

ÍNDICE

1. Antecedentes.....	3
2. Objetivo	3
3. Ubicación.....	4
4. Normativa	4
5. Elección potencia unitaria. Análisis de inversión de los aerogeneradores	6
5.2. Análisis de la inversión.....	7
5.3. Resultados obtenidos	8
6. Descripción del parque eólico.....	8
6.1. General.....	8
6.2. Aerogeneradores	10
6.2.1. Descripción del aerogenerador	10
6.2.2. Sistema Ingecon-W.....	12
6.2.3. Aprobación de Tipo	13
6.2.4. Condiciones climáticas	13
6.2.5. Conexión con la red eléctrica.....	13
6.2.6. Restricciones generales.....	14
6.3. Elementos del aerogenerador.....	14
6.3.1. Palas	15
6.3.2. Buje.....	17
6.3.3. Cono de la nariz	17
6.3.4. Rodamientos de pala.....	17
6.3.5. Sistema de cambio de paso	17
6.3.6. Eje principal.....	17
6.3.7. Bastidor.....	18
6.3.8. Capota	18
6.3.9. Medida de viento.....	19
6.3.10. Sistema de control.....	19
6.3.11. Disposición del sistema de control	19
6.3.12. Pantalla de control.....	19
6.3.13. Control del aerogenerador.....	20
6.4. Comunicación de transformador, armario de control y celda.....	21
6.4.1. Alimentación del rotor del generador	21
6.4.2. Características de los cables del generador.....	21
6.4.3. Fibra óptica	21
6.5. Cimentaciones.....	21
7. Instalación eléctrica	23
7.1. Características básicas de la instalación	23
7.2. Sistema Eléctrico en Baja Tensión (690 V).....	23
7.2.1. Instalación Principal.....	24
7.2.2. Instalaciones Secundarias	25
7.3. Sistema eléctrico de Media Tensión (20 kV).....	28
7.4. Características de la Instalación.....	30
7.4.1. Centros de transformación	30
7.4.1.1. Disposición de elementos	31
7.4.1.2. Transformadores de MT/BT	31

7.4.1.3.	Posiciones de Protección, Línea y Remonte	33
7.4.2.	Red de Puesta a Tierra	39
8.	Subestación colectora del parque.....	40
8.1.	Descripción general de las instalaciones de la Subestación.....	40
8.1.1.	Parque de Intemperie	41
8.1.2.	Edificio de Control de la Subestación.....	41
8.2.	Disposición General de las Instalaciones.....	41
8.2.1.	Disposición física.....	41
8.2.2.	Estructura metálica.....	42
8.2.3.	Obra civil parque de intemperie.....	43
8.3.	Parámetros de diseño	44
8.4.	Instalaciones complementarias	44
8.5.	Equipos de medida	46
8.6.	Comunicaciones y telecontrol de la Subestación.....	46
8.6.1.	Sistema de control y monitorización del parque.....	47
8.6.2.	Medida de energía.....	48
8.6.3.	Sistema de Evacuación	48
9.	Sistema de control del parque.....	48
9.1.	General.....	48
9.2.	Sistema automático de control del aerogenerador	49
9.3.	Sistema automático de control del parque	49
9.3.1.	Sistema de comunicaciones	49
9.3.2.	Sistema de comunicaciones	49
9.3.3.	Conexionado	50

1. Antecedentes

La existencia de antecedentes para el presente proyecto es nula. El proyecto abarcará el estudio, cálculo, implantación e instalación de un parque eólico en la comarca de La Janda, Cádiz. El único punto que se queda fuera del alcance de este proyecto es el referente a la obra civil necesaria para la construcción del mismo. Por lo tanto, puntos tales como la construcción del edificio de control del parque, de los edificios pertenecientes a la Subestación colectora, de los caminos de acceso e interiores al parque y de la cimentación de los aerogeneradores se considerarán fuera del alcance de este proyecto.

Aunque se trata de un proyecto con un destino académico, se ceñirá lo más posible en cada momento a la realidad, utilizando datos, emplazamientos, equipamientos y tecnologías plenamente posibles desde el punto de vista real y técnico.

Apuntar que el documento perteneciente a este proyecto llamado “Evaluación del Recurso Eólico de la zona” se basará en una recopilación de datos anemométricos de la zona obtenidos a lo largo de los últimos seis años por una estación anemométrica situada en la zona. Esta evaluación es imprescindible para el diseño del parque ya que ofrece los datos eólicos básicos en cuanto a dirección, frecuencia y velocidad del tiempo, y lo que es más importante, el dato de máxima potencia extraíble del emplazamiento.

2. Objetivo

El objetivo de este proyecto es el diseño e implantación de un parque eólico, y de las instalaciones que conlleva, en la comarca de La Janda, al suroeste de la provincia de Cádiz. Quedará fuera de este proyecto la obra civil que comprenda dicho parque eólico, tal como construcción de caminos y viales, edificios, cimentaciones y accesos.

El parque eólico proyectado es de 14 MW, compuesto de 7 aerogeneradores de 2 MW. Poseerá un edificio de control y una Subestación propios. Ésta última se diseñará para ser ampliada en un futuro, con el objeto de ser compartida con algún posible parque eólico que se instale en la zona.

3. Ubicación

El proyecto de este parque eólico lo sitúa en un paraje al suroeste de la población de Vejer de la Frontera, llamado “Los Cumplimientos”. Existe una carretera que circunda el parque, la CA-P-2141, y donde se encuentra el acceso al mismo.

Las razones por las que se ha localizado el parque eólico en este lugar se encuentran en el apartado “Ubicación del parque eólico” de la Memoria Justificativa de este mismo proyecto.

Este paraje se encuentra sometido a una campaña de medidas específicas desde 1997. Debido a ella, se puede estimar la climatología eólica en la zona en el futuro.

4. Normativa

Para este proyecto serán de aplicación cuantas prescripciones figuren en las Normas, Instrucciones o Reglamentos Oficiales que guarden relación con las obras objeto del proyecto, con sus instalaciones complementarias, o con los trabajos necesarios para realizarlas.

Además se contemplarán todas aquellas normas que por la pertenencia de España a la CEE, sean de obligado cumplimiento en el momento de la realización del proyecto.

A tal fin, se incluye a continuación una relación no exhaustiva de la normativa técnica aplicable.

1. Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
2. Real Decreto 436/2.004, 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.

Instalación eléctrica

3. Reglamento de verificación eléctrica y regularidad en el suministro de energía. Decreto del Ministerio de Industrial del 12-3-54. Modificación artículos 2 y 92 B.O.E. 27/12/68.

4. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión REBT. Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, del Ministerio de Industria B.O.E. 18 de Septiembre de 2002.
5. Modificación del REBT. Adición de un párrafo al artículo 2º Real Decreto 2295/1985 de 9 de octubre. del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E. 12 diciembre 85.
6. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas y centros de transformación. Real Decreto 3275/1982, de 12 de Noviembre, del Mº de Industria y energía. B.O.E. 1-Diciembre-82. Corrección de errares. B.O.E. 18-Enero-83.
7. Instrucciones Técnicas Complementarias MIE- RAT del Reglamento antes citado. Orden de 6 de Julio de 1984, del Mº de Industria y Energía. B.O.E. 25-October-84.
8. Complemento de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 20. Orden de 18 de Octubre de 1984, del Mº de Industria y Energía. 1-Agosto-84.
9. Modificación de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIE-RAT 1,2, 7, 9, 15, 16, 17 y 18. Orden de 23 de Junio de 1988, del Mº de Industria y Energía. B.O.E. 4-October -88.
10. Actualización de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIE-RAT 13 y 14. Orden de 27 de Noviembre de 1987, del Mº de Industria y Energía. B.O.E. 5-Diciembre – 87. Corrección de errores. B.O.E. 3 - Marzo-88.
11. Reglamento de contadores de uso corriente clase 2. Real Decreto 875/1984, de 28 de marzo, de la Presidencia del Gobierno. B.O.E. 12- Mayor-84. Corrección de errores. B.O.E. 22- Octubre-84.
12. Las condiciones técnicas del suministro y desarrollo de los trabajos, se ajustarán a los dispuesto en la normativa dictada por los organismos oficiales y por la compañía eléctrica.
13. Normas UNE
14. REBT, Decreto 842/2002 de 2 de Agosto B.O.E. nº 224 de 18 de Septiembre de 2002 y hojas de interpretaciones anejas.

Seguridad laboral

15. Estatuto de los trabajadores.
16. Ley de Prevención de Riesgos Laborales. (Ley 31/1.995 de 8/11/1.995)
17. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud' en las Obras de Construcción (R.D. 1627/1.997 de 24/10, BOE 256 DE 25/10/1.997).
18. Disposiciones Mínimas en materia de Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo (R.D. 485/1.997 de 14/04, BOE NÚM. 97 DE 23/04/1.997).
19. Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de Trabajo. (R.D. 486/1.997 de 14/04, BOE NÚM. 97 de 23/04/1.997).
20. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de Trabajo. (R.D. 1215/1.997, de 18/07, BOE NÚM. 188 de 7/08/1.997).

Otras disposiciones

21. Ley de Protección Ambiental 7/94 de 18 de Mayo del Parlamento Andaluz.
22. Plan Especial Supramunicipal de Ordenación de Infraestructuras de los Recursos Eólicos en la Comarca de La Janda.

5. Elección potencia unitaria. Análisis de inversión de los aerogeneradores

5.1. Introducción al problema

Como se ha apuntado en el apartado “Antecedentes” de este mismo documento, el proyecto en cuestión se basa en el anexo “Evaluación del recurso eólico de la zona” que acompaña a esta memoria. Uno de los datos básicos que se dilucidan en dicho anexo es que la máxima potencia extraíble del emplazamiento elegido es de 14 MW, es decir, se pueden instalar aerogeneradores hasta sumar una

potencia de 14 MW, pero surge una duda: ¿Cuántos disponer? ¿De qué potencia?. Si las máquinas a instalar son de la misma potencia unitaria las dos preguntas anteriores son la misma.

En el mercado actual existen máquinas de hasta 2 MW y se están diseñando de hasta 5 MW. En España la máxima potencia unitaria que se trata actualmente es de 2 MW. El rango de potencias aplicable abarca desde los 850 kW hasta los 2 MW. El problema será elegir la potencia unitaria óptima para nuestro parque.

5.2. Análisis de la inversión

Planteado el problema, se pasa a describir la solución adoptada. Aún existiendo diversos motivos por los que se decide montar en los parques eólicos actuales la mayor potencia unitaria posible, tales como ambientales, sociales y económicos, en el presente proyecto se opta por realizar un análisis de inversión de los aerogeneradores según su potencia unitaria, es decir, se basará en motivos económicos, básicamente.

La realización de dicho análisis queda perfectamente descrita y justificada en el apartado correspondiente de la Memoria Justificativa del presente proyecto. Valga adelantar las trazas principales del estudio económico citado:

- Se estudian 4 tipos de aerogeneradores de diferentes marcas y potencias unitarias
- Se consideran sólo y exclusivamente costes producidos por los aerogeneradores tanto de inversión como en los que se incurran en el tiempo de vida útil estimada
- Se consideran los ingresos que produzcan dichas máquinas, que coincidirán con los totales del parque
- La vida útil considerada es de 20 años
- Los datos de costes, tipos de interés, amortizaciones, plazos, etc... se han obtenido del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Para la evaluación de la inversión se han obtenido los siguientes resultados financieros:

- Ganancia Total Neta (GTN)
- Pay-Back
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Valor Actual Neto (VAN)

5.3. Resultados obtenidos

El aerogenerador elegido es el Gamesa G-87 2MW que es el de mayor potencia unitaria de los cuatro estudiados en el análisis. Los resultados arrojados a lo largo de la vida útil para este modelo se recogen en la Tabla 1:

Tabla 1. Resultados económicos aerogenerador Gamesa G87 2 MW

Gamesa G87 2 MW	
GTN	45.239.396,3 €
Pay-back	5 años
TIR	25%
VAN	19.066.206,4 €

Según el estudio financiero, este modelo es el mejor desde el punto de vista económico con mucha diferencia.

Se podía prever este resultado si se tiene en cuenta que a mayor potencia unitaria, más producción para el mismo valor de velocidad de tiempo y menor número de máquinas.

A destacar que este estudio económico no se suele hacer por las empresas promotoras de parques eólicos en España, que se suelen guiar por motivos económicos y sociales. La creciente diversidad de modelos que aparecen en el mercado, con potencias unitarias cada vez mayores y características especiales como son la de aumentar su eficiencia para velocidades de viento bajas y disminuyéndola a altas velocidades, controles de velocidad cada vez más complejos y tiempos de construcción menores, obligarán en un futuro a la realización de análisis de inversión como el presente y con una mayor complejidad si cabe.

6. Descripción del parque eólico

6.1. General

El parque está ubicado en el T.M. de Vejer de la Frontera. Su extensión es aproximadamente de 50 Ha.

El parque eólico consta de 7 aerogeneradores dispuestos en una alineación tal y como viene reflejado en los planos, distribuidos a los vientos dominantes en la zona. El entorno meteorológico se medirá en todo momento mediante una torre anemométrica de medición.

Los aerogeneradores que se instalarán en el parque serán de la marca GAMESA, y corresponden al modelo G87. Las turbinas son instaladas sobre torres tubulares de 67 metros de altura. Para el acceso y servicio del parque se han previsto viales de 5 m de anchura desde los que pueda accederse a todos los aerogeneradores. Las máquinas se dispondrán sobre plataformas de montaje para la instalación y mantenimiento de las mismas. Dichas plataformas tendrán unas dimensiones de 25 x 35 m, suficientes para la colocación de las grúas principales y auxiliares de montaje y desmontaje.

En el interior de la torre de cada aerogenerador, en su base, se instala un transformador que eleva la tensión de generación (690V) a la de transporte interno del parque (20 kV).

Cada uno de estos aerogeneradores está conectado a su correspondiente transformador de 0,69/20 KV, de aislamiento seco, instalado en el interior de la torre del mismo. Los transformadores serán de una potencia de 2.100 kVA.

La energía producida por los aerogeneradores se recogerá mediante tres circuitos cuyo trazado y sección pueden verse en planos. Estos circuitos son trifásicos y van enterrados en zanjas dispuestas paralelas a los caminos por detrás de las plataformas de los aerogeneradores.. Los circuitos en los que se agrupan los aerogeneradores están diseñados de la siguiente manera:

Circuito nº 1: Aerogeneradores 1 y 2

Circuito nº 2: Aerogeneradores 3 y 4

Circuito nº 3: Aerogeneradores 5, 6 y 7

Los cables de media tensión y el cable de control discurren enterrados en zanjas, uniendo los aerogeneradores con la Subestación Eléctrica.

La Subestación Eléctrica Colectora ubicada en el mismo parque elevará la tensión hasta 66 kV con el fin de realizar un transporte de la energía con bajas pérdidas. Dicha Subestación se dimensiona con capacidad suficiente para recoger la energía que pudiese generarse en futuros parques eólicos en la zona. Se situará en el parque, en una zona óptima técnicamente.

La evacuación de la energía desde esta Subestación se realizará mediante la línea existente de 20 kV que pasa por la parcela, la cual deberá ser reformada para transformarla en una línea mixta 20-66 kV,

originándose este último circuito en la Subestación. El diseño de dicha reforma queda fuera de este proyecto.

Para transportar en el interior del parque la energía eléctrica generada por cada uno de los aerogeneradores a la Subestación colectora del parque, se conectan las alineaciones de éstos a 3 líneas subterráneas de media tensión (20 kV), las cuales tienen llegada cada una de ellas a una cabina de media tensión equipada con interruptor automático y protecciones, situada en el interior del edificio de la Subestación. Todo esto se recoge en detalle en los planos de recorrido de los circuitos I, II y III, denominados respectivamente PE-4, PE-5 y PE-6. También se recoge en el plano correspondiente al esquema unifilar del parque PE-2.

Las cabinas de llegada de las líneas colectoras están conectadas internamente por embarrado a una celda de protección y acometida al transformador de potencia de la Subestación, situado en el parque intermedia de la Subestación colectora, el cual eleva la tensión de transporte interno (20 kV) a la tensión de evacuación del parque (66 kV).

Al embarrado de alta tensión de la Subestación (66 kV) se conectan los equipos de medida de la energía eléctrica y tarificación.

Para comprobar el rendimiento global del parque cada aerogenerador comunicará los datos que recoja con sus sensores anemométricos al Edificio de Control del mismo, en el que quedarán almacenados en un ordenador central.

6.2. Aerogeneradores

6.2.1. Descripción del aerogenerador

El aerogenerador G87 2.0 MW de Gamesa Eólica es un aerogenerador de rotor tripala a barlovento, regulado por sistema de cambio de paso y con sistema de orientación activo. Tiene un rotor de 86.6 m de diámetro y utiliza el sistema de control Ingecon-W capaz de adaptar el aerogenerador para operar en grandes intervalos de velocidad de rotor.

El rotor consta de tres palas con cambio de paso en la envergadura completa de la pala, rodamiento de pala y buje en fundición nodular.

Las palas son de 42.3 m de longitud y están realizadas en fibra de vidrio utilizando tecnología prepreg. Cada pala consta de dos conchas pegadas a una viga soporte. Insertos especiales de acero conectan la pala al rodamiento de la misma. El rodamiento de la pala es de bolas de 4 puntos, atornillado al buje.

El sistema de cambio de paso del rotor se equipa con una estrategia de ajuste del ángulo de pitch. Este sistema proporciona una regulación constante del ángulo de operación de la pala con respecto a las condiciones de viento del momento optimizando la producción de potencia y minimizando la emisión de ruido.

A altas velocidades de viento, el sistema Ingecon-W y el sistema de cambio de paso mantienen la potencia en su valor nominal, independientemente de la temperatura del aire y su densidad. En vientos de velocidades bajas la estrategia de ajuste del ángulo de pitch y el control Ingecon-W optimizan la producción de energía seleccionando la combinación óptima de revoluciones y ángulo de paso.

El eje principal transmite la potencia al generador a través de la multiplicadora. La multiplicadora se compone de 3 etapas combinadas, una planetaria y dos de ejes helicoidales paralelos. Desde la multiplicadora la potencia se transmite al generador a través de una junta de composite.

El generador eléctrico es altamente eficiente, de 4 polos, doblemente alimentado con rotor devanado y anillos rozantes.

El freno primario del aerogenerador es aerodinámico por puesta en bandera de las palas. El sistema de cambio de paso independiente proporciona un sistema de seguridad con triple redundancia. El freno mecánico de aparcamiento es un freno de disco, hidráulicamente activado que se monta en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora.

Todas las funciones del aerogenerador son monitorizadas y controladas por varias unidades de control basadas en microprocesadores. El sistema de control va instalado en la góndola. Las variaciones del ángulo de paso de la pala son activadas por un sistema hidráulico que deja que la pala rote 95°. Este sistema también proporciona presión al sistema de frenado mecánico.

El sistema de orientación consiste en cuatro motores operados eléctricamente y controlados por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo a la información recibida de los dos anemómetros sónicos colocados en la parte superior de la góndola. El motor del sistema de orientación hace girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre. El bastidor con las motorreductoras puede girar respecto a la corona de orientación en la torre mediante un cojinete de fricción.

La cubierta de la góndola es de fibra de vidrio con poliéster, la cual protege todos los componentes de la góndola frente a lluvias, nieve, polvo, rayos solares, etc. El acceso a la góndola desde la torre se realiza a través de la abertura central. La góndola contiene en su interior una grúa de servicio de 800 kg, que puede ser ampliada para elevar los componentes principales (6400 kg).

La torre del aerogenerador es tubular y de acero y se suministra pintada con pintura de protección especial anticorrosivo. Gamesa Eólica ofrece un ascensor opcional.

6.2.2. Sistema Ingecon-W

El sistema Ingecon-W asegura que las rpm y el par motor del aerogenerador siempre suministren una potencia eléctrica estable a la red. Este sistema de control además suministra la energía con un factor de potencia unidad a la red eléctrica.

El sistema Ingecon-W consiste en un generador asíncrono de rotor devanado, anillos deslizantes, dos convertidores de 4 cuadrantes de tecnología IGBT, contactores y protección eléctrica.

Debido a la forma de funcionamiento que tiene el generador y como se controla, desde la red (es decir, desde el estátor) éste es visto como un generador síncrono.

El generador está protegido frente a cortocircuitos y sobrecargas. La temperatura es también continuamente monitorizada mediante PT100 en puntos del estátor y de rodamientos.

El generador del sistema de Ingecon-W es un generador asíncrono especial el cual es capaz de trabajar con velocidad variable y mantener la potencia constante simultáneamente. Esta mejora es ejecutada por control de las intensidades en el rotor.

Por medio del control de las corrientes en el rotor, el factor potencia se puede ver como un parámetro definible por el sistema de control. Como resultado las pérdidas en la red eléctrica decrecen.

Otro resultado de la generación síncrona que caracteriza al sistema Ingecon-W es la "suave" conexión a la red eléctrica. Por lo tanto, conexiones y desconexiones suaves a la red eléctrica se obtienen fácilmente.

La turbina G87 – 2.0 MW es capaz de operar a una velocidad variable entre 900 rpm y 1900 rpm. El Ingecon-W tiene flexibilidad intrínseca respecto a optimización de energía, mínimo ruido durante el funcionamiento y reducción de cargas en la multiplicadora y en otros componentes.

6.2.3. Aprobación de Tipo

El diseño del aerogenerador G87 – 2.0 MW se encuentra en proceso de certificación de acuerdo con la norma IEC 61400 – 1, Ed. 2 como Clases II_A. (67m y 78m).

6.2.4. Condiciones climáticas

El aerogenerador está diseñado para temperaturas ambientes entre -20° C y +30° C. Se deberán tomar precauciones especiales fuera de estas temperaturas .

El aerogenerador se puede colocar en parques con una distancia de al menos 5 diámetros de rotor (433 m) entre aerogeneradores en la dirección predominante del viento. Si los aerogeneradores se sitúan en fila, perpendicularmente a la dirección predominante del viento, la distancia entre los mismos deberá ser de al menos 3 diámetros de rotor (260 m).

6.2.5. Conexión con la red eléctrica

El aerogenerador se conecta a una red de media tensión de 20 kV. El voltaje máximo del equipamiento es de 36 kV (Um). La conexión del cable de media tensión se realiza en la parte inferior de la torre.

El transformador de la turbina poseerá una potencia de 2100 kVA y conexión Dyn11.

El aerogenerador puede generar energía reactiva. No obstante, en algunas ocasiones, el aerogenerador limita la potencia reactiva para preservar su funcionamiento.

El sistema de tierra se acomoda a las condiciones del terreno. La resistencia al neutro de la conexión a tierra tiene un valor definido por la empresa Sevillana-Endesa.

6.2.6. Restricciones generales

Durante los periodos de vientos bajos, es de esperar un aumento del consumo de potencia para el calentamiento y la deshumidificación de la góndola.

Respecto a la acumulación de fuertes hielos, es de esperar interrupciones en la operación. En algunas combinaciones de vientos altos, altas temperaturas, temperatura baja del viento, baja densidad y/o bajo voltaje, puede ocurrir una disminución de la potencia nominal para asegurar que las condiciones térmicas de algunos componentes principales como la multiplicadora, generador, transformador, cables de potencia, etc. se mantengan dentro de límites.

Generalmente se recomienda que el voltaje de red eléctrica se mantenga tan cerca del nominal como sea posible. En caso de caída de la red eléctrica y muy bajas temperaturas, se debe esperar un cierto tiempo para el calentamiento antes de que el aerogenerador comience a operar.

Si el terreno, dentro de un radio de 100 m a partir de un aerogenerador, tiene una pendiente de más de 10°, pudieran ser necesarias consideraciones particulares.

Si el aerogenerador se sitúa a más de 1000 m sobre el nivel del mar, podría ocurrir una subida de temperatura mayor de lo normal en el generador, el transformador y otros componentes eléctricos. En dicho caso, podría suceder una reducción periódica de la potencia nominal, incluso si la temperatura ambiente está dentro de los límites especificados. Además en los emplazamientos situados a más de 1000 m sobre el nivel del mar el riesgo de congelación se verá aumentado.

6.3. Elementos del aerogenerador

La Figura 1 muestra la disposición de los diferentes elementos en la góndola del aerogenerador G87 — 2.0 MW. La misma aparece reflejada en el plano PE-12. En la Figura 2 aparecen designadas cada uno de los componentes principales en un aerogenerador.

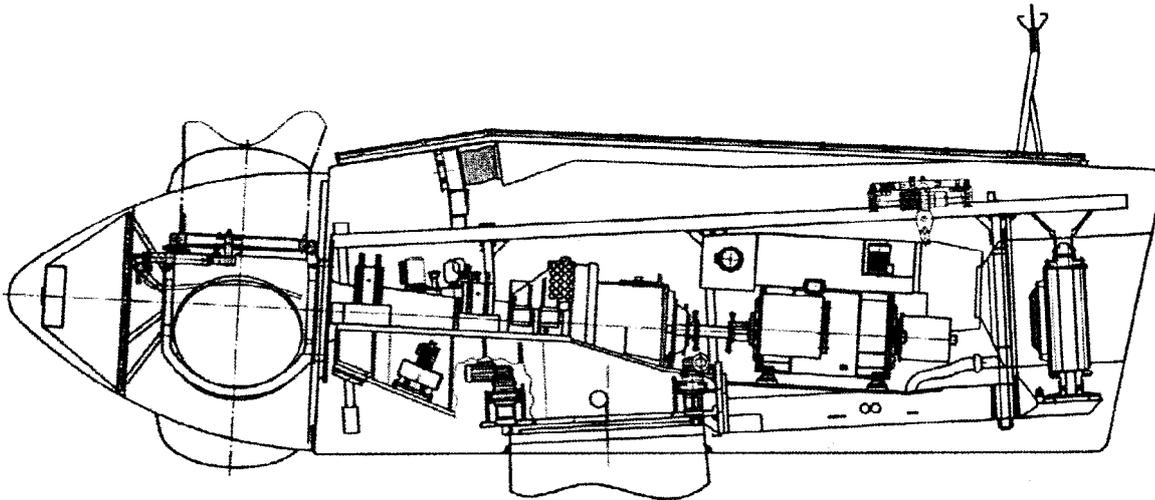


Figura 1. Sección de la cabina del aerogenerador Gamesa G-87 2MW

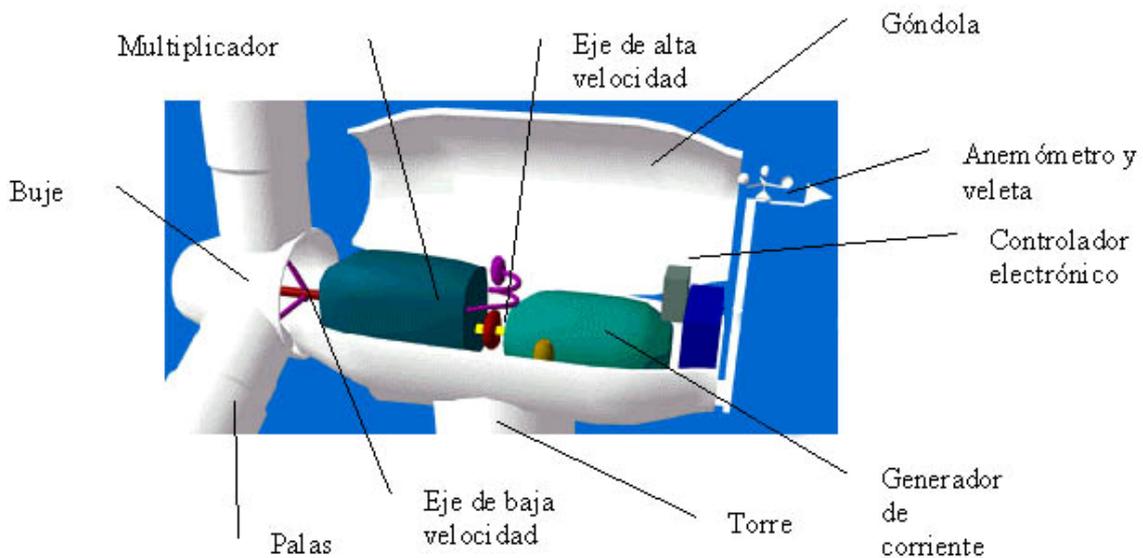


Figura 2. Descripción de las partes de la cabina del aerogenerador

El rotor del aerogenerador G87-2.0 MW es un rotor de tres palas unidas a un buje esférico mediante los rodamientos de pala. El rotor está dotado de un ángulo de conicidad de 2° , que aleja la punta de las palas de la torre.

6.3.1. Palas

Las palas del aerogenerador G87-2.0 MW son de 42.3 m de longitud y tienen un sistema pararrayos que recoge las descargas eléctricas y las transmite, vía un cable de acero que recorre la pala longitudinalmente, hasta el buje. Las mismas se pueden observar en la Figura 3:



Figura 3. Palas aerogenerador Gamesa G87 2 MW

La distancia de la raíz de las palas hasta el centro del buje es de 1 m, con lo que se alcanzan los 86.6 m de diámetro del rotor.

Las palas del aerogenerador G87 2MW están fabricadas en material compuesto, con resina epoxy y fibra de vidrio. En su fabricación se emplea la tecnología de los preimpregnados ("prepreg"), que permiten controlar de un modo muy preciso el volumen de fibra del material y, con él, las propiedades mecánicas de las palas.

La estructura de las palas del aerogenerador G87-2.0 MW está formada por un larguero interior alrededor del cual va pegado el revestimiento, formado por dos conchas fabricadas por separado. La misión del larguero es aportar resistencia estructural al conjunto, resistir las cargas propias de la pala y transmitir esfuerzos al buje. El revestimiento no posee misión estructural, sino que tiene la forma aerodinámica adecuada para convertir la energía cinética del viento en par motor para la generación de electricidad.

El larguero es en sí mismo una viga de sección tubular cerrada con una geometría adaptada a la forma aerodinámica de los perfiles de la pala.

El revestimiento es una estructura sándwich con núcleo de PVC y laminados de fibra de vidrio en resina epoxy.

La unión de la pala al rodamiento de pala es atornillada. Se practican 90 agujeros en la sección de raíz del larguero en los que se introducen insertos metálicos roscados, para facilitar la unión atornillada.

6.3.2. Buje

El buje es de forma esférica y está fabricado en fundición nodular. Está montado directamente en el eje principal. Posee una abertura en la parte frontal que permite el acceso al interior para realizar inspecciones y dar el par de apriete a los tornillos de las palas. Aparece reflejado en la Figura 2.

6.3.3. Cono de la nariz

El cono de la nariz protege el buje y los rodamientos de pala del ambiente. El cono se atornilla a la parte frontal del buje.

6.3.4. Rodamientos de pala

Los rodamientos de la pala son la interfaz entre la pala y el buje y permiten el movimiento de cambio de paso de aquella. Son rodamientos de bolas con juntas sellantes y agujeros pasantes en la pista exterior para la unión con el buje, y agujeros pasantes en la pista interior para la unión a la pala.

6.3.5. Sistema de cambio de paso

El sistema de cambio de paso actúa durante todo el tiempo de funcionamiento del aerogenerador: (i) Cuando la velocidad del viento es inferior a la nominal el ángulo de paso seleccionado es aquél que maximiza la potencia eléctrica obtenida para cada velocidad del viento. (ii) Cuando la velocidad del viento es superior a la nominal el ángulo de paso es aquél que proporciona la potencia nominal de la máquina.

El movimiento de cambio de paso de la pala es un giro alrededor de su eje longitudinal. Para conseguir este movimiento en el aerogenerador G87-2.0 MW se utiliza un sistema hidráulico, que a través de un cilindro independiente por pala, coloca las tres palas al mismo ángulo de paso en cada instante.

6.3.6. Eje principal

La transmisión del par motor que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora se realiza a través del eje principal. El eje se une al buje con una brida atornillada y está apoyado en soportes que absorben las cargas transversales del rotor. Estos soportes alojan los rodamientos. La unión con

la entrada de baja velocidad de la multiplicadora se consigue con un disco cónico de apriete que transmite el par por fricción. Su localización en el interior de la cabina se aprecia en la Figura 2.

El eje está fabricado en acero forjado y tiene un orificio central longitudinal para alojar los elementos hidráulicos y de control del sistema de cambio de paso de las palas.

6.3.7. Bastidor

El bastidor del aerogenerador G87-2.0 MW se ha diseñado bajo los criterios de simpleza mecánica y robustez adecuada para soportar los elementos de la góndola y transmitir las cargas hasta la torre. La transmisión de estas cargas se realiza a través del cojinete de la corona de orientación.

El bastidor se divide en dos partes:

- La parte delantera consiste en dos piezas de fundición atornilladas donde se fijan los soportes del eje principal y la corona de orientación.
- El bastidor trasero está formado por dos vigas unidas por su parte delantera y trasera. Esta parte ha sido diseñada para soportar al generador (derecha), el controlador del *TOP* (izquierda) y el transformador. Entre ellas el suelo de la góndola permite el acceso para la realización de tareas de reparación y mantenimiento.

6.3.8. Capota

La capota es la cubierta que protege los componentes del aerogenerador que se encuentran en la góndola. Está fabricada en resina poliéster con fibra de vidrio.

En el interior de la góndola hay suficiente espacio para realizar las operaciones de reparación y mantenimiento del aerogenerador. Una trampilla en la parte frontal permite el acceso al interior del cono, y una trampilla en el suelo de la parte trasera permite operar la grúa. La claraboya del techo proporciona luz solar por el día, ventilación adicional y acceso al exterior, donde se encuentran los instrumentos de medida de viento y el pararrayos.

Las partes giratorias están debidamente protegidas para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento.

6.3.9. Medida de viento

En el exterior de la capota, en la parte trasera, dos mástiles verticales sirven de soporte de los anemómetros sónicos para medida del viento. Dichos anemómetros aparecen en la Figura 2.

6.3.10. Sistema de control

El sistema de control monitoriza y gobierna todas las funciones del aerogenerador G87-2.0 MW de manera que las actuaciones sean óptimas en todo momento.

El sistema de control registra continuamente las señales de los distintos sensores del aerogenerador, y cuando detecta algún error realiza las acciones oportunas para subsanado. El sistema de control detiene el aerogenerador si el error detectado así lo requiere.

Existe una pantalla táctil en la que se presentan datos de operación y que permite la interacción del usuario con el aerogenerador, y un sistema de control que está preparado para la monitorización y el control remoto si es necesario.

6.3.11. Disposición del sistema de control

El soporte físico del sistema de control se reparte en tres armarios:

1. Controlador de la "nacelle" situado en la nacelle.
2. Controlador "ground" situado en la base de la torre.
3. Controlador del buje situado en la parte giratoria del aerogenerador.

A su vez, el controlador de la "nacelle" se divide en tres partes:

1. Sección de control: se encarga de las tareas propias de la góndola, i.e. monitorización del viento, cambio del ángulo de paso, orientación, control de la temperatura interior.
2. Convertidor de frecuencia: se encarga del control de potencia, de gestionar la conexión y desconexión del generador de la red.
3. Sección de embarrados y protecciones: en esta parte se encuentra la salida de la potencia producida con las protecciones eléctricas necesarias.

6.3.12. Pantalla de control

Desde la pantalla táctil del "ground" se puede tanto observar algunos datos de la operación del aerogenerador como detener y arrancar la máquina, entre otras acciones. También se puede conectar una pantalla portátil al controlador de la "nacelle" para realizar estas tareas.

6.3.13. Control del aerogenerador

La velocidad de giro del aerogenerador y el ángulo de paso de las palas se modifican en cada instante dependiendo de la velocidad de viento que llega a la máquina. El sistema de control se encarga de elegir los valores adecuados de estas variables.

Atendiendo a la velocidad de viento se pueden establecer cuatro fases

1. Viento bajo, con el generador desconectado de la red.
2. Viento medio, con el generador conectado, pero sin llegar a generar potencia nominal.
3. Viento alto, el generador produce potencia nominal.
4. Viento muy alto, el generador está desconectado y la turbina parada.

- *Viento bajo*

Cuando la velocidad del viento es inferior a la velocidad de arranque de la máquina pero próxima a ésta, el sistema de control coloca las palas a un ángulo de paso cercano a 45° , que proporciona un par de arranque suficientemente alto.

A medida que la velocidad de viento aumenta la velocidad de rotación del rotor también aumenta, y el ángulo de paso se hace disminuir hasta que se alcanzan las condiciones adecuadas para que el generador se conecte.

- *Viento medio*

A velocidades de viento por encima de la velocidad de arranque y por debajo de la velocidad nominal el sistema de control elige la velocidad de rotación y el ángulo de paso que proporcionan la máxima potencia para cada velocidad de viento.

- *Viento alto*

Cuando la velocidad de viento es superior a la nominal, la energía contenida en el viento es suficiente para producir potencia nominal, y el ángulo de paso se incrementa para regular la potencia a su valor nominal.

- *Viento muy alto*

Si la velocidad del viento es superior a la velocidad de parada el generador se desconecta y el sistema

de control lleva las palas a la posición de bandera (cercana a 90°) hasta que la velocidad de viento desciende por debajo de la velocidad de re-arranque y la máquina reanuda la generación de potencia.

6.4. Comunicación de transformador, armario de control y celda

6.4.1. Alimentación del rotor del generador

La alimentación del rotor del generador se realiza a través de una salida del transformador principal a 480 V.

6.4.2. Características de los cables del generador.

Estátor: Los cables que unen tanto el estator del generador con el armario de control de potencia situado en la nacelle son cables RV 0.6/1kV 1x300 mm² y diseñados de acuerdo a la norma UNE 21150. Se utilizan 12 cables en paralelo para alimentar al estator.

6.4.3. Fibra óptica

La fibra óptica utilizada para comunicaciones en el interior del aerogenerador es de 4 hilos por manguera. Esta fibra está protegida contra humedad y roedores.

Esta fibra óptica se utiliza para comunicaciones entre los distintos procesadores del aerogenerador o entre estos procesadores y el usuario humano que se conecta a través de un terminal de operación.

El sistema de telemando utiliza fibra de diámetro 62.5/125 µm, igualmente protegida contra la humedad y los roedores, para comunicar los distintos aerogeneradores.

6.5. Cimentaciones

A continuación en la Tabla 2 y en la Tabla 3 se definen los datos principales de las cimentaciones para el aerogenerador G87 2 MW con torres de 67 m (clase II_A).

Tabla 2. Dimensiones de la zapata

Dimensión	Torre 67m	Unidad
Lado zapata, L	12,8	m
Canto exterior, h_e	1,5	m
Canto central, h_c	2,18	m
Diámetro virola cimentación	4,034	m

Tabla 3. Materiales de la zapata

Material	Torre 67m	Unidad
Hormigón limpieza HM-15	16,4	m^3
Hormigón estructural HA-30	254,2	m^3

Acero armaduras B 500 S 16.576 kg

7. Instalación eléctrica

7.1. Características básicas de la instalación

Los aerogeneradores se conectan mediante líneas subterráneas de media tensión, en 20 kV, a la Subestación del parque. Estas líneas subterráneas son denominadas líneas colectoras.

Para la conexión de los 7 aerogeneradores a la Subestación del parque, se han dispuesto 3 líneas colectoras. Estas líneas conectan los aerogeneradores entrando por los conductos dispuestos al efecto en la cimentación y conectándose a la celda de remonte de cables dispuesta en la cabina de media tensión. De la celda de salida de línea sale nuevamente otro cable el cual transcurre por los conductos de la cimentación hacia la zanja de la línea colectora. Lo anterior se recoge esquemáticamente en el plano PE-2 correspondiente al esquema unifilar y en los planos de conexión de los aerogeneradores a la red de media tensión, PE-16 y PE-17, en los que se refleja la entrada y salida de los cables a los aerogeneradores según su posición en el circuito colector.

El cálculo de las secciones de cada uno de los tramos de las líneas colectoras, entre aerogeneradores, se ha realizado por caída de tensión, densidad de corriente y cortocircuito.

Los cables utilizados, unipolares, están formados por conductores aislados con polietileno reticulado XLPE y cubierta de poliolefina, con designación UNE RHZ1 12/20 kV.

Seguidamente se expone el sistema eléctrico que se diseña para conseguir conducir toda la potencia generada hasta la conexión con la Subestación Transformadora situada en el propio parque.

7.2. Sistema Eléctrico en Baja Tensión (690 V)

El sistema eléctrico de baja tensión en el interior del aerogenerador es uno de los principales objetos de estudio de este proyecto. A continuación se detallan sus características principales.

Para el cálculo y dimensionamiento de los elementos, conductores y equipos a emplear, se ha seguido lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Los conductores a emplear serán de aislamiento RV 0,6/1 kV, tanto para el nivel de 690 V, como para 230/400 V. En el interior de armarios eléctricos de baja tensión se podrán emplear conductores de cobre de aislamiento V-750 para cableado de control y maniobras.

Los circuitos de alimentación a receptores contarán con el correspondiente conductor de puesta a tierra del receptor, de sección adecuada de acuerdo a lo establecido en el REBT.

Todos los cables contarán con protección mecánica, ya sean instalados sobre bandeja metálica o sobre soportes propios de la torre instalados para esta función. Asimismo las derivaciones a elementos concretos se podrán realizar bajo tubo protector IP-7.

7.2.1. Instalación Principal

Se denominará instalación principal de BT en el interior del aerogenerador al conjunto de cables que unen el cuadro principal de BT sito en la cabina de la máquina con el transformador 0.69/20KV colocado en la base de la misma. Por ella se evacuará la mayor parte de energía eléctrica producida por el generador que, tras el transformador 0.69/20KV, circula por la red de MT camino a la Subestación 20/66KV y de allí se vuelca a la Red. No toda la energía producida por la máquina se dirige a la Red, ya que parte se utiliza para los servicios auxiliares de la propia máquina y de la Subestación. La instalación eléctrica para los SSAA en el interior de la máquina será objeto de estudio en el siguiente apartado.

El principal equipo existente es la turbina, del tipo G87. Es una máquina síncrona con un generador de una potencia nominal de 2.000 kW a 690 voltios.

El generador se conecta al juego de barras correspondiente del armario principal del aerogenerador mediante ternos de conductores unipolares de cobre cuya sección aparece calculada en la Memoria de Cálculo. De dicho juego de barras partirán dos derivaciones, una para el transformador de potencia sito en la base y otra para el transformador de servicios auxiliares (SSAA).

El equipo de compensación de reactiva está diseñado de forma que se consiga un $\cos\phi = 1$ a la entrada del transformador 0,69/20 kV. Aportará la demanda de energía reactiva tanto del generador como del transformador. Viene diseñado por el propio fabricante.

Las dimensiones de los conductores a emplear se calcularán de acuerdo a la potencia de los diversos elementos, siguiendo los criterios establecidos en el R.E.B.T.

La instalación principal transcurrirá a lo largo de la torre de la máquina, quedando colgada en un tramo inicial de unos 10 metros y posteriormente anclada a la superficie interior de la torre hasta el suelo de la misma. La razón de esto se explica a continuación: El conjunto de conductores que recorre la torre de la máquina de arriba abajo ha de ser lo más flexible posible. Esto se debe al giro de la cabina y del rotor alrededor del eje vertical, lo que obliga a los cables a permitirlo sin que sufran rotura por torsión. El arreglo que soluciona este problema consiste en descolgar los conductores por el interior de la torre, de tal manera que quede colgado en los 10 metros iniciales y posteriormente vuelva a descender hasta el suelo apoyado en la pared por unos soportes fijos. El trayecto total se estima en unos 75 metros, que será la longitud de diseño del conductor.

Para que los conductores se puedan doblar de la manera anteriormente indicada, han de ser lo suficientemente delgados para permitir la flexión. Esto obliga a colocar un mayor número de conductores de una menor sección, es decir, se opta por descolgar más ternos de cables unipolares más delgados para que se puedan doblar sin romperse.

7.2.2. Instalaciones Secundarias

Los SSAA de cada aerogenerador se diseñan por igual para las siete máquinas que conformarán el parque. Como se ha indicado en el apartado anterior, del juego de barras del armario principal de la máquina parte una derivación que alimenta a los SSAA de la misma mediante un transformador 690/400 V de 100 kVA. Dicho transformador sirve para suministrar energía a las cargas de SSAA de la máquina.

Las cargas de los SSAA son las siguientes:

Grúa

Se dispondrá de una grúa móvil en el interior de la cabina, con objeto de desplazar los componentes y

objetos que se encuentren en el interior de la misma. Circulará por un raíl colocado en el techo de la cabina.

La grúa estará provista de un motor asíncrono trifásico de 2.2 kW que le proporcionará la capacidad de elevación y de desplazamiento.

Bomba de aceite

En el interior de la caja multiplicadora de cada aerogenerador existe una bomba de aceite, que asegura una correcta lubricación de los engranajes de la misma.

El motor de la bomba será de características idénticas al utilizado por la grúa.

Motorreductora

Será el motor encargado de hacer girar las palas del rotor según las órdenes del sistema de control. Consiste en un motor asíncrono de 6 polos con freno incorporado y de una potencia de 2.2 kW.

Bombas hidráulicas

El mecanismo de giro del conjunto formado por la cabina y el rotor se mueve gracias a la acción de un mecanismo hidráulico. Consiste en la colocación de cuatro bombas hidráulicas colocadas en la base de la cabina y accionadas por un motor común. Este motor es un asíncrono trifásico de 18.5 kW de potencia.

Alumbrado

En el interior de cada aerogenerador se instalarán doce puntos de luz:

- Tres en el interior de la cabina
- Tres en la base del aerogenerador
- Tres en el interior de la torre a una altura de 47 m.
- Tres en el interior de la torre a una altura de 27 m.

Serán estancos IP-54, capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos del centro de transformación. El nivel medio será como mínimo de 150 lux.

Las pantallas luminosas estarán colocadas 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.

Cada una de las lámparas supondrá una carga de 80 W. En el apartado correspondiente de la Memoria de Cálculo aparecen más datos técnicos sobre las mismas.

Fuerza

En el interior de cada aerogenerador, se instalarán varias tomas de corriente II+TT tipo Schuko de 16 A, estancas IP-54 para servicios auxiliares de la torre. Se colocarán de modo que resulten fácilmente accesibles.

La instalación eléctrica de los SSAA partirá del transformador de SSAA situado en el interior de la cabina, el cual se une con el cuadro de SSAA sito en el armario de control mediante un terno de tres cables unipolares de cobre. El cuadro de SSAA se conecta a su vez con otros dos cuadros, el cuadro de alumbrado y tomas de corriente y el cuadro de motores. El primero controla y protege a las cargas monofásicas del aerogenerador y el segundo se dedica a las trifásicas, los motores.

Las cargas monofásicas se agrupan de tres en tres, de tal manera que cada una se conecte a una fase diferente (a, b o c).

El agrupamiento de dichas cargas se realiza de manera que las tres fases alimenten a potencias iguales o aproximadamente iguales con el objetivo de mantener la estabilidad del sistema. Se realiza un análisis pormenorizado en la Memoria de Cálculo del proyecto, dónde se recoge a qué fase se conecta cada carga y la intensidad que suministra cada fase.

En cuanto a las protecciones de los SSAA se ha elegido al fabricante Merlin Gerin del grupo Schneider Electric. Estas protecciones permiten aunar en un mismo elemento la protección diferencial y magnetotérmica, acoplado al interruptor magnetotérmico un bloque de relés diferenciales denominado Vigi.

En cuanto a los interruptores magnetotérmicos se han instalado de calibres de 3, 10, 40, 50, 100 y 160 A. Corresponden a dos modelos diferentes, los Multi9 y los Compact. Los primeros se utilizan para pequeñas corrientes nominales y no se complementan con relé alguno. En cambio, la serie Compact se orienta más hacia la distribución y permite su utilización con corrientes nominales más elevadas y la utilización de relés mecánicos o electrónicos. En este caso se han utilizado relés mecánicos de la serie TM-D en todos los interruptores de la serie Compact (NS100N, NS160N). En el documento “Memoria Justificativa” de este mismo proyecto se justifica la elección de cada dispositivo para cada posición indicada en el unifilar así como un estudio de selectividad entre ellas.

La protección diferencial se basa en un bloque de relés acoplado al mismo interruptor magnetotérmico. Se han utilizado sensibilidades de 30 mA, 300 mA y 1 A con el objetivo de alcanzar la máxima selectividad posible entre los interruptores diferenciales. La justificación de la elección de cada diferencial se justifica en la Memoria Justificativa de este proyecto.

En cuanto al mando de los motores que conforman los SSAA se realiza mediante contactores de la serie Tesys de Telemecanique, del grupo Schneider. Estos contactores no poseen posibilidad de protección contra sobrecargas ya que ese cometido lo realizan las protecciones antes descritas. Se han diseñado con una elevada robustez eléctrica para reducir al mínimo las posibilidades de fallo.

7.3. Sistema eléctrico de Media Tensión (20 kV)

Dado que el parque objeto del presente proyecto cuenta con 7 aerogeneradores de 2.000 kW de potencia cada uno y considerando su disposición en el terreno, rápidamente se deduce que es necesario para unificar en un punto la potencia total instalada en generación de 14 MW lo siguiente:

- Agrupar los aerogeneradores en tres circuitos, de modo que consigamos conducir fracciones de la potencia total hasta un punto determinado, en nuestro caso la propia Subestación, de acuerdo al criterio de posicionamiento en campo de los mismos.

- Elevar la tensión de los generadores, en aras de conseguir las menores pérdidas posibles, así como disminuir la cuantía económica de la inversión de la instalación eléctrica.

Es por ello que se disponen de dos circuitos:

- Circuito 1: contiene las aeroturbinas 1 y 2.
- Circuito 2: contiene las aeroturbinas 3 y 4.
- Circuito 3: contiene las aeroturbinas 5, 6 y 7.

Dado que la potencia máxima generada en cada tipo de circuito es de 4.000 kW y 6.000 kW respectivamente, se contempla elevar en cada torre la potencia generada a 690 V hasta un nivel de 20 kV de modo que las intensidades resultantes sean admisibles por conductores y aparata, consiguiendo reducir las pérdidas.

Dado que la tensión se eleva a 20 kV, toda la aparata que se instale deberá garantizar el nivel de aislamiento de 24 kV, tal como se indica en el MIE-RAT 04.

Por tanto, se describirá básicamente la Instalación de Media Tensión existente en el interior de cada aerogenerador.

Como se ha mencionado, la tensión que suministra el generador es de 690 V, siendo necesario elevarla para poder transportar la potencia generada hasta la Subestación final que conectará con la Red Eléctrica, de modo que se garanticen las menores pérdidas posibles.

Para ello se instala en la base de cada torre y sobre una plataforma un transformador de aislamiento seco encapsulado, para una potencia de 2.100 kVA, con relación de transformación $20.000 \pm 5\% \pm 10\%$ / 690 V, conexión Dyn11, nivel de aislamiento 24 kV, tensión de cortocircuito del 6% y con protección térmica mediante sondas PT-100 en cada uno de los devanados.

En el lado de alta tensión, se conectará el transformador con su celda de protección mediante tres conductores unipolares RHZ1 12/20 kV de sección 70 mm^2 en aluminio.

Cada una de las turbinas que forman el Parque Eólico dispondrá de un módulo que incluye el panel del transformador con interruptor automático, seccionador de puesta a tierra y el transformador de 2.100 kVA, 20/0,69 kV seco trifásico mencionado anteriormente.

Este módulo de cada turbina, estará a su vez conectado a los módulos de entrada y salida de línea del resto de las turbinas del circuito, dependiendo de la posición en el circuito eléctrico que tenga el aerogenerador, tal y como puede observarse en el plano del esquema unifilar de la instalación.

Desde estas celdas de línea, de nivel de aislamiento 24 kV, se dará continuidad al circuito.

Por otra parte como la red que se diseña es a una tensión de 20 kV y es de categoría A (esto es, el sistema se desconecta en un tiempo inferior a 1 minuto en caso de falta a tierra de cualquier fase), el cable a emplear será en consecuencia 12/20 kV de nivel de aislamiento.

Dado que se empleará en la red de distribución enterrado o bajo tubos de protección en algunas zonas de paso, será del tipo RHZ.

El conductor a emplear en Media Tensión será siempre de aluminio RHZ 12/20 kV, de secciones 95, 150, 240 o 400 mm², de modo que se mantengan los criterios de caídas de tensión y pérdidas de potencia. Ningún circuito contará con una pérdida de potencia superior al 2%. Todo conductor podrá soportar la corriente de corto circuito determinada según cálculos.

7.4. Características de la Instalación

Se describen más detalladamente los elementos ya comentados en el apartado anterior, referentes a la instalación de media tensión existente en los aerogeneradores y distribución hasta la Subestación 20 kV / 66 kV.

7.4.1. Centros de transformación

Se instala en el interior de cada torre un Centro de Transformación con nivel de aislamiento 24 kV, conteniendo un transformador trifásico de 2.100 kVA, con relación de transformación 20.000 V \pm 5% \pm 10% / 690 V y una tensión de cortocircuito del 6%. El C.T. posee las celdas de protección del transformador, remonte y salida de línea en la base de la torre del aerogenerador.

7.4.1.1. Disposición de elementos

Los Centros de Transformación en el interior de las torres de los aerogeneradores, se instalarán en dos niveles de altura.

En la parte baja, a la cual se accede por la propia puerta de acceso al aerogenerador, se ubicarán las celdas del centro de transformación, el panel principal de control, el cuadro de protección los elementos de la base y el armario para la ubicación de la CPU del sistema.

Mediante una escalera "de gato" se accede a una plataforma situada a unos tres metros de altura, en la cual se ubica el propio transformador 20/0,69 kV. Además se dispondrán de los elementos de conexión adecuados para las entradas o salidas de línea para dar continuidad al circuito.

Dadas las características del interior de la torre, de sección circular con espacios limitados, así como el tamaño de la puerta de acceso, los equipos a instalar están condicionados a adaptarse al citado recinto, de modo que las celdas de media tensión tendrán que tener unas dimensiones adecuadas para poder entrar por la puerta sin problemas.

Por lo que respecta al transformador, éste se colocará en su posición durante la etapa de montaje de la torre del aerogenerador.

Todos los elementos susceptibles de quedar en tensión, herrajes, etc., estarán conectados a la red general de tierras del parque, así como el neutro del transformador. El sistema se describirá detalladamente más adelante.

7.4.1.2. Transformadores de MT/BT

En cada aerogenerador se instalará un Transformador Trifásico, de aislamiento seco encapsulado en resina epoxi. Estarán contruidos y ensayados según normas.

Contarán con un conmutador de 5 posiciones para regulación, 3 bornes de media tensión, 4 bornes de baja tensión.

Serán de las siguientes características recogidas en la Tabla 4:

Tabla 4. Características del transformador

Tipo	Trifásico, seco encapsulado
Relación	20 / 690 V
Potencia nominal	2100 kVA
Frecuencia	50 Hz
Grupo de conexión	Dyn11
Clase de aislamiento	F
Nivel de aislamiento (kV)	24 kV.
Peso (aprox.)	< 5000 kg

Los transformadores se someterán a los siguientes ensayos de rutina:

- Medida de la resistencia de los arrollamientos
- Medida de la relación de transformación y verificación del acoplamiento
- Medida de la tensión y de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debidas a la carga.
- Medida de las pérdidas y de la corriente de vacío al 100 y al 110% de plena carga
- Ensayo de tensión aplicada
- Ensayo de tensión inducida
- Comprobación de los dispositivos de protección.
- Ensayo de grupo de conexión
- Ensayo de puesta a tierra
- Medida del nivel de ruido
- Calentamiento por sistema indirecto

Elementos de Conexión

La conexión en Media Tensión se realizará mediante terminales enchufables. Se realizará con puentes de cable RHZ1 12/20 kV Al 3x (1x70) mm², con las siguientes características recogidas en la Tabla 5:

Tabla 5. Características de los terminales de conexión

Conductor:	Aluminio
Triple extrusión:	Semiconductor interior (Al)
	XLPE
	Semiconductor exterior (Al)
Pantalla:	Hilos de Cobre
Cubierta:	Polioléfina Termoplástica

La conexión en Baja tensión desde el transformador hasta el cuadro de control del generador se realizará tendida bajo la plataforma inferior de la torre y sujeta por abrazaderas y sobre soportes preparados a lo largo de la torre, con terminales de conexión a compresión en ambos extremos, con puentes de cable RV 0,6/1 kV Cu, cuyas características aparecen en la Tabla 6:

Tabla 6. Conexión entre el generador y el transformador principal

Conductor:	Cobre
Aislamiento:	Polietileno Reticulado (XLPE)
Cubierta exterior:	Policloruro de Vinilo (PVC)
Nº Conductores Unipolares:	15
Sección:	185 mm

En ambos casos se atenderá a lo especificado en cuanto a materiales e instalación en los pliegos de especificaciones técnicas de Media tensión.

7.4.1.3. Posiciones de Protección, Línea y Remonte

El sistema estará equipado con aparataje fija, bajo envolvente metálica, que utilizan el hexafluoruro de azufre (SF6) como aislante y agente de corte en los aparatos siguientes:

- Celda de remonte para la conexión del CT con el CT del aerogenerador anterior
- Celda de protección de transformador con interruptor automático
- Celda de salida de línea con seccionador de puesta a tierra para la conexión con el aerogenerador posterior

Responderán en su concepción y fabricación, a la definición de aparamenta bajo envolvente metálica compartimentada de acuerdo con la norma UNE 20.099-90.

El grado de protección según UNE 20.324-89 de la envolvente externa, así como para los tabiques laterales de separación de celdas en la parte destinada a la colocación de los terminales de cables y fusibles, es IP3X. Para el resto de compartimentos es IP2X.

En lo referente a daños mecánicos, el grado de protección será IP47 (UNE 20.324-89 anexo A).

Todos los mandos se reagruparan sobre un mismo compartimento frontal.

Las celdas responderán a las siguientes recomendaciones, normas y especificaciones:

- Recomendaciones Internacionales: CEI , 56, 298, 129, 255, 265-1, 694, 420, 801
- Normas Españolas: UNE 20.099 (CEI 298), 20.100 (CEI 129), 20.104-1 (CEI 265), 20.135, 20.801, 21.081 (CEI 56), 21.136, 21.139 (CEI694)

Características eléctricas de las celdas

El embarrado incluido estará dimensionado para soportar además de la intensidad nominal las intensidades térmica y dinámica asignadas. Las especificaciones de las celdas aparecen en la Tabla 7.

Tabla 7. Especificaciones de las cabinas MESA CBGS-0

Tensión nominal de aislamiento	24 kV
Tensión de servicio	20 kV
Tensión de los circuitos de control	110 Vcc
Grado de protección de los componentes de alta tensión	IP-65
Tipos de instalación	Interior
Construido según normas	CEI-298
Intensidad nominal del embarrado	1250 A
Intensidad derivaciones	630 A
Intensidad de cortocircuito trifásica simétrica	25 kA
Máxima corriente de cresta soportada por el embarrado	63 kA

Tensión de ensayo a frecuencia industrial	50 kV
Tensión de ensayo a onda de choque tipo rayo	125 kV
Aislamiento Eléctrico	SF6
Presión del gas, 20°C	0.3 bar
Frecuencia	50 Hz
Dimensiones	600 x 1220 x 2400 mm

Equipamiento celdas protección de transformador

- Un juego de barras trifásico de 1250 A.
- Un seccionador trifásico de 630 A.de 3 pos. cerrado-abierto-p.a t., con mando manual.
- Interruptor de corte en SF₆, del tipo de polos separados, 630 A, 25 kA, con accionamiento compuesto por bobinas de cierre y disparo, 11 contactos auxiliares (10 A+ 9 C), contador, relé antibombeo, y motor de carga de muelles, fabricado por GROUPE SCHNEIDER.
- Tres transformadores de intensidad toroidal de características:
 - Relación: 1.000/5-5 A
 - Potencia: 15 VA (medida)-15 VA(protección)
 - Clase: 0,5 (medida)-5P20 (protección)
- Tres Zócalos / pasatapas. Para conectores en “T”
- Manómetro de medida de presión del SF₆ en el compartimento del interruptor.
- Tres indicadores de presencia de tensión tipo IT-100 (B L) con base enchufe
- Un compartimiento de B.T. conteniendo Bornas, Int. Aut. de control, etc.

En la Figura 4 aparece el esquema unifilar de esta celda:

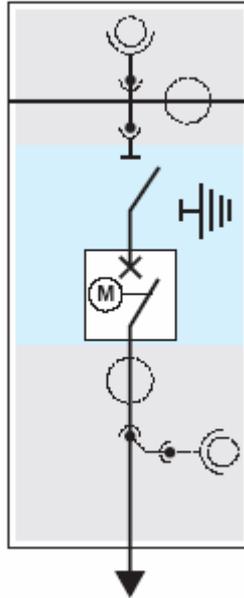


Figura 4. Esquema de la celda de protección de transformador

Equipamiento de las celdas de remonte

- Un juego de barras trifásico de 1250 A.
- Un Seccionador trifásico de 630 A.de 3 pos. cerrado-abierto-p.a t.,con mando manual.
- Tres Zócalos / pasatapas. Para conectores en “T”
- Manómetro de medida de presión del SF₆ en el compartimento del interruptor.
- No posee compartimento inferior para cables y transformadores

En la Figura 5 aparece el esquema de dicha celda:

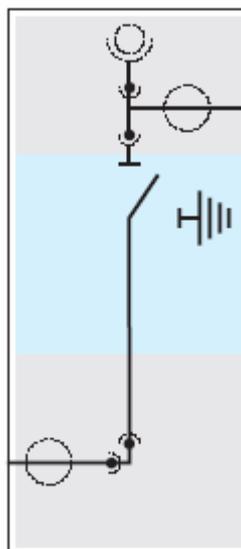


Figura 5. Esquema de la celda de remonte

Equipamiento de las celdas de salida de línea (celda de seccionamiento)

- Un juego de barras trifásico de 1250 A.
- Un Seccionador trifásico de 630 A.de 3 pos. cerrado-abierto-p.a t.,con mando manual.
- Tres Zócalos / pasatapas. Para conectores en “T”
- Manómetro de medida de presión del SF₆ en el compartimento del interruptor.

El esquema unifilar de esta celda aparece en la Figura 6:

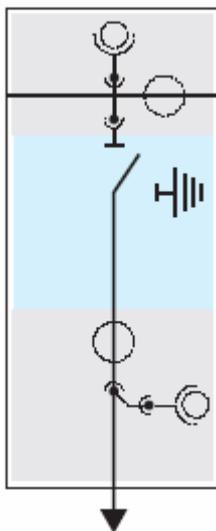


Figura 6. Esquema de la celda de protección de salida de línea

Interruptor Automático

El interruptor automático incorporado en las celdas CBGS-0 es del tipo de “soplado” y utiliza el gas SF₆ como medio de corte y aislamiento. Sus características aparecen en la Tabla 8.

La carcasa de resina propia del interruptor, cumple con lo requerido en la norma CEI-60056 para los sistemas a presión sellados.

La presión relativa de llenado de SF₆ es muy baja, 0.25 Mpa (2.5 bar) ó 0,38 Mpa (3,8 bar).

En el caso de que la presión bajara del umbral de funcionamiento previsto, existen 2 alarmas que se disparan de forma automática.

Tabla 8. Características del interruptor automático

Tensión nominal de aislamiento	24 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	50 kV
Tensión de ensayo a onda de choque tipo rayo	125 kV
Intensidad nominal	630 A
Intensidad de corte de cortocircuito	25 kA
Capacidad de corte	63 kA
Tiempo de apertura	50 mseg
Tiempo de corte	65 mseg
Tiempo de cierre	70 mseg

Piezas de conexión entre celdas

El elemento para realizar la conexión eléctrica y mecánica entre celdas se denomina "conjunto de unión". Permite la unión del embarrado de las celdas sin pérdida de SF6.

El conjunto de unión está formado por tres adaptadores elastoméricos enchufables que, montados entre las tulipas (salidas de los embarrados) de los laterales de las celdas a unir, dan continuidad al embarrado y sellan la unión, controlando el campo eléctrico por medio de las correspondientes capas semiconductoras.

No se instalará ningún equipo de medida de energía eléctrica en Media Tensión en el interior de las torres de los aerogeneradores.

Este sistema permite mantener los valores característicos de aislamiento, intensidades nominales y de cortocircuito que las celdas tienen por separado.

Conexión con cables

Las acometidas de media tensión y las salidas a transformador o celda se realizan con cables. Las uniones de estos cables con los pasatapas correspondientes deben ejecutarse con terminales enchufables de conexión reforzada (atornillables), apantallados o no apantallados.

7.4.2. Red de Puesta a Tierra

Se diseña una red de tierras independiente para cada aerogenerador, con cable de 1x50 mm² desnudo. Cada aerogenerador se considera como un centro de transformación y para el cálculo de su puesta a tierra se procederá según el Método UNESA.

En la cimentación de cada aerogenerador se dispondrá una red de tierras con cable de cobre desnudo diámetro 50 mm² situado a una profundidad de 0.5 metros que unirá 4 picas de 2 metros de longitud separadas 3 metros entre ellas, a la que se conectará la armadura de la zapata. En todos los aerogeneradores se deberán realizar las mediciones de tensiones de paso y contacto. En el plano correspondiente a la cimentación del aerogenerador, plano PE-13, se recogen los conductos por los que discurre los electrodos de puesta a tierra a través de la zapata de cimentación.

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. Este detalle se refleja en los planos de sección de las celdas de los centros de transformación, remonte y salida de línea, numerados como PE-23 y PE-24.

Tierra de Servicio

Se conectará a tierra en cada Centro de Transformación el neutro del Transformador. La justificación de conectar el citado neutro, directamente al electrodo de tierra general para toda la instalación, se realiza en el apartado de cálculos de las redes de tierra. La conexión al electrodo general se realizará a través de un puente de comprobación de resistencia de cobre electrolítico, instalado en una caja con un grado de protección IP54. El cable de conexión será RV 0,6/1 kV de sección 50 mm² en cobre.

8. Subestación colectora del parque

La producción eléctrica del parque es enviada a una Subestación situada en la misma área del parque. En dicha Subestación se ha previsto una transformación a 66 kV de manera que pueda transportarse con menores pérdidas hasta la red general.

Junto con la propia energía del parque la Subestación se ha previsto con la posibilidad de instalar posiciones adicionales de entrada en 20 kV, de manera que en el futuro pueda admitir la energía eléctrica de otro parque eólico que se sitúe en la zona en un futuro, ya que la subestaciones colectoras suelen compartirse por diversos parques. Por ello, el proyecto de dicha Subestación se prevé para varios parques y no sólo para el que es objeto del presente proyecto.

La evacuación de la energía a 66 kV se prevé a través de la reforma de la línea de 20 kV que pasa por la parcela, cuya realización queda fuera del alcance de dicho proyecto.

8.1. Descripción general de las instalaciones de la Subestación

Aparte de las citadas instalaciones eléctricas, la instalación de la Subestación se completará con las infraestructuras necesarias, tales como accesos, caminos de servicio, canalizaciones para conducción de cables, edificaciones, etc. necesarias para su correcto funcionamiento. Estos aspectos están relacionados principalmente con la obra civil que lleva asociada la construcción de una Subestación colectora. La infraestructura de obra civil prevista, comprenderá básicamente los siguientes aspectos:

- Movimiento de tierras.
- Caminos de acceso.
- Caminos de servicio.
- Cimentación de equipos y estructuras.
- Zanjas para la canalización de los tendidos.

En cuanto a instalaciones previstas, la Subestación 20/66 kV, incluirá el Parque de Intemperie y el Edificio de Control de la Subestación.

8.1.1. Parque de Intemperie

En la zona de intemperie de la Subestación, se ubicará el transformador de potencia que elevará la tensión de 20 kV hasta la tensión de la línea de evacuación, 66 kV. En el nivel de tensión de transporte, existirá la aparatamenta de protección y medida correspondiente.

Los elementos en 66 kV, aparatamenta, control, protección y transformador se montarán en un recinto vallado mediante malla metálica para evitar contactos accidentales desde el exterior y el acceso a la instalación de personas ajenas a la explotación. En dicho recinto vallado se ha previsto una puerta peatonal y otra de 5 m de luz con vial interior, para que un camión-grúa realice con facilidad la carga y descarga de las máquinas y aparatos. En la zona de intemperie se han previsto pasillos y zonas de protección de embarrados, aparatos y cerramientos exteriores que cumplen la MIE-RAT 15, apartado 3. Adosado, y como cierre de uno de los laterales, se montará el citado edificio de control en el que se ubicarán las celdas de protección en 20 kV, medida, cuadro de protección y accesorios.

8.1.2. Edificio de Control de la Subestación

La Subestación contará con un edificio de control el cual se dividirá en dos estancias, una en la que se encontrarán las cabinas de media tensión y el transformador de SSAA. Estas cabinas serán las de entrada de los cables desde los aerogeneradores y la celda de salida hacia el transformador de la Subestación que elevará la tensión hasta el nivel de transporte. También se dispondrá de una celda de servicios auxiliares que se conecta mediante canalización subterránea con un transformador de servicios auxiliares, relación 20 kV / 380-220 V.

La otra estancia se compone de una sala para el control de la Subestación que a su vez poseerá un aseo.

8.2. Disposición General de las Instalaciones

8.2.1. Disposición física

La Subestación se proyectará de acuerdo a la disposición siguiente:

Parque de Intemperie

En el parque de intemperie se instalarán los sistemas transformadores de 20/66 kV. En el interior del edificio de control se instalarán las posiciones del secundario del transformador y los servicios auxiliares.

Los transformadores se instalarán sobre bancadas provistas de vías de rodadura para su desplazamiento, con una canalización para la recogida de aceites.

El aparellaje y los embarrados altos estarán soportados por estructura metálica galvanizada en caliente anclada ésta sobre cimentaciones monolíticas de hormigón.

Edificio de Control de la Subestación

El edificio de control estará formado por una dependencia para las celdas de entrada y otra zona para el control de la Subestación

8.2.2. Estructura metálica

La fijación del conductores aéreos, así como de soportes de aparatos, requerirá el uso de estructuras metálicas formadas por perfiles angulares de la serie de fabricación con acero A-42b (s/ Norma NBE-MV 102 vigente), exigiéndole la calidad soldable.

Llevarán una protección de superficie galvanizada, ejecutada en caliente de acuerdo a la Norma EN/ISO 1461.

Las torres y vigas que sirven de fijación de los conductores de amarre se dimensionarán considerando la acción conjunta de las siguientes cargas:

- Peso propio
- Acción de un viento de 120 km/h de velocidad actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.
- Tiro de los conductores de los siguientes valores
- Conductor: 750 kg/fase.
- Los soportes de aparatos están diseñados para admitir:
 - Peso propio.
 - Cargas estáticas transmitidas por los aparatos.
 - Cargas dinámicas transmitidas por el aparellaje de maniobra.
 - Acción de un viento de 120 km/h de velocidad actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

En general todos los elementos sometidos a las acciones anteriormente citadas estarán dimensionados para no superar los 2600 kg/cm²

8.2.3. Obra civil parque de intemperie

Se realizarán:

- Bancada de los transformadores 66/20 provisto de vías para facilitar el movimiento de los mismos. Estará conectada a pozos de recogida de aceite con tubos de cemento.
- Cimentaciones de torres y soportes de aparatos que serán bloques de hormigón en masa y llevarán incorporados los anclajes de sujeción.
- Conjunto de canales de cables realizados con hormigón armado, cubiertos con losas del mismo material.
- El acabado superficial de la Subestación se realizará con grava y con un espesor mínimo de 10 cm. para obtener una resistividad superficial de 3000 Ωm .
- El desagüe superficial de la Subestación se realizará utilizando los canales de cables que tendrán sección y pendiente para realizar el drenaje a puntos determinados, donde conectarán con tubos de drenaje que conducirán el agua a las acequias de desagüe existente.
- Zanjas para la instalación del electrodo general de puesta a tierra.

Criterios de diseño

- La bancada de los transformadores se ha diseñado como viga elástica apoyada en el terreno y con una carga uniformemente repartida igual a la presión que ejerce sobre el terreno toda la fundación con una acción 1,25 veces el peso del transformador más el peso propio.
- Las cimentaciones se proyectarán de acuerdo con la naturaleza del terreno. El método de cálculo empleado es el de Sulzberger que confía la estabilidad de la cimentación a las reacciones horizontales y verticales del terreno.
- Los valores de los coeficientes empleados en este método son los indicados en el apartado 4 del artículo 31 del R.L.A.T.
- No se admitirá un ángulo de giro de la cimentación, cuya tangente sea superior a 0,01 para alcanzar el equilibrio de las acciones que produzcan el máximo momento de vuelco.
- El coeficiente de seguridad al vuelco, relación entre el momento estabilizador y el momento de vuelco no será inferior a 1,5.

8.3. *Parámetros de diseño*

Tabla 9. Parámetros de diseño de las posiciones de 66 y 20 kV

Tensión nominal	kV	66	20
Tensión más elevada para el material	kV	72.5	24
Frecuencia Nominal	Hz	50	50
Tensión soportada frecuencia industrial	kV	140	50
Tensión soportada rayo	kV	325	125
Conexión del neutro			Resistencia
Línea mínima fuga aisladores	mm	1300	430
Intensidad nominal barras	A	1000	1000
Intensidad nominal posición línea	A	1250	630
Intensidad nominal pos. transformador	A	630	2000
Intensidad máxima de defecto trifásico	kA	25	16
Duración del defecto trifásico	s	3	2

8.4. *Instalaciones complementarias*

Telecomunicaciones

La telecomunicación se realizará por onda portadora sobre la línea de 66 kV.

Se preverá la instalación de un tubo de cable de fibra óptica para la medición remota, que irá previsiblemente en aéreo, junto a la línea de 66 kV, o bien dentro de los cables de fase.

Sistema de puesta tierra

Puesta a tierra inferior

Se dimensionará de acuerdo con los siguientes datos:

- Intensidad de defecto a tierra 5 kA.
- Duración del defecto 0,5 s.
- Tipo de electrodo malla.
- Material del conductor cobre.

Las tensiones de paso estarán por debajo de valores admitidos en la MIE-RAT 13. Se dispondrán a tierra de protección las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero

que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones. Se conectarán a tierra de protección: los chasis y bastidores de aparatos de maniobra, los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos, las puertas metálicas de los locales, las vallas y las cercas metálicas, las columnas, soportes, pórticos, las estructuras, las armaduras, los blindajes metálicos de los cables, las tuberías y conductos metálicos, las carcasas de los transformadores, etc..

Se conectarán a tierra de servicio los elementos de la instalación necesarios: los neutros de los transformadores de potencia, los neutros de B.T. de los transformadores de servicios auxiliares, los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida, los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

Puesta a tierra aérea

Para la protección contra descarga directa de rayos se apantallará la Subestación instalándose pararrayos tipo Franklin sobre postes.

Sistemas de protección contra-incendios

Se cumplirá lo establecido en la MIE-RAT 14 y MIE-RAT 15.

Protecciones

Se instalarán relés de tarjetas electrónicas que actuarán sobre el interruptor frontera, cumpliéndose de esta forma la norma ONSE 30.10-19B de Sevillana de Electricidad. Las funciones de los relés serán las siguientes:

- (50, 51,51N) Protección de sobreintensidad (tres fases y neutro), instantánea regulada al 130% de la intensidad de falta y protección temporizada, ambas coordinadas con las protecciones de la autogeneración en este lado.
- (64) Protección de máxima tensión homopolar, con ajuste a determinar en cada caso, con temporización inferior a 0,3 segundos y selectiva con las protecciones las otras líneas que salen de la cabecera.
- (27) Protección de mínima tensión, para las tres fases, con ajuste al 85% de la tensión de suministro entre fases, en el punto de conexión, con temporización inferior a 0,3 segundos y selectiva con las protecciones de las otras líneas que salen de la cabecera.
- (59) Protección de máxima tensión con ajuste al 110% de la tensión de suministro entre fases y actuación instantánea.

- (81) Protección de máxima y mínima frecuencia ajustada a 50,5 y 49,5 Hz, que funcione con el 20% de la tensión y actuación instantánea. Para detectar el funcionamiento en red separada.

8.5. Equipos de medida

De conformidad con la norma ONSE 30.01-19B sobre Autogeneradores conectados a la red de la empresa suministradora, el equipamiento necesario para contabilizar la energía vendida y comprada a la compañía es el siguiente:

- Transformadores de tensión e intensidad conforme a lo indicado en la descripción de la posición de primario del transformador de potencia.
- 1 contador de energía activa, simple tarifa, conexión a 4 hilos, clase de precisión 0,5 o superior, para medida de la energía consumida.
- 1 contador de energía reactiva, 4 hilos, clase de precisión 3 o superior, para medida de la energía consumida.
- 1 contador de energía activa, simple tarifa, conexión a 4 hilos, clase de precisión 0,5 o superior, para medida de la energía entregada.
- 1 contador de energía reactiva, 4 hilos, clase de precisión 3 o superior, para medida de la energía entregada.
- 1 tarifador con un mínimo de 4 entradas gestionables, funciones de maxímetro y de acumulación de curvas de carga. Dispondrá además de repetición de impulsos y entrada de sincronización horaria, así como de salida de información cuyo tipo se establecerá en cada caso.
- 1 codificador con módem para red telefónica conmutada, que puede tener las funciones de tarifador, compatible con el puesto central de telemedida de Sevillana-Endesa

8.6. Comunicaciones y telecontrol de la Subestación

De conformidad con el Pliego de Condiciones Técnicas para la conexión de Autogeneradores a la red de la empresa suministradora, se instalarán los enlaces de telecomunicación entre la instalación y el Centro de Control de Red a indicar por Sevillana-Endesa, que garanticen el transporte de las informaciones relativas al teledisparo y telecontrol.

Los equipos a instalar deberán ser capaces de gestionar de forma compatible los sistemas de control de Sevillana al menos las siguientes funciones:

Telemando

Tendrá como mínimo la posibilidad de una orden de disparo y bloqueo al cierre del interruptor de acoplamiento, así como una de desbloqueo que permita su reconexión.

Telemedida

- ✓ Potencia activa y reactiva de interconexión
- ✓ Tensión del lado de línea
- ✓ Tensión del lado de barra

Telecontaje

- ✓ Energía activa y reactiva de entrada a la instalación
- ✓ Energía activa y reactiva de salida a la instalación

Teleseñalización

Mediante contacto libre de potencial se enviará la señalización correspondiente al estado de los siguientes elementos:

- ✓ Interruptor de línea.
- ✓ Disparo por actuación de las protecciones de la interconexión. Esta señal agrupará el disparo por protecciones 27, 64, 59, 81M y 81m. Debe mantenerse al menos durante 0,1 s.
- ✓ Posición local-remota
- ✓ Faltan servicios auxiliares.

8.6.1. Sistema de control y monitorización del parque

Está concebido como un sistema de control distribuido con monitorización centralizada. Se compone de una serie de microprocesadores lógicos programables (PLC), uno en cada turbina, enlazados entre sí mediante cable apantallado ($3 \times 2 \times 0,50 \text{ mm}^2$), según una estructura de bus. Los diversos PLCs se conectan al bus a través de un convertidor de RS-232-C a RS-485 que proporciona mayor velocidad de transmisión de datos. Esta conexión se realizará en la propia torre por lo que será necesario tender el bus de comunicaciones de manera que se tenga acceso al mismo en cada torre. A través de un convertidor análogo al utilizado en las torres se conecta un ordenador de supervisión de planta ubicado en el edificio de control. La comunicación entre este ordenador de supervisión situado en el centro de control de la primera fase del parque y los aerogeneradores de la segunda fase se realizará mediante un sistema de comunicación vía radio. Este ordenador local enlaza a través de un segundo puerto serie

RS-232-C con un módem telefónico conectado a la red conmutada, lo que permite establecer en forma remota otro puerto de supervisión.

8.6.2. Medida de energía

Se dispondrán los equipos necesarios para la medida a efectos de tarificación de la energía producida, así como para permitir la comunicación remota con el Operador del Sistema. Estos equipos y sus instalaciones cumplirán las disposiciones del Reglamento de Puntos de Medida de los Consumos y Tránsitos de Energía Eléctricas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

La medida de la energía eléctrica se efectuará en la posición de AT del transformador de potencia del parque, disponiendo para ello de transformadores de medida adaptados a la legislación, para puntos de medida tipo 1 en configuración redundante, con el cuadro de contadores y registradores principales y redundantes situado en el interior del edificio de la Subestación del parque.

8.6.3. Sistema de Evacuación

La evacuación de la energía a 66 kV se prevé a través de la reforma de la línea de 20 kV que pasa por la parcela y cuyo origen se encuentra en la cercana Subestación de Santa Lucía.

La reforma prevista supone la sustitución de los apoyos desde el parque hasta la mencionada Subestación Santa Lucía con el fin de colocar un doble circuito mixto 20 y 66 kV. Con ello tendremos la capacidad de una línea de simple circuito en 66 kV para evacuación de ambos parques.

9. Sistema de control del parque

9.1. General

El sistema de control está compuesto por aquellos dispositivos que, en función de la programación y parámetros de funcionamiento establecidos, y de los valores proporcionados por los distintos elementos de medida, posibilitan la operación automática y estable del parque eólico.

Básicamente, el sistema de control está formado por los siguientes subsistemas:

- Sistema Automático de control de aerogenerador.
- Sistema Automático de control de parque:
 - Sistema de comunicación.
 - Torres meteorológicas de parque.

9.2. Sistema automático de control del aerogenerador

Descrito en el apartado sistema de control de la descripción del aerogenerador, básicamente gestiona las señales de los distintos sensores del aerogenerador para efectuar la operación automática de la misma, informando al sistema automático de control de parque.

9.3. Sistema automático de control del parque

9.3.1. Sistema de comunicaciones

Se ha previsto la existencia de un edificio de control del parque desde el que se monitorice datos tales como la producción eléctrica, estado de cada aerogenerador y valores anemométricos recogidos por las estaciones meteorológicas interiores a cada una de las máquinas.

Se partirá de la base de que el edificio en cuestión se encuentra construido a falta del equipamiento de control y la infraestructura eléctrica necesarias.

Se situará en una zona de fácil acceso en el interior del parque, entre los aerogeneradores 3 y 4. Es un área poco escarpada que facilitará las obras necesarias para su mejora.

9.3.2. Sistema de comunicaciones

Todos los aerogeneradores están comunicados entre sí por una red de fibra óptica. Su diseño permite la operación de los distintos componentes de modo automático a través del PLC, o manualmente, en caso de avería de éste. El parque estará gobernado por un PLC, que ejercerá la acción de control y supervisión, que estará ubicado en el centro de control ubicada en el mismo parque eólico.

Por lo tanto habrá comunicar el parque eólico con el edificio de control. Esta comunicación se realizará mediante una red de fibra óptica.

9.3.3. Conexionado

Los nodos que participan de la red de campo, en un parque eólico son cada uno de los aerogeneradores, cada una de las meteorológicas y el edificio de control, donde irán instalados los equipos de control. En principio todos los aerogeneradores y el edificio de control tienen el mismo tratamiento, salvo las torres meteorológicas, que por razones de espacio, se conectarán de distinta forma.

Todas las fibras han de ir identificadas en cada conexión identificando el número dentro del cable y la máquina de la que vienen o a la que van.

Se utilizará una red Lonworks. Con este tipo de red lo que tendremos será una estructura de anillo simple, para ello utilizaremos dos fibras, de las cuatro que tiene el cable internamente.

En cada aerogenerador cortaremos las fibras que tiene y las conectionaremos todas ellas con conectores hembra, a través de una roseta, de forma que en cada roseta, de cada aerogenerador tendremos 8 conexiones hembra, de las cuales utilizaremos 4 y otras 4 quedarán de reserva. De las 4 que utilizamos, dos son utilizadas para llevar y traer la señal del aerogenerador y las otras dos las hemos de puentear, de cara a que actúen como una fibra en paso. Las otras 4 conexiones que están de reserva, que corresponden con las dos fibras de reserva, deben de quedar suficientemente protegidas, es decir, en todas las rosetas las conexiones de reserva ST hembra, estarán cubiertas con protectores.