

DOCUMENTO I

MEMORIA



INDICE MEMORIA

I. MEMORIA.

I.1 ANTECEDENTES.	5
I.2.OBJETO DEL PROYECTO.	6
I.3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.	7
I.4. TITULAR.	8
I.5. REGLAMENTACIONES Y DISPOSICIONES OFICIALES. NORMATIVA.	8
I.6. MEMORIA DESCRIPTIVA	11
I.6.1. Principio de funcionamiento	11
I.6.1.1. Potencia aprovechable en el viento.	13
I.6.2. Estudio del recurso eólico. El viento.	15
I.6.2.1. Velocidad del viento.	15
I.6.2.2. Dirección del viento.	15
I.6.2.3. Rosa de viento.	15
I.6.2.4. La medida del viento.	19
I.6.2.5. Curva de distribución de velocidad.	20
I.6.2.6. Ley de distribución Weibull.	21
I.6.3. Características del Aerogenerador seleccionado.	25
I.6.3.1. Características físicas, técnicas y geométricas.	26
I.6.3.1.1. Rotor.	26
I.6.3.1.2. Palas.	26
I.6.3.1.3. Torre tubular.	26
I.6.3.1.4. Buje.	27
I.6.3.1.5. Multiplicadora G-58-850 kW.	27
I.6.3.1.6. Sistema de control. Paso variable.	27
I.6.3.1.7. Generador 850 kW.	28
I.6.3.1.8. Frenos.	28
I.6.3.1.9. Bastidor y Corona de Orientación.	29
I.6.3.1.10. Sistema de Mantenimiento Predictivo SMP.8C	29



I.6.3.1.11 Adaptación a red	29
I.6.3.1.12. Protección contra rayos.	29
I.6.4. El Mini Parque Eólico.	30
I.6.4.1. Definición.	30
I.6.4.2. Elementos del Mini Parque Eólico.	31
I.6.4.2.1. Aerogeneradores.	31
I.6.4.2.1.1. Distribución de los aerogeneradores.	31
I.6.4.2.2. Conducciones eléctricas del Mini Parque.	32
I.6.4.2.3. Interconexión de parque.	34
I.6.4.3. Accesos.	35
I.6.4.4. Conexión a la Red Eléctrica.	36
I.6.4.5. Centro de Seccionamiento. Resumen de características.	37
I.6.4.5.1. Actividad.	37
I.6.4.5.2. Potencia proyectada en kVA.	38
I.6.4.5.3. Tipo de Centro.	38
I.6.4.5.4. Objeto del Centro de Seccionamiento.	38
I.6.4.5.5. Reglamentaciones y Disposiciones Generales del C.S.	38
I.6.4.5.6. Características Generales del Centro de Seccionamiento.	38
I.6.4.5.7. Programa de necesidades y Potencia Instalada en kVA.	39
I.6.4.5.8. Obra Civil.	40
I.6.4.5.9. Local.	40
I.6.4.5.9.1. Características del local.	40
I.6.4.5.10 Justificación de la necesidad o no de un estudio de Impacto Ambiental.	42



I.6.4.5.11. Características de la Red de Alimentación.	42
I.6.4.5.11.1. Características de la Aparamenta de Alta Tensión.	43
I.6.4.5.11.2. Características material vario Alta Tensión.	46
I.6.4.5.11.3. Características de la Aparamenta de Baja Tensión.	46
I.6.4.5.12. Medida de la Energía Eléctrica.	49
I.6.4.5.13. Puesta a Tierra.	49
I.6.4.5.13.1. Tierra de Protección	49
I.6.4.5.13.2. Tierras Interiores.	49
I.6.4.5.14. Instalaciones Secundarias.	50
I.6.4.5.14.1. Alumbrado.	50
I.6.4.5.14.2. Protección contra incendios.	50
I.6.4.5.14.3. Ventilación.	50
I.6.4.5.15. Medidas de Seguridad.	50



I.1 ANTECEDENTES.

En la búsqueda de evitar los combustibles fósiles como fuente de energía debido a sus efectos y a su limitación en el tiempo, (estimada en 40 años para el petróleo), han sido analizadas múltiples fuentes alternativas, como la nuclear, las renovables, etc. Si a esta búsqueda de alternativas, añadimos la conciencia social como factor de decisión, llegamos a las energías renovables, y entre ellas la Eólica, como fuente de energía a potenciar de forma urgente.

Estos cambios de modelo energético se enmarcan de acuerdos como el Protocolo de Kyoto a nivel mundial, o el Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) a nivel nacional. También las agencias de la energía de algunas comunidades autónomas, como Agencia Valenciana de Energía (AVEN), hacen serios esfuerzos para dinamizar la implantación de estas energías renovables.

Todos los foros internacionales de expertos coinciden en que el modelo energético actual no es sostenible, entre otros motivos por los siguientes:

- Porque se agota. Las reservas actuales se estiman en unos 40 años para petróleo y gas, y 200 para el carbón.
- Porque es necesario reducir la emisión de gases de efecto invernadero que afectan al calentamiento de la Tierra.
- Porque tenemos la obligación moral de definir un modelo energético que permita acceder a la electricidad a los cerca de dos mil millones de personas que aún carecen de ella.

Existe pues una aspiración global, y una urgencia de buscar nuevas tecnologías energéticas que cubran nuestras necesidades, que nos permitan generar energía eléctrica en cualquier parte del mundo, que sean respetuosas con nuestro entorno y que posibiliten un desarrollo sostenible.

Dentro de las energías renovables, la transformación directa de la energía eólica en energía eléctrica gracias a la capacidad mecánica del viento, constituye una solución de características especialmente interesantes, muy versátil, muy sencilla de operar y aún por explotar.

En España, el Real Decreto 2818/1998, de 23 de Diciembre, apuesta entre las demás energías renovables, por la implantación de un sistema eólico nacional. Por fin, el desarrollo sostenible puede verse impulsado desde las iniciativas particulares de promotores que, aprovechando el recurso eólico pueden contribuir a una producción de energía de manera más limpia.



El Real Decreto 436/2004, de 12 de Marzo, afianza el crecimiento de la Energía Eólica ampliando (y derogando) lo que se decía en el RD 2818.

En el caso de la Comunidad Valenciana y tras el Acuerdo de 26.07.01, por el que se aprueba el Plan Eólico para esta Comunidad, se divide su territorio en quince zonas aptas para la instalación de parques eólicos de una potencia superior a los 3 MW, para una producción de energía eléctrica que reforzaran la producción de electricidad con un incremento previsto de 2.720 MW hasta el año 2010, superando considerablemente las previsiones realizadas en el *Plan de Energías Renovables* (IDAE) Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía que estimaban un aumento en este periodo (2005-2010) de 1.579 MW.

Las exigencias de esta ordenación del terreno, que limita incluso el número de máquinas en cada parque, dejan la opción para los promotores, bien sean particulares o ayuntamientos, de explotar instalaciones eólicas de potencia menor o igual a 3 MW, los llamados mini-parques eólicos, como el que vamos a desarrollar en este proyecto.

I.2. OBJETO DEL PROYECTO.

A la hora de proyectar una instalación eólica, tenemos en cuenta los siguientes cinco factores determinantes: el suelo, el viento, medio ambiente, conexión a red eléctrica y el factor económico:

El suelo: Generalmente las zonas óptimas para el emplazamiento de estas instalaciones, suelen estar alejadas de zonas urbanas, de ahí su difícil aprobación como suelo urbanizable de uso industrial. Mas aún, y se suele dar en una gran mayoría de los proyectos, cuando su enclave esta rodeado o incluido en una zona declarada como zona protegida natural.

El viento: Va a ser la fuente de energía o recurso, y de ahí que se empleen costosos estudios para la determinación del emplazamiento con recursos eólicos óptimos.

Medio ambiente: La aprobación por parte de medio ambiente para la construcción, puesta en marcha e incluso demolición de este tipo de instalaciones es el mayor escollo que deben superar estos proyectos. Como orden de magnitud considerar una duración de hasta cuatro años para su estudio y aprobación por parte de medio ambiente. No asegurando en muchas ocasiones su aprobación, lo que dificulta, incluso por encima del factor técnico y económico, la totalidad del proyecto.



Conexión a red eléctrica: Como veremos a lo largo de este proyecto, la aprobación por parte de Red Eléctrica Española para la conexión de estas instalaciones de generación eléctrica es también complicada. Son las instalaciones que mas afectan a los parámetros de la red por su continua variación en su producción, debido al carácter variante del recurso eólico, que la transforma en una fuente de producción muy variante e impredecible, y a las características adversas que producen un conjunto de turbinas.

Factor económico: A pesar de que una instalación con un análisis y diseño óptimo, va a aminorar al máximo el tiempo de retorno de la inversión, dicha inversión inicial es muy elevada. Aún así se puede conseguir mediante préstamos y subvenciones hasta el 90 % de ésta. No obstante este 10 % restante, que debe de aportar el promotor de su bolsillo, es una cantidad considerable.

Tras leer este proyecto, conoceremos la dificultad en su desarrollo y aprobación.

Realizaremos un exhaustivo estudio del recurso eólico, y mediante el análisis de las diversas opciones de mercado, elegiremos el aerogenerador mas adecuado para nuestras condiciones.

Analizaremos la máquina elegida y daremos una visión de un mini parque eólico ($P \leq 3\text{MW}$). Describiremos sus partes, particularizando nuestro caso, y prestando especial interés en el cálculo de las líneas eléctricas, y el tipo de conexión a la red eléctrica.

Por último intentaremos esquematizar el largo y complicado proceso administrativo.

I.3. SITUACION Y EMPLAZAMIENTO.

Este proyecto tiene como objeto el estudio de la instalación de un mini parque eólico en la comarca de Requena, provincia de Valencia.

Dicha instalación se ubicará en la llanura denominada Pico del Tejo, dentro de la sierra del mismo nombre. Su altura será de 1.250m.

Debido a que en dicho lugar se encuentra instalado un grupo de antenas de radio-televisión, cuenta con unos accesos ya existentes. Lo que facilitará el trazado de nuestros caminos.



I.4. TITULAR

Proyecto realizado por el alumno de Ingeniería Técnica Industrial, esp. Mecánica, Víctor Fernández Mompeán. Tutelado por los profesores de la U.P.C.T Fco. Javier Cánovas Rodríguez y Juan Martínez Tudela.

Servirá como proyecto fin de carrera para el alumno, y únicamente será empleado para fines docentes y educativos.

I.5. REGLAMENTACIONES Y DISPOSICIONES OFICIALES (Normativa).

La normativa que afecta a la instalación de un mini parque eólico es la siguiente:

Normativa de carácter energético nacional:

Ley 40/1994 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional

Ley 54/1997 del Sector Eléctrico

Real Decreto 2017/1997, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento.

Real Decreto 2018/1997, por el que se aprueba el Reglamento de Puntos de Medida de los Consumos y Tránsitos de Energía Eléctrica.

Real Decreto 2019/1997, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.

Orden de 29.12.97, por la que se desarrollan algunos aspectos del Real Decreto 2019/1997, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.

Orden de 17.12.98 por la que se modifica la Orden de 29.12.97, que desarrolla algunos aspectos del Real Decreto 2019/1997, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.

Real Decreto 2818/1998 sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovable, residuos y cogeneración (Derogado por el RD436/2004).



Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (Régimen económico de régimen especial).

Real Decreto 2819 /1998, por el que se regulan las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica.

Real Decreto 2020/1998, por el que se establecen las tarifas de acceso a las redes.

Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministros de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Real Decreto 1164/2001, tarifas de acceso a redes de transporte y distribución.

Real Decreto 1802/2003, por el que se establece la tarifa eléctrica para 2004. Actualizado por R.D. 2392/2005 (TR=7,3304 c€/ kWh)

Normativa de carácter energético autonómica en la Comunidad Valenciana:

Acuerdo de 26.07.02 por el que se aprueba el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.

Orden de 31.07.2001, de la Conselleria de Industria y Comercio, por la que se realiza la convocatoria pública para la ejecución del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.

Normativa de carácter industrial autonómica:

Orden de 20.12.1991, de la Conselleria de Industria, Comercio y Turismo, por la que se autoriza la Norma Técnica para instalaciones de Media y Baja Tensión.

Resolución de 02.12.1994, de la Dirección General de Industria y Energía, por la que se aprueban diversos proyectos tipo de las instalaciones de distribución.

Orden de 12.02.2001, de la Conselleria de Industria y Comercio, sobre contenido mínimo en proyectos de industrias e instalaciones de industrias.



Normativa medioambiental de carácter nacional:

Real Decreto Legislativo 1302/86, de evaluación de impacto ambiental (BOE nº 155 de 30.06.1986)

Real Decreto 1131/88, por el que se aprueba el Reglamento de ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/86 de evaluación de impacto ambiental (BOE nº 239 de 05.10.1988)

Ley 6/2001, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/86 de evaluación de impacto ambiental (BOE nº 111 de 09.05.2001)

Normativa ambiental de carácter autonómico en la Comunidad Valenciana:

Ley 2/89 de la Generalitat Valenciana, estudio de impacto ambiental (DOGV nº 1021 de 08.03.89)

Decreto 1412 por el que se aprueba el Reglamento de ejecución de la Ley 3/89 de la Generalitat Valenciana, estudios de impacto ambiental (DOGV nº 1412 de 30.10.90)

Normativa urbanística autonómica en la Comunidad Valenciana:

Ley 6/89 de Ordenación del Territorio (DOGV nº 1106 de 13.07.89)

Ley 6/1994 Reguladora de la Actividad Urbanística (DOGV nº 2394 de 24.11.94)

Ley 4/1992 de Suelo no Urbanizable.

Reglamento 201/1998, Reglamento de Planteamiento de la Comunidad Valenciana (DOGV nº 3408 de 08.01.99)

Normativa correspondiente a otras comunidades autónomas.

Normativa administrativa general:

Ley 30/1992 de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y Procedimiento Administrativo Común.

Ley 3/1995 de Vías Pecuarias



I.6. MEMORIA DESCRIPTIVA.

I.6.1- Principio de Funcionamiento.

Un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la fuerza del viento en un par (fuerza de giro) actuando sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento.

La densidad del aire depende de la altura sobre el nivel del mar. Aunque en nuestro ámbito (1.250 m), podemos considerar un valor estándar de $1,225 \text{ Kg/m}^3$.

El área de barrido depende del diámetro del rotor. Vemos en la siguiente figura las potencias disponibles según el diámetro:

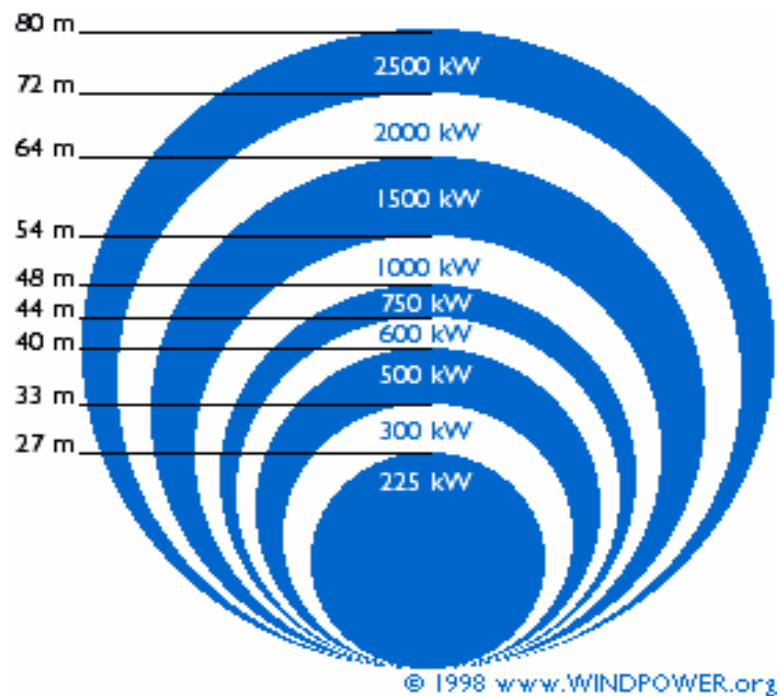


Figura. 1

Actualmente, la mayoría de los parques y mini-parques Eólicos están formados por el conjunto de Aerogeneradores de entre 50 y 80 m de diámetro, con potencias nominales entre 0,85 y 2 (MW). Aunque ya suenan para un futuro no muy lejano los de 3 y hasta 4 (MW).

El tercer factor del que depende la energía disponible por el aerogenerador es el viento. Este es el más determinante, veremos como influye de forma cúbica en su valor.



Aunque no es sólo el valor medio de la velocidad a considerar, ya que es igual de determinante la dirección y frecuencia del viento a lo largo de los puntos cardinales, en un emplazamiento determinado.

Presentados los 3 factores desarrollamos su fórmula:
La energía del viento es energía cinética, causada por la masa de aire en movimiento

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

m = masa del viento

v = velocidad del viento

La masa se puede expresar en función del volumen y de la densidad del aire.

$$m = \rho \times v$$

V = volumen de barrido

ρ = densidad del aire

Suponiendo un volumen barrido de tipo cilíndrico, tenemos $v = A \times L$ donde A es la superficie barrida y L la longitud del cilindro.

La longitud del cilindro se puede expresar en función de la velocidad del aire

$$L = v \cdot t$$

Con t el tiempo que tarde la corriente de aire en atravesar el volumen cilíndrico de longitud L

Con todo esto la energía es

$$E = \frac{1}{2}\rho \cdot V \cdot v^2 = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot L \cdot v^2 = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3 t$$

A = Superficie del viento barrida por las palas del aerogenerador.

v = Velocidad del viento

Y dividiendo por el tiempo tenemos la potencia disponible en el viento, que atraviesa el volumen de control cilíndrico indicado

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Es importante observar que la potencia no depende del número de palas del aerogenerador sino del área barrida por las mismas.



Se observa que, al variar la potencia con el cubo de la velocidad, interesará que esta última sea lo más elevada posible (siempre y cuando lo soporte la estructura mecánica y el control).

I.6.1.1- Potencia aprovechable en el viento.

La energía almacenada en el viento es muy elevada, pero desgraciadamente no podemos extraerla toda.

Teóricamente, para captar el cien por cien de la energía que transporta en forma de energía cinética, deberíamos detener completamente el aire en movimiento. Pero si detuviésemos el aire totalmente, al estar parado, impediría la entrada de más aire al rotor de la turbina y no podríamos captar más energía. Para evitar esto, se debe permitir que el viento escape con cierta velocidad, reduciendo el rendimiento de producción energética, pero permitiendo que más viento pueda alcanzar el aerogenerador.

Considerando como modelo la siguiente figura:

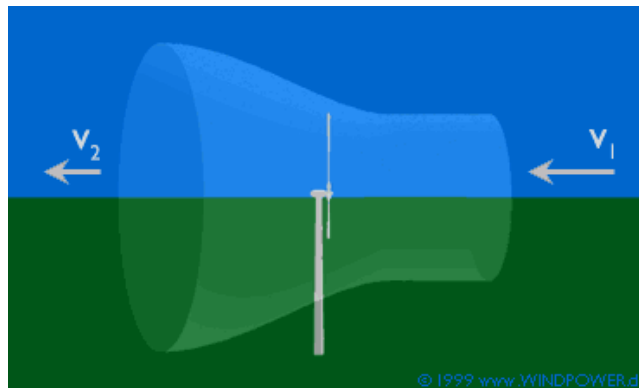


Figura 2

La potencia aprovechada por el rotor, según la Ley de Betz es igual a:

$$P = F \cdot v = \rho Q(v_1 - v_2)v = \rho A \frac{1}{2}(v_1 + v_2)(v_1 - v_2) \frac{(v_1 + v_2)}{2}$$

En donde

$$v_2 = av_1, \text{ con } 0 < a < 1$$

Con todo esto la potencia extraíble de una corriente de aire en función de la relación $a=v_2/v_1$ se puede expresar como

$$P = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \left[\frac{1}{2} (1 + a)^2 (1 - a) \right]$$



Se denomina coeficiente de potencia a la relación
Potencia extraíble/potencia incidente = C_p , por tanto

$$C_p = \left[\frac{1}{2}(1+a)^2(1-a) \right]$$

La potencia máxima extraíble se obtendrá cuando sea máximo el valor de C_p .

Igualando a cero la derivada obtenemos este valor.

$$\frac{dC_p}{da} = \frac{1}{2} [2(1+a)(1-a) - (1+a)^2] = 0$$

$$2(1+a)(1-a) = (1+a)(1+a)$$

$$2(1-a) = (1+a)$$

$$2 - 2a = 1 + a$$

$$1 = 3a; a = \frac{1}{3}$$

Resultando que el valor máximo de C_p se obtiene para $a=1/3$, siendo este:

$$C_p = 1/2(1 + 1/3)^2(1 - 2/3) = 1/2(4/3)^2 \cdot (2/3) = 13/27 = 0,592959$$

La expresión

$$P = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 C_p$$

Se conoce como fórmula de Betz y nos proporciona la máxima potencia que podemos extraer de una corriente de aire.

El coeficiente de potencia sirve para caracterizar el rendimiento de un rotor eólico.

Este límite viene dado por la incapacidad del rotor de convertir toda la energía cinética del viento en energía mecánica. Las posteriores limitaciones constructivas de la máquina (pérdidas mecánicas o eléctricas) hacen que el valor práctico de C_p esté en el mejor de los casos en 0'5.



Los valores de C_p ya los tiene en cuenta el fabricante en las características técnicas de cada aerogenerador. Por lo tanto, solo tendremos que fijarnos en la curva de potencia de cada máquina.

I.6.2- Estudio del Recurso Eólico. El Viento.

I.6.2.1 Velocidad del Viento

La velocidad del viento que mide su energía cinética es el valor a conocer para saber si podemos extraer o no energía.

Deberemos conocer las distintas velocidades que se presentan en el terreno, con sus probabilidades de aparición.

I.6.2.2 Dirección del Viento

La dirección se denomina en función del lado por donde sopla el viento (por ejemplo viento del Norte, cuando proviene del Norte). Criterio que tendremos en cuenta para representarlo.

I.6.2.3 Rosa de Vientos

Modo de representación del recurso Eólico. Con un simple vistazo a este modo de gráfico conoceremos la Frecuencia y valores medios de Velocidad y Energía para cada dirección.

Así el diagrama más usado es la Rosa de Vientos, que se trata de un diagrama Polar que representa el tanto por ciento de viento con la dirección indicada y, en módulo, su escala de Velocidad media.

Las observaciones generalmente efectuadas permiten deducir que la dirección del viento varía continuamente en torno a una dirección media.

Otro aspecto importante es la posibilidad de obtener las Rosas de Potencia y la de Energía a partir de la Rosa de Vientos. De hecho la Rosa de Energía va a ser el dato determinante para la situación de los Aerogeneradores en un emplazamiento dado. Evitando las sombras de viento entre estos cuando el viento viene con su mayor energía.

En las siguientes figuras, resumimos mediante este tipo de gráfico los tres años de medida de viento en nuestro emplazamiento:



Figura 3

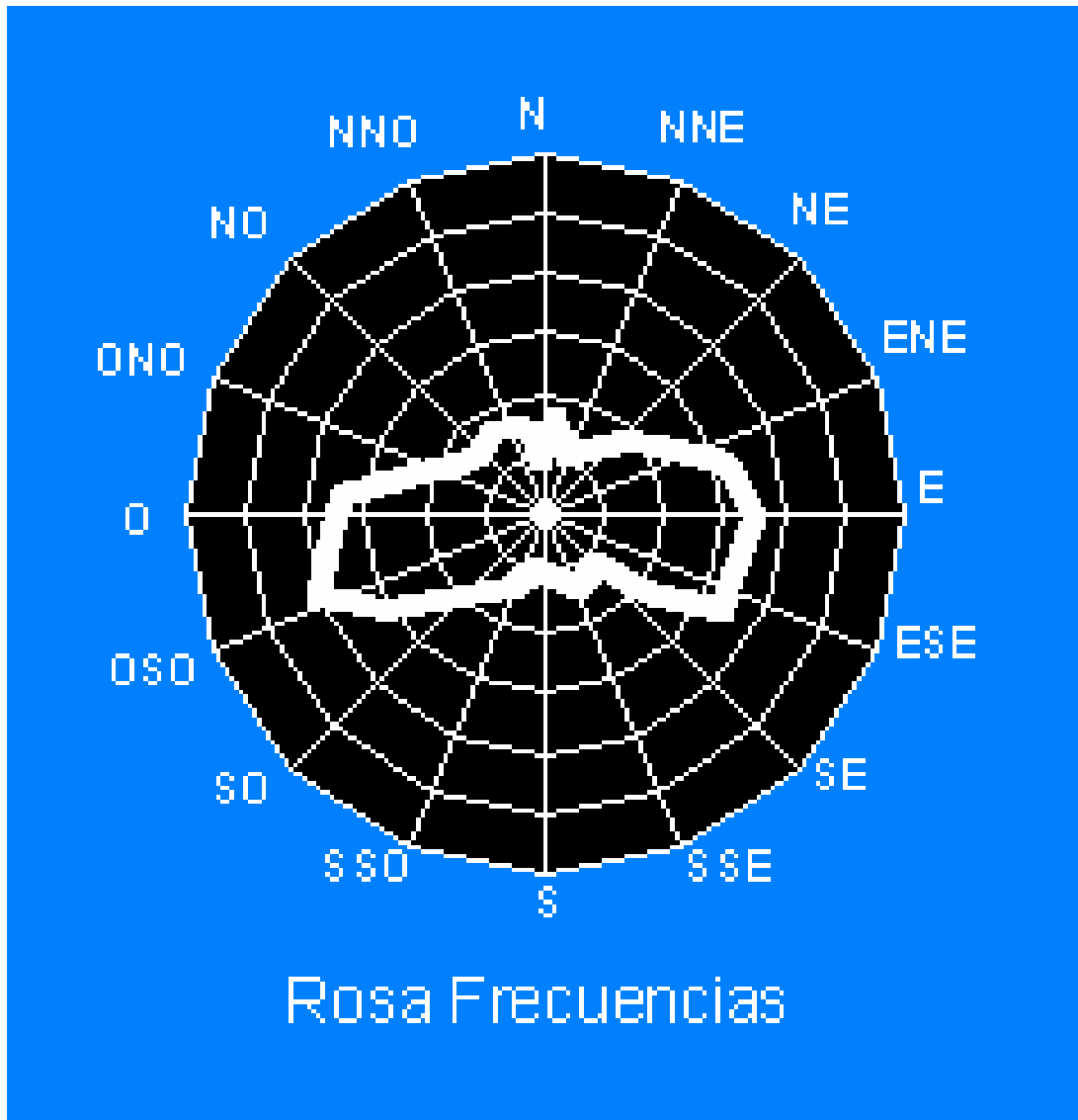


Figura 4.

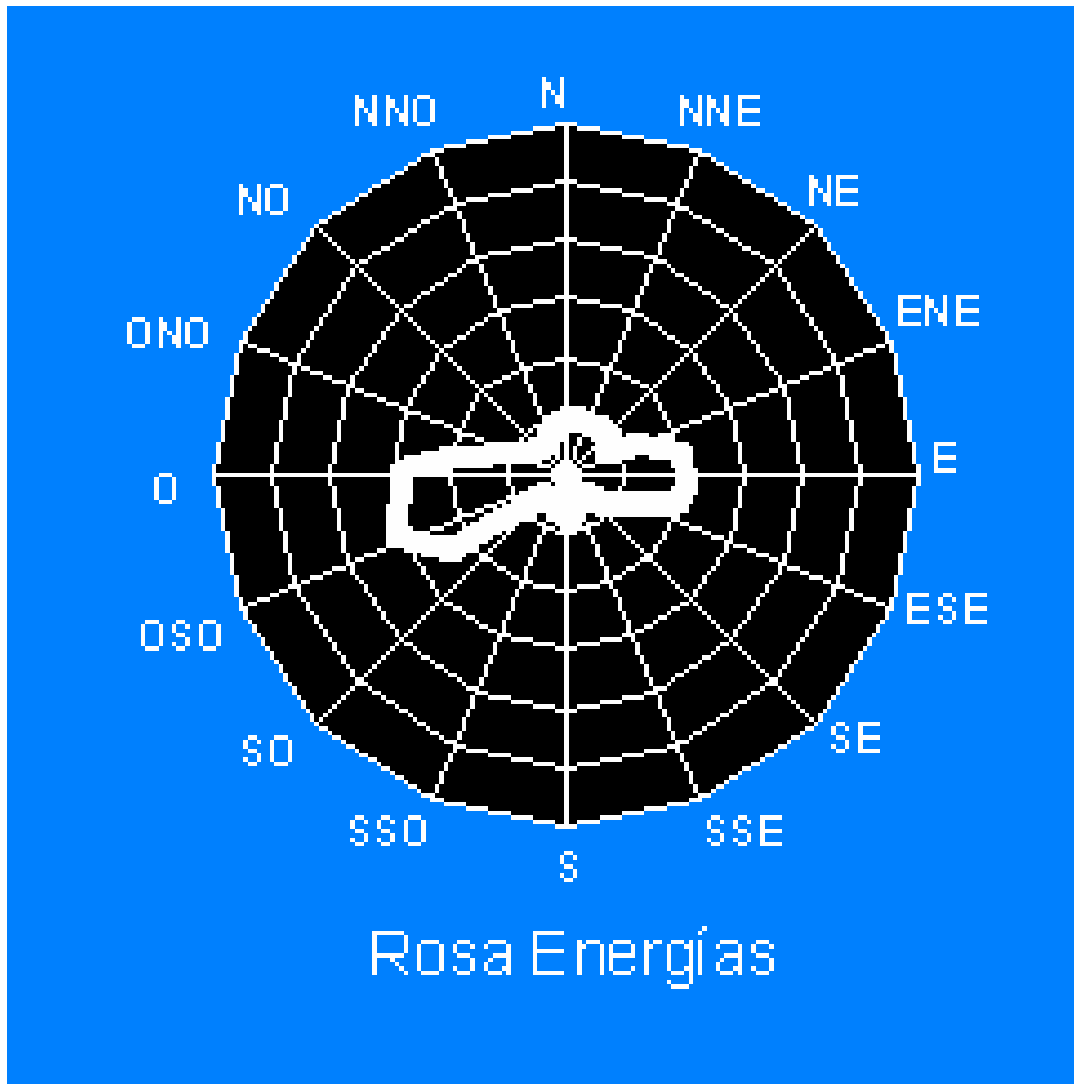


Figura 5.



I.6.2.4 La medida del viento

En España se dispone del Mapa Eólico Nacional, editado por el Instituto Nacional de Meteorología.

Captando los datos de las diversas estaciones meteorológicas repartidas por todo el territorio nacional, principalmente coincidiendo con emplazamientos aeroportuarios, dada la importancia de conocer la influencia de los vientos en cada momento.

A partir de los datos recogidos en estas estaciones se basarán los promotores para situar su instalación eólica. Para ello aplican los factores de corrección pertinentes con respecto a la estación de referencia, siendo esta la más cercana.

No obstante, según el inversor y la importancia de la instalación, es habitual realizar la toma de datos de vientos en el mismo lugar del emplazamiento.

Para esta toma de datos se siguen las siguientes pautas:

- Obtenemos lecturas mediante una torre de mediciones que toma diversos datos a alturas separadas 10 metros. Y una vez elegido el Aerogenerador se corregirá mediante el factor de corrección de altura, en función de la diferencia de esta entre la altura final del buje y la altura de medida.

- Se toman los datos del viento, velocidad y dirección, en intervalos de 10 minutos durante el tiempo estipulado, normalmente 1, 2 e incluso 3 años. El tiempo total dependerá de cada instalación. Principalmente de la inversión, ya que estas mediciones son muy costosas.

Obtendremos así 52560 datos de viento por año de medida. Una información difícil de manejar sino es con herramientas estadísticas. De aquí que empleemos la “Distribución de Weibull”.

Este proyecto se ha realizado a partir de los datos reales obtenidos mediante una torre de medición situada en el lugar de ubicación de los aerogeneradores. Y además las medidas se realizaron durante tres años. De esta forma se han obtenido 157.680 valores.

En la siguiente tabla se representa las frecuencias de aparición de las distintas velocidades del viento a lo largo de un año. Siendo los datos promedios a partir de los 157.680 obtenidos en tres años, y sin necesidad de aplicarles un factor de corrección histórico, al haberse realizado la toma de medidas en un tiempo lo suficientemente largo:



FRECUENCIA DE VELOCIDADES	
v(m/s)	f
0,5	2
1,5	4
2,5	6
3,5	8
4,5	10
5,5	12
6,5	12
7,5	10
8,5	8
9,5	6
10,5	5
11,5	4
12,5	3
13,5	2
14,5	2
15,5	2
16,5	1
18,5	3
22,5	2
27,5	0
30,5	0

Tabla 1.

I.6.2.5 Curva de distribución de velocidades

Mediante esta curva representaremos la información del viento, pero en este caso se representa el valor de la velocidad independiente de su orientación, que en definitiva es el valor que nos va a facilitar la potencia del viento:

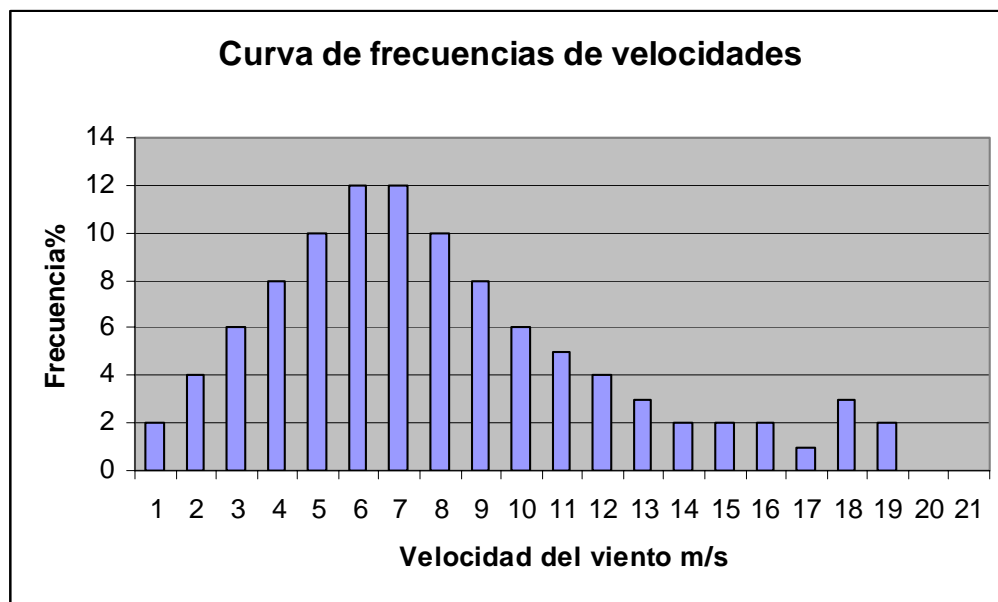


Figura 6.

Aclaraciones a la figura 6: Existen ciertas distorsiones en esta gráfica que hacen que la representación no sea del todo exacta, debemos considerar que para ciertos valores de viento el ancho de la barra debe ser mayor. Esto se debe a que dada la forma en que obtenemos la información del estudio del viento, (Tabla 1), obtenemos valores de frecuencia que se corresponden a intervalos de varias velocidades, y no a velocidades concretas. Este es el caso, por ejemplo del intervalo 17-20, con una frecuencia del 3%, y que viene representada en la barra de ancho unidad correspondiente a 18 m/s.

Para ser más exactos, este ancho de barra debería de ser de 3 unidades. Esto mismo ocurre con el intervalo 20-25, 25-30 y >30.

Esta distorsión la debemos al desconocimiento en su corrección mediante Excel. Aunque queda aclarada esta consideración.

I.6.2.6. Ley de distribución de Weibull.

La representación anterior permite la introducción de modelos matemáticos siendo el más empleado la distribución de Weibull junto con la distribución de Rayleigh, siendo esta un caso particular de la anterior.

Se trata de una curva matemática que presenta formas similares a las curvas de distribución de velocidades y que podemos emplearlas con un error mínimo.

Además es una herramienta indispensable en el estudio del recurso eólico por su capacidad de reducir miles de datos a dos valores: la velocidad media, y la desviación típica, y a partir de estos calculamos los parámetros de Weibull:



- Factor de forma (K)

$$K = \left(\frac{\sigma}{V_m} \right)^{-1,086}$$

- Factor de escala (A)

$$A = \frac{V_m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right)}$$

Γ = Función tabulada Gamma

Y a partir de estos obtenemos la distribución de Weibull.

$$P(V) = \frac{K}{A} \left(\frac{V}{A} \right)^{K-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{A} \right)^K \right]$$

A partir de nuestros datos obtenemos la desviación típica, la velocidad media y calculamos los dos parámetros Weibull:

Velocidad Media		7,69
Desviación Típica		4,57
K	Factor de Forma	1,76
1+1/K		1,57
gamma (1+1/k)		0,89
A	Factor de Escala	8,64

Tabla 2

Quedando la distribución finalmente:



Velocidad	100 x P(V)	Delta(V)	100xProbabilidad(V en Delta(V))
1	3,9	[0,5-1,5]	3,8
2	6,2	[1,5-2,5]	6,2
3	7,8	[2,5-3,5]	7,8
4	8,8	[3,5-4,5]	8,7
5	9,2	[4,5-5,5]	9,2
6	9,1	[5,5-6,5]	9,1
7	8,7	[6,5-7,5]	8,7
8	8,0	[7,5-8,5]	8,0
9	7,2	[8,5-9,5]	7,2
10	6,2	[9,5-10,5]	6,2
11	5,3	[10,5-11,5]	5,3
12	4,4	[11,5-12,5]	4,4
13	3,6	[12,5-13,5]	3,6
14	2,8	[13,5-14,5]	2,8
15	2,2	[14,5-15,5]	2,2
16	1,7	[15,5-16,5]	1,7
17	1,3	[16,5-17,5]	1,3
18	0,9	[17,5-18,5]	0,9
19	0,7	[18,5-19,5]	0,7
20	0,5	[19,5-20,5]	0,5
21	0,3	[20,5-21,5]	0,3
22	0,2	[21,5-22,5]	0,2
23	0,2	[22,5-23,5]	0,2
24	0,1	[23,5-24,5]	0,1
25	0,1	[24,5-25,5]	0,1
26	0,0	[25,5-26,5]	0,0
	100,0		100,0

Tabla 3.



Cuya representación grafica sería:

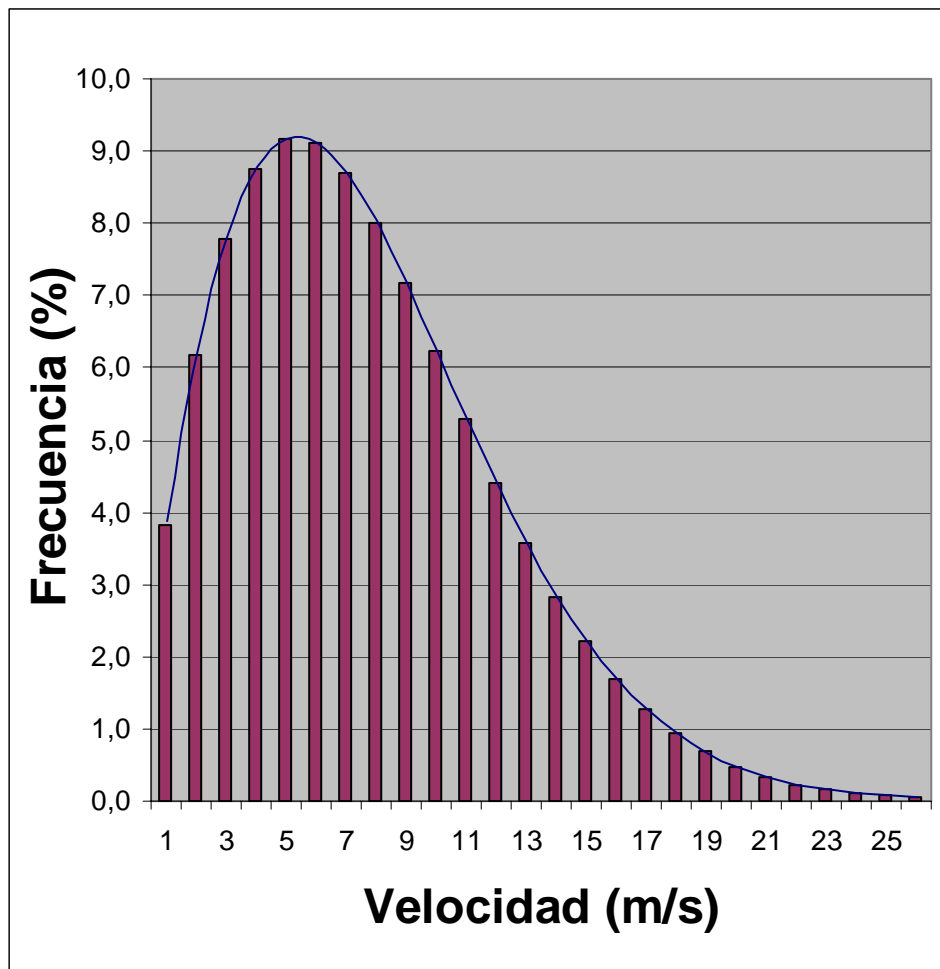


Figura 7.

Observamos como esta gráfica presenta una forma similar y aproximada a la Figura 6. , lo que demuestra la validez de esta herramienta, como aproximación de estos miles de datos.



Consiguiendo los datos de frecuencias definitivos tras esta aproximación:

CALCULO PARAMETROS WEIBULL				
v(m/s)	F	horas	vxf	sigma2
0,5	1,50	131	0,75	77,21876464
1,5	3,60	315	5,39	137,5955788
2,5	5,80	508	14,50	155,9547576
3,5	8,00	701	28,01	140,2103731
4,5	10,10	885	45,46	102,5388355
5,5	11,70	1025	64,36	55,90599541
6,5	11,60	1016	75,39	16,30967366
7,5	10,30	902	77,23	0,355633792
8,5	8,11	710	68,89	5,372404438
9,5	6,10	534	57,91	20,06254627
10,5	4,79	420	50,34	37,97006058
11,5	3,80	333	43,72	55,30149353
12,5	3,20	280	39,95	74,07882898
13,5	2,20	193	29,74	74,47773342
14,5	2,00	175	28,97	92,75941282
15,5	1,50	131	23,18	91,31271598
16,5	1,20	105	19,78	93,12077561
18,5	2,50	219	46,25	292,3648845
22,5	1,50	131	33,65	328,1866969
27,5	0,30	26	8,16	116,5253363
30,5	0,23	20	6,96	118,832347
sumas	100,00	8760	768,58	2086,454849

Tabla 4.

Una vez estudiado el recurso eólico estamos en disposición de estudiar las distintas posibilidades en la elección de los aerogeneradores, (ver documento cálculos justificativos).

I.6.3. Características del Aerogenerador seleccionado.

Este modelo de aerogenerador, GAMESA G-52, se está empleando en varias instalaciones eólicas y en diversas condiciones orográficas y climatológicas, a lo largo de la península ibérica.

Su bajo diámetro y máximo rendimiento en vientos medios y bajos incluso en terrenos complejos, la hacen una de las opciones más atractivas en el mercado.



I.6.3.1. Características físicas, técnicas y geométricas.

I.6.3.1.1. Rotor.

Aerogenerador de eje horizontal tripala. Con un diámetro de 52 m., y un área de barrido de 2.124 m^2

Velocidad de giro variable entre 14,6 – 30,8 r.p.m., y sentido de giro el de las agujas del reloj.

El peso de las palas y el buje es de aproximadamente 12.000 Kg, y el del nacelle de unos 23.000 Kg.

I.6.3.1.2. Palas.

Cada pala tiene una longitud de 25,3 m. y un peso de 1.900 Kg. Están fabricadas de fibra de vidrio pre-impregnada de resina epoxi. Su forma sigue un perfil NACA 63.XXX+FFA-W3.

I.6.3.1.3. Torre Tubular.

Altura de 74 m. dividida entre secciones, y con un peso total de 90.000 kg.

Su tipo de unión o anclaje es de paso variable. Admite la rotación controlada de la pala sobre su eje a través de unos rodamientos y de un grupo hidráulico.

La estructura de la torre se fija al suelo mediante una zapata de hormigón armado. Las dimensiones serán de $12 \times 12 \text{ m}^2$ de superficie por 1,5 m. de altura, fuertemente armadas tanto en su parte inferior como superior.

(Ver ilustraciones)





I.6.3.1.4. Buje.

Al ser de paso variable, en el buje se incluyen los mecanismos de giro de las palas, así como el equipo de control de paso.



I.6.3.1.5. Multiplicadora G52-850 kW.

Esta es del tipo: 1 etapa planetaria – 2 etapas helicoidales. Que incluye bomba de aceite con radiador de aceite para su refrigeración

I.6.3.1.6. Sistema de control. Paso variable.

El control de paso es un sistema de control activo, que normalmente necesita una señal de potencia del generador. Siempre que se supere la potencia nominal del generador debido al aumento de la velocidad del viento, las palas del rotor serán giradas a lo largo de sus ejes longitudinales o, en otras palabras, cambian su ángulo de paso para reducir el ángulo de ataque del flujo de aire entrante. Esta reducción del ángulo de ataque disminuye las fuerzas de sustentación y en consecuencia la extracción de potencia del aerogenerador. Para todas las velocidades del viento mayores que la velocidad de viento nominal (1,5 m/s), que es el mínimo que se necesita para generar la potencia nominal, el ángulo de paso es elegido de manera tal, que la turbina produce sólo la potencia nominal.

Bajo todas las condiciones de viento, el flujo alrededor de los perfiles de la pala del rotor está fijo a la superficie produciendo así sustentación aerodinámica bajo muy pequeñas fuerzas de arrastre.

Como ventajas de este sistema encontramos:

- Permiten control de potencia activo bajo todas las condiciones, también a potencia parcial.
- Alcanzan la potencia nominal aun bajo condiciones de baja densidad de aire (altas elevaciones del emplazamiento, altas temperaturas)



- Se obtiene una mayor producción de energía bajo las mismas condiciones (sin reducción de eficiencia en la adaptación a stall de la pala)
- Se consigue un arranque simple del aerogenerador por cambio de paso de la pala.
- No necesita fuertes frenos para paradas de emergencia del rotor, basta con situar las palas en la bandera.
- Las cargas de pala del rotor con vientos arriba de la potencia nominal son inferiores.
- Posición de abanderamiento de las palas de rotor para cargas bajas con vientos extremos.
- Menores masas de rotor conducen a menores masas del aerogenerador.

Realiza el diagnóstico de los distintos componentes del aerogenerador y su preparación para el arranque. Además efectúa las operaciones necesarias en función de la velocidad y dirección del viento, así como accionar los distintos frenos en caso de viento excesivo, para proteger la estructura.

Una de las maniobras más repetidas será el control de la orientación del mismo a la dirección del viento. El sistema de control lee e integra la orientación que le suministra la veleta, y en caso de necesitar modificarla, se acciona el motoreductor de orientación situado en el bastidor.

El G-52 lo componen un generador doblemente alimentado, controlado en velocidad y potencia mediante convertidores IGBT-s y control electrónico PWM (modulación por ancho de pulso).

Como ventajas presenta: Control de potencia activa y reactiva, bajo contenido en armónicos y mínimas pérdidas, aumento de la eficiencia y de la producción, y mejora de la vida útil de la máquina.

I.6.3.1.7. Generador 850 kW.

Presenta un generador síncrono doblemente alimentado. Con una potencia nominal de 50 kW., y una tensión de 690 V. Aunque dentro del precio del aerogenerador se incluye un trafo que eleva esta tensión a 20 kV. Tensión de salida lo suficientemente elevada para asumir las pérdidas en las líneas de Baja y Media tensión.

I.6.3.1.8. Frenos.

Freno primario aerodinámico por puesta en bandera de las palas. Adicionalmente freno mecánico de disco hidráulicamente activado de emergencia situado en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora.



I.6.3.1.9. Bastidor y Corona de Orientación.

El bastidor o nacelle es la estructura en la cual se montan los distintos componentes del aerogenerador, a la altura del eje rotor. En él se montan el buje (con la unión de las palas), el multiplicador de velocidad, el generador y el sistema de control. La estructura puede ser de chapa metálica o de fibra de vidrio, y suele estar dividida en dos partes: el nacelle propiamente dicho (inferior) y la capota, que permite el cierre de los equipos (superior).

El bastidor va montado y atornillado sobre un rodamiento que le da una forma solidaria a la torre, permitiendo el giro para la orientación del rotor, el cual se suele realizar mediante motorreductores. El rodamiento ha de diseñarse para soportar los mayores esfuerzos de la estructura (axiales, radiales y de vuelco), motivados por la acción del viento sobre el aerogenerador.

I.6.3.1.10. Sistema de Mantenimiento Predictivo SMP.8C

Sistema de mantenimiento predictivo para la detección prematura de deterioros y fallos en los principales componentes del aerogenerador.

Este sistema tiene como ventajas: capacidad de procesamiento de señal y detección de alarmas dentro del equipo, integración con el sistema de control, disminución de grandes correctivos, aumento de la disponibilidad y de la vida útil de la máquina, condiciones preferenciales en las negociaciones con las aseguradoras.

I.6.3.1.11 Adaptación a red.

Regulación dinámica de potencia activa y reactiva para contribuir a la estabilidad de la red y superar los huecos de tensión a través de un dispositivo que permite cumplir con las normativas de los operadores de red.

El aerogenerador cuenta con el sistema de crowbar activo que le permite permanecer conectado durante huecos de tensión en el sistema de suministro.

I.6.3.1.12. Protección contra rayos.

El aerogenerador G-52 utiliza el sistema “protección total contra rayos” siguiendo la normativa IEC 1024-1. Este sistema conduce el rayo desde ambas caras de la punta de la pala hasta la raíz y desde ahí a través de la nacelle y de la estructura de la torre hasta el sistema de puesta a tierra de las cimentaciones. De esta forma se protege la pala y se evita que los elementos eléctricos sensibles resulten dañados.



I.6.4. El Mini Parque Eólico.

I.6.4.1. Definición.

Es una central de producción de energía eléctrica y está formado por los propios aerogeneradores.

Es bastante corriente considerar que el parque eólico esta formado por los aerogeneradores y la subestación del parque, dejando aparte las líneas eléctricas de interconexión con la red.

No existe una definición oficial por lo que la normativa se habla de instalaciones eólicas, por tanto la Subestación ó Centro de Seccionamiento, según el caso, puede no considerarse como parte del mini parque eólico.

Estas instalaciones pueden optar entre una de las dos opciones siguientes, según las pretensiones del promotor:

- Ceder la electricidad a la empresa distribuidora de energía eléctrica. En este caso, el precio de venta de la electricidad vendrá expresado en forma de tarifa regulada, única para todos los periodos de programación (cada hora), expresada en céntimos de euro por kilovatio-hora.

- Vender la electricidad libremente en el mercado a través del sistema de ofertas

gestionado por el operador de mercado, del sistema de contratación bilateral o a plazo o de una combinación de todos ellos. Es en este caso, el precio de venta de la electricidad será el precio que resulte en el mercado organizado o el precio libremente negociado por el titular o el representante de la instalación, complementado por un incentivo y, en su caso, por una prima, ambos expresados en céntimos de euro por kilovatio-hora.

Se deduce rápidamente que los parques eólicos deben tener una potencia igual o inferior a 50 MW para poder acogerse a la prima. En nuestro caso se cumple. El artículo 3, punto 2 del RD 436/2004 establece que “a los efectos del límite de potencia establecido para acogerse al régimen especial o para la determinación del régimen económico establecido en capítulo IV del presente Real Decreto, se considerará que pertenecen a una única instalación cuya potencia será la suma de las potencias de las instalaciones unitarias para cada uno de los grupos definidos en el artículo 2 de este real decreto:

Para los Grupos b: para las instalaciones de los grupos b.2 (eólica) y b.3., las que viertan su energía a un mismo transformador con tensión de salida igual a la red de la red de distribución o transporte a la que han de conectarse. Si varias instalaciones de producción utilizan las mismas instalaciones de evacuación, la



referencia anterior se entenderá respecto al transformador anterior al que sea común para varias instalaciones de producción”.

Este requisito no nos implica, debido a que los 2,55 MW de nuestra instalación quedan muy lejos del límite de 50 MW.

I.6.4.2. Elementos del mini parque eólico.

I.6.4.2.1. Aerogeneradores

El Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, establece en el artículo 2, punto 1 que podrán acogerse al régimen especial establecido en este Real Decreto las instalaciones de producción de energía eléctrica contempladas en el artículo 27.1 de la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, que indica que la potencia eléctrica instalada no supere los 50 MW.

I.6.4.2.1.1. Distribución de los aerogeneradores.

Los aerogeneradores para poder ajustarse al terreno se distribuyen en una o varias alineaciones, con separaciones entre ellos que pueden oscilar entre 100 y 200 metros, en función de las características del viento, principalmente dirección principal. Como criterio de separación entre aerogeneradores dentro de una misma alineación se establece una distancia comprendida entre 2 y 3 diámetros del rotor ($L = 2:3D$). Para la separación entre alineaciones se aplican 6-8 diámetros de rotor.

La separación entre los aerogeneradores se determina en función de la “sombra eólica” que se puedan hacer entre ellos, lo cual depende de la dirección principal del viento. Si la ubicación permite la disposición de los aerogeneradores en una traza perpendicular a la dirección dominante del viento, la distancia entre ellos podrá ser mayor que si la traza presenta un ángulo menor con respecto al viento.

En nuestro caso, los aerogeneradores deben situarse sobre una meseta orientada en su dirección longitudinal Norte Noroeste-Sur Sureste. Por suerte, al estudiar la rosa de energía, nos indica una alineación idónea de los tres aerogeneradores Norte Noroeste-Sur Sureste, coincidiendo con la orientación de la meseta.

Así aprovechamos al máximo las posibilidades del viento, de igual forma que la óptima alineación se adapta a la orografía del emplazamiento.



En cuanto a la limitación en la distancia entre aerogeneradores, vamos a considerar una separación de 150m. Que con un diámetro de rotor de 58m, obtenemos una relación de separación en función del diámetro de $L = 2,6D$, que entra dentro de los márgenes exigidos en el criterio anterior. **(Ver plano Tejo – 1.4)**



I.6.4.2.2. Conducciones eléctricas del mini parque.

La energía se genera a una tensión de 690V en bornes del generador situado en el bastidor. Esta energía hay que trasportarla hasta el centro seccionamiento, donde se canalizarán en una única línea todas las que conectan los aerogeneradores del parque.



Transportar la energía a una tensión inferior a 1000 V (690 V) de tensión, generaría pérdidas inasumibles, por lo que se eleva la tensión hasta valores en torno a los 20 kV.

El centro de transformación puede situarse dentro o fuera de la torre, pero muy cerca de la misma, ya que al generarse en baja tensión no deben alcanzarse grandes longitudes para disminuir las pérdidas. En los aerogeneradores de este mini parque, el centro de transformación se encuentra situado dentro de la torre. Lo



que aminora las pérdidas en la red de baja tensión, y con la ausencia además del impacto visual que provocarían la existencia de tantos centros de transformación como máquinas. Por el contrario disminuye el espacio dentro de la torre, lo que condiciona el tamaño de otros equipos auxiliares. Además hará más difícil su sustitución y accesibilidad para su mantenimiento.

El centro de transformación se encuentra dentro de la torre, pero las celdas de media tensión se sitúan agrupadas en un prefabricado denominado Centro de Seccionamiento.

Se ha demostrado con medidas y cálculos que una optimización técnico-económica del tamaño de los transformadores conduce a que su potencia nominal sea un 20% menor que la potencia nominal del generador de la turbina eólica. Según el estudio citado no se pierde tiempo de vida, ya que los pequeños tiempos de sobrecarga quedan compensados por los grandes periodos de cargas bajas. Aunque se seleccionan trafos de igual potencia para evitar fallos severos, ya que estos estudios suponen un ahorro económico mínimo en comparación con la inversión total de la instalación.

Las conducciones hasta el Centro de Seccionamiento del parque se pueden hacer mediante líneas aéreas o subterráneas. El Plan Eólico de la Comunidad Valenciana obliga en el estudio de impacto ambiental a realizar estas conducciones en canalización subterránea con tensión máxima de 20 kV.

Estas líneas transportan la energía desde los aerogeneradores hasta la subestación ó Centro de Seccionamiento del parque y tienen unas longitudes máximas del orden de 2 a 3 Km.

Para hacer todos los cálculos eléctricos se tienen en cuenta las expresiones siguientes:

$$\text{Potencia de la línea: } P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$\text{Potencia máxima de la línea: } P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{adm}$$

$$\text{Pérdida de energía: } P_{\text{érd}} = 3 \cdot R \cdot I^2$$

$$\text{Caída de tensión: } \Delta V = Z \cdot L \cdot \frac{P}{U}$$

$$\text{Impedancia: } Z = R + X \cdot \tan \varphi$$

Para la resistencia también se puede emplear la expresión siguiente:

$$R = \frac{L}{C \cdot S}$$



L = longitud del conductor S = sección C = conductividad.

El cobre presenta un valor de $C=56$ y el aluminio presenta un valor de 35 . Normalmente los conductores son de aleación cobre-aluminio, facilitando el fabricante los valores de R y X , así como la intensidad máxima admisible por calentamiento.

Considerando:

- I_{adm} es la intensidad máxima admisible del cable conductor (la que puede soportar el conductor sin sobrecalentarse), que también facilita el fabricante.
- I es la intensidad que circula por el cable.
- Z es la impedancia del conductor.

Dimensionamos el circuito de media tensión de nuestro mini parque:

I.6.4.2.3. Interconexión de parque

Con las líneas de 20 kV se transporta la energía generada hasta el Centro de Seccionamiento del mini parque. Aquí se canaliza la tensión en una sola línea para transportarla hasta el punto de conexión a la red, que puede distar del parque varios Km.

En el caso de nuestro mini parque la conexión a red eléctrica se encuentra a muy pocos kilómetros, por lo tanto en la subestación no se producirá una elevación de la tensión, de ahí la elección de un Centro de Seccionamiento que canalice las distintas líneas del mini parque en una sola, que verterá la energía a la red.

Este centro de conexión protege a la red eléctrica y a las líneas que provienen del mini parque.

Es importante destacar que el RD 1955/2000, establece unos mínimos de potencia para justificar la autorización para abrir (colocar subestación entrada salida) de una línea de distribución (< 220 kV) que está establecido en 100 MW o de transporte (≤ 220 kV) que está establecido en 250 MW.

Por lo tanto el Centro de Seccionamiento que incluye las protecciones de la línea de tensión inferior, edificaciones y demás elementos, corren a cargo de la empresa promotora del mini parque eólico.



I.6.4.3. Accesos.

Para acceder al mini parque, a las distintas alineaciones y al centro de seccionamiento, se proyectan caminos con una anchura de firme en la fase de ejecución en torno a los 5m, siendo en ocasiones necesario en algunos puntos concretos como curvas, realizar una explanación mayor para el paso de las palas.

Siempre, y en nuestro caso ocurre, se utilizará el trazado de caminos ya existentes.

Una vez construido el parque se reducirán estos caminos hasta anchos mínimos y se recuperará la vegetación anterior.

El Plan Eólico de la Comunidad Valenciana, establece en el artículo 26 de las Normas que “Los caminos de acceso a las instalaciones eólicas tendrán una anchura, durante la ejecución de las obras, acotada a la estrictamente necesaria para la realización de las mismas. Esta anchura se justificará en el estudio de impacto ambiental... y en dicha justificación se tendrán en cuenta las condiciones de seguridad necesarias para el desarrollo de las citadas obras. Finalizadas éstas, la anchura del camino se reducirá hasta los 3,50 metros, y para ello se llevarán a cabo las necesarias labores de remoción de tierras, de vegetación y plantaciones...”

En cuanto a las pendientes y las curvaturas (por los trailers):

$$m \leq 12\% \qquad \text{radios} \geq 25\text{m}$$



I.6.4.4. Conexión a la red eléctrica.

La conexión a red eléctrica para permitir el vertido energético de nuestra instalación, es uno de los factores influyentes a la hora de llevar a cabo un proyecto de estas características.

Desde sus inicios en España, las instalaciones de producción de energía mediante aerogeneradores (parques y mini parques eólicos), han sido un problema para el sistema de distribución eléctrica nacional. Esto se debe a la baja calidad en el vertido de energía a la red, debido a las interferencias que generan estas máquinas. Produciendo en esta formas de onda, huecos de tensión, armónicos, titilación, etc.

Estas interferencias causadas por aerogeneradores, principalmente son distorsiones de tensión.

Las causas como producción media de energía, intensidad de turbulencia y capa limite están determinadas por condiciones meteorológicas y del terreno.

Las restantes causas se deben todas al funcionamiento de los aerogeneradores, no solo por las características de los componentes eléctricos como transformadores, generadores, etc., sino también por las características aerodinámicas del rotor y el tren de accionamiento.

También el diseño de control de los aerogeneradores tiene una gran influencia en la calidad de energía. Las mejoras en el control de los aerogeneradores dan mejor calidad de energía y por tanto reducen los costes de funcionamiento, y dan mejor eficiencia en la producción de energía.

En definitiva, todos los problemas derivados a la red son debidos a los producidos en instalaciones que dependen del funcionamiento de una turbina. Aunque los efectos de esta nueva tecnología todavía no se han podido aminorar como el caso de instalaciones de mayor experiencia, como centrales termoneucleares, hidráulicas... y mas considerando que en estas instalaciones se deben combinar varias turbinas en un régimen de trabajo impredecible, como lo es



la naturaleza del viento, que lo pone de manifiesto mediante turbulencias, intermitencias, variaciones en su dirección, etc.

Aún con toda esta problemática, debido a la proliferación y avance en esta tecnología energética, se están produciendo cada vez más mejoras, capaces de aminorar de forma considerable estas distorsiones en la red.

Gracias a esta optimización, Red Eléctrica Española (REE), es menos reacia a la aprobación de proyectos que requieran un vertido de su producción a la red. Aun así el proceso de conexión requiere de un análisis y diseño exhaustivo, para facilitar el complicado proceso de conexión al mallado de distribución nacional.

Una vez aceptada la conexión, REE obliga a una conexión a través de una “Conexión mediante una Subestación de Doble barra” en la mayoría de sus conexiones. Mediante este sistema, podrán manipular la conexión en caso de incumplimiento en el desarrollo óptimo del vertido.

Esto es el caso general, con instalaciones de alta potencia nominal. En nuestro caso, esta potencia es baja, y menos influyente en las posibles alteraciones de la red. Por esto, REE permitirá un tipo de “Conexión a red en T”, (**Ver plano Tejo – 1.5**), cuya operación correrá a cargo del operador del Mini Parque.

El proceso administrativo derivado de la conexión a red, junto con los otros factores determinantes en la aprobación de un proyecto eólico (suelo, venta de energía, aprobación régimen especial, medio ambiente, conexión a red), se desarrolla en la siguiente pregunta.

Este proceso puede llegar a ser incluso más complicado y costoso temporalmente que incluso el proyecto técnico en sí. Como ya hemos mencionado, y veremos en este resumen, son muchos las trabas y requisitos que debe cumplir todo proyecto antes de su aprobación. Llegando incluso a rechazarse proyectos en su última fase de realización, con el consecuente gasto temporal y económico, aún empleándose Anteproyectos para ahorrar estos gastos.

I.6.4.5 Centro de Seccionamiento. Resumen Características.

I.6.4.5.1 Actividad.

La actividad relacionada con este tipo de instalaciones es la de generación de energía eléctrica. Por lo tanto, nuestro Centro de Seccionamiento(CS.) será la cabeza ó punta del sistema de distribución de dicha energía generada, que será vertida a la red, propiedad de IBERDROLA.



I.6.4.5.2 Potencia proyectada en kVA.

La instalación cuenta con tres aerogeneradores con una potencia nominal de 850 kW. Por lo tanto, el CS. Deberá estar capacitado para soportar una carga máxima de 2.550 kVA.

I.6.4.5.3 Tipo de centro.

El Centro estará ubicado en una caseta independiente destinada únicamente a esta finalidad.

La caseta será de construcción prefabricada de hormigón tipo EHC-3S con una puerta peatonal de Merlin Gerin, de dimensiones 3.760 x 2.500 y altura útil 2.535 mm., cuyas características se describen en esta memoria.

El acceso al CS. estará restringido al personal de la Cía Eléctrica distribuidora y al personal de mantenimiento del Mini Parque, especialmente autorizado.

Se dispondrá de una puerta peatonal cuyo cierre permitirá el acceso a ambos tipos de personal, teniendo en cuenta que el primero lo hará con la llave normalizada por IBERDROLA.

I.6.4.5.4 Objeto del Centro de Seccionamiento.

El objeto del presente texto es especificar las condiciones técnicas, de ejecución y económicas de un centro de seccionamiento de características normalizadas, cuyo fin es la evacuación de la energía eléctrica generada en el Mini Parque Eólico proyectado.

I.6.4.5.5 Reglamentación y disposiciones oficiales del Centro de Seccionamiento.

Para la elaboración de esta parte del proyecto, Centro de Seccionamiento, se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento sobre las Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía Eléctrica.
- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación.



- Normas particulares de IBERDROLA.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

I.6.4.5.6 Características generales del Centro de Seccionamiento.

El centro de Seccionamiento objeto del presente proyecto será de tipo interior, empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envolvente metálica según norma UNE-EN 60298.

La acometida al mismo será subterránea, alimentando al centro mediante una red de Media Tensión, y el vertido de energía se efectuará a una tensión de 20 kV, y una frecuencia de 50 Hz, siendo la Compañía Eléctrica distribuidora IBERDROLA.

- CARACTERÍSTICAS CELDAS SM6

Las celdas a emplear serán de la serie SM6 de Merlin Gerin, celdas modulares de aislamiento en aire equipadas de aparellaje fijo que utiliza el hexafluoruro de azufre como elemento de corte y extinción de arco.

Responderán en su concepción y fabricación a la definición de apartamento bajo envolvente metálica compartimentada de acuerdo con la norma UNE-EN 60298.

Los compartimentos diferenciados serán los siguientes:

- a) Compartimento de aparellaje.
- b) Compartimento del juego de barras.
- c) Compartimento de conexión de cables.
- d) Compartimento de mando.
- e) Compartimento de control.

I.6.4.5.7. Programa de necesidades y Potencia Instalada en kVA.

El Centro de Seccionamiento servirá de canalización de las dos líneas que llegan de la instalación en una línea final que conectará en T con Red Eléctrica y que verterá los 2.550 kW de potencia con una tensión de 20 kV.

De esta forma el CS deberá ser capaz de absorber una potencia máxima de 2.550 kVA



I.6.4.5.8. Obra Civil.

Se realizarán las excavaciones necesarias para conectar los tres aerogeneradores entre sí, así como los dos de los extremos (1 y 3), con el Centro de Seccionamiento, (Ver Plano de disposición y detalle de la zanja).

Para el propio CS. será necesario la excavación de un foso para su alojamiento (**Ver Plano TEJO-1.5.1**).

I.6.4.5.9 Local.

El Centro estará ubicado en una caseta independiente destinada únicamente a esta finalidad.

La caseta será de construcción prefabricada de hormigón tipo EHC-3S con una puerta peatonal de Merlin Gerin, de dimensiones 3.760 x 2.500 y altura útil 2.535 mm., cuyas características se describen en esta memoria.

El acceso al C.S. estará restringido al personal de la Cía Eléctrica suministradora y al personal de mantenimiento especialmente autorizado. Se dispondrá de una puerta peatonal cuyo sistema de cierre permitirá el acceso a ambos tipos de personal, teniendo en cuenta que el primero lo hará con la llave normalizada por la Cía Eléctrica.

I.6.4.5.9.1 Características del local.

Se tratará de una construcción prefabricada de hormigón COMPACTO modelo EHC de Merlin Gerin.

Las características más destacadas del prefabricado de la serie EHC serán:

- COMPACIDAD.

Esta serie de prefabricados se montarán enteramente en fábrica. Realizar el montaje en la propia fábrica supondrá obtener:

- calidad en origen,
- reducción del tiempo de instalación,
- posibilidad de posteriores traslados.
- FACILIDAD DE INSTALACIÓN.



La innecesaria cimentación y el montaje en fábrica permitirán asegurar una cómoda y fácil instalación.

- MATERIAL.

El material empleado en la fabricación de las piezas (bases, paredes y techos) es hormigón armado. Con la justa dosificación y el vibrado adecuado se conseguirán unas características óptimas de resistencia característica (superior a 250 Kg/cm² a los 28 días de su fabricación) y una perfecta impermeabilización.

- EQUIPOTENCIALIDAD.

La propia armadura de mallazo electrosoldado garantizará la perfecta equipotencialidad de todo el prefabricado. Como se indica en la RU 1303A, las puertas y rejillas de ventilación no estarán conectadas al sistema de equipotencial. Entre la armadura equipotencial, embebida en el hormigón, y las puertas y rejillas existirá una resistencia eléctrica superior a 10.000 ohmios (RU 1303A).

Ningún elemento metálico unido al sistema equipotencial será accesible desde el exterior.

- IMPERMEABILIDAD.

Los techos estarán diseñados de tal forma que se impidan las filtraciones y la acumulación de agua sobre éstos, desaguando directamente al exterior desde su perímetro.

- GRADOS DE PROTECCIÓN.

Serán conformes a la UNE 20324/89 de tal forma que la parte exterior del edificio prefabricado será de IP23, excepto las rejillas de ventilación donde el grado de protección será de IP33.

Los componentes principales que formarán el edificio prefabricado son los que se indican a continuación:

- ENVOLVENTE.

La envolvente (base, paredes y techos) de hormigón armado se fabricará de tal manera que se cargará sobre camión como un solo bloque en la fábrica.

La envolvente estará diseñada de tal forma que se garantizará una total impermeabilidad y equipotencialidad del conjunto, así como una elevada resistencia mecánica.



En la base de la envolvente irán dispuestos, tanto en el lateral como en la solera, los orificios para la entrada de cables de Alta Tensión. Estos orificios son partes debilitadas del hormigón que se deberán romper (desde el interior del prefabricado) para realizar la acometida de cables.

- SUELOS.

Estarán constituidos por elementos planos prefabricados de hormigón armado apoyados en un extremo sobre unos soportes metálicos en forma de U, los cuales constituirán los huecos que permitirán la conexión de cables en las celdas. Los huecos que no queden cubiertos por las celdas o cuadros eléctricos se tapanán con unas placas fabricadas para tal efecto. En la parte frontal se dispondrán unas placas de peso reducido que permitirán el acceso de personas a la parte inferior del prefabricado a fin de facilitar las operaciones de conexión de los cables.

- PUERTAS Y REJILLAS DE VENTILACIÓN.

Estarán construidas en chapa de acero galvanizado recubierta con pintura epoxy. Esta doble protección, galvanizado más pintura, las hará muy resistentes a la corrosión causada por los agentes atmosféricos. Las puertas estarán abisagradas para que se puedan abatir 180° hacia el exterior, y se podrán mantener en la posición de 90° con un retenedor metálico.

I.6.4.5.10. Justificación de la necesidad o no de un estudio de impacto ambiental.

Dadas las características de la instalación donde se ubicará nuestro CS, el estudio medioambiental de dicho Centro se incluirá en la totalidad del proyecto del Mini Parque, debido a las razones medioambientales ya explicadas anteriormente.

I.6.4.5.11 Características de la Red de Alimentación

La red de alimentación al centro de transformación será de tipo subterráneo a una tensión de 20 kV y 50 Hz de frecuencia.

La potencia de cortocircuito máxima de la red de alimentación será de 350 MVA, según datos proporcionados por la Compañía suministradora.



I.6.4.5.11.1 Características de la Aparamenta de Alta Tensión

- CARACTERÍSTICAS GENERALES CELDAS SM6

- Tensión asignada: 24 kV.
- Tensión soportada entre fases, y entre fases y tierra:
a frecuencia industrial (50 Hz), 1 minuto: 50 kV ef.
a impulso tipo rayo: 125 kV cresta.
- Intensidad asignada en funciones de línea: 400 A.
- Intensidad asignada en interrup. automat. 400 A.
- Intensidad asignada en ruptofusibles. 200 A.
- Intensidad nominal admisible durante un segundo: 16 kA ef.
- Valor de cresta de la intensidad nominal admisible: 40 kA cresta, es decir, 2.5 veces la intensidad nominal admisible de corta duración.
- Grado de protección de la envolvente: IP307 según UNE 20324-94.
- Puesta a tierra.

El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a todo lo largo de las celdas según UNE-EN 60298 , y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración.

- Embarrado.

El embarrado estará sobredimensionado para soportar sin deformaciones permanentes los esfuerzos dinámicos que en un cortocircuito se puedan presentar y que se detallan en el apartado de cálculos.

- CELDAS:

- CELDA DE SECCIONAMIENTO.

Celda Merlin Gerin de seccionamiento gama SM6, modelo SM, de dimensiones: 375 mm. de anchura, 940 mm. de profundidad, 1.600 mm. de altura, y conteniendo:

- Juegos de barras tripolares de 400 A, para conexión superior por barras.



- Seccionador en SF6 de 400 A, tensión de 24 kV y 16 kA.
- Mando CS1 dependiente.
- Indicadores de presencia de tensión.
- Bornes para conexión inferior de cable seco unipolar.
- Embarrado de puesta a tierra.
- CELDA DE PROTECCIÓN CON INTERRUPTOR AUTOMÁTICO.

Celda Merlin Gerin de protección con interruptor automático gama SM6, modelo DM1C, de dimensiones: 750 mm. de anchura, 1.220 mm. de profundidad, 1.600 mm. de altura, y conteniendo:

- Juegos de barras tripolares de 400 A para conexión superior con celdas adyacentes, de 16 kA.
- Seccionador en SF6.
- Mando CS1 manual.
- Interruptor automático de corte en SF6 (hexafluoruro de azufre) tipo Fluarc SF1, tensión de 24 kV, intensidad de 400 A, poder de corte de 16 kA.
- Mando RI de actuación manual.
- Embarrado de puesta a tierra.
- Seccionador de puesta a tierra.
- 3 Transformadores toroidales para la medida de corriente mediante Sepam.
- Relé Sepam S20 destinado a la protección general o a transformador.

Dispondrá de las siguientes protecciones y medidas:

- Máxima intensidad de fase (50/51) con un umbral bajo a tiempo dependiente o independiente y de un umbral alto a tiempo independiente,
- Máxima intensidad de defecto a tierra (50N/51N) con un umbral bajo a tiempo dependiente o independiente y de un umbral alto a tiempo independiente.



- Medida de las distintas corrientes de fase,
- Medida de las corrientes de apertura (I_1 , I_2 , I_3 , I_0).

El correcto funcionamiento del relé estará garantizado por medio de un relé interno de autovigilancia del propio sistema. Tres pilotos de señalización en el frontal del relé indicarán el estado del Sepam (aparato en tensión, aparato no disponible por inicialización o fallo interno, y piloto 'trip' de orden de apertura).

El Sepam es un relé indirecto alimentado por batería+cargador.

Dispondrá en su frontal de una pantalla digital alfanumérica para la lectura de las medidas, reglajes y mensajes.

- Enclavamiento por cerradura tipo E24 impidiendo el cierre del seccionador de puesta a tierra y el acceso al compartimento inferior de la celda en tanto que el disyuntor general B.T. no esté abierto y enclavado. Dicho enclavamiento impedirá además el acceso al transformador si el seccionador de puesta a tierra de la celda DM1C no se ha cerrado previamente.

- CELDA DE MEDIDA.

Celda Merlin Gerin de medida de tensión e intensidad con entrada inferior por cable y salida superior derecha por barras, gama SM6, modelo GBCD, de dimensiones: 750 mm de anchura, 1.038 mm. de profundidad, 1.600 mm. de altura, y conteniendo:

- Juegos de barras tripolar de 400 A, tensión de 24 kV y 16 kA.
- Entrada inferior por cable seco unipolar y salida superior derecha por barras.
- 3 Transformadores de intensidad de relación en función de la potencia a proteger y aislamiento 24 kV.
- 3 Transformadores de tensión unipolares, de relación 22.000:V3/110:V3, 25VA, CL0.5, Ft= 1,9 y aislamiento 24 kV.



- CELDA DE LINEA

Celda Merlin Gerin de interruptor-seccionador gama SM6, modelo IM, de dimensiones: 375 mm. de anchura, 940 mm. de profundidad, 1.600 mm. de altura, y conteniendo:

- Juego de barras tripolar de 400 A.
- Interruptor-seccionador de corte en SF6 de 400 A, tensión de 24 kV y 16 kA.
- Seccionador de puesta a tierra en SF6.
- Indicadores de presencia de tensión.
- Mando CIT manual.
- Embarrado de puesta a tierra.
- Bornes para conexión de cable.

Estas celdas estarán preparadas para una conexión de cable seco monofásico de sección máxima de 240 mm².

I.6.4.5.11.2 Características material vario de Alta Tensión.

- EMBARRADO GENERAL CELDAS SM6.

El embarrado general de las celdas SM6 se construye con tres barras aisladas de cobre dispuestas en paralelo.

- PIEZAS DE CONEXIÓN CELDAS SM6.

La conexión del embarrado se efectúa sobre los bornes superiores de la envolvente del interruptor-seccionador con la ayuda de repartidores de campo con tornillos imperdibles integrados de cabeza allen de M8. El par de apriete será de 2.8 m.da.N.



I.6.4.5.11.3 Características de la aparamenta de Baja Tensión.

- Un interruptor automático magnetotérmico y diferencial de 25 A sensibilidad 30 mA que protege el circuito de alumbrado:

Se opta por la marca HAGER, que dispone de una amplia variedad de interruptores, desde 0,5 a 1600 A de corriente nominal. Para nuestras necesidades se escoge el modelo H125A.

- Un cargador inversor senoidal de corriente necesario para la carga de las baterías:

Dado el auge actual de las energías renovables, han surgido empresas dedicadas exclusivamente al comercio de estos elementos imprescindibles en instalaciones Solares, cuya función es extrapolable a instalaciones de nuestro tipo.

La marca PHOENIX, la consideramos idónea para abastecernos de un cargador inversor, capaz de cargar las baterías mediante la energía eléctrica excedente de la generada en el Mini Parque.

Como podemos ver en el esquema de la documentación técnica, (cambiando las placas solares por los aerogeneradores en dicho esquema), podremos cargar las baterías mediante la energía excedente de la producida en la instalación, y a través además del propio grupo electrógeno, lo que puede ser muy interesante para abastecer de energía a los propios sistemas auxiliares del Centro de Seccionamiento en situaciones de escasa producción, y garantizar así su nueva puesta en marcha.

El modelo adecuado podría ser, dentro de la gama el Multiplus C24/800/16.

El cargador, junto con el inversor se situarán en un armario dentro del Centro de Seccionamiento, adosado al de las baterías.

- Baterías para una posible necesidad en el alumbrado de emergencia:

La empresa “Soluciones Energéticas Fotovoltaicas” , especialista en diseño de instalaciones de Energías Renovables, recomienda entre otras, las baterías MK PARV-Gel, idóneas para situaciones en las que no se requiera un mantenimiento constante, Como el caso de nuestro emplazamiento aislado.

Las baterías de la serie MK reguladas por válvulas y electrolito gelatinoso están diseñadas para dar energía confiable y sin mantenimiento en aplicaciones de energía renovable donde se necesitan frecuentes ciclos de descarga profunda y se desea un mínimo de mantenimiento. Su construcción sellada elimina "riegos" periódicos, derrames y vapores corrosivos de ácido. El electrolito no se estratifica



y por tanto no son necesarias las recargas de igualación. Pérdidas por desuso de 2% al mes significa poca deterioración en el transporte y almacenamiento. Son ideales para sistemas aislados pequeños y medianos y son de calificación "no derramables". Estas baterías ofrecen contenedores de polipropileno con ventilas autosellables, placa de aleación plomo-calcio en gel de ácido sulfúrico. Se tratan de baterías de 12V, capacidad a 100 Hr de 36 Ah.

Las baterías se situarán en un armario exclusivo para estas dentro del edificio del Centro de Seccionamiento. Se instalarán 8 unidades, que en conjunto proporcionarán 96 V. Cantidad más que suficiente para su empleo. Además con esta cantidad se cubren las posibles averías de estas, a pesar de su alto rendimiento.

- Grupo Electrónico para la utilización de aquellas herramientas necesarias en el mantenimiento de la instalación, así como torres de iluminación empleadas en procesos de mantenimiento

La empresa líder en este sector FG WILSON, nos ofrece una amplia gama de productos ideales para nuestras exigencias. Necesitamos un grupo electrónico de las mínimas dimensiones posibles y portátil, capaz de suministrar energía eléctrica en la ejecución de tareas de mantenimiento del Mini-parque. Entre las que hay que tener en cuenta el empleo de máquinas herramientas, torres de iluminación, grupos de soldadura, etc.

La ventaja de este elemento es su autonomía con respecto al sistema, aunque depende de un suministro eventual de combustible. Esto no debe ser en ningún caso un problema, ya que su uso se reduce a casos en los que haya que efectuar trabajos de mantenimiento, por lo que el suministro de combustible ya lo tendrían en cuenta los operarios. Sería interesante el acopio de un depósito adicional para el repostaje en situaciones de baja producción del parque, como periodos de parada de los aerogeneradores.

El modelo elegido para nuestro proyecto es el P20P2 de potencia 20 kVA. Esta potencia será suficiente para estas necesidades..

Su ubicación estará en un contenedor situado en las inmediaciones del Centro de Seccionamiento. En este también se almacenará los suministros propios del mantenimiento del parque, así como las herramientas, torres de iluminación, equipos de protección individual para los operarios y depósito de gasolina para el grupo electrónico.



I.6.4.5.12. Medida de la Energía Eléctrica.

El equipo de medida estará compuesto de los transformadores de medida ubicados en la celda de medida de y el equipo de contadores de energía activa y reactiva ubicado en el armario de contadores, así como de sus correspondientes elementos de conexión, instalación y precintado.

Los contadores de energía activa y reactiva estarán homologados por el organismo competente. Sus características eléctricas están especificadas en la memoria.

I.6.4.5.13. Puesta a Tierra.

I.6.4.5.13.1 Tierra de Protección.

Se conectarán a tierra los elementos metálicos de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo a causa de averías o circunstancias externas.

Las celdas dispondrán de una pletina de tierra que las interconectará, constituyendo el colector de tierras de protección.

I.6.4.5.13.2. Tierras interiores.

Las tierras interiores del centro de seccionamiento tendrán la misión de poner en continuidad eléctrica todos los elementos que deban estar conectados a tierra con sus correspondientes tierras exteriores.

La tierra interior de protección se realizará con cable de 50 mm² de cobre desnudo formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujeción y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

La tierra interior de servicio se realizará con cable de 50 mm² de cobre aislado formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujeción y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

Las cajas de seccionamiento de la tierra de servicio y protección estarán separadas por una distancia mínima de 1m.



I.6.4.5.14. Instalaciones Secundarias.

I.6.4.5.14.1. Alumbrado.

En el interior del centro de seccionamiento se instalará un mínimo de dos puntos de luz capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos del mismo. El nivel medio será como mínimo de 150 lux .

Los focos luminosos estarán colocados sobre soportes rígidos y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. Además, se deberá poder efectuar la sustitución de lámparas sin peligro de contacto con otros elementos en tensión.

Se dispondrá también un punto de luz de emergencia de carácter autónomo que señalará los accesos al centro de transformación.

I.6.4.5.14.2. Protección contra Incendios.

De acuerdo con la instrucción MIERAT 14, se dispondrá como mínimo de un extintor de eficacia equivalente 89 B.

I.6.4.5.14.3. Ventilación

Estudio de ventilación del centro. Se preverá unas rejillas de las dimensiones adecuadas para la entrada de aire.

I.6.4.5.15. Medidas de Seguridad.

- SEGURIDAD EN CELDAS SM6

Las celdas tipo SM6 dispondrán de una serie de enclavamientos funcionales que responden a los definidos por la Norma UNE-EN 60298, y que serán los siguientes:

- Sólo será posible cerrar el interruptor con el seccionador de tierra abierto y con el panel de acceso cerrado.
- El cierre del seccionador de puesta a tierra sólo será posible con el interruptor abierto.
- La apertura del panel de acceso al compartimento de cables sólo será posible con el seccionador de puesta a tierra cerrado.



- Con el panel delantero retirado, será posible abrir el seccionador de puesta a tierra para realizar el ensayo de cables, pero no será posible cerrar el interruptor.

Además de los enclavamientos funcionales ya definidos, algunas de las distintas funciones se enclavarán entre ellas mediante cerraduras según se indica en anteriores apartados