es condición necesaria para el suministro y montaje del aerogenerador el que exista un camino de acceso adecuado hasta el lugar de emplazamiento. Este camino debe permitir el paso de transportes pesados, hormigoneras y grúas de gran tonelaje, necesarias para el montaje.

3.4 NORMATIVA

- La norma IEC 61400-2 establece como pequeños aerogeneradores, aquellos cuya área de barrido es inferior a los 200 m², lo cual nos lleva a equipos de aproximadamente 50 Kw de potencia nominal.

- Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración (BOE nº 312, 30/12/98).

- Ley 54/1997, del sector eléctrico, de 27 de noviembre Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010

- Ley 54/1997, del sector eléctrico, de 27 de noviembre Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010.

Código Técnico de Edificación Con respecto a la normativa desde el punto de vista administrativo los siguientes documentos pueden distinguirse:

- Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración (en todo lo no previsto por el Real Decreto 1663/2000) Orden del 6 de Julio de 1984 (BOE del 1 de Agosto de 1984), por el que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. Orden de 18 de Octubre de 1984 (BOE de 25 de Octubre de 1984), complementaria a la anterior.

- Orden de 5 de septiembre de 1985 por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 KVA y centrales de autogeneración eléctrica.

- Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo por el que se aprueba el procedimiento de medida y control de continuidad del suministro eléctrico.

- UNE-EN 61400-2 Requisitos de diseño para pequeños aerogeneradores y UNE-EN 61400-12 Ensayo de curva de potencia.

- Real Decreto 1433/2002, de 27 de diciembre de 2002 por el que se establecen los requisitos de medida en baja tensión de consumidores y centrales de producción en Régimen Especial.

4 ESTUDIO ECONÓMICO

Se puede hacer una estimación del coste de inversión de un parque eólico que incluye la compra de equipos que forman parte del sistema eólico, gastos de construcción y demás trámites burocráticos. En la Ilustración 36 podemos ver la distribución de los costes de la instalación, como las $\frac{3}{4}$ partes del coste total es para la compra de los aerogeneradores. Un poco más de $\frac{1}{4}$ del coste total de la inversión abarcan los equipos eléctricos y sus conexiones (9%), más la obra civil que supone un 9% y más otros que esta entorno al 5%.

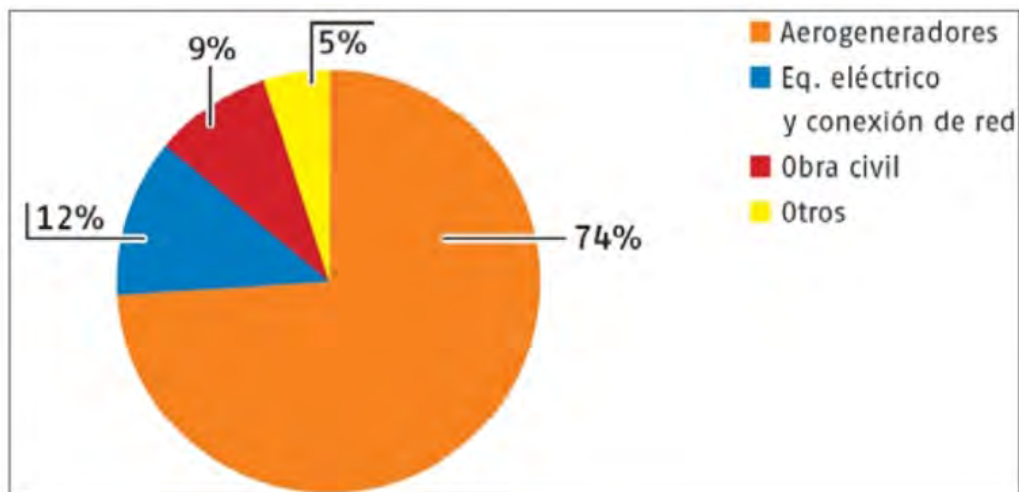


Ilustración 43: Distribución de costes de instalación

Los cálculos económicos se basarán en los precios a tarifa que se encuentran en el Real Decreto 661/2007.

Los precios de venta de la energía producida por el aerogenerador, asciende a:

- Los 20 primeros años: 7,3228 c€/KWh
- Resto años: 6,1200 c€/KWh

Los costes de inversión por aerogenerador ascienden:

Aerogenerador TURBEC 100 Kw 185.000,00 €

Equipo eléctrico y conexión a red	30.000,00 €
Obra Civil:	22.500,00 €
Otros:	12.500,00 €
TOTAL:	250.000,00 €

Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) asociado a la inversión se tomará como tasa de descuento “r” el valor de **1,5 %**.

Ingresos y coste de mantenimiento

Existen otro tipo de costes que son debidos a la explotación y mantenimiento, ya que durante la ejecución de la obra hay que desembolsar cantidades de dinero que resultan de salarios al personal, consumo de agua, eléctrico o de combustible. También existen los **costes de gestión** que incluyen los cánones, seguros, impuestos etc.

Los **costes de mantenimiento** se encuentran entorno al 1,5 % del coste del aerogenerador y de su instalación.

Energía producida: **234.514,73 kwh/año**

Subvención Gobierno

Se consigue una subvención del Gobierno de un 20 % sobre la inversión total.

$$250.000,00 \text{ €} \times 20 \% = 50.000,00 \text{ €}$$

Ingresos anuales por la venta de la energía:

$$234.514,73 \text{ Kwh/año} \times 0.073228 \text{ €/kwh} = 17.173,04 \text{ €}$$

Gastos mantenimiento anual:

$$215.000,00 \text{ €} \times 1,5 \%/\text{año} = 3.225,00 \text{ €}$$

Alquiler terreno primer año 2,7 % s/coste producción total:

$$17.173,04 \text{ €} \times 2,7 \% = 463,67 \text{ €}$$

Alquiler terreno segundo año y consecutivos 1,25 % de incremento.

4.1 VIABILIDAD ECONOMICA

La finalidad es saber si vamos a conseguir beneficio con la compra del aerogenerador, es decir de lo que se trata es de estudiar la rentabilidad a partir de una inversión inicial sometida a un tipo de interés i hallando su horizonte temporal a 20 meses. La viabilidad económica la podemos deducir mediante el cálculo del **Valor Actualizado Neto (VAN)** o la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**.

Previamente hallamos el **Flujo de Caja o Cash Flow (FC)**. El VAN y TIR se calculan en función del Flujo de Caja. En el VAN la inversión inicial del proyecto está sometida a un interés i dando como resultado la rentabilidad de un proyecto mediante el traslado de los flujos del futuro al presente. El otro indicador de rentabilidad TIR es el porcentaje de saldos no recuperados en cada periodo y que resulta como obtención de la tasa de descuento i que hace 0 al VAN. A mayor TIR mayor rentabilidad.

4.1.1 FLUJO DE CAJA O CASH FLOW (FC)

Tabla 12: Calculo del flujo de caja

AÑO	FLUJO DE CAJA	FLUJO DE CAJA ACUMULADO
0	-200.000,00	-200.000,00
1	13.484,37	-186.515,63
2	13.478,57	-173.037,05
3	13.472,70	-159.564,35
4	13.466,76	-146.097,58
5	13.460,74	-132.636,84
6	13.454,65	-119.182,18
7	13.448,48	-105.733,70
8	13.442,24	-92.291,45
9	13.435,92	-78.855,53
10	13.429,52	-65.426,00
11	13.423,04	-52.002,96
12	13.416,48	-38.586,47
13	13.409,84	-25.176,63
14	13.403,11	-11.773,52
15	13.396,30	1.622,79
16	13.389,40	15.012,19
17	13.382,42	28.394,62
18	13.375,35	41.769,97
19	13.368,19	55.138,17
20	13.360,95	68.499,12

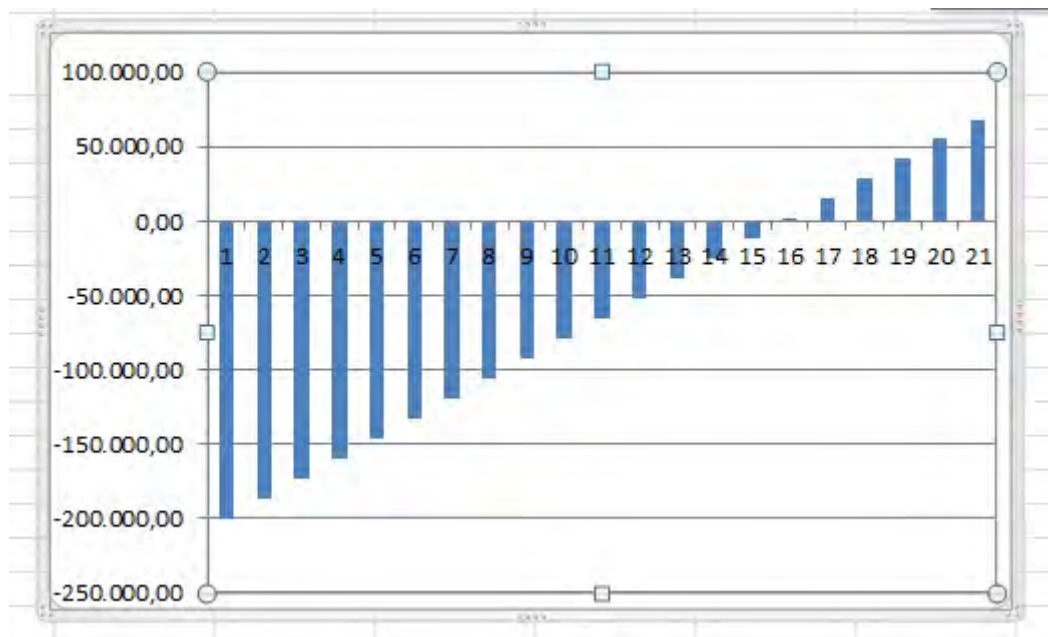


Ilustración 44: Representación gráfica del flujo de caja

4.1.2 VALOR ACTUALIZADO NETO (VAN)

VAN=> 30.543,24

4.1.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

TIR=> 2,99 %

4.1.4 CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos vemos claramente que el aerogenerador TURBEC 100 KW. es rentable , ya que tanto la Tasa Interna de Retorno (TIR) como el Valor Actual Neto ((VAN) son positivos. Y el Factor de Carga tiene que estar entre el 15% y el 30% y en este caso es del 26,77 %.

5 PRESUPUESTO

INSTALACIÓN DE AEROGENERADOR EN VALDEOLEA (CANTABRIA) POLIGONO 503- PARCELA 5085

COD.	CONCEPTO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
------	----------	----------	--------	---------

CAP.1 AEROGENERADORES

1.01	UD.Aerogeneradores TURBEC 100 KW. incluyendo carretes, góndolas y juego de 3 palas. Suministro, transporte y montaje de los carretes para sujeción del aerogenerador. Suministro, transporte y montaje del aerogenerador. Izado de la torre, góndola y rotor. Cableado y conexiones eléctricas de góndola y cuadros de potencia y control de aerogenerador. Suministro, montaje y puesta en marcha del sistema de telecontrol del parque. Planos de cimentaciones.	1,00	185.000,00	185.000,00
------	--	------	------------	------------

TOTAL CAPITULO 1
185.000,00

CAP.2 OBRA CIVIL				
SUBCAP.2,1 MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.01.01	M2.Desbroce del terreno, retirada de tierra vegetal y posterior colocación de la misma en las zonas afectadas (cimentación aerogeneradores, zanjas para cables eléctricos, camino de nueva construcción, subestación y edificio de control, etc.).	384,17	1,20	461,00
2.01.02	M3.Excavación en terreno compacto, incluso roca, con medios mecánicos (retro, martillo, etc.) para cimentación de aerogeneradores y zanjas para cables eléctricos.	37,50	17,20	645,00
2.01.03	M3.Relleno con arena en zanjas para cables eléctricos, incluso compactación	6,51	28,80	187,49
2.01.04	M3.Relleno con material seleccionado procedente de la excavación en cimentaciones de aerogeneradores y zanjas para cables eléctricos, incluso compactación.	23,53	7,80	183,53
2.01.05	M3.Relleno en núcleo de viales interiores con material sobrante de la excavación,	18,97	7,80	147,97
2.01.06	M3.Relleno en firme de viales interiores, con zahorras naturales, calidad sub-base de PG4, en una sola tongada de 20 cm. de espesor, incluso compactación	41,63	24,50	1.019,94

2.01.07	ML.Cinta plástica señalizadora normalizada y rasillas enterradas en zanjas para cables eléctricos (se dispondrán 2 cintas y 2 rasillas en paralelo para cubrir todo el ancho de la zanja).	152,17	0,25	38,04
2.01.08	ML.Paso de zanjas de cables eléctricos en cruces con el camino interior, incluso colocación de tubos de PVC y hormigonado.	2,00	48,90	97,80
2.01.09	UD.Plataforma situada junto a cimentaciones de aerogeneradores	1,00	150,00	150,00
TOTAL SUBCAPITULO 2.01				2.930,77

SUBCAP.2.2 CIMENTACIÓN				
2.02.01	M3.Hormigón de limpieza H-150, en fondo de cimentación de aerogeneradores.	2,50	105,45	263,63
2.02.02	M3.Hormigón para armar H-300, en cimentación de aerogeneradores, suministro, puesta en obra, vibrado y curado según EH-91.	25,00	245,50	6.137,50
2.02.03	UD.Colocación embebido en la zapata del carrete de apoyo del fuste del aerogenerador y tubos de PVC.	1,00	500,00	500,00
2.02.04	UD.Arqueta de hormigón armado con tapa de fundición según planos.	1,00	250,00	250,00
2.02.05	M3.Hormigón H-150 en protección de canalizaciones de PVC para entrada de cables a aerogeneradores.	5,98	75,00	448,50
2.02.06	UD.Acera perimetral en aerogeneradores según plano.	1,00	450,00	450,00
2.02.07	ML.Tubería PVC diámetro 250 para paso de cables.	32,65	22,10	721,57
2.02.08	ML.Tubería PVC diámetro 150 para paso de cables.	14,15	18,50	261,78
2.02.09	ML.Tubería PVC diámetro 80 para paso de cables.	7,47	12,22	91,28
TOTAL SUBCAPITULO 2.02				9.124,25

SUBCAP.2.3 ACCESOS Y VARIOS			
2.03.01	PA. Acondicionamiento del camino de acceso al Parque Eólico: Acondicionamiento y ensanche de las zonas que lo requieran, de la plataforma actual del camino hasta una anchura mínima de 4,5 m. Formación y perfilado de cunetas laterales para recogida del agua de lluvia Suministro, extendido y compactado de una capa de zahorra natural, calidad su-base del PG4 en sola tongada de 20 cm. de espesor.	1,00	5.500,00
			5.500,00
2.03.02	UD.Drenaje transversal del camino, formado por: Arqueta de recogida de agua en hormigón o fábrica de ladrillo, dimensiones interiores aprox. 1x1x1 m. Tubo de hormigón de 250 mm. de diámetro recubierto de hormigón, situado transversalmente al camino	3,00	350,00
			1.050,00
2.03.03	PA.Varios (remates diversos, ayudas de montaje, etc.)	1,00	3.894,98
			3.894,98
TOTAL SUBCAPITULO 2.03			10.444,98
TOTAL CAPITULO 2			22.500,00

CAPITULO 3 OBRA ELECTRICA				
3.01	ML. de línea con conductor aislamiento seco tipo DHV 15/25 kV 3 x 1 x 185 mm2 Al, en zanja, completamente instalado, incluso cinta para señalización de fases, cinta adhesiva para fijado de cables y pequeño material sujeción y conexionado.	198,44	24,00	4.762,56
3.02	ML.Línea de transmisión señales y datos para conductor multipolar 3 x 2 x 0,5 mm2 Cu, apantallado, blindado tendido en zanja, completamente instalado, incluso terminales y material de fijación para conexión a aerogeneradores y edificio de control.	77,10	7,80	601,38
3.03	UD.Conjunto terminal interior MT enchufable apantallado y atornillable 15/25 kV para conductor tipo DHV de 150 mm2 de aluminio, completamente instalado y conectado, incluso pequeño material de fijación y conexionado.	3,00	186,00	558,00
3.04	UD.Conjunto terminal interior MT 15/25 kV para conductor tipo DHV de 150 mm2 de aluminio completamente conectado e instalado incluso pequeño material de fijación y conexionado.	1,00	186,00	186,00
3.05	Ud. Puesta a tierra de aerogenerador, a base de cobre desnudo de 50 mm2 de sección dispuesto en anillo cuadrado de 12 x 12 mm. en base de la cimentación de			

	aerogenerador, 50 mm ² de sección de cobre, conectado a la ferralla de la cimentación en los 4 vértices, 4 picas de acerocobre de 2m, 2 rabillos de 9m para conexión de elementos del aerogenerador y un rabillo de 9m para conexión con red general del parque y anillo de 4m de diámetro enterrado a 1 m. de la base del fuste del aerogenerador unido al fuste en 2 puntos, incluso 16 soldaduras aluminotérmicas, pequeño material y conexión según esquema.	1,00	650,00	650,00
3.06	UD.Armario de relés de red Armario de 800 x 600 x 2200 de la serie PS-4000 de RITTAL, conteniendo: Relé de mínima tensión Fabricante: ZIV. Modelo: 3TPI-BOB trifásico. Gama de regulación: 10 - 150 % Un. Tensión de medida (Un): $110:(3^{1/2})V$, 50 Hz Tensión de alimentación: 110 V c.c. Disparo: temporizado en tiempo fijo regulable entre 0 y 100 s. Relé de máxima tensión	1,00	1.773,40	1.773,40
3.07	UD.Armario de medida Se instalará un armario metálico con visor de acuerdo con las normas de UNIÓN FENOSA. Éste contendrá debidamente montados y conexiónados los siguientes aparatos: 1 contador electrónico para medida de energía en cuatro cuadrantes:			

Marca: LANDIS & GYR. Modelo: ZMB 405C 4CR 14C. Conectado a los secundarios de medida de los tres transformadores de tensión y de intensidad antes mencionados. 1 regleta de comprobación de 10 bornes. 1 módem METCOM 2. Se cableará y se dispondrá de acuerdo con las normas de UNIÓN FENOSA.			
	1,00	1.034,48	1.034,48

3.08	UD.Material de seguridad Se instalará el siguiente material de seguridad: Armario de primeros auxilios. Un juego de guantes homologados 24 kV. Una banqueta aislante. Un extintor de eficacia 89B. Una pértiga detectora de tensión. Una pértiga de maniobra. Una lámpara de emergencia portátil con cargador.			
		1,00	1.214,93	1.214,93

3.09	UD.Cuadro general de distribución en baja tensión El cuadro general de distribución se alojará en el recinto celdas de media tensión. Estará construido en chapa de acero plegada de 25 mm de espesor mínimo, debidamente tratado y pintado con pintura antioxidante y 2 capas de acabado y secado al horno, con puertas delanteras, con dimensiones suficientes para contener todos los aparatos y equipos de forma que su ventilación y espacio entre equipos no			
------	--	--	--	--

	permita calentamientos superiores a los recomendados por las normas y fabricantes. Contendrá el interruptor general de B.T., de 180 A de intensidad nominal, amperímetro y voltímetro y los elementos de protección del alumbrado y toma de corriente del centro de transformación. El acceso a todos los equipos será siempre por la parte delantera. Se dejará un espacio libre del 20 %. El cableado se realizará con cable flexible de cobre de 1,5 mm² como mínimo para mando, conducido en canaleta plástica.			
		1,00	2.100,20	2.100,20
3.10	Rectificador y controlador de carga y descarga. Caja metálica con disipación de calor por convección de aire.			
		1,00	3.870,00	3.870,00
3.11	Adaptador a tecnología MPPT y IGBT, con alto poder de generación, tensión de amplia gama de generación de energía			
		1,00	3.569,05	3.569,05
3.12	Inversor de red. Adaptador a tecnología SPWM, interruptor de alta frecuencia, transformador con conversión de alta eficiencia, salida estable de voltaje, frecuencia estable, onda sinusoidal pura			
		1,00	9.680,00	9.680,00
TOTAL CAPITULO 3				30.000,00

5.1 TOTAL PRESIPUESTO

INSTALACIÓN DE AEROGENERADOR EN VALDEOLEA (CANTABRIA) POLIGONO 503- PARCELA 5085		
CAPITULO	CONCEPTO	PRECIO
CAPITULO 1	AEROGENERADORES	185.000,00
CAPITULO 2	OBRA CIVIL	22.500,00
SUBCAPITULO 2.1	MOVIMIENTO DE TIERRAS	2.930,77
SUBCAPITULO 2.2	CIMENTACIÓN	9.124,25
SUBCAPITULO 2.3	ACCESOS Y VARIOS	10.444,98
CAPITULO 3	EQUIPO ELECTRICO Y CONEXIÓN RED	30.000,00

TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA	237.500,00
------------------------------	------------

Seguridad y salud, Control de Calidad, Proyecto, Dirección de Obra, Licencias	12.500,00
--	-----------

TOTAL PRESUPUESTO	250.000,00 €
--------------------------	---------------------

Asciende el presupuesto total a la expresada cantidad de DOSCIENTOS CINCUENTA MIL EUROS.

NOTA: El IVA no está incluido.

Santander, a 11 de Septiembre de 2.013

Fdo. Marta Gutiérrez Sola

6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 TEXTO

- Componentes de un aerogenerador.* (2009). Obtenido de <http://alumnatbiogeo.blogspot.com.es/2009/03/componentes-de-un-aerogenerador.html>
- Alpert, I. O. (s.f.). *EVALUATION OF GCM/RCM BY THE CLASSIFIED SYNOPTIC SYSTEMS' APPROACH.* Obtenido de <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/68682.pdf>
- Capilla, R. P. (2011). *Energía eólica.* Ediciones Roble, S.L.
- Carlos Navarro; Julian Ramirez;Andy Jarvis. (2012). *GSM vs RCM.* Obtenido de <http://www.slideshare.net/ciatdapa/navarro-c-gcm-vs-rcm>
- CUADRAT, J. M., & PITA, M. F. (1997). *CLIMATOLOGÍA.*
- F.Gomaríz Castillo,F.Alonso Sarriá, J.P Montavez y R.Lorente-Plazas. (2012). *Un servidor cartográfico para la modelización del potencial eólico sobre la Península Ibérica basado en software libre.* Obtenido de http://age-tig.es/2012_Madrid/ponencia3/Alonso,F_final.pdf
- Fernández, J. F. (Agosto de 2007). *Numerical weather and climate modelling.* Obtenido de http://www.meteo.unican.es/research/climate_models
- Fernández, J. F. (2009). *Índices de extremos en modelos regionales sobre la Península Ibérica UC.* Obtenido de <http://www.clivar.es/files/abstracts/sesion5/10--fernandez.pdf>
- Fernández, J. F. (s.f.). *Modelos Climaticos Regionales.* Obtenido de (Grupo de Meteorología Aplicada UCINM): http://www.meteo.unican.es/courses/2007_cursoRegionalizacion_files/2_2_fernandez_RCMs.pdf
- García, F. F. (1996). *Manual de Climatología Aplicada.*
- García, S. H. (2011). *Modelización. Tesis Doctoral .* Obtenido de Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para: <http://www.meteo.unican.es/tesis/herrera>

- García, S. H. (s.f.). *Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España*. Obtenido de <http://www.meteo.unican.es/en/node/73031>
- Gobierno de España. (s.f.). *Atlas eólico de España*. Obtenido de IDAE: <http://atlaseolico.idae.es/>
- Guardiola, J. M. (1969). Manual del Observador de Meteorología. En J. M. Guardiola.
- Guerrero, L. (2013). *Guía de About.com VIDA VERDE*. Obtenido de Energía Eólica: <http://vidaverde.about.com/od/Tecnologia-y-arquitectura/a/La-Energia-Eolica.htm>
- Jesús FERNANDEZ; Lluís FITA; MARKEL García Díez;JP MONTÁVEZ. (s.f.). *ESCENARIOS PNACC 2012: RESULTADOS DE REGIONALIZACIÓN DINÁMICA*. Obtenido de <http://fundacion.usal.es/conaec/pendrive/ficheros/ponencias/ponencias1/04-Modelos.pdf>
- José A. García-Moya Zapata. (s.f.). *Los modelos numéricos de predicción del tiempo*. Obtenido de <http://www.tethys.cat/antics/num02/articles/art0205esp.htm>
- MAPA EÓLICO. (s.f.). Obtenido de Servidor espacial CIOYN-INUAMA: <http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html>
- Muñoz, M. A. (31 de 01 de 2012). *ENERGÍAS RENOVABLES*. Obtenido de <http://nuestra-tierra.laverdad.es/medio-ambiente/desarrollo-sostenible/2244-investigacion-sensores-para-detener-los-aerogeneradores-al-paso-de-las-aves>
- Narejos, A. (2011). *Impacto visual de parques eólicos marinos (offshore)*. Obtenido de <http://antonionarejos.wordpress.com/2011/04/15/impacto-visual-de-parques-eolicos-marinos-offshore/>
- Nieto, P. G. (2010). *ESTUDIO DE CAMBIOS PROYECTADOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SOBRE ANDALUCIA DURANTE EL PERIODO 2071–2100*. Obtenido de diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/14022/1/pedro-gamez-nieto.pdf
- R.Lorente-Plazas,JP Montavez,SJerez,Gomez-Navarro,Jimenez-Guerrero,P.AJiménez, J.A Garcí-Valero, F.Gomaríz-Castillo and F.Alonso-Sarriá. (Marzo 2012). EOLMAP: A web tool to assessthe wind resource over Spai. Santiago de Compostela (Spain).

- Recurso Eólico de Canarias.* (s.f.). Obtenido de <http://www.itccanarias.org/recursoeolico/>
- Retallack, B. J. (1973). Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico Clase IV.
- Rodríguez, R. H. (2013). *Revista Nº15 en formato digital - Universidad de Cantabria.* Obtenido de PROYECTO: UN FUTURO HACIA LA EFICIENCIA SOCIAL Y MEDIO AMBIENTAL EN LASOCIEDAD DEL BIENESTAR: <http://www.unican.es/NR/rdonlyres/6793AA5E-7F35-4806-A2CC-4955005026BE/85831/tromel15WEB.pdf>
- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. (2013). *TFT- Normativa para los trabajos de fin de grado.*
- Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ).* (s.f.). Obtenido de <http://www.lmmeteoven.org/zcit.html>

6.2 ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Diversas fuentes de energía utilizadas en la actualidad. FUENTE: eliseosebastian.com	1
Ilustración 2: Barco de vela vikingo. FUENTE: http://es.123rf.com/photo_14193007_modelo-antiguo-barco-vikingo-aislado-en-blanco.html	1
Ilustración 3: 'Del buen suceso que el valeroso Don Quijote tuvo en la espantable y jamás imaginada aventura de los molinos de viento'. FUENTE: http://natapasoapaso.blogspot.com.es/2010/10/del-buen-suceso-que-el-valeroso-don.html	1
Ilustración 4: Molino de bombeo. Los molinos de bombeo son los dispositivos eólicos fabricados en mayor número a lo largo de la historia. FUENTE: www.arrakis.nl/reports/pr-98-02-1-def(sp).pdf	1
Ilustración 5 Aerogeneradores europeos del siglo XIX, antecesores de la moderna tecnología eólica. FUENTE: http://www.poullacour.dk/	1
Ilustración 6: Parque eólico offshore. FUENTE: http://news.soliclima.com/noticias/energia-eolica/pagina/4	1
Ilustración 7: Ecología.	1
Ilustración 8: Componentes de un aerogenerador	1
Ilustración 9: Giromill.	1
Ilustración 10: Darrieus.	1
Ilustración 11: Savonius.	1
Ilustración 12: Torres de celosía.	1
Ilustración 13: Circulación general atmosfera. FUENTE: Apuntes de Meteorología ARES	1
Ilustración 14: El sistema climático	1
Ilustración 15: Circulación atmosférica.	1
Ilustración 16: Diagrama de circulación atmósfera. FUENTE: Temario de meteorología academia ARES	1
Ilustración 17: Representación esquemática de los modelos regionales de climaticos.	1
Ilustración 18: Distribución espacial de los puntos del mallado para el modelo MM5 con información referente a direcciones y velocidades del viento para diferentes alturas.	1
Ilustración 19: Base de datos de viento.	1
Ilustración 20: Distribución espacial de los puntos con observaciones reales de los observatorios incluidos en la base de datos, con información referente a velocidad y dirección de viento. FUENTE: http://age-tiq.es/2012_Madrid/ponencia3/Alonso,F_final.pdf	1
Ilustración 21: Resultado de seleccionar con el ratón un punto del mapa eólico. Puede verse la media anual sobre un punto en la que se aprecia que a medida que la velocidad aumenta con altura el índice C de Weibull también. FUENTE: http://atlaseolico.idae.es/	1
Ilustración 22: Variación de la velocidad con la altura, según la ley exponencial de rugosidad 0,2.	1
Ilustración 23: Variación de la velocidad con la altura en zonas urbanas, rusticas y costa.	1

Ilustración 24: Resultado de seleccionar con el ratón un punto del mapa eólico. Valores estacionales a 80 m. FUENTE: http://atlaseolico.idae.es/	1
Ilustración 25: Escala de Beaufort.	1
Ilustración 26: Clasificación del viento en clases. FUENTE: Energía eólica CEU	1
Ilustración 27: Transductor de viento-veleta. FUENTE: mercamania.es	1
Ilustración 28: Datalogger.	1
Ilustración 29: Grafico de barras con la distribución de velocidades en un emplazamiento.	1
Ilustración 30: Curva de potencia de un aerogenerador.	1
Ilustración 31: mapa de vientos en España.	1
Ilustración 32: El Sabinar del Hierro' (Isla del Hierro). FUENTE: http://www.canariasnatural.net/flora-y-fauna-canaria/el-sabinar-de-el-hierro/	1
Ilustración 33: Resultado grafico en la Isla del Hierro de la distribución del recurso eólico.	1
Ilustración 34: Relieve y datos administrativos en Cantabria- Mapa eólico.	1
Ilustración 35: Datos de viento en estaciones reales, datos medios y datos medios 1Km. FUENTE: http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html	1
Ilustración 36: Relieves mapa eólico.	1
Ilustración 37: Ejemplo de generación del informe. FUENTE: http://meteo.inf.um.es/eolo/map.html	1
Ilustración 38: Producción de electricidad para vivienda aislada y venta de excedente a la REE.	1
Ilustración 39: Diagrama resultado de horas-frecuencia mediante el programa Excel	62
Ilustración 40: Rosa de los vientos calculada mediante Autocad de la velocidad y frecuencia	1
Ilustración 41: Datos eólicos en Cantabria.	1
Ilustración 42: Plano catastral de la finca.	1
Ilustración 43: Ilustración 39: Visor cartográfico Gobierno de Cantabria. FUENTE: www.territoriodecantabria.es/Visor-Cartografico	1
Ilustración 44: Distribución de la red eléctrica en el TM de Valdeoléa.	1
Ilustración 45: Distribución de costes de instalación	1
Ilustración 46: Representación gráfica del flujo de caja	1

6.3 TABLAS

<i>Tabla 1: Curva de Potencia del Aerogenerador TURBEC 100</i>	24
<i>Tabla 2: Coeficiente de rugosidad</i>	34
<i>Tabla 3: Valores de la frecuencia, velocidad, potencia, weibull y calculo de la velocidad a 36 m</i>	60
<i>Tabla 4: Valores estacionales en un punto a 80 m</i>	1
<i>Tabla 5: Media anual en un punto</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 6- Representación tabular frecuencia-horas del Turbec 100 Kw</i>	63
<i>Tabla 7: Curva de potencia del aerogenerador Turbec 100</i>	63
<i>Tabla 8: Calculo de la producción del aerogenerador TURBEC 100 Kw</i>	64
<i>Tabla 9: Calculo del Factor de Carga</i>	64
<i>Tabla 10: Calculo del flujo de caja</i>	6

6.4 ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Aproximación exponencial Hellman</i>	34
<i>Ecuación 2: Ecuación de Weibull</i>	40
<i>Ecuación 3: Factor de carga</i>	42