Universidad de La Laguna

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Plan de Mantenimiento de un Parque Eólico

Autor: Kim-André Kessler

Tutor: Ignacio Teresa Fernández

Curso: 2018/2019

Índice general

Capítulo 1: Introducción 5

1.1 Resumen 5

1.2 Abstract 6

1.3 Justificación de asignaturas 7

1.4 Fuentes 8

Capítulo 2: Energía 11

2.1 Introducción 11

2.2 Tipos de energía según el método de obtención 12

2.3 Energías no renovables 14

2.3.1 Energía nuclear 14

2.3.2 Energía obtenida del carbón 16

2.3.3 Energía obtenida por la cogeneración 18

2.3.4 Energía obtenida por ciclo combinado 20

2.4 Energías renovables 21

2.4.1 Energía solar 21

2.4.2 Energía hidráulica 24

2.4.3 Energía eólica 27

2.5 Problemas de las energías renovables 27

2.6 Estadística 28

Capítulo 3: Energía eólica 35

3.1 Introducción 35

3.2 Marco histórico 37

3.2 Aerogeneradores 38

3.2.1 Componentes y funcionamiento 38

3.2.2 Contaminación acústica 44

3.2.3 Tipos de aerogeneradores 45

3.2.4 Modelos de aerogeneradores 55
3.2.5 Evolución de los aerogeneradores 56
3.3 Parques eólicos 58
3.4 Estadística 61
Capítulo 4: Meteorología en Canarias 65
4.1 Introducción 65
4.2 Factores que influyen en el clima 66
4.2.1 Localización 66
4.2.2 Proximidad al continente africano 68
4.2.3 Inversión térmica 69
4.2.4 Corriente oceánica fría 70
4.2.5 El relieve 72
4.2.6 Mar de nubes 74
4.2.7 Conclusión 76
Capítulo 5: Ingeniería del mantenimiento 79
5.1 Introducción 79
5.2 Actividades de mantenimiento 80
5.3 Marco histórico 80
5.4 Estrategias de mantenimiento 82
5.4.1 Mantenimiento preventivo 82
5.4.2 Mantenimiento correctivo 84
5.4.3 Mantenimiento de actualización 85
5.4.4 Conclusión 86
5.5 Niveles de mantenimiento 86
5.6 Software de gestión de mantenimiento y reparación 87
5.7 Plan de mantenimiento 88
Capítulo 6: Mantenimiento del parque eólico 91
6.1 Introducción 91

6.2 Localización 91
6.3 Descripción de los elementos del parque eólico 92
6.3.1 Aerogenerador 93
6.3.2 Subestación 94
6.3.3 Otros 95
6.4 Tipos de averías 95
6.5 Identificación de componentes 96
6.6 Análisis de los componentes 98
6.7 Estándares de mantenimiento 104
6.8 Recursos 106
6.8.1 Recursos humanos 106
6.8.2 Recursos materiales 109
Capítulo 7: Presupuesto 111
Anexo I 114
Anexo II 126
Anexo III 129

Capítulo 1: Introducción

1.1 Resumen

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es la realización de un plan de mantenimiento de un parque eólico. El plan de mantenimiento servirá para identificar y analizar los componentes del parque eólico para posteriormente realizar acciones de mantenimiento sobre ellos. De esta manera, se aumenta la vida útil tanto de los aerogeneradores como de los demás componentes del parque eólico.

El plan de mantenimiento está encargado por la empresa Tenerife eólica S.A. La empresa busca construir un parque eólico en la isla de Tenerife de las islas Canarias en España.

La realización del plan de mantenimiento previo a la construcción del parque eólico facilitará a la empresa saber si le resulta rentable construir este parque eólico. Por esta razón, se adjuntará en el plan de mantenimiento el presupuesto necesario para llevarlo a cabo.

Sin embargo, para situar al lector, se explican una serie de conceptos para facilitar la comprensión del documento.

Inicialmente, se exponen los distintos tipos de energía que existen, profundizando posteriormente en los métodos de obtención de energía más importantes en la actualidad, clasificándolos en energías renovables y energías no renovables. El parque eólico está destinado a obtener energía, debido a esto es importante conocer cómo se obtiene energía en la actualidad. El parque eólico obtiene, tal y como indica su nombre, energía eólica. Es decir, energía a partir del viento.

Por esta razón, el capítulo posterior está dedicado a la energía eólica, prestándole especial atención a los aerogeneradores. Se explica tanto la evolución de los aerogeneradores, como los distintos tipos de aerogeneradores existentes.

Al producir energía a partir del viento, es importante conocer el clima canario, ya que se construirá el parque eólico en Canarias. Por esta razón, se exponen los factores que influyen en el clima canario, sobre todo en los factores que influyen sobre las corrientes de viento en Canarias.

El objeto del trabajo fin de grado es el mantenimiento de un parque eólico. Por esta razón, se detalla lo que es el mantenimiento. Se entra en detalle sobre los tipos de

mantenimiento existentes, así como los niveles de mantenimiento. Tras exponer los niveles de mantenimiento y los tipos de mantenimiento se entra en detalle sobre lo que es un plan de mantenimiento.

Tras exponer todos los conceptos, se presenta el plan de mantenimiento del parque eólico, con todas las acciones de mantenimiento que han de llevarse a cabo, así como las periodicidades y las duraciones de los mismos. Posteriormente, se detallan los recursos necesarios (tanto humanos como materiales) para elaborar finalmente el presupuesto del mismo.

1.2 Abstract

The objective of this project is the realization of a maintenance plan for a wind farm. The maintenance plan will serve to identify and analyze the components of the wind farm, so it is possible to carry out maintenance actions on them. This is important to increase the lifespan of both, the wind turbines and the other components of the wind farm.

The maintenance plan is commissioned by the company Tenerife eólica S.A. This company seeks to build a wind farm on the island of Tenerife of the Canary Islands in Spain.

The completion of the maintenance plan prior to the construction of the wind farm will make it easier for the company to know if it is profitable to build this wind farm. For this reason, the necessary budget to carry it out will be included to the maintenance plan.

However, to situate the reader, a series of concepts are explained to facilitate the understanding of this document.

Firstly, the most important methods of obtaining energy are exposed, classifying them in renewable energies and non-renewable energies. The wind farm is destined to obtain energy. That's why it is important to know how energy is obtained. The wind farm obtains, as its name indicates, wind power. That is, energy from the wind.

For this reason, the chapter that follows is devoted to wind energy, paying special attention to wind turbines. It explains both the evolution of wind turbines, and the various existing wind turbines.

When producing energy from the wind, it is important to know the weather on the Canary Islands. For this reason, the factors that influence on the weather of the Canary Islands

are exposed. Especially, the factors that influence the wind currents in the Canary Islands.

As the purpose of the final degree project is the maintenance of a wind farm, the next chapter goes into detail about the different types of maintenance, as well as the different maintenance levels existing. After explaining the maintenance levels and types of maintenance, it is explained what a maintenance plan is.

After presenting all the concepts, the maintenance plan of the wind farm is presented, with all the maintenance actions that have to be carried out, as well as the periodicities and durations of these actions. Subsequently, the necessary resources (both human and material) are detailed to finally elaborate the budget of the maintenance plan is exposed.

1.3 Justificación de asignaturas

En la siguiente tabla se mostrarán las asignaturas cuyo contenido haya sido de ayuda a la hora de la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Tabla 1.1

Asignatura	**Curso**	**Relación**
Métodos Estadísticos en la Ingeniería	1	Los ejercicios realizados en Excel sirvieron para la familiarización con el programa y para ver las distintas funciones del mismo
Fundamentos de Ingeniería Eléctrica	2	Un parque eólico tiene una serie de transformadores y generadores. En esta asignatura se introdujo al alumnado a los mismos.
Ampliación de Ingeniería Eléctrica	3	Se dieron en esta asignatura los distintos tipos de motores y generadores eléctricos.
Oficina Técnica/Proyectos	4	Se realizó un trabajo final que enseñó al alumnado la realización de proyectos como éste. Además, hay un tema reservado para la realización de mantenimientos

1.4 Fuentes

http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Frenar-el-cambio-climatico/Revolucion-Energetica/

https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales

https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/

https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/

http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/que-es-un-plan-de-mantenimiento

https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento

http://mantenimientopetroquimica.com/mantenimientoprogramadopetroquimica.html

https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento

https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento

https://prezi.com/_tlv3bvs5vej/mantenimiento-de-actualizacion/

https://www.mobility-work.com/es/blog/5-niveles-mantenimiento-correctivo-preventivo

https://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento_asistido_por_computadora

https://www.cerem.es/blog/claves-para-hacer-un-buen-dafo-o-foda

https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Canarias#Clima

https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-energia

https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf

https://www.csn.es/fusion-nuclear

https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2013/11/energia-nuclear.pdf

https://es.wikipedia.org/wiki/Fisi%C3%B3n_nuclear

https://erenovable.com/energia-de-carbon/

http://circuloastronomico.cl/energia/carbon.html

https://www.renovablesverdes.com/energia-del-carbon/

http://cimbarruelo.blogspot.com/2016/06/la-central-termica-de-carbon-del.html

http://www.larutadelaenergia.org/conversores/v5_b4.asp?v=4&b=3

http://www.tenaris.com/es-ES/Products/PowerGeneration/CoalFiredPowerPlants.aspx

https://www.kennametal.com/es/industry-solutions/energy/coal-energy.html

https://es.wikipedia.org/wiki/Cogeneraci%C3%B3n

https://www.renovablesverdes.com/cogeneracion/

http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/las-plantas-de-cogeneracion

https://www.soliclima.es/cogeneracion

https://www.energyavm.es/que-produce-sistemas-cogeneracion-de-electricidad/

https://www.energynews.es/congreso-cogen-espana-ayudas-a-la-cogeneracion/

https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_combinado

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

https://erenovable.com/como-funciona-la-energia-solar/

http://www.ekidom.com/funcionamiento-de-la-energia-solar-termica

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_hidr%C3%A1ulica

https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-hidraulica-426

https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/

http://www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica

https://www.iberdrola.com/te-interesa/iberdrola-te-cuenta/palas-aerogeneradores

https://www.microsiervos.com/archivo/mundoreal/aerogeneradores-parados.html

http://www.sotaventogalicia.com/es/area-tecnica/instalaciones-eolicas/funcionamiento

http://energiaeolicaparatodoslospublicos.blogspot.com/

http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

http://ligit0.uab.es/mtig/intranet/projectes/analisi/windweb/es/tour/design/updown.htm

http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wtrb/tower.htm

https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador_Darrieus

https://www.renovablesverdes.com/los-mayores-parques-eolicos-del-mundo/

https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana

https://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_mantenimiento

https://de.scribd.com/doc/35886996/Funciones-de-La-Ingenieria-de-Mantenimiento

https://www.datadec.es/blog/pasos-plan-mantenimiento-preventivo

http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcat=22&idcap=92&idcon=531

http://elauladehistoria.blogspot.com/2016/01/el-clima-de-las-islas-canarias.html

http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcat=22&idcap=92&idcon=532

https://es.wikipedia.org/wiki/Vientos_alisios

https://www.xataka.com/energia/utopia-conseguir-que-100-energia-sea-renovable-todos-desafios-que-tenemos-delante

Capítulo 2: Energía

2.1 Introducción

El concepto de energía se conoce como la capacidad para producir algún cambio que tiene un cuerpo o sistema. Estos cambios suelen ser, por ejemplo, de calentamiento o de movimiento, aunque pueden ser también otro tipo de alteraciones en el cuerpo. Debido a esto, se define la energía también como la capacidad de realizar un trabajo de un cuerpo.

La energía se mide en el Sistema Internacional en la unidad de Julios (J), pero dependiendo de la forma de energía se pueden utilizar también otras unidades como son la caloría (cal) o el Kilovatio por hora (KWh).

Existen numerosos tipos de energía, que se pueden clasificar de distintas formas. Los tipos de energía más conocidos son las siguientes:

- Energía mecánica: Energía que posee un cuerpo debido al movimiento y a su posición. La energía que posee un objeto debido al movimiento es conocida como energía cinética mientras que la energía que posee un cuerpo debido a la posición se conoce como energía potencial. La suma de ambas energías forma la energía mecánica

$$E_M = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

- Energía eléctrica: Energía que se produce mediante el movimiento de electrones dentro de un elemento capaz de conducir este tipo de energía, conociéndose este elemento como un elemento conductor. Los elementos que no son capaces de conducir este tipo de energía se conocen como elementos aislantes. La energía eléctrica es el producto de la potencia eléctrica y el tiempo.

$$E_{El} = P \cdot t$$

- Energía térmica: Energía que se produce con la vibración de las moléculas de un cuerpo. Cuanto mayor sea el número de moléculas que vibran, mayor es su temperatura y, por tanto, mayor es la energía térmica de este cuerpo. También

se conoce la energía térmica como la cantidad de energía que un cuerpo puede absorber o ceder.

$$E_T = Q = \Delta U + W$$

- Energía lumínica o luminosa: Energía transportada por la luz que se transmite por medio de ondas.
- Energía química: Energía que posee un cuerpo debido a la estructura interna, la cual es liberada en una reacción química.
- Energía acústica o sonora: La energía que transporta el sonido. Esta energía se produce con la vibración de un cuerpo, transfiriendo así el sonido en una onda.
- Energía magnética: Energía originada por campos magnéticos.

2.2 Tipos de energía según el método de obtención

Conociendo los tipos de energía más importantes, podemos entrar en la clasificación de la misma según el método de obtención, lo cual es lo que nos interesa para este plan de mantenimiento. Por lo tanto, según el método de obtención de la energía, podemos clasificar la energía como energía renovable y como energía no renovable. Estos dos métodos se distinguen principalmente en que las energías renovables son los tipos de energía que son casi inagotables en nuestro planeta, mientras que los tipos de energía no renovables no lo son.

Entonces, las energías renovables son aquellas que se obtienen de forma continua y sin que se agoten a escala humana. También son conocidas como energías limpias por su impacto casi nulo en el medio ambiente.

Conociendo las energías renovables, podemos definir las energías no renovables como las que no son inagotables. Es decir, este tipo de energía se obtiene a partir de una serie de recursos que están limitados en este planeta a escala humana. Por ello, es importante prescindir de este tipo de energía lo antes posible, para no acabar con estos recursos. Las energías no renovables que más se explotan en la actualidad son las energías nucleares, de carbón, de fuel y gas, de ciclo combinado y de cogeneración.

La generación, el transporte y el consumo de las energías no renovables son en la actualidad la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto conlleva a que se producen problemas ambientales como son por ejemplo la lluvia ácida

o el cambio climático. De hecho, dichos problemas son actualmente los mayores problemas ambientales en la actualidad.

Sin embargo, en los últimos años ha mejorado la situación, ya que, según la Agencia Europea del Medio Ambiente, se ha reducido significativamente la emisión de los contaminantes fósiles, sustituyéndolos por energías renovables. Pero, aun así, mientras que no se disminuya el uso de los combustibles fósiles, los efectos ambientales anteriormente tenderán a aumentar.

Actualmente, la producción de la electricidad, así como el transporte es en donde se emplea la mayor parte de la energía producida. En España, el transporte representa un 40% del consumo de energía primaria, mientras que la producción de electricidad poco más del 20%. En Canarias, sin embargo, estos valores difieren de forma notable, ya que debido a la situación geográfica de las islas el transporte supone un 72%, del cual únicamente un 35% está destinado al transporte terrestre. Es decir, más de la mitad del consumo se pierde en el transporte marítimo a las Islas Canarias y entre ellas. Mientras tanto, a la producción de la electricidad se dedica más de un 24% de la energía primaria.

Debido a estos problemas con la situación actual de la distribución entre energías renovables y energías no renovables, Greenpeace ha elaborado informes para llegar al 2050 con un 100% de energías renovables. En este informe se especifica que España cuenta con un potencial renovable suficiente para abastecer más de 56 veces la demanda eléctrica peninsular para 2050, ahorrando de esta manera más de 200.000 millones de euros al año de media. Aun así, se especifica también que, aunque se están produciendo cambios en el sistema energético, su ritmo es demasiado lento. Esto es debido a que, para que sea posible la realización de la transformación del modelo energético a la velocidad necesaria, es imprescindible la participación tanto del colectivo como de cada individuo.

En el año 2008 España fue líder mundial en energía fotovoltaica, pero en vez de seguir avanzando en las energías renovables, lo que se hizo fue echar a perder el futuro, quedándose estancado. Entre el año 2013 y el año 2016 prácticamente no fueron instaladas nuevas energías renovables en España. Incluso se llegó a instaurar en el año 2015 el famoso “impuesto al sol”, que consiste en un pago de impuesto por la red eléctrica general y su mantenimiento a los clientes que utilizan placas fotovoltaicas para generar su propia energía. Afortunadamente en el año 2018, este impuesto fue eliminado. Aun así, la situación generó dudas en la Comisión Europea sobre el cumplimiento de los compromisos internacionales con el medio ambiente por parte de España.

Aun así, la evolución de las energías renovables en España parece volver a tender a ser positiva ya que, tras el bajón de generación de energías renovables del 2017, la situación parece mejorar. Se instalaron nuevas energías renovables en España. El objetivo tiene que ser, mantener esta tendencia para lograr así que España pueda cubrir su demanda energética mediante energías 100% renovables.

Dentro de las energías renovables y las energías no renovables existen distintos tipos de energías, las cuales son divididas según el recurso o materia prima de las que son obtenidas. Es decir, existen subgrupos de obtención de la energía tanto dentro de las energías renovables como dentro de las energías no renovables.

Al tener actualmente el protagonismo, se procederá primeramente con las subclases de energías dentro de las energías no renovables, siguiendo posteriormente con las energías renovables.

2.3 Energías no renovables

Las energías no renovables tienen, como previamente dicho, el protagonismo actual en cuanto a la obtención de energía. Existen numerosos métodos de obtención de energías a base de recursos limitados. Se nombrarán los métodos de obtención más importantes de estas energías:

2.3.1 Energía nuclear

La energía nuclear es la energía que mantiene unidos neutrones y protones. Es decir, la energía contenida en el núcleo de un átomo, concretamente la energía potencial contenida en el mismo. La energía se aprovecha con el principio de la equivalencia que existe entre masa y energía. Es decir, la famosa fórmula de Albert Einstein:

$$\mathbf{E = m \cdot c^2}$$

En donde E es la energía liberada, m el incremento de masa y c la velocidad de la luz.

Esta ecuación nos indica que la masa se puede transformar en energía y viceversa. De esta manera, se libera energía cuando en un proceso se pierde masa. Al tener el

cuadrado de la velocidad de la luz un valor de $9x10^{18}$ m/s, aun desprendiéndose una cantidad muy pequeña de masa, se liberan grandes cantidades de energía.

Esta liberación se puede provocar mediante dos formas: fusión nuclear y fisión nuclear:

- Fusión nuclear: Reacción nuclear en la que dos núcleos ligeros se unen o "fusionan" para así formar un núcleo nuevo más pesado con una masa ligeramente menor a la suma de las masas de los núcleos a partir de los que se forma ya que normalmente se liberan partículas en el proceso.

  En este proceso se puede absorber o liberar energía, dependiendo de si la masa de los núcleos es menor o mayor que la del hierro. Si la masa de los núcleos es menor que la del hierro se libera energía mientras que si es mayor se absorbe.

  La fusión tendrá lugar aproximando los núcleos cargados positivamente, venciendo las fuerzas electrostáticas de repulsión. Sin embargo, para aproximar los núcleos a distancias muy cortas, es necesario alcanzar altas cotas de energía. Entonces, para lograr vencer las fuerzas electrostáticas de repulsión se suministra energía térmica o se utiliza un acelerador de partículas.

- Fisión nuclear: Reacción nuclear que consiste en la división de un núcleo pesado en dos o más núcleos más ligeros. La división se consigue bombardeando el núcleo con neutrones, convirtiéndose de esta manera en inestable.

  Al igual que en la fusión nuclear, se desprenden pequeñas partículas, por lo que la suma de las masas de los núcleos obtenidos es ligeramente menor a la del núcleo bombardeado por los neutrones.

  Este proceso origina un gran desprendimiento de energía y la emisión de dos o tres neutrones, que pueden ocasionar más fisiones en otros núcleos fisionables, que emitirán nuevos neutrones, repitiendo el proceso sucesivamente. Este tipo de fenómeno es conocido con el nombre de reacción en cadena. La energía obtenida en este proceso es un millón de veces mayor que, por ejemplo, en la reacción de combustión de un combustible fósil.

Estos procesos se realizan en centrales nucleares, en las que con la energía nuclear se obtiene energía eléctrica, aprovechando el calor producido en las reacciones nucleares.

Mediante un ciclo termodinámico convencional se produce el movimiento de alternadores que transforman el trabajo producido en energía eléctrica.

En la siguiente figura se expone gráficamente la obtención de energía a partir de una central nuclear con un ciclo termodinámico.

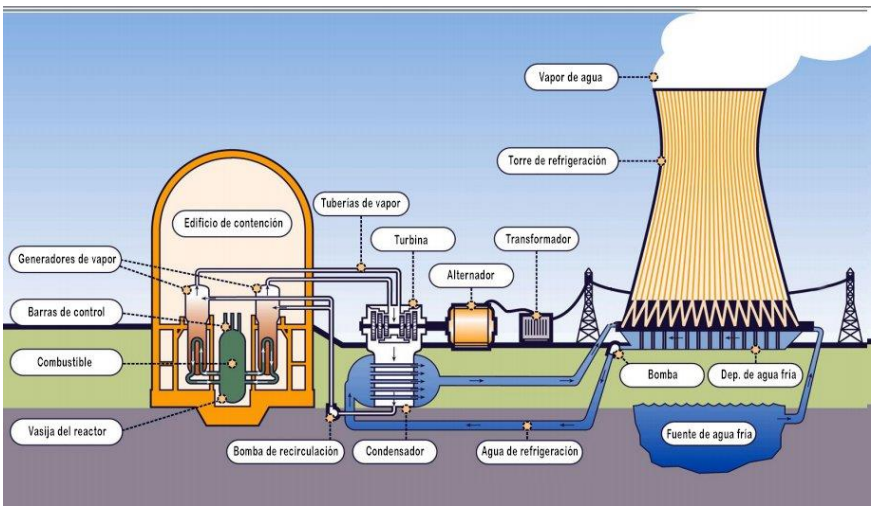


Figura 2.1 Fuente: Foronuclear

Actualmente, en España existen cinco centrales nucleares activas, con un total de siete reactores. Sin embargo, ninguno de estos reactores está localizado en las Islas Canarias.

La energía nuclear en relación con el uso de carbón no tiene un impacto medioambiental tan grande en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. Aun así, este impacto es existente, y se produce en el ciclo del combustible nuclear y la operación de las centrales nucleares. Sin embargo, el mayor problema de las centrales nucleares es el riesgo catastrófico, es decir, la posibilidad de que se liberen cantidades masivas de los productos de la fisión hacia el ambiente.

2.3.2 Energía obtenida del carbón

La energía se obtiene del carbón en centrales térmicas, normalmente en forma de energía eléctrica. La obtención consiste en convertir la energía térmica producida en la estación en energía mecánica, a través de un generador eléctrico se obtiene posteriormente electricidad. Se transforma agua en vapor de alta temperatura y alta presión mediante un generador de vapor. Tras generar el vapor, éste circula por una

serie de turbinas de vapor impulsando así el generador eléctrico, produciendo de esta manera electricidad.

En la siguiente figura se expone gráficamente el procedimiento de obtener electricidad a partir del carbón.

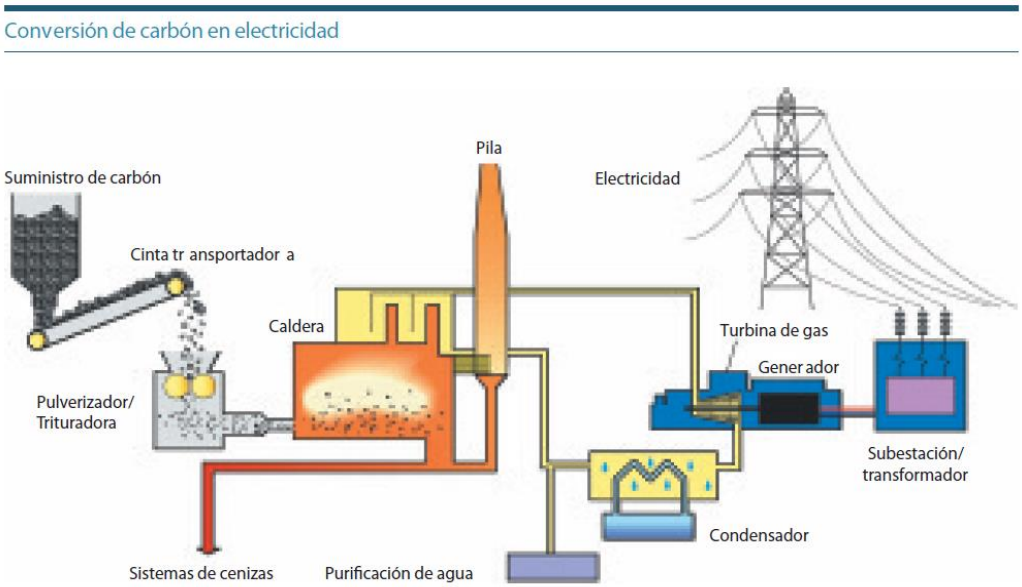


Figura 2.2 Fuente: Carbon unilibre

La energía obtenida del carbón es actualmente la mayor fuente de generación de energía eléctrica en nuestro planeta, aun siendo el carbón un recurso muy limitado que tarda decenas de millones de años en producirse. Es también el método de obtención de energía más contaminante de la actualidad, contaminando el aire con toneladas de dióxido de carbono y otros tipos de sustancias altamente tóxicas, promoviendo de esta manera el cambio climático.

Además, en el proceso de combustión, aparte de liberar grandes cantidades de dióxido de carbono, se liberan también grandes cantidades de dióxido de sulfuro o nitrato de sulfuro, los cuales son elementos altamente tóxicos.

Los elementos liberados y la energía producida crean también entornos altamente abrasivos, corrosivos y erosivos que pueden producir daños en los tubos de caldera o en la caldera en sí. De esta manera, las cenizas tóxicas generadas pueden liberarse al ambiente.

Aun siendo este método de producción de electricidad tan altamente tóxico y teniendo un impacto tan grave en el medioambiente, tal y como se mencionó anteriormente, sigue siendo uno de los métodos de obtención de electricidad más explotados. Una de las

principales razones por las que la energía obtenida del carbón es la mayor fuente de generación eléctrica y por las que actualmente es la más relevante del planeta es que fue el primer combustible mineral que la humanidad explotó industrialmente.

Otra razón es que es un método de obtención de electricidad barato, ya que, aunque siendo limitado es un recurso abundante, promoviendo así su explotación. Aunque este método es un método muy poco eficiente. Por lo tanto, aun siendo un método de producción de electricidad muy poco eficiente y muy contaminante se explota actualmente en grandes cantidades.

Así es como existen en la actualidad miles de plantas de electricidad con base de carbón alrededor del mundo, provocando un gran impacto medioambiental. El plan actual es eliminar hasta el año 2020 todas las centrales térmicas de carbón en España en las que no se realicen inversiones para rebajar las emisiones de dióxido de carbono.

2.3.3 Energía obtenida por la cogeneración

La cogeneración es un proceso de producción de energía que consiste en la obtención simultánea de dos o más tipos de energía, normalmente energía térmica y energía eléctrica.

Debido a que ambos tipos de energía han de ser aprovechadas, lo normal es que las plantas de cogeneración estén cerca de los consumidores. Esta es una de las razones por las que este tipo de producción es altamente eficiente, ya que al estar localizadas las plantas tan cerca de los consumidores, hay menores pérdidas de energía en el transporte.

Otra razón de la alta eficiencia es la mencionada producción simultánea de electricidad y energía térmica. Normalmente el calor que se desprende en los procesos de producción de energía no se puede aprovechar y se desecha al medioambiente perdiéndola de esta manera. En la cogeneración se aprovecha esta energía por lo que con el mismo combustible se generan dos tipos de energía con pocas pérdidas, reduciendo de esta manera el consumo de combustible.

Los combustibles utilizados normalmente son combustibles fósiles, siendo principalmente el gas natural, gasoil y fuel, que son limitados. Esto hace que este tipo de obtención de energía sea aun siendo altamente eficiente, una energía no renovable.

La electricidad se produce mediante un dinamo o alternador, que son puestos en movimiento mediante una turbina o un motor térmico con un tipo de combustible. La energía química del combustible se aprovecha entre el 25% y 46%, disipándose el resto en forma de calor. El calor es aprovechado con el principio de la recuperación y utilización ya sea en la propia planta o para los consumidores.

En la siguiente figura observamos gráficamente este procedimiento:

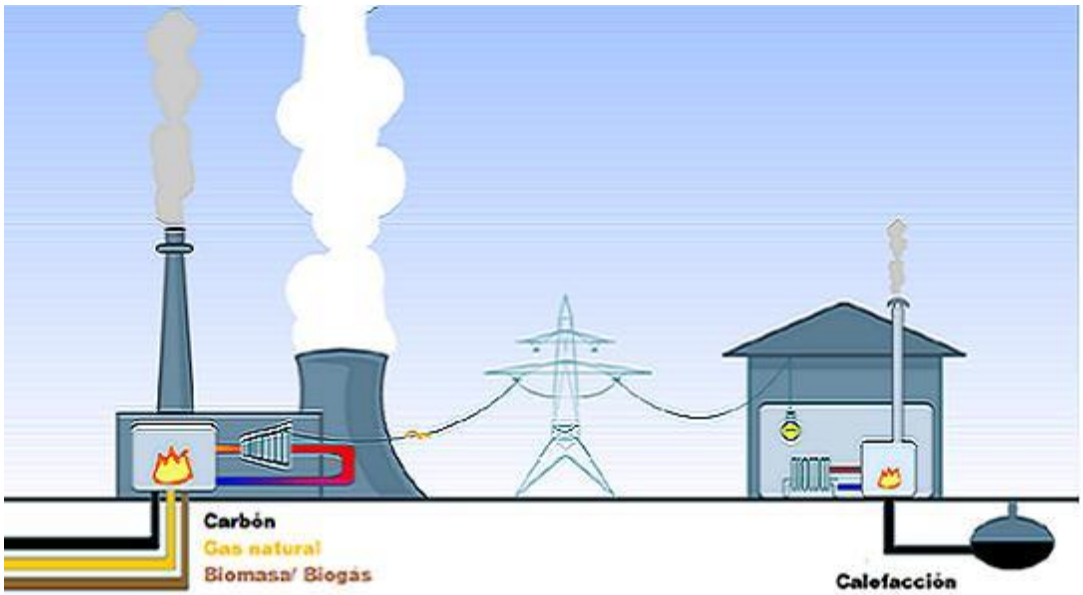


Figura 2.3 Fuente: renovablesverdes.com

Existe una ampliación del proceso de cogeneración, en el cual se producen más de dos tipos de energías de manera simultánea con el mismo combustible. Este proceso es conocido como la trigeneración, en donde se producen normalmente aparte de calor y electricidad frío a partir de calor residual mediante sistemas de absorción.

Aun siendo un método de obtención de gran eficiencia, no se debe de perder de vista que hace uso de combustibles contaminantes y tóxicos que tienen un impacto negativo en el medioambiente.

Sin embargo, por ser uno de los métodos de obtención de energía menos contaminantes, en España, igual que en Europa se está promoviendo este método de obtención para promover la lucha contra el cambio climático. El problema es que en los últimos años se hizo menos viable la obtención de energía con la cogeneración debido a la subida del coste por las emisiones de dióxido de carbono, que pasó de ser de 5€ por tonelada en el año 2013 a ser en 2018 de 20€ por tonelada. Aunque esto es bueno para frenar la producción de energía a partir del carbón.

2.3.4 Energía obtenida por ciclo combinado

El ciclo combinado se conoce como la generación de energía en el que coexisten dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema. Uno de los ciclos termodinámicos tiene como fluido de trabajo el vapor de agua y el otro un gas producto de la combustión. De esta manera se obtiene energía eléctrica mediante dos ciclos consecutivos haciendo uso de una turbina de gas convencional y una turbina de vapor. Las turbinas están conectadas a un alternador común generando de esta manera la energía eléctrica.

Como combustible se utiliza el gas natural en las centrales termoeléctricas de ciclo combinados, quemándolo y aprovechando los gases calientes generados moviendo las turbinas, generando de esta manera la electricidad.

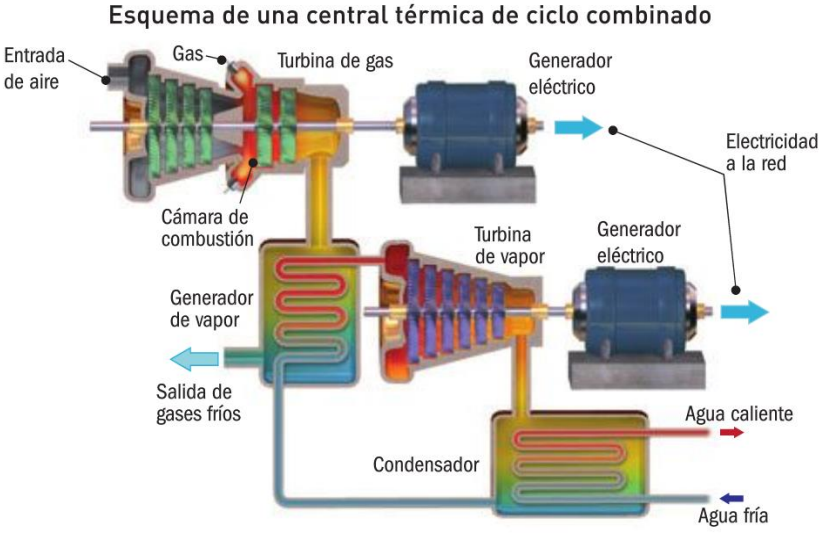


Figura 2.4 Fuente: pelandintecno

Al igual que el proceso de cogeneración, la producción de energía eléctrica a través de ciclos combinados es un método de producción limpio para ser una energía no renovable. Las razones por las que el ciclo combinado es más limpio que otras centrales convencionales como las plantas de carbón son:

- La alta eficiencia de estas centrales: Las centrales de ciclo combinado aprovechan en un 58% el combustible (frente a un 36% de centrales convencionales), lo que supone tanto ventajas económicas como medioambientales.
- Gas natural como combustible: El gas natural es un combustible mucho más limpio que el petróleo o el carbón, lo que atenúa el impacto medioambiental de este método de producción.

- Transporte del combustible: El combustible (gas natural) se transporta a las centrales a través de gasoductos, lo que evita la necesidad de vehículos de transporte reduciendo de esta manera las emisiones producidas en este transporte.
- Localización: Debido a las reducidas emisiones, existe la posibilidad de construir estas plantas cerca de los consumidores, acortando las líneas de conducción de electricidad, con lo que se evitan pérdidas innecesarias por el transporte de la electricidad.

El ciclo combinado convencional tiene una variante: el ciclo combinado a condensación, en donde se realizan procesos estrictamente de cogeneración. Esta variante del ciclo combinado posee una gran capacidad de regulación ante demandas de vapor muy variables.

2.4 Energías renovables

Tras profundizar en las energías no renovables entramos en las energías del futuro: las energías renovables, las cuales actualmente están por detrás de las energías no renovables. Aun así, actualmente existen, al igual que en las energías no renovables, numerosos subgrupos de las energías renovables en los cuales se va a profundizar posteriormente.

2.4.1 Energía solar

Tal y como indica el nombre, la energía solar es la energía obtenida a partir de la radiación procedente del Sol que alcanza la Tierra. Existen dos formas principales para el aprovechamiento de la energía solar, siendo la primera el aprovechamiento como fuente de calor para sistemas solares térmicos, y la segunda la energía solar como fuente de electricidad para sistemas solares fotovoltaicos.

La primera forma de aprovechamiento de la energía solar, el aprovechamiento como fuente de calor, consiste en un panel solar que capta la radiación solar absorbiendo de esta manera el calor que es transferido a un fluido. Este fluido calentado normalmente es llevado a un intercambiador en donde se transfiere el calor del fluido a otro fluido que

se almacena en un almacenador. Es necesario almacenar el fluido calentado ya que no siempre cuando se capta la energía solar hay demanda por parte de los consumidores. El movimiento de los fluidos es generado mediante bombas de circulación (motores eléctricos), las cuales impulsan el fluido para así transportarlo venciendo las pérdidas de carga de las tuberías.

En la siguiente figura se observamos cómo se obtiene la energía solar térmica.

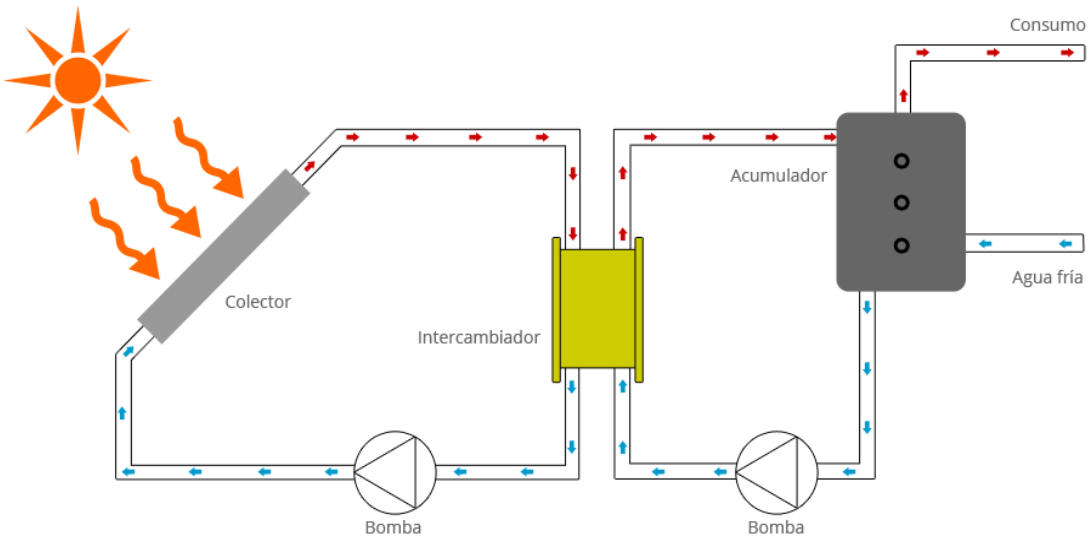


Figura 2.5 Fuente: ekidom.com

La segunda forma de aprovechamiento de la energía solar consiste en la transformación de la energía solar a energía eléctrica mediante paneles solares o paneles fotovoltaicos. Los paneles consisten en grupos de células o celdas solares que son las responsables de transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones).

En la superficie de las células impactan los fotones provenientes de la radiación luminosa, en donde son absorbidos por materiales semiconductores como por ejemplo el silicio. De esta manera los fotones golpean a los electrones de los liberándolos de los átomos a los que pertenecían, consiguiendo de esta manera que los electrones circulan por el material produciendo así la electricidad.

Las células son conectadas entre ellas en forma de un circuito en serie, aumentando así la tensión de salida de la electricidad. Asimismo, se conectan varias redes de circuito en paralelo para aumentar la capacidad de producción eléctrica que podrá proporcionar el panel.

La corriente obtenida de estos paneles es corriente continua. Sin embargo, a los consumidores interesa llevar la energía eléctrica en forma de corriente alterna. Debido a eso se transforma la corriente continua obtenida de los paneles en energía alterna.

Las técnicas de recolección de la energía solar se pueden clasificar en técnicas activas o técnicas pasivas según como es captada, convertida y distribuida la energía. Las técnicas activas hacen uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía mientras que entre las técnicas pasivas se encuentran distintas técnicas de la arquitectura bioclimática (Orientación e inclinación de paneles para su máxima eficiencia, orientación de edificios, selección de materiales adecuada, etc.).

El recurso empleado entonces para la producción de energía es la energía del sol. Esta energía es un recurso ilimitado mientras que exista el Sol, por lo que su producción de energía es cíclica. Por lo tanto, la energía solar es una energía renovable. Además, es una de las energías más limpias ya que no son necesarios recursos naturales ni ningún tipo de proceso químico o de combustión una vez construidas las infraestructuras. Acto siguiente no se producen gases contaminantes por lo que este método de obtención de energía no contribuye al cambio climático o al efecto invernadero.

Los paneles solares, aun necesitando de una inversión inicial, tienen una vida útil muy larga de entre 30 a 35 años. Además, cabe decir que el precio de las placas ha sido reducido bastante en los últimos años. A esto se le suma que los paneles apenas necesitan mantenimiento, por lo que los costes producidos por mantenimiento son bastante bajos. La energía solar es entonces un buen paso hacia el autoabastecimiento, ya que la instalación de las placas solares es algo que se puede realizar directamente en los domicilios y pueden realizarse con fines privados.

Sin embargo, la energía solar depende de la climatología o de la época del año en que nos encontremos, ya que, si no llega de forma adecuada o de forma suficiente la radiación lumínica a las placas, ésta no se puede aprovechar bien. Esto tiene como consecuencia que en algunas épocas del año se produce menos que en otras. Entonces, no se obtiene la misma energía solar de forma regular. Es lógico entonces que muchos lugares idóneos para la instalación de la energía solar son lugares áridos y desérticos. El problema es que dichos lugares están muy apartados de la civilización, por lo que se necesita transportar la energía, lo cual genera pérdidas.

Según los informes de Greenpeace, la energía fotovoltaica podrá suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030 e incluso en un estudio publicado en el 2007 por el Consejo Mundial de Energía se prevé que para el año 2100 el 70% de la energía consumida será proveniente de la energía solar.

España es uno de los países con la mayor cantidad de horas de sol a nivel europeo, lo que hace que la energía solar en este país es más rentable que en otros. Aun así, esta situación no es aprovechada como es debida. Aun teniendo en la zona más desfavorable en cuanto a irradiación solar anual (en el norte de España) una irradiación mayor que el promedio de irradiación anual de Alemania, el liderazgo en la promoción de energía solar fotovoltaica lo posee Alemania. Esto es debido a una serie de malas decisiones tomadas como el ya mencionado impuesto del sol.

Por otro lado, esto no fue siempre así. España inicialmente fue uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar. En 2008 fue uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo.

El futuro para la energía fotovoltaica en España sin embargo parece prometedor. España está viviendo un nuevo “boom” de energía solar, sobre todo en cuanto a autoconsumo. Se están tramitando proyectos de plantas solares con una potencia conjunta de unos 28.000 MW, con una inversión inicial estimada de alrededor de 23 600 millones de euros. Como referencia, actualmente España está produciendo alrededor de 4.700 MW según los datos de Red Eléctrica.

En Canarias hay incluso más horas de producción a través de energía solar diarias que en el resto de España. Canarias tiene 7 horas de producción mientras que el resto del país llega a las 5 horas. Debido a eso es de aún mayor importancia promover la energía solar en este archipiélago, logrando de esta manera el autoconsumo del mismo.

2.4.2 Energía hidráulica

La energía hidráulica, también conocida como energía hídrica o hidroenergía se basa en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas, transformando dicha energía en electricidad.

Este método de obtención de energía utiliza como materia prima el agua y supone un 7% del consumo mundial de energía primaria. Sin embargo, de forma indirecta, el Sol es el que mueve los hilos. El calor de la radiación solar evapora el agua situado en la superficie terrestre, formando de esta manera nubes, que a su vez se transforman en lluvia o nieve, formando de esta manera el ciclo del agua. Esto provoca el movimiento del agua en nuestro planeta a través de ríos o arroyos, el cual aprovechamos como energía hidráulica para producir electricidad.

En concreto, se aprovecha las energías cinéticas y potenciales del agua mediante turbinas. El agua en movimiento hace girar las turbinas conectadas a un alternador que convierte la energía cinética de las turbinas en electricidad.

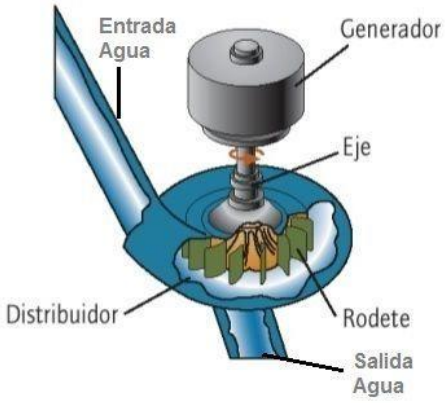


Figura 2.6 Fuente: aeatecnologia.com

Posteriormente se lleva la electricidad a un transformador en donde se transforma la electricidad obtenida a alta tensión para su posterior transporte a través de las líneas de alta tensión.

Un ejemplo de instalación hidráulica se puede observar en la siguiente imagen:

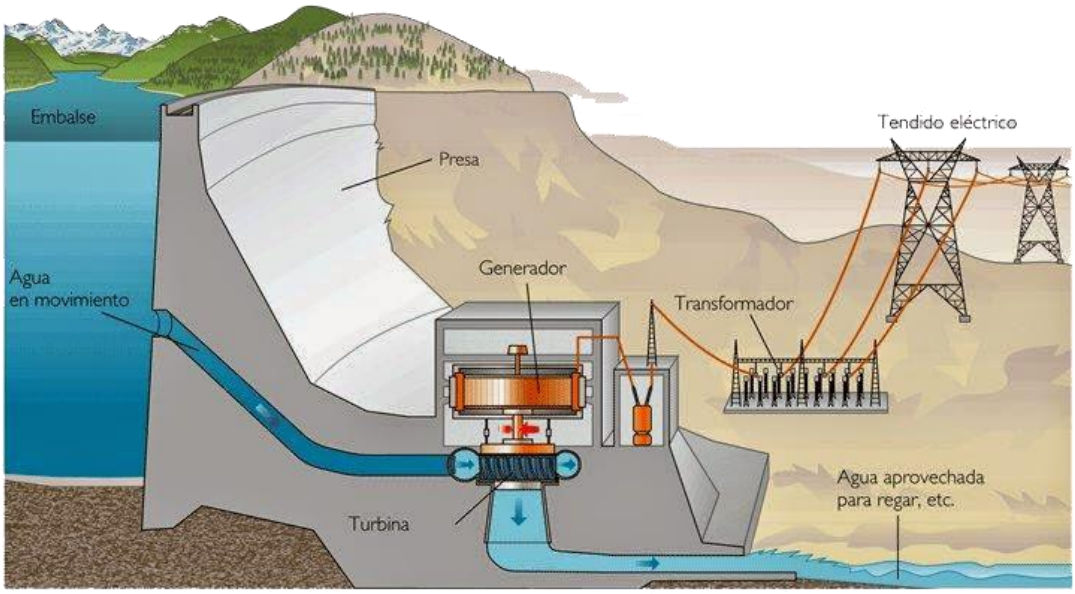


Figura 2.7 Fuente: serviespecialistas.com

Este método es usado también para almacenar energía en centrales hidroeléctricas de bombeo, en donde la energía sobrante de algún método de obtención de energía no almacenable es usada para accionar bombas hidráulicas que bombean agua a un nivel superior al actual. Acto siguiente, en las horas punta, se deja caer el agua poniendo en movimiento las turbinas y volviendo de esta manera producir la electricidad empleada para bombear el agua, aunque eso sí, con pérdidas. La energía eléctrica empleada para subir el agua no es igual a la energía eléctrica obtenida por temas de fricción, rendimiento, etc.

Una de las grandes ventajas de la energía hidráulica es el hecho de que es una energía de alto rendimiento energético. Además, al no utilizar un combustible fósil como fuente energética hace que el coste de operar una planta hidráulica es casi inmune al cambio de precios de estos combustibles a lo que se suma que no es necesario la importación de estos combustibles.

Otra ventaja es la larga vida útil de las plantas, existen plantas que después 100 años siguen operando. Por otro lado, los mismos costes de operación de las plantas son bajas debido a la automatización de las mismas, necesitando así pocos obreros para su operación normal.

Al usar el ciclo del agua como fuente energética, podemos decir que la energía hidráulica es una energía renovable, ya que este ciclo posee una disponibilidad casi inagotable. También es una energía limpia, ya que su obtención al no utilizar combustibles fósiles no produce emisiones tóxicas durante su funcionamiento.

Sin embargo, no son solamente ventajas las que traen las plantas hidráulicas. La construcción de los embalses de las plantas puede llevar a grandes inundaciones de terreno. De esta manera se pierden tierras fértiles, dañando de esta manera el ecosistema si no se tiene en cuenta el lugar de la construcción. También el ecosistema acuático se puede ver afectado por la propia existencia de las plantas, impidiendo migraciones de algunas especies acuáticas. Aunque actualmente se está trabajando en soluciones este tipo de problemas.

2.4.3 Energía eólica

La energía eólica es una energía renovable en la que se profundizará en el siguiente capítulo. Se le dedica un capítulo entero debido a la importancia que tiene en este plan de mantenimiento del parque eólico, ya que el parque eólico obtendrá energía eólica.

2.5 Problemas de las energías renovables

Existen una serie problemas que generan las energías renovables, sobre todo a la hora de que toda la energía consumida por el planeta provenga de energías renovables.

Uno de los principales inconvenientes a la hora de abastecer la energía del planeta mediante energías renovables al 100% es la intermitencia de estas energías. Al tener que asegurar que la energía generada debe ser igual a la energía consumida, la intermitencia supone un gran problema ya que el no poder fiarse al 100% de que siempre se genera la energía necesaria, puede llevar a que la energía necesaria para el consumo sea mayor a la energía generada. Es decir, puede darse el caso en el que no se puede consumir energía en algunas zonas debido a que la energía generada no es suficiente.

Esto es debido a la dificultad de almacenar las energías producidas. No es imposible el almacenamiento, pero sí complicado, principalmente por el coste generado para el almacenamiento. Debido a esto, la situación tecnológica actual tiene como consecuencia que el almacenamiento es económicamente inviable.

Debido a esto, siempre será necesario algún tipo de energía no renovable para poder reducir la incertidumbre de las energías renovables. Es decir, la meta debe ser aumentar al máximo el porcentaje de energías renovables de la energía consumida, empleando las energías no renovables para abastecer la demanda cuando la energía requerida para el consumo supera la generada.

Además, no se debería de subestimar que los componentes para la generación de las energías renovables son de origen contaminante, o provienen de materiales limitados en el planeta. Por ejemplo, los paneles solares o las turbinas de los aerogeneradores se fabrican a partir de metales, plásticos u otros productos químicos. Estos productos son procesados y manufacturados, lo cual supone un gasto en energía.

La extracción de estos materiales, suponen también una devastación del medio ambiente. Es decir, destrucción ambiental, contaminación del agua, desechos tóxicos y emisiones. Aunque cabe mencionar que para las energías no renovables existen los mismos problemas.

2.6 Estadística

En este apartado se expondrán los datos estadísticos de las energías renovables frente a las energías no renovables. Las siguientes imágenes indican la evolución de la energía renovable en España en los últimos años.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Generación renovable anual nacional [1] (GWh)

Concepto: Generación
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2007-2014

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Hidráulica [2]	27.105	22.935	26.186	41.834	30.437	20.654	37.385	39.182
Hidroeólica	-	-	-	-	-	-	-	1
Eólica	27.612	32.160	38.253	43.545	42.477	48.525	54.713	51.032
Solar fotovoltaica	484	2.498	6.072	6.423	7.441	8.202	8.327	8.208
Solar térmica	8	15	130	692	1.862	3.447	4.442	4.959
Térmica renovable [3]/Otras renovables [4]	2.589	2.869	3.317	3.332	3.714	3.791	4.334	3.816
Residuos renovables [5]	-	-	-	-	736	720	556	678
Generación renovable	**57.798**	**60.477**	**73.959**	**95.826**	**86.667**	**85.339**	**109.758**	**107.876**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] No incluye la generación bombeo.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
[4] Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
[5] El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Generación renovable anual nacional [1] (GWh)

Concepto: Generación
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2022

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica [2]	28.383	36.115	18.451	34.100	4.609	-	-	-
Hidroeólica	8	18	20	24	2	-	-	-
Eólica	48.118	47.697	47.907	49.526	9.721	-	-	-
Solar fotovoltaica	8.244	7.977	8.398	7.747	1.128	-	-	-
Solar térmica	5.085	5.071	5.348	4.424	428	-	-	-
Térmica renovable [3]/Otras renovables [4]	3.433	3.426	3.610	3.556	590	-	-	-
Residuos renovables [5]	818	785	877	874	143	-	-	-
Generación renovable	**94.088**	**101.089**	**84.611**	**100.251**	**16.621**	**-**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] No incluye la generación bombeo.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
[4] Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
[5] El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

Esta imagen proviene del informe de la serie estadística de energías renovables de Red Eléctrica de España. Se observa que la mayoría de la energía se sigue obteniendo de las energías no renovables, aunque se observa que hasta el año 2014 este porcentaje ha ido incrementándose drásticamente, alcanzando su valor máximo en ese año. Sin embargo, tras los logros del año 2014, la energía renovable se quedó estancada. Podemos observar en las figuras que el porcentaje se estabilizó por debajo de los 40%. En 2017 se incluso se ha llegado al valor más bajo desde el año 2012.

En Canarias el incremento de la energía renovable no es tan drástico, pero sí notable. En las siguientes imágenes del mismo informe de Red Eléctrica de España observamos cómo han evolucionado las energías renovables en los últimos años en Canarias, sobre todo en los últimos 2 años.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Generación renovable anual Islas Canarias [1] (MWh)

Concepto: Generación
Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2006-2013

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Hidráulica	0	1.176	1.673	398	0	1.655	1.769	3.031
Hidroeólica	-	-	-	-	-	-	-	-
Eólica	326.064	356.840	396.475	358.707	331.363	355.678	361.767	362.733
Solar fotovoltaica	2.916	19.373	63.500	162.330	195.166	232.999	256.513	286.703
Térmica renovable/Otras renovables [2]	218.200	213.283	217.219	273.055	160.561	8.816	8.050	8.503
Generación renovable	**547.179**	**590.672**	**678.867**	**794.490**	**687.090**	**599.148**	**628.100**	**660.971**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] Otras renovables incluyen biogás y biomasa.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Generación renovable anual Islas Canarias [1] (MWh)

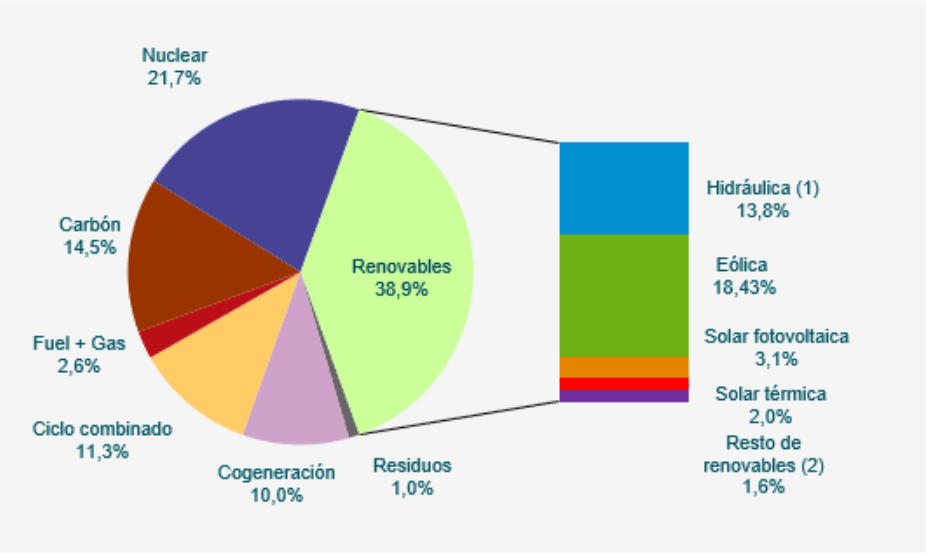
Concepto: Generación
Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2021

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Hidráulica	3.461	3.568	3.454	3.272	3.276	558	-	-
Hidroeólica	729	8.207	17.892	20.233	23.656	2.082	-	-
Eólica	389.529	396.687	393.081	395.925	620.571	104.190	-	-
Solar fotovoltaica	282.286	275.547	277.661	273.627	271.613	38.705	-	-
Térmica renovable/Otras renovables [2]	8.807	8.054	9.336	9.565	8.932	1.786	-	-
Generación renovable	**684.811**	**692.063**	**701.424**	**702.622**	**928.047**	**147.321**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] Otras renovables incluyen biogás y biomasa.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

La serie estadística del que provienen los datos anteriores se van actualizando periódicamente. Sin embargo, el último informe de energías renovables de Red Eléctrica de España es del año 2016. Se aportará un gráfico detallado de la distribución porcentual de las energías renovables y no renovables en el año 2016 para tener una visión global de las mismas.

En el siguiente gráfico se observa la distribución en porcentaje de los distintos tipos de obtención de energía:



(1) No incluye la generación de bombeo.

(2) Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeólica y residuos renovables.

Fuente: REE.

Figura 2.8 Fuente: Red Eléctrica España

Viendo de forma gráfica la distribución de los distintos métodos de obtención de energía vistos anteriormente. Sin embargo, solamente nos da una visión estática de la situación del año 2016. Para eso, Red Eléctrica de España adjunta en la serie estadística de las imágenes anteriores a esta un cuadro con la evolución de las energías renovables frente a las no renovables:

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual nacional (1) (%)

Concepto	% Renovable
Sistema eléctrico	Nacional
Horizonte temporal	Anual
Periodo	2007-2014

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Hidráulica (2)	9,4	7,8	9,4	14,5	10,9	7,3	13,7	14,7
Hidroeólica	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Eólica	9,6	10,9	13,7	15,1	15,2	17,1	20,0	19,2
Solar fotovoltaica	0,2	0,8	2,2	2,2	2,7	2,9	3,0	3,1
Solar térmica	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	1,2	1,6	1,9
Térmica renovable (3)/Otras renovables (4)	0,9	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,6	1,4
Residuos renovables (5)	-	-	-	-	0,3	0,3	0,2	0,3
Generación renovable	**20,1**	**20,5**	**26,5**	**33,2**	**31,1**	**30,1**	**40,1**	**40,6**

(1) Asignación de unidades de producción según combustible principal.
(2) No incluye la generación bombeo.
(3) Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
(4) Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
(5) El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual nacional [1] (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2022

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica [2]	10,6	13,8	7,0	13,1	10,2	-	-	-
Hidroeólica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Eólica	18,0	18,2	18,3	19,0	21,5	-	-	-
Solar fotovoltaica	3,1	3,0	3,2	3,0	2,5	-	-	-
Solar térmica	1,9	1,9	2,0	1,7	0,9	-	-	-
Térmica renovable [3]/Otras renovables [4]	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	-	-	-
Residuos renovables [5]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-
Generación renovable	**35,2**	**38,5**	**32,2**	**38,5**	**36,7**	**-**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] No incluye la generación bombeo.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
[4] Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
[5] El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

Por otro lado, Red Eléctrica de España nos permite, al igual que con la potencia generada, ver el impacto porcentual de cada energía renovable en Canarias. Esto es lo que nos indicarán las siguientes imágenes.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual Islas Canarias [1] (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2006-2013

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Hidráulica	-	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0
Hidroeólica	-	-	-	-	-	-	-	-
Eólica	3,7	3,9	4,2	3,9	3,7	4,0	4,1	4,3
Solar fotovoltaica	0,0	0,2	0,7	1,8	2,2	2,6	2,9	3,4
Térmica renovable/Otras renovables [2]	2,5	2,3	2,3	3,0	1,8	0,1	0,1	0,1
Generación renovable	**6,2**	**6,4**	**7,2**	**8,7**	**7,7**	**6,7**	**7,1**	**7,8**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] Otras renovables incluyen biogás y biomasa.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual Islas Canarias [1] (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2021

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Hidráulica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Hidroeólica	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	-	-
Eólica	4,6	4,6	4,5	4,4	7,0	7,3	-	-
Solar fotovoltaica	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	2,7	-	-
Térmica renovable/Otras renovables [2]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Generación renovable	**8,0**	**8,0**	**8,0**	**7,8**	**10,5**	**10,2**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] Otras renovables incluyen biogás y biomasa.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

Se observa que, aun teniendo una situación geográfica bastante favorable, Canarias no lo aprovecha como es debido. Sobre todo, la energía solar, que fácilmente es instalable en la isla, debería de aprovecharse mejor sabiendo que en Canarias hay más horas de

sol que en el resto de España. Comparándolo con el resto de España, Canarias tiene un porcentaje de energías renovables muy bajo.

Red Eléctrica de España nos permite también visualizar las emisiones de dióxido de carbono. De esta manera podemos ver el impacto medioambiental que tiene la generación de cada energía. Al ser las energías no renovables las que tienen el mayor impacto, está claro que interesa visualizar las emisiones de éstas.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional

Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2007-2014

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Carbón	67.098.598	44.182.945	33.053.374	22.515.583	41.018.591	51.090.897	37.469.461	41.083.754
Fuel + Gas [1]	8.400.621	8.222.911	7.683.629	7.321.668	6.051.870	6.120.699	5.481.838	5.089.248
Ciclo combinado [2]	27.123.794	35.538.149	30.729.259	25.826.072	20.964.448	16.373.878	11.375.536	10.497.514
Térmica renovable [3]	403.866	450.753	517.529	539.206	-	-	-	-
Térmica no renovable/Cogeneración y resto/Cogeneración [3]	8.664.126	9.871.389	10.568.296	11.440.743	11.320.247	12.004.385	11.409.196	8.936.700
Residuos no renovables	-	-	-	-	309.065	381.460	388.137	471.810
Emisiones (tCO_2)	**111.691.006**	**98.266.148**	**82.552.086**	**67.643.272**	**79.664.222**	**85.971.319**	**66.124.167**	**66.079.027**
Factor de emision de CO_2 (tCO_2/MWh)	**0,388**	**0,332**	**0,295**	**0,234**	**0,285**	**0,304**	**0,242**	**0,248**

[1] En el sistema eléctrico de Baleares y Canarias se incluye la generación con grupos auxiliares.
[2] Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza gasoil como combustible principal.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2010.
Para el año 2019 valores hasta 00 de 2019.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional

Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2021

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Carbón	49.985.654	35.448.089	42.768.449	35.649.124	5.455.261	-	-	-
Fuel + Gas [1]	5.245.263	5.481.852	5.686.516	5.383.413	782.170	-	-	-
Ciclo combinado [2]	12.047.200	11.965.815	14.943.266	11.841.871	2.419.987	-	-	-
Térmica renovable [3]	-	-	-	-	-	-	-	-
Térmica no renovable/Cogeneración y resto/Cogeneración [3]	9.324.325	9.586.198	10.438.368	10.733.606	1.868.939	-	-	-
Residuos no renovables	595.226	625.671	625.916	584.830	94.753	-	-	-
Emisiones (tCO_2)	**77.197.668**	**63.107.625**	**74.462.516**	**64.192.845**	**10.621.110**	**-**	**-**	**-**
Factor de emision de CO_2 (tCO_2/MWh)	**0,289**	**0,241**	**0,284**	**0,246**	**0,235**	**-**	**-**	**-**

[1] En el sistema eléctrico de Baleares y Canarias se incluye la generación con grupos auxiliares.
[2] Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza gasoil como combustible principal.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2010.
Para el año 2019 valores hasta 00 de 2019.

En este informe se muestran las emisiones en toneladas de dióxido de carbono (CO_2). Los datos de las emisiones vienen acompañados por el factor de emisión de dióxido de carbono anual. Dicho factor relaciona la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera (dióxido de carbono) con la actividad asociada a la contaminación, en este caso el método de obtención de electricidad correspondiente. Cuanto más cerca de la unidad el valor, mayor es la contaminación de la actividad en toneladas de dióxido de carbono por cada MWh producido.

Este informe nos permite al igual que los anteriores visualizar los mismos datos para las emisiones en Canarias

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual Islas Canarias

Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2006-2013

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Motores diesel	1.646.284	1.674.442	1.725.088	1.755.373	1.790.378	1.772.273	1.728.923	1.694.587
Turbina de gas	1.071.760	909.311	615.584	444.824	446.266	687.437	778.271	479.480
Turbina de vapor	3.052.692	2.943.056	3.038.674	2.886.829	2.645.603	2.344.523	2.386.709	2.192.779
Ciclo combinado (1)	1.565.770	1.905.755	2.007.187	1.990.816	2.112.560	2.273.409	2.238.853	2.297.997
Generación auxiliar (2)	-	98.302	66.413	25.003	-	-	-	-
Térmica no renovable/Cogeneración y resto	1.133	-	-	8	-	9.923	-	-
Cogeneración	-	-	-	-	-	-	-	-
Emisiones (tCO_2)	**7.337.639**	**7.530.865**	**7.452.946**	**7.102.853**	**6.994.807**	**7.087.564**	**7.132.757**	**6.664.843**
Factor de emision de CO_2 (tCO_2/MWh)	**0,832**	**0,817**	**0,799**	**0,780**	**0,786**	**0,800**	**0,803**	**0,784**

(1) Utiliza gasoil como combustible principal. Incluye funcionamiento en ciclo abierto.

(2) Grupos de emergencia que se instalan de forma transitoria en determinadas zonas para cubrir un déficit de generación.

Para el año 2019 valores hasta 00 de 2019.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual Islas Canarias

Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2021

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Motores diesel	1.753.323	1.805.917	1.822.287	1.838.706	1.378.757	212.622	-	-
Turbina de gas	468.968	426.147	358.671	408.649	318.476	45.794	-	-
Turbina de vapor	1.842.987	1.978.426	2.257.167	2.380.211	2.209.889	388.469	-	-
Ciclo combinado (1)	2.527.662	2.486.684	2.346.500	2.337.954	1.830.613	291.883	-	-
Generación auxiliar (2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Térmica no renovable/Cogeneración y resto	-	-	-	-	-	-	-	-
Cogeneración	-	-	-	-	-	-	-	-
Emisiones (tCO_2)	**6.592.938**	**6.697.174**	**6.784.626**	**6.965.520**	**5.737.735**	**938.769**	**-**	**-**
Factor de emision de CO_2 (tCO_2/MWh)	**0,776**	**0,776**	**0,776**	**0,780**	**0,649**	**0,655**	**-**	**-**

(1) Utiliza gasoil como combustible principal. Incluye funcionamiento en ciclo abierto.

(2) Grupos de emergencia que se instalan de forma transitoria en determinadas zonas para cubrir un déficit de generación.

Para el año 2019 valores hasta 00 de 2019.

A nivel de Canarias observamos que lógicamente las emisiones totales son menores. Pero esto es debido a que Canarias es solamente una parte de España, por lo que no indica realmente la eficiencia de las plantas de generación de energía. Para ver realmente la eficiencia que tienen los distintos métodos de obtención de las energías expuestas se muestra el factor de emisión. Se observa que la situación es muy desfavorable en Canarias respecto a España, aunque se ha reducido considerablemente en los últimos años. El objetivo debe de ser reducirlo aún más para mejorar de esta manera la situación.

De forma más visual, se adjunta este gráfico de la generación de energías renovables frente a las energías no renovables:

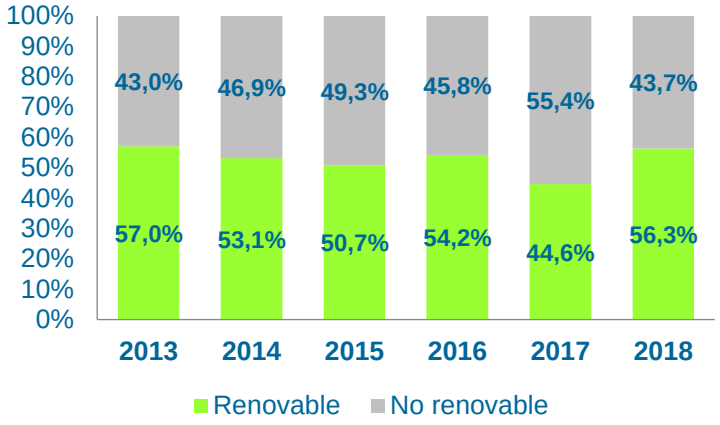


Figura 2.9 Fuente: Red Eléctrica de España

Además, para obtener una visión general de la evolución de la generación neta de las distintas energías en España se expone el siguiente gráfico realizado también por Red Eléctrica de España:

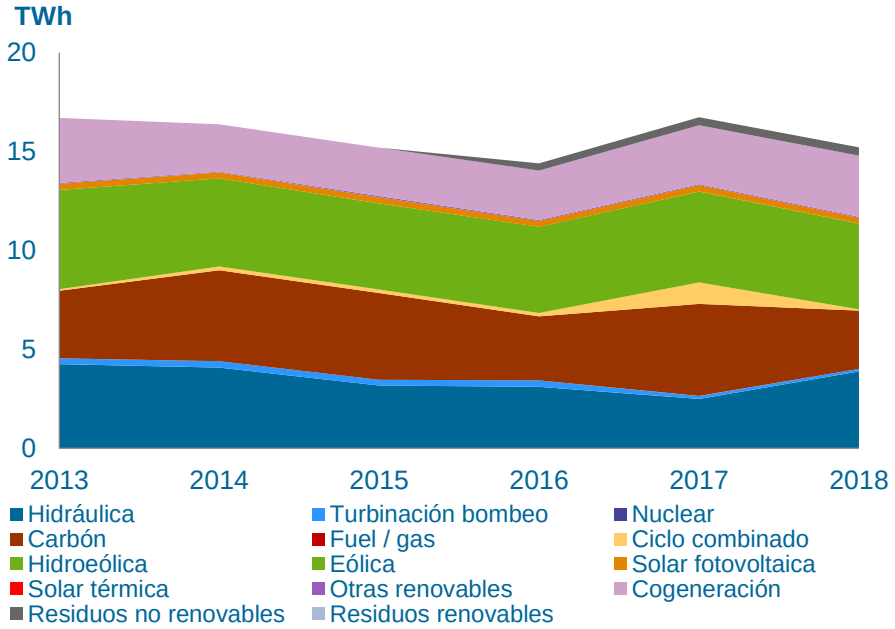


Figura 2.10 Fuente: Red Eléctrica de España

Capítulo 3: Energía eólica

3.1 Introducción

La energía eólica se basa en el aprovechamiento de la energía cinética del viento. Las corrientes de viento ponen en movimiento unas turbinas de aire, conocidas también como aerogeneradores, que conectadas a un generador eléctrico producen energía eléctrica. La agrupación de una serie de aerogeneradores es conocida como un parque eólico.

La energía eólica es una energía limpia, ya que su generación no produce emisiones tóxicas que son liberadas al medio ambiente. Además, el viento es un recurso casi inagotable, por lo que la energía eólica es una energía renovable. A esto se le suma que la energía eólica es compatible con otro tipo de actividades como son la actividad agrícola y la actividad ganadera.

Sin embargo, como en todos los métodos de obtención de energía existen una serie de desventajas. La desventaja más visual es el impacto que tiene un aerogenerador en el paisaje. Este impacto estético genera en ocasiones un malestar en la población local. Además, la existencia de los parques eólicos puede afectar negativamente a las aves, ya que las palas de un aerogenerador pueden alcanzar velocidades de hasta 70 kilómetros por hora. Las aves no son capaces de reconocer las palas a estas velocidades y con facilidad chocan con ellas. Otra desventaja es que el viento no está garantizado, pueden realizarse predicciones, pero sobre todo en intervalos pequeños de tiempo pueden surgir cambios en el movimiento del aire impredecibles. A esto se le suma que la energía eólica no es almacenable por lo que tiene que ser consumida al instante.

Al emplear la energía eólica el viento como fuente primaria, es interesante conocer lo que provoca estos movimientos del aire. El viento es formado por el calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte del Sol, lo que genera una diferencia de presiones en el aire. La superficie calentada transfiere el calor al aire de los alrededores por lo que éste, como cualquier otro tipo de gas, se dilata al ser calentado volviéndose así menos denso. Entonces, el aire caliente asciende y el aire frío desciende. Por otro lado, al tener el agua una inercia térmica mayor que la superficie terrestre, ésta se calienta de forma más lenta. De esta manera la superficie terrestre tiene una temperatura superior a la superficie acuática, es decir, la temperatura del aire por encima de la superficie terrestre es mayor a la temperatura del aire por encima de la

superficie acuática. De esta manera se producen las brisas marinas, en donde el aire caliente asciende por ser menos densa y el aire más frío en la superficie acuática toma su lugar. Por la noche ocurre lo contrario, debido a la ya mencionada inercia térmica superior que tiene el agua respecto a la superficie terrestre, las superficies acuáticas almacenan el calor durante más tiempo. Es decir, el aire a los alrededores del agua es más caliente que el aire a los alrededores de la superficie terrestre. Entonces el aire frío de la superficie terrestre reemplaza el aire caliente que asciende por encima de la superficie acuática, generando de esta manera la llamada brisa de Tierra.

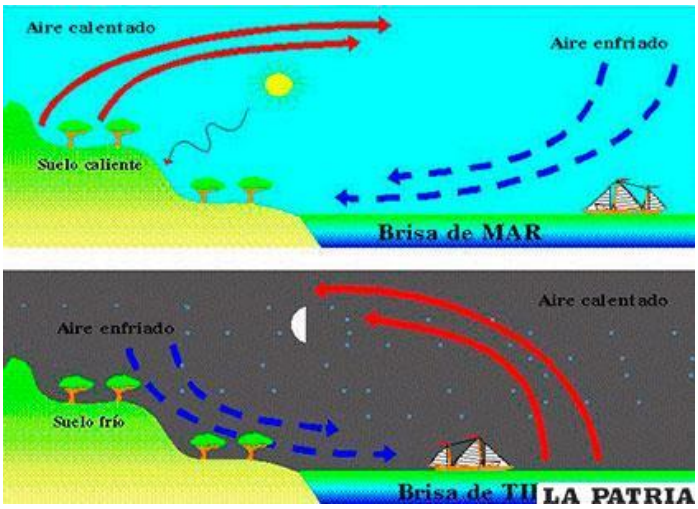


Figura 3.1 Fuente: lapatriaenlinea.com

Podemos decir entonces, al igual que en la generación de energía hidráulica, que la fuente indirecta de la energía eólica es el Sol. De hecho, se calcula que entre un 1 y un 2% de la energía que llega a la Tierra del Sol es transformada de forma efectiva en viento.

La instalación de parques eólicos requiere de una considerable inversión inicial, sin embargo, tras la instalación ya no hay gastos en combustible (excepto para actividades ajenos a la obtención del viento como por ejemplo las actividades de mantenimiento del parque eólico). Debido a que no existen estos gastos, el precio de la energía eólica es más estable que otros métodos de obtención de energía, como por ejemplo la obtención de energía a partir del carbón.

El correcto aprovechamiento de la energía proporcionada por el viento depende de una serie de factores: La variación de la velocidad del viento respecto a la altura sobre el suelo, variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, valores de ráfagas en cortos espacios de tiempo, así como los valores máximos ocurridas de las mismas

en un historial de mínimo 20 años. Esto son solamente los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de situar los aerogeneradores.

Para producir la rotación del rotor de un aerogenerador es necesario como mínimo una velocidad de 3 metros por segundo del viento y como máximo 25 metros por segundo, dependiendo este factor del tipo de aerogenerador empleado. Además, los aerogeneradores actuales no son capaces de aprovechar los vientos que no son paralelos al horizonte.

3.2 Marco histórico

La energía eólica es una de las formas de obtención más antiguas junto a la energía térmica. Alrededor del año 3000 a.C. en el antiguo Egipto se utilizaba ya la energía del viento para poner en movimiento los primeros barcos veleros.

En el siglo VII se crearon los primeros molinos de uso práctico de eje vertical con velas de tela para moler grano o para bombear agua. Estos molinos fueron construidos en Sistán en la antigua Persia y la actual Afganistán. En Europa aparecieron los primeros molinos en el siglo XII en Francia e Inglaterra y se extendieron por toda Europa.

Consistían en torres de piedras coronadas por una estructura rotativa de madera con función de soportar el eje del molino, así como la maquinaria superior del mismo.

Los primeros ejemplares constaban de un eje horizontal que sobresalían de la parte superior del molino. De dicho eje salían de cuatro a ocho aspas con una longitud entre 3 y 9 metros cubiertas de telas o planchas de madera.

En la siguiente imagen se observa uno de estos ejemplares:

Figura 3.2 Fuente: fuentesrenovables.blogspot.com

Sin embargo, con el surgimiento de la máquina de vapor durante la Revolución Industrial, se estancó el desarrollo de la energía eólica y los molinos perdieron peso a la hora de la obtención de energía.

La energía eólica volvió a tener importancia a principios del siglo XX con numerosos trabajos tanto en Europa como en Estados Unidos, iniciando así la etapa moderna de la energía eólica. Sin embargo, hasta los años 70 con la aparición de la primera crisis de petróleo surgió un interés creciente por las energías renovables, entre ellas la enegía eólica. A finales de esta década se comenzó con la producción en serie de turbinas de viento por distintos fabricantes como Kuriant, Vestas, Nordtank y Bonus, con capacidades de entre 20 a 30 KW. Desde entonces, la capacidad de los aerogeneradores ha ido aumentando de forma continua y la producción se ha expandido en numerosos países.

En el año 1980 se llegaron a generar hasta 55 KW. De esta manera en los años 80 comenzó a crecer de forma imparable la energía eólica. Sobre todo, a partir de los movimientos y protestas contra la energía nucleara. En los años 90 se produjeron como consecuencia los avances que convirtieron a la energía eólica en una fuente de energía alternativa viable frente a las energías tradicionales.

En el año 2001 se fundó la Asociación Mundial de Energía Eólica (World Wind Energy Association) en Dinamarca, que fue concebida como una organización internacional para la promoción mundial de esta fuente de energía. Actualmente la asociación cuenta con unos 500 miembros en más de cien países. Además, actualmente la energía eólica es generada en más de 80 países.

3.2 Aerogeneradores

3.2.1 Componentes y funcionamiento

Tal y como se mencionó anteriormente, la energía eólica se produce a partir de aerogeneradores. Los aerogeneradores son, tal y como indica su nombre, generadores eléctricos que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Al ver un aerogenerador, lo que salta a la vista son la góndola, las palas del rotor y un largo mástil que sostiene el aerogenerador, conociendo a la góndola como la carcasa que protege el mecanismo interno del aerogenerador. Sobre el mástil se fijan las palas

del rotor y la góndola. Su diseño y composición permiten que aguante un peso de hasta 15 elefantes adultos.

Figura 3.3 Fuente: Iberdrola

Se puede observar que los aerogeneradores son normalmente pintados de blanco (o gris claro) para reducir el impacto visual que provocan, ya que el blanco es un color poco llamativo, aunque distinguible. La razón por la que no se pintan de colores como el azul, verde o marrón (los cuales tienen un impacto visual menor que el blanco), es que provocaría que las aves tendrían una aún mayor dificultad de distinguir los aerogeneradores. Esto viene recogido en el Real Decreto 862/2009, de 14 de mayo (Normas Técnicas de Diseño y Operación de Aeródromos de Uso Público. Existe la posibilidad de pintar los aerogeneradores de un color distinto a los que están recogidos en este reglamento, sin embargo, esto debe de ser aceptado por AESA (Agencia de seguridad aérea). Una excepción es por ejemplo cuando se sitúan los aerogeneradores en zonas en donde nieva frecuentemente. En estas zonas hay que distinguir los aerogeneradores del entorno con, por ejemplo, distintos colores en el propio aerogenerador.

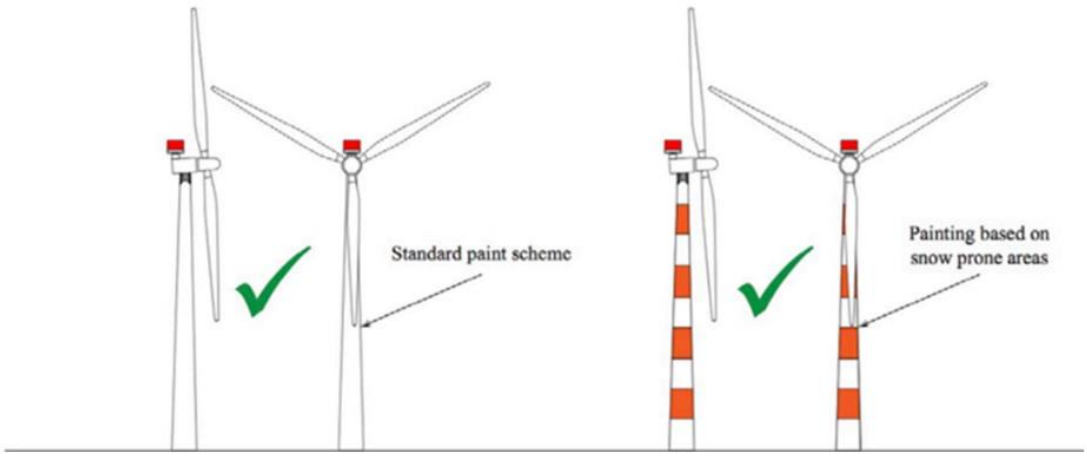


Figura 3.4 Fuente: Seguridad Aérea

Además, los aerogeneradores son señalizados con distintos tipos de iluminaciones para evitar conflicto con el tráfico aéreo. Estas iluminaciones se encuentran localizadas en la zona superior de la góndola. Según la altura de los aerogeneradores se decide si lleva o no señalización lumínica y, en caso de que lleve iluminación, el tipo de la misma:

- Se aconseja que los aerogeneradores con una altura igual o menor a 45 metros estén señalizados mediante balizas de obstáculo de baja intensidad de tipo B, funcionando las 24 horas del día. En el caso de que el aerogenerador está localizado en una zona afectada por Servidumbres Aeronáuticas, ésto es obligado.
- En los aerogeneradores con una altura comprendida entre los 45 y 80 metros, en zonas no afectadas por Servidumbres Aeronáuticas, igual que en el caso anterior se aconseja una señalización mediante un obstáculo de baja intensidad de tipo B. En zonas afectas por Servidumbres Aeronáuticas es de obligación disponer de un sistema Dual Media A / Media C.
- Los aerogeneradores con una altura entre 80 y 100 metros, en las zonas afectadas por Servidumbres Aeronáuticas deben por obligación tener un sistema Dual Media A / Media C. En casos en donde los aerogeneradores estén fuera de esta zona, esto es sólo una recomendación.
- Los aerogeneradores con una altura entre 100 y 150 metros, por defecto están obligados a disponer de un sistema Dual Media A / C.
- Para los aerogeneradores con una altura mayor a 150 metros es de obligación disponer de un sistema Dual Media A / C, así como iluminaciones redundantes (para prevenir los casos de avería) en la propia torre. Las iluminaciones de la

torre deben ser luces de baja intensidad Tipo E, o en caso de que estas no son apropiadas, iluminaciones de baja intensidad A o B.

Figura 3.5 Fuente: Seguridad Aérea

En la parte izquierda se observa un aerogenerador con un obstáculo de baja intensidad de tipo B situado por encima de la góndola (Aerogenerador con una altura menor o igual a 45 metros). En la parte derecha se observa un aerogenerador con un sistema Dual Media A / C que tiene iluminaciones en la torre (Aerogenerador con una altura superior a 150 metros).

También podemos ver que hoy en día los aerogeneradores más usados son los de tres palas que giran alrededor de un eje horizontal, ya que es a día de hoy la opción más eficiente desde el punto de vista técnico. A menos palas, mayor es el equilibrio. Las 3 palas sin embargo son necesarias para poner en movimiento el aerogenerador.

Los aerogeneradores cuentan además con una veleta situada por encima de la góndola, permitiendo de esta manera la orientación de los aerogeneradores para el aumento de la eficiencia. Así se puede aprovechar el viento desde distintas direcciones. Este mecanismo de orientación tiene un controlador electrónico para realizar las orientaciones de forma correcta. Sin embargo, el giro necesario para la orientación crea problemas en el cableado del aerogenerador, por lo que se suelen dejar los cables que van de la góndola hacia la base de la torre colgando en los primeros metros, sin sujeción alguna. En el resto del tramo hasta la base de la torre se sujeta el cable en las paredes de la torre. De esta manera, se atenúan los efectos que tiene el giro de orientación del aerogenerador a los cables del mismo.

Aparte de controlar la orientación del aerogenerador, el controlador electrónico se encarga de monitorizar las condiciones del aerogenerador para asegurar el funcionamiento del mismo. Esto lo hace con la ayuda de sensores de control, que miden los parámetros físicos de funcionamiento y supervisión de la turbina. Con el fin de proteger los elementos del aerogenerador se para el equipo automáticamente cuando los sensores detectan datos erróneos.

El material empleado para la construcción de las palas de los aerogeneradores es generalmente el poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio. Como material de refuerzo se suele emplear fibra de carbono o aramidas. Sin embargo, se están investigando distintos tipos de materiales como por ejemplo la utilización de componentes de madera.

Además del material, el diseño de las palas es un factor muy importante a la hora de construir un aerogenerador ya que para que el viento sea capaz de generar el movimiento de las palas, es necesario que éstas tengan la forma adecuada. El diseño debe asegurar que el viento incida perpendicularmente en las palas, lo que se consigue mediante el llamado perfil aerodinámico. En la siguiente imagen podemos ver la forma que toman las palas de los aerogeneradores.

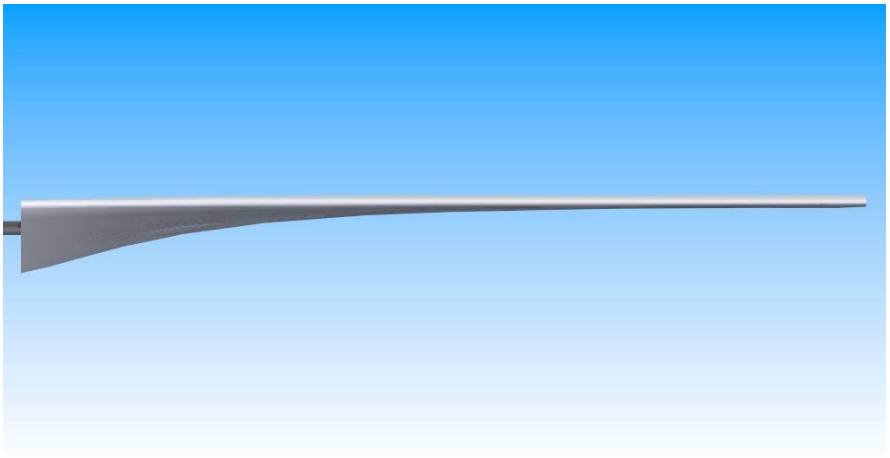


Figura 3.6 Fuente: Opex Energy

Las palas de los aerogeneradores son unidas a una multiplicadora con una pieza llamada buje. La multiplicadora se encarga de aumentar la velocidad de giro más bien lenta de las palas en una velocidad de giro unas 115 veces mayor mediante una serie

de engranajes. Esto permite transformar esta energía mecánica mediante un generador en energía eléctrica. El generador al alcanzar su velocidad de sincronismo (generalmente de 1500 revoluciones por minuto) se conecta a la red de forma suave mediante tiristores. Tras la conexión se conecta el generador a la red mediante un interruptor. Los cables son evacuados en el interior de la torre hasta la base.

En resumen, al detectar viento en cualquier dirección por los sensores, el controlador orienta al aerogenerador. De esta forma el viento incide de forma perpendicular en las palas del rotor para poniéndolas así en movimiento. Éstas giran así alrededor del eje horizontal del aerogenerador (eje lento). Mediante una serie de engranajes de la multiplicadora se pone a girar el eje de alta velocidad conectado a un generador eléctrico, generando de esta manera energía eléctrica.

A continuación, observa el esquema de principio de un aerogenerador:

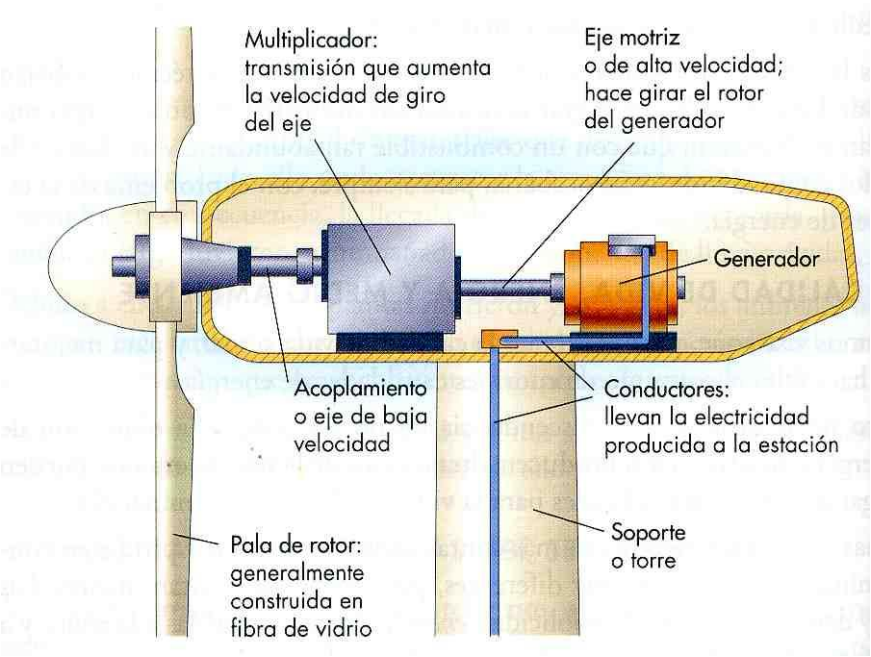


Figura 3.7 Fuente: exterior.pntic.mec.es

El funcionamiento de un aerogenerador genera energía térmica. Es decir, los distintos componentes se calientan, por lo que se necesita de un sistema de refrigeración. Generalmente, se conectan ventiladores para crear una circulación de aire en la parte interna de los aerogeneradores. Además, se utilizan intercambiadores de calor para disipar el calor generado por los distintos componentes hacia la corriente de aire creada por los ventiladores.

Los aerogeneradores sin embargo tienen también sus limitaciones. Aun habiendo viento no asegura el funcionamiento de los aerogeneradores A altas velocidades, por seguridad, el aerogenerador deja de funcionar para asegurar la protección del mismo. Tras detectar una velocidad excesiva del viento, las palas orientadas de forma perpendicular al viento se ponen de forma paralela, frenando también el motor. En caso contrario, los aerogeneradores pueden colapsarse y quedar destruidos.

Además, algunos componentes del parque eólico necesitan electricidad, aunque no haya ningún aerogenerador que esté produciendo energía eléctrica. Por esta razón, el parque eólico suele conectarse a la red de abastecimiento, para que en estos casos los componentes que necesitan funcionar tengan la alimentación necesaria.

3.2.2 Contaminación acústica

Los aerogeneradores aun siendo tipos de instalaciones muy limpios a la hora de obtener energía, producen otro tipo de contaminación: contaminación acústica, es decir, ruido. De todos los componentes del aerogenerador, los que más ruido producen son la multiplicadora, el sistema de transmisión de rotación y el generador. El sistema de engranajes produce ruido mecánico con los componentes metálicos moviéndose o chocando entre ellos. Además, el viento puede crear ruido al chocar a alta velocidad con los aerogeneradores, ya que produce vibraciones en las superficies con las que choca. Uno de los componentes más afectados son las palas. Esto es debido a que las palas tienen un perfil aerodinámico para poder aprovechar con mayor eficiencia la fuerza del viento. Para ello, tienen un diseño con una superficie muy lisa. Con este diseño, las palas al incidir el viento vibran y producen ruido.

Para estos problemas a lo largo de la historia de los aerogeneradores se han planteado una serie de soluciones:

- Multiplicadores silenciosos: A lo largo de los años se han ido adaptando los sistemas de engranajes de la multiplicadora, consiguiendo así multiplicadoras específicas para los aerogeneradores. Por ejemplo, un método para reducir el ruido de multiplicadoras es mediante un núcleo flexible semiblando, que se obtiene calentando los engranajes tras haber sido rectificados. Sin embargo, la razón por la que los engranajes suelen ser duros es la alta durabilidad que tiene como consecuencia. Para conseguir engranajes flexibles que aun así sean también duraderas, lo que se hace con los engranajes una vez calentados es

mientras se enfrían lentamente se rellenan con un polvo con un alto contenido de carbono.

- Consideraciones de diseño de la estructura: Las palas de un aerogenerador pueden retransmitir e incluso ampliar las vibraciones producidas por los distintos componentes del aerogenerador. Debido a eso, actualmente se trabaja en programas para simular las vibraciones producidas por el aerogenerador antes de su instalación, para poder atenuar los efectos de esta manera.
- Consideraciones de diseño de las palas: Las puntas de las palas se mueven a velocidades mayores que la base de las mismas, por eso, es importante tener cuidado a la hora de diseñar las puntas.

3.2.3 Tipos de aerogeneradores

Tipos de aerogeneradores según el eje de rotación

Los tipos de aerogeneradores se pueden clasificar según la orientación del eje de rotación de las palas. De esta manera se clasifican en generadores de eje horizontal y generadores de tipo vertical.

Aerogeneradores de eje horizontal

Los aerogeneradores más empleados en la actualidad son los aerogeneradores de eje horizontal. Dentro de los aerogeneradores de eje horizontal, existen distintos subgrupos.

Se pueden clasificar según el número de palas del rotor y según la orientación respecto al viento.

Según el número de palas, los aerogeneradores pueden ser de tipo monopala, bipala o tripala. Los aerogeneradores comúnmente tienen tres palas, es decir, son de tipo tripala. Las tres palas son colocadas formando un ángulo de 120 grados entre ellos.

Figura 3.8 Fuente: diariorenovables

La razón por la que este tipo de aerogeneradores es el tipo más empleado, es debido a su alto rendimiento frente a los otros tipos de aerogeneradores (en cuanto a número de palas).

Los aerogeneradores de tipo bipala son entonces los aerogeneradores que tienen dos palas. En la siguiente imagen podemos observar uno de ellos.

Figura 3.9 Fuente: energiaeolicaparatodoslospublicos.com

La ventaja que tienen los aerogeneradores de tipo bipala es el ahorro de coste de una pala (fabricación y transporte) y el peso. Sin embargo, para producir la misma cantidad de energía que los aerogeneradores de tipo tripala se necesita de una mayor velocidad

de viento que incide en las palas. Además, se necesita de un diseño mucho más complejo para evitar el choque de las palas contra la torre.

Además de los aerogeneradores de tipo bipala y tripala existen los aerogeneradores de tipo monopala. Lógicamente, este tipo de aerogeneradores tienen una única pala.

Figura: 3.10 Fuente: energiaeolicaparatodos.com

Al igual que los aerogeneradores de tipo bipala, los aerogeneradores monopala necesitan tanto de una estructura especial para evitar el choque entre la pala y la torre como de una mayor velocidad de viento para la producción de la misma cantidad de producción que los aerogeneradores de tipo tripala. De hecho, presentan estos convenientes en mayor medida que los aerogeneradores de tipo bipala.

Otro tipo de aerogenerador no muy distribuido en la actualidad es el aerogenerador multipala. Se pueden entender estos aerogeneradores como aquellos que tienen más de tres palas.

Figura 3.11 Fuente: didcticadelpatrimonicultural.blogspot.com

Este tipo de aerogenerador tiene su origen en América en donde se utilizaban para la extracción de agua en los pozos de las grandes llanuras.

Sin embargo, los aerogeneradores de tipo horizontal no se clasifican únicamente por el número de palas, como ya se indicó anteriormente. Según como incide el viento en el rotor de los aerogeneradores, pueden ser aerogeneradores con rotor a barlovento o con rotor a sotavento.

Los aerogeneradores más usados son los a barlovento. Estos tipos de aerogeneradores tienen el rotor orientado hacia el viento. También son conocidos como aerogeneradores con diseño de corriente arriba. De esta forma se evita el abrigo del viento detrás de la torre, desviando el viento antes de que llegue a ella, incluso si la torre es redonda y lisa. El inconveniente que tiene este tipo de aerogenerador es que el rotor ha de ser suficientemente inflexible y tiene que estar a cierta distancia de la torre. Además, los aerogeneradores de tipo barlovento necesitan de un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

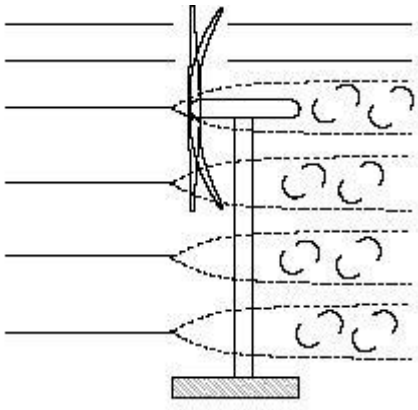


Figura 3.12 Fuente: Opex Energy

Como podemos ver en la imagen anterior, el aerogenerador está orientado de manera que la corriente de viento (de izquierda a derecha) incide el rotor.

Los aerogeneradores con rotor a sotavento, sin embargo, no necesitan de este mecanismo de rotación, ya que este tipo de aerogenerador cuenta con un diseño específico que orienta al aerogenerador con la propia fuerza del viento. Normalmente este tipo de diseño suele ser una especie de aleta o alerón situado en el eje. De esta forma, estos aerogeneradores pueden contar con palas más flexibles. Además, al contrario que los aerogeneradores a rotor barlovento, este tipo de aerogeneradores se orienta con la cara en sentido contrario a la dirección del viento dominante.

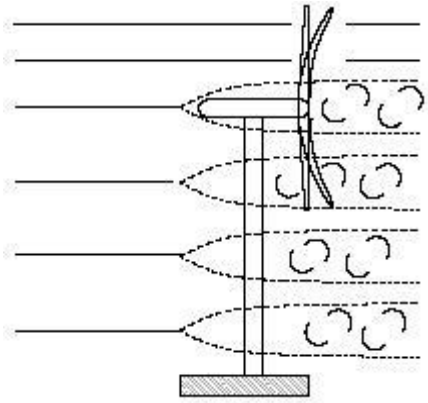


Figura 3.13 Fuente: Opex Energy

Observamos en la imagen anterior que ocurre lo contrario al caso anterior. El aerogenerador, está orientado en sentido contrario a la corriente del viento.

Aerogeneradores de eje vertical

Tras profundizar en los aerogeneradores de eje horizontal, no se debe dar por alto los aerogeneradores de eje vertical. Estos tipos de aerogeneradores, sin embargo, no tienen un rango de aplicaciones tan amplio como los aerogeneradores de eje horizontal, por lo que su uso no es tan habitual. La principal ventaja que tiene este tipo de aerogeneradores es que al ser omnidireccional no necesitan de un sistema de orientación. Además, los equipos como el generador o la multiplicadora se encuentran instalados en el suelo, lo que facilita su mantenimiento y disminuye el coste de montaje. Sin embargo, los inconvenientes que presentan este tipo de aerogeneradores frente a los aerogeneradores de eje horizontal y, por lo tanto, las razones por las que no se suele usar este tipo de aerogeneradores, son la baja eficiencia y la necesidad de desmontar el rotor para tareas de mantenimiento. Los aerogeneradores de eje vertical pueden ser según el tipo de rotor de tipo Savonius, Darrieus, Giromill o de tipo Windside

El aerogenerador con rotor Savonius es el modelo más simple de rotor. Consiste en dos semicilindros desplazados respecto a su eje.

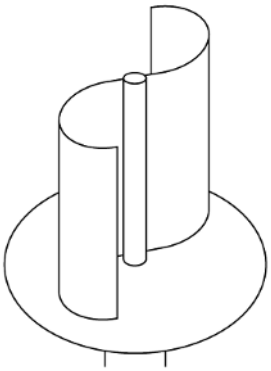


Figura 3.14 Fuente: Enerlice

De esta manera, al incidir el viento en la parte cóncava, éste empuja el rotor, mientras que la parte convexa del cilindro ofrece una menor resistencia al giro. De esta manera, el viento empuja por un lado más que por el otro haciendo girar así el rotor. Aun así, la resistencia que presenta el sistema en sí es bastante elevado, por lo que no es útil a la hora de generar electricidad. Sin embargo, debido a su fácil instalación y su bajo coste existe la posibilidad de emplearlos para aplicaciones mecánicas básicas.

El siguiente tipo de aerogenerador de eje vertical es el aerogenerador con rotor Darrieus, el cual fue patentado por Georges Jean Marie Darrieus. Este tipo de aerogenerador consta de un eje vertical que se encuentra asentado sobre el rotor.

Figura 3.15 Fuente: Wikipedia

Observamos que en el eje se sitúan palas curvas de perfil aerodinámico y simétrico, unidas al eje por ambos extremos. Los aerodeslizadores del rotor Darrieus se mueven hacia adelante por efecto del viento, provocando de esta manera el giro circular del rotor. Una de las grandes ventajas es que este tipo de diseño es igual de efectivo para cualquier dirección de la que sopla el viento. Además, al contrario de la apariencia, el diseño de las palas de un aerogenerador Darrieus es más simple que el de las palas de un aerogenerador convencional de eje horizontal. Este tipo de aerogenerador permite alcanzar velocidades mayores que el de tipo Savonius, sin embargo, no alcanza las velocidades a las que pueden girar los aerogeneradores de eje horizontal.

El aerogenerador con rotor Giromill, al igual que el aerogenerador Darrieus, fue patentado por G.J.M. Darrieus. Cuenta también con un eje vertical con palas situadas alrededor del mismo. Las palas son verticales y cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor, aprovechando de esta manera con más eficiencia la fuerza del viento.

Figura 3.16 Fuente: Renovablesverdes

La ventaja con la que cuenta este tipo de aerogenerador es que debido a su estructura física no necesita de ningún tipo de orientación. Tal y como podemos observar en la imagen anterior, las palas del aerogenerador están orientadas de la manera que el viento siempre incide de forma perpendicular en ellas.

El aerogenerador con rotor Windside consiste en un eje vertical con palas de perfil alabeado con torsión.

Figura 3.17 Fuente: archiexpo.es

El principio de funcionamiento de este aerogenerador es similar al rotor Savonius, encontrando la diferencia en el tipo de pala.

Tipos de aerogeneradores según el tipo de torre

Los aerogeneradores pueden ser construidos con distintos tipos de torres. Actualmente, los tipos de torres más comunes son la torre de celosía y la torre tubular, siendo esta última la predominante.

Las torres de celosía son construidas con perfiles de acero unidos entre sí mediante tornillería. Habitualmente se usa este tipo de diseño para la construcción de las torres de alta tensión y no para aerogeneradores, ya que, aunque su construcción sea barata, necesita de continuas verificaciones de la correcta sujeción de los segmentos de acero. Necesitan de un emplazamiento dedicado a la instalación de los equipos de suelo, así como los sistemas eléctricos y de control. El acceso a la góndola se asegura mediante escalerillas exteriores de baja protección, lo que tiene como consecuencia la puesta en peligro de los operarios que quieren acceder a la góndola.

Figura 3.18 Fuente: drømstørre.dk

Ya es un peligro por sí tener que subir las escalerillas exteriores, pero debido al interés de localizar los aerogeneradores en ubicaciones que cuentan con vientos continuos, supone un riesgo aún mayor para los operarios. Sobra entonces decir que este tipo de torre no es muy fiable a la hora de construir un aerogenerador.

Otro tipo de torre con las que se pueden construir aerogeneradores es la torre de mástil tensado. Consiste en un delgado mástil sostenido por cables tensores. Al igual que las torres de celosía, el acceso a las zonas de alrededor de la torre es muy complicado, incluso en este caso es aún más complicado. La ventaja que tienen estas torres son el ahorro de coste. Sin embargo, están propensas a sufrir daños, lo que compromete la seguridad del conjunto.

Figura 3.19 Fuente: drømstørre.dk

Generalmente, este tipo de torre no se emplea en los grandes aerogeneradores debido a su carácter más bien frágil y la dificultad de acceso ya mencionada.

La solución más viable en la actualidad a la hora de elegir el tipo de torre para un aerogenerador son las torres tubulares de acero. Es el tipo de torre que se utiliza normalmente para los grandes aerogeneradores. Como podemos observar en la siguiente imagen, estas torres tienen una forma tronco-cónica, es decir, que tiene un diámetro creciente hacia la base.

Figura 3.20 Fuente: elementaloaxaca.com

De esta manera se aumenta la resistencia de la torre y a su vez se ahorra material. Además, en su interior se pueden almacenar los equipos de suelo. Aunque eso sí, la instalación de este tipo de torre es más laboriosa y más cara que la de los tipos de torre anteriores. De este modo, la mayoría de las torres de los aerogeneradores grandes de la actualidad son torres tubulares de acero.

3.2.4 Modelos de aerogeneradores

La potencia generada por un aerogenerador aumenta a medida que aumenta el área de barrido del rotor. Es decir, la potencia que es capaz de generar un aerogenerador no depende únicamente de la fuerza del viento, también depende del área de barrido del rotor. El área de barrido se puede ampliar aumentando la longitud de las palas. De esta manera, se aumenta el radio del área de barrido.

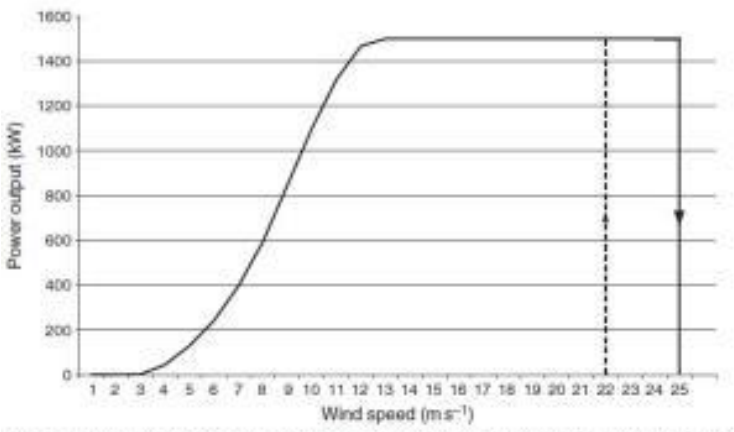
La potencia generada se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{v}^{\mathbf{3}} \cdot \boldsymbol{\pi} \cdot \boldsymbol{r}^{\mathbf{2}}$$

En donde $\boldsymbol{\rho}$ es la densidad del aire en kg/m^3, v la velocidad del viento en m/s y $\boldsymbol{\pi}\cdot r^2$ el radio del área de barrido del rotor (área circular). Se observa entonces que los factores que más influyen en la potencia generada es la velocidad del viento y el radio del área de barrido, es decir, el tamaño de las palas del aerogenerador.

Sin embargo, el aerogenerador no puede aprovechar toda la potencia del aire. El físico Albert Betz estableció un coeficiente de valor 0.593, el cual representa el límite de potencia que puede aprovechar una turbina. Este límite es conocido como el límite de Betz. La pérdida se debe a que los propios aerogeneradores ralentizan el aire que los barre. La cuantificación del efecto de esta ralentización se conoce como Ley de Betz.

Para la predicción de la potencia que generará un aerogenerador se trazan las curvas de potencia. En ellas se representa la cantidad de potencia generada frente a las velocidades del viento.



Typical power curve of a 1500 kW pitch regulated wind turbine with a cut-out speed of 25 m s^{-1} (the broken line shows the hysteresis effect)

Figura 3.21 Fuente: jmirez.wordpress.com

La imagen anterior muestra la curva típica de un aerogenerador. Se observa que para que se produzca potencia es necesario una velocidad mínima del viento, la necesaria para que el rotor comience a girar. Además, una vez alcanzada la velocidad límite de giro del aerogenerador éste se satura y no es capaz de producir más potencia. Es ahí cuando el sistema de control manda la señal de paro al aerogenerador para evitar la rotura de los componentes.

Existen distintos modelos de aerogeneradores según la potencia generada. Desde pequeños aerogeneradores capaces de producir 10 KW por hora para el autoconsumo en las viviendas hasta el aerogenerador de mayor potencia existente en la actualidad con una potencia nominal de 10 MW. En los parques eólicos de Tenerife instalados por la empresa Iberdrola se encuentran aerogeneradores de 2.625 MW de potencia nominal con una altura de 80 metros.

3.2.5 Evolución de los aerogeneradores

A lo largo de los años, los aerogeneradores han ido evolucionando, siendo de esta manera cada vez más limpios, más baratos y más grandes, produciendo cada vez más energía eléctrica.

En el año 1991 fue instalado el primer aerogenerador dedicado a la obtención de energía eléctrica, con una potencia nominal de 0.45 MW y cuyo rotor tenía tan sólo un tamaño de 35 metros. La torre de este aerogenerador tenía también una altura de 35 metros.

En el año 2016 se instaló el aerogenerador más grande de su tiempo, con una altura de 113 metros y con una potencia nominal de 8 MW. La energía del aerogenerador se produce a través de un rotor de 164 metros.

En la siguiente imagen se representa la evolución de los aerogeneradores a lo largo de los últimos años.

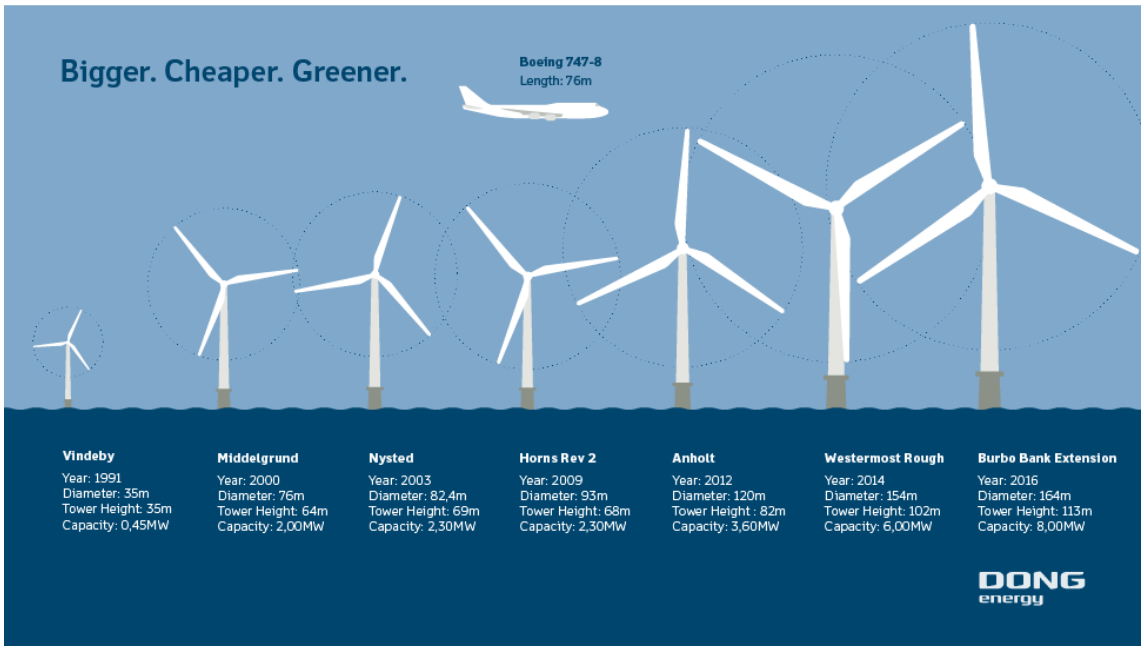


Figura: 3.22 Fuente:diariorenovables

Sin embargo, la evolución de los aerogeneradores no ha terminado. El aerogenerador más grande en la actualidad tiene una potencia nominal de 10 MW, con un rotor de 190 metros y una torre de 125 metros.

Aun así, un dato interesante en cuanto a la energía eólica instalada es también la potencia media de los aerogeneradores instalados. La potencia media instalada de los aerogeneradores se ha aumentado entre los años 2013 y 2016 en un 20%, subiendo de 3.7 MW de potencia media nominal de los aerogeneradores a una potencia de 4.8 MW.

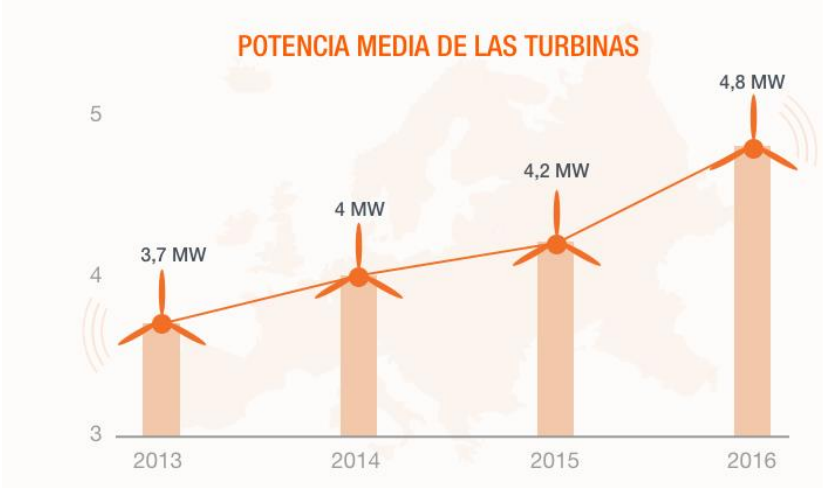


Figura 3.23 Fuente: Iberdrola

3.3 Parques eólicos

Un parque eólico se conoce como el conjunto de aerogeneradores en un terreno limitado. La energía obtenida por los aerogeneradores es llevada a una subestación para la distribución posteriormente.

En la siguiente figura se observa el esquema de principio de un parque eólico:

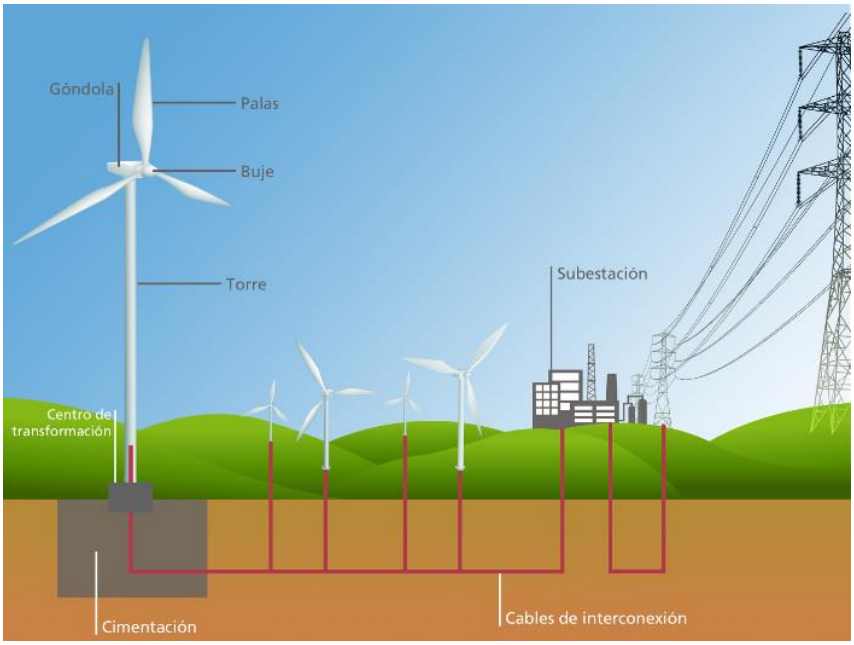


Figura 3.24 Fuente: laenergiadelcambio.com

Los parques eólicos pueden estar localizados tanto en tierra o en mar (ultramar). Lo más habitual es la instalación sobre superficies terrestres, aunque los parques sobre ultramar han tenido un importante crecimiento en los últimos años. Normalmente se realiza la instalación de los parques eólicos lejos de los núcleos de población en áreas rurales despobladas. De esta manera, se evita que los habitantes sean molestados por los ruidos emitidos por los aerogeneradores.

Figura 3.24 Fuente: periodicocorreo.com

El número de aerogeneradores depende de una serie de factores:

- Impacto medioambiental: Los aerogeneradores no producen emisiones. Sin embargo, como se vio anteriormente, los aerogeneradores producen un impacto visual y una contaminación acústica. De ahí que los parques eólicos suelen construirse lejos de la población.
- Tamaño del terreno disponible: Una de las grandes limitaciones de los parques eólicos suele ser el terreno disponible para su instalación.
- Características del viento: Es importante conocer la variación espacial, temporal y vertical del viento a lo largo de los años en el terreno en donde se quiere construir el parque eólico. Normalmente, se realizan distintas predicciones y simulaciones para conocer estos factores. De esta manera, se puede saber si la instalación de un parque eólico resulta rentable o no.
- Condiciones geológicas y geotécnicas: A la hora de instalar un parque eólico es importante conocer las características de la superficie del terreno, así como la probabilidad de fenómenos naturales como por ejemplo terremotos.
- La viabilidad legal y territorial: Los parques eólicos deben construirse en países políticamente estables, para evitar que las altas inversiones iniciales no terminen en el desuso de los aerogeneradores.
- Accesibilidad: Para realizar acciones de mantenimiento o reparaciones puntuales, los parques eólicos deben de ser fácilmente accesibles.
- Posibilidad de subestación: Dentro del parque eólico se sitúa una subestación en donde se recoge la energía eléctrica producida y se transforma en voltajes altos para su transporte posterior. Debe de existir la posibilidad dentro del terreno disponible de instalar una subestación de este tipo.

Actualmente, el mayor parque eólico del mundo consta de una capacidad operativa de 1020 MW. Este parque eólico está localizado en Estados Unidos, en California. Este parque eólico es operado por los ingenieros Terra-Gen Power. Existen planes de aumentar la capacidad de producción a 1.550 MW. El mayor parque eólico marino tiene una capacidad operativa de 659 MW y está localizado en las costas de Cumbria en el Reino Unido. El parque eólico pertenece a la multinacional energética Ørsted y cuenta con 87 turbinas de 8.25 MW y de 47 de 7MW.

En España el mayor parque eólico cuenta con una capacidad operativa de 292 MW y se encuentra en El Andévalo. Este parque eólico pertenece a la empresa española Iberdrola Renovables. Iberdrola cuenta con numerosos parques eólicos en toda España con una capacidad operativa total de 5700 MW. Actualmente, se está planeando un parque eólico aún mayor, con una capacidad operativa total de 300 MW repartidos entre 100 aerogeneradores de 3 MW cada uno. El proyecto se llevará a cabo por la empresa Generación Eólica de Castilla La Mancha SL.

En total hay actualmente instalada en España una capacidad operativa de 23.484 MW en 1.234 parques eólicos en 807 municipios. De esta manera, el sector eólico en España proporciona más de 22.000 trabajos. La comunidad autónoma con mayor potencia instalada es Castilla y León con una potencia de 5,595 MW, mientras que las comunidades autónomas de Madrid y Extremadura no cuentan con parques eólicos.

En Canarias se encuentran en total 56 parques eólicos, siendo 54 de ellos terrestres y 2 marinos. La isla con la mayor cantidad de parques eólicos en Canarias es Gran Canaria, la cual abarca más de la mitad de los parques eólicos en Canarias, con una totalidad de 33 parques eólicos.

En la siguiente imagen podemos observar la distribución exacta de los parques eólicos en Canarias.

Figura 3.25 Fuente: Aeeolica.org

Datos de mapas ©2019 Google, Inst. Geogr. Nacional Imágenes ©2019 TerraMetrics

El parque eólico más grande de Canarias se encuentra San Bartolomé de Tirajana en Las Palmas de Gran Canaria. Este parque eólico de la sociedad promotora “Desarrollos eólicos de Canarias, S.A. cuenta con una potencia instalada de 20,1 MW. Junto con el parque eólico de los Llanos de La Aldea forman el complejo eólico más grande de Canarias. En total, Canarias cuenta en la actualidad con una potencia instalada de 390 MW, sin embargo, se planea sumar en los próximos años (aproximadamente hasta el 2025) unos 635 MW en tierra y unos 310 MW en el mar. Contando tan solo el gran parque eólico marino planeado en la costa de Juan Grande de Gran Canaria contará con una potencia instalada de 200 MW y creará más de 2000 puestos de trabajo.

3.4 Estadística

Recopilando los datos estadísticos del capítulo anterior, se observa, que en España a nivel nacional en el año de 2018, la energía eólica representó un 19% de la energía eléctrica total producida.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual nacional [1] (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2022

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica [2]	10,6	13,8	7,0	13,1	10,2	-	-	-
Hidroeólica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Eólica	18,0	18,2	18,3	19,0	21,5	-	-	-
Solar fotovoltaica	3,1	3,0	3,2	3,0	2,5	-	-	-
Solar térmica	1,9	1,9	2,0	1,7	0,9	-	-	-
Térmica renovable [3]/Otras renovables [4]	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	-	-	-
Residuos renovables [5]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-
Generación renovable	**35,2**	**38,5**	**32,2**	**38,5**	**36,7**	**-**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] No incluye la generación bombeo.
[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
[4] Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
[5] El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

Se observa entonces que es la energía renovable que más electricidad produce actualmente. En este año (año 2019) la energía eólica sigue por el mismo camino. Incluso hasta la fecha de hoy representa un 21,5% de la energía eléctrica total producida.

Podemos observar también una evolución positiva de la energía eólica en España, aunque se quedó “estancada” en los últimos años anteriores al 2018. Con los planes que hay en España para nuevos parques eólicos en todo el país, podemos contar con un impacto aun mayor de la energía eólica en los siguientes años.

En Canarias, la situación es similar en cuanto a la evolución de la energía eólica. Al igual que a nivel nacional se quedó estancada antes del año 2018, pero entre el pasado año 2018 y el año actual se observa la evolución positiva de la energía eólica en Canarias.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual Islas Canarias [1] (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Canarias
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2021

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Hidráulica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Hidroeólica	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	-	-
Eólica	4,6	4,6	4,5	4,4	7,0	7,3	-	-
Solar fotovoltaica	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	2,7	-	-
Térmica renovable/Otras renovables [2]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Generación renovable	**8,0**	**8,0**	**8,0**	**7,8**	**10,5**	**10,2**	**-**	**-**

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal.
[2] Otras renovables incluyen biogás y biomasa.
Para el año 2019 valores acumulados hasta 00 de 2019.

Sin embargo, actualmente en Canarias el porcentaje de energía eólica representa tan solo un 7% de la energía eléctrica producida. Aunque, como se mencionó anteriormente existen planes ambiciosos de cambiar esta situación, al igual que a nivel nacional. De hecho, en el mes de diciembre de 2018 se batió el récord con un 12,5% de cobertura de la demanda energética de Canarias, superando de esta manera por primera vez el 10% mensual (En España hasta un 20,6%). Aun así, la energía eólica es también en Canarias la fuente dominante de electricidad a base de energía eólica. Actualmente se puede abastecer alrededor del 46% de los hogares de las Islas Canarias.

Un importante crecimiento ha tenido también la potencia instalada de los aerogeneradores marítimos. Ésta ha aumentado de forma exponencial en los últimos años. Hasta el año 2008 la potencia instalada de estos aerogeneradores no había superado los 500 MW. En el año 2015 se superan los 3.000 MW de potencia instalados.

Esto demuestra la evolución que ha tomado la energía eólica offshore.

Sin embargo, se registró un importante bajón en el año 2016, pasando a unos 1.500 MW, aunque la energía eólica offshore se recuperó, superando en el año 2017 la potencia máxima alcanzada hasta la fecha.

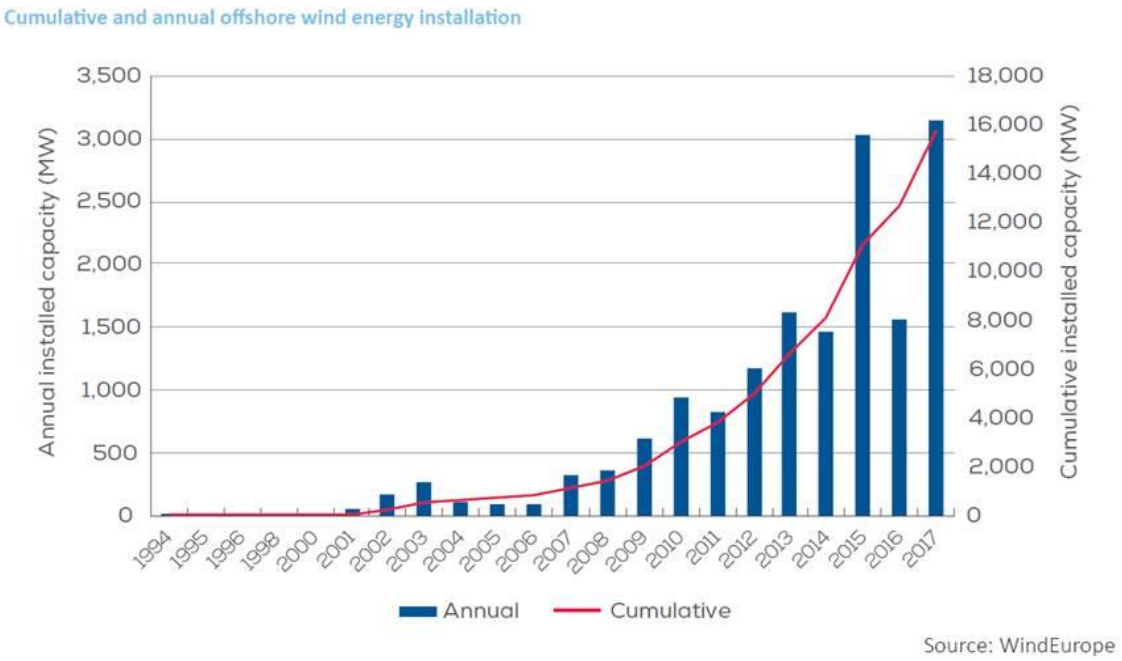


Figura 3.26 Fuente: diariorenovables

El crecimiento de la potencia instalada offshore media instalada a lo largo de los años se refleja en el siguiente gráfico.

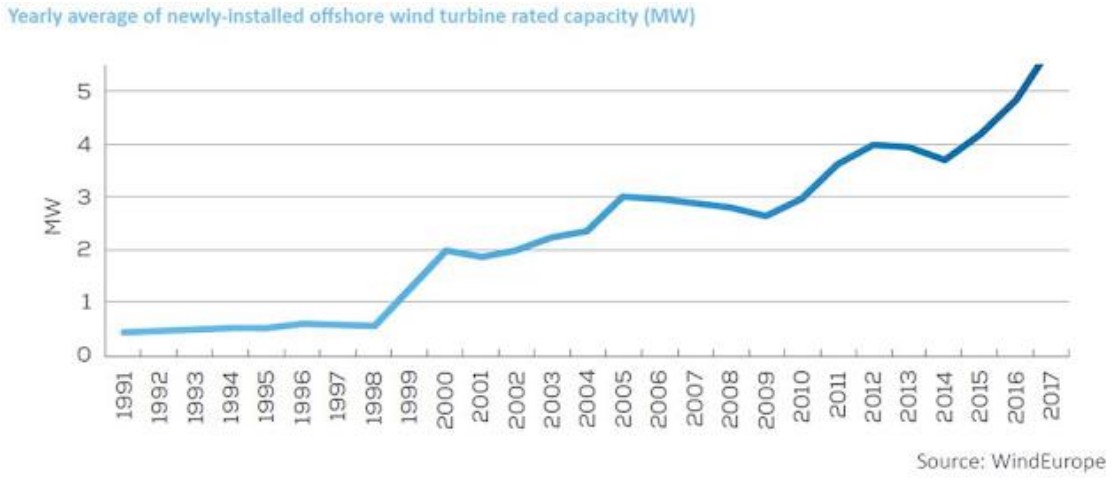


Figura: 3.27 Fuente: diariorenovables

Se observa que la potencia eólica media offshore no ha aumentado gradualmente de forma constante, sino que se han producido picos de crecimiento.

Capítulo 4: Meteorología en Canarias

4.1 Introducción

El parque eólico sobre el cual se realizará el plan de mantenimiento está situado en las Islas Canarias, en la isla de Tenerife para ser exactos. Debido a eso, es importante conocer el clima que hay en estas islas y sobre todo en Tenerife.

Canarias se encuentra a unos mil kilómetros del punto más cercano de la Península Ibérica y a unos cien kilómetros de Marruecos en el norte del Océano Atlántico.

En el siguiente mapa podemos observar la localización de las islas Canarias:

Figura 4.1 Fuente: isladetenerifevivela.com

La Comunidad Autónoma de Canarias tiene un clima muy distinto al resto de España. De hecho, Canarias tiene la mayor diversidad climática de España. El clima en estas islas es en general un clima subtropical. De hecho, en el turismo se “vende” a las Islas Canarias como las islas de la eterna primavera. Debido a la localización de las islas es difícil definir el clima de esta zona. La localización tiene una serie de consecuencias en el clima de las islas. Esto es debido a una serie de factores como son la latitud, proximidad al continente africano, la inversión térmica, la corriente fría del océano, el relieve o el mar de nubes.

4.2 Factores que influyen en el clima

4.2.1 Localización

Canarias se encuentra entre las latitudes 27º 38’ y 29º 25’ Norte del Ecuador y las longitudes 13º 20’ y 18º 10’ al Oeste de Greenwich.

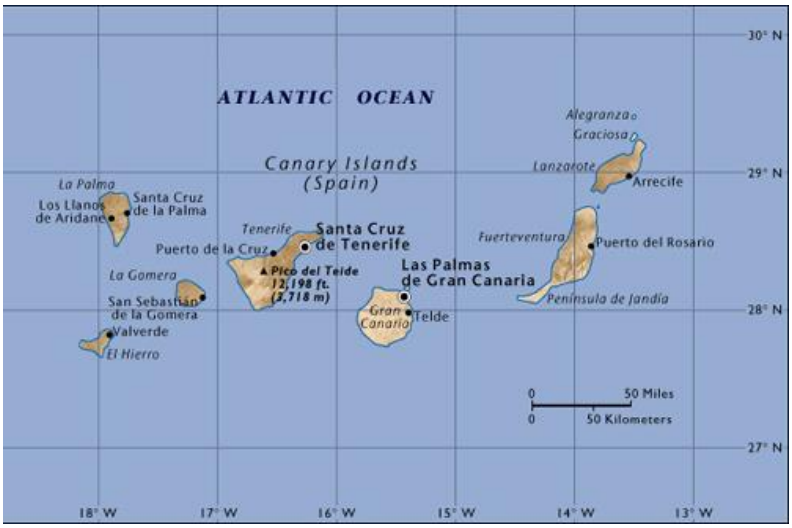


Figura 4.2 Fuente: conomene6a.wordpress.com

Sin embargo, la latitud es uno de los factores que influencia sobre el clima en una zona, determinando la proximidad al Ecuador la temperatura en esa zona. Es por eso que la latitud es un factor que influye en el clima canario y la longitud pasa a un plano secundario.

Canarias se encuentra entonces en la zona de transición entre el mundo templado y el mundo tropical. Para ser exactos, se encuentra próximo al trópico de Cáncer. Por estas razones, Canarias debería de ser más calurosas de lo que es realmente. Además, debido a la localización, las islas se encuentran bajo el dominio de los vientos alisios durante la mayor parte del año.

Los vientos alisios son vientos constantes que provienen de las zonas polares y van hacia el ecuador. Esto es debido a que en el Ecuador se produce un ascenso masivo de aire cálido, por lo que se crea una zona de bajas presiones. El aire ascendido es posteriormente ocupado por el aire proveniente de los vientos alisios. Los vientos alisios forman parte de la circulación de Hadley, la cual transporta el calor de las zonas

ecuatoriales hacia las zonas subtropicales. Los vientos contra alisios son las corrientes de aire que van en dirección contraria a los vientos alisios, como indica su nombre. Es decir, el aire del ecuador es transportado por estos vientos hacia las zonas polares.

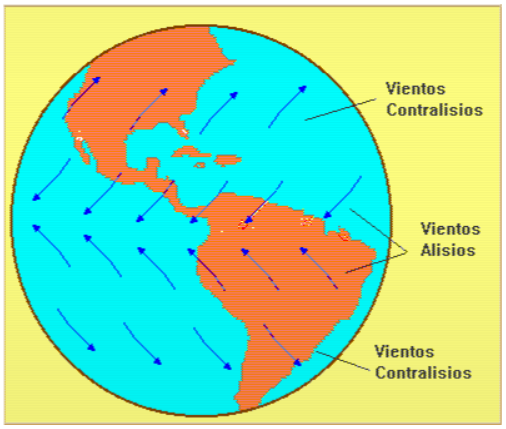


Figura 4.3 Fuente: glosarios.servidor-alicante.com

En Canarias, los vientos alisios constan de dos componentes: los vientos alisios superiores y los vientos alisios inferiores. Los vientos alisios inferiores son vientos frescos y húmedos que proceden del norte-noreste y que actúan entre el nivel del mar y por debajo de los 1.500 metros de altitud, mientras que los vientos alisios superiores son vientos cálidos y secos que actúan por encima de los 1500 metros de altitud.

Los vientos alisios presentan variaciones en cuanto a intensidad a lo largo del año debido al anticiclón de las Azores. Cuanto mayor es la distancia a la que se encuentra el anticiclón de las Islas Canarias, mayor es la intensidad de los vientos alisios en ellas. En verano, el anticiclón se encuentra más lejos de Canarias que en invierno. Es decir, en verano, los vientos alisios tienen una mayor intensidad que en invierno en las Islas Canarias.

Figura 4.4 Fuente: eltiempohoy.es

4.2.2 Proximidad al continente africano

Geográficamente, las Islas Canarias se encuentran más próximas al continente africano que al continente europeo. Debido a eso, la proximidad al continente africano tiene consecuencias en el clima canario.

La principal consecuencia que tiene esta proximidad es la llegada esporádica de masas de aire cálidas y secas a las islas, que arrastran polvo desértico. Este polvo proviene del desierto del Sáhara, el cual es el mayor desierto del mundo con una extensión de uno 9 millones de kilómetros cuadrados.

Figura 4.5 Fuente: cadenaser.com

Los vientos que traen este polvo son conocidos como la calima, y en los casos más extremos, tienen un impacto en la visibilidad. Como consecuencia, cuanto mayor sea la cantidad de polvo arrastrada por estos vientos a las Islas Canarias, menor es la visibilidad en ellas. La calima es una de las responsables de los días más calurosos en las Islas Canarias y reduce el impacto que tiene el océano al clima canario.

En la siguiente imagen podemos observar cómo es la visibilidad en las Islas Canarias en un día muy extremo de calima:

Figura 4.6 Fuente: canarias7.es

La calima y el ambiente salino son los principales causantes del sobrecoste de los aerogeneradores en Canarias frente a lugares como la península ibérica. Esto es debido a que las máquinas necesitan una protección mayor que los aerogeneradores en la península. Es decir, se “tropicalizan” los aerogeneradores.

4.2.3 Inversión térmica

Una inversión térmica se produce cuando la temperatura del aire asciende a medida que aumenta la altura. Es decir, lo contrario a lo que se entiende como un comportamiento “normal”, ya que generalmente a mayores alturas, menor es la temperatura.

Este fenómeno se produce cuando el suelo se enfría rápidamente por las noches, provocando de esta manera el enfriamiento de la capa de aire que está por encima del suelo. Además, en este proceso, el aire se vuelve más denso que el aire que está justo en la capa superior, provocando de esta manera que la convección térmica disminuye. De esta manera, el aire situado por encima del suelo tiene una menor temperatura que el aire a una altura mayor, lo que viene a ser la inversión térmica.

De forma gráfica lo podemos observar en la siguiente imagen:

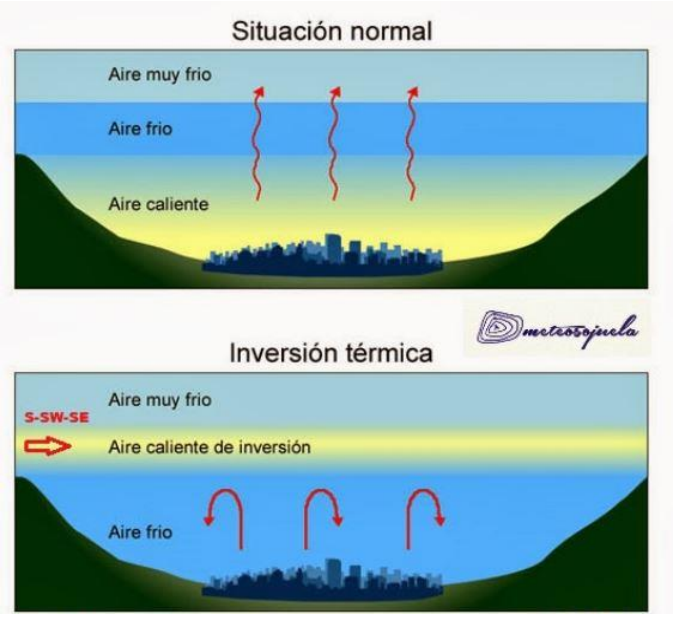


Figura 4.7 Fuente: blogs.larioja.com

Una inversión térmica puede tener como consecuencia que las emisiones nocivas de la superficie terrestre queden “atrapadas” cerca del suelo, afectando de manera directa a los seres vivos. Aunque también pueden quedar atrapadas nubes y polen o incluso la propia humedad. Esto es debido a que la inversión térmica interrumpe la elevación del aire desde las capas bajas.

En casos extremos, las inversiones que atrapan la contaminación del aire pueden durar varios días de verano, lo que puede tener consecuencias graves en la salud de la población. De hecho, este fenómeno ya ha causado la muerte de miles de personas en Londres en el año 1952 y en el Valle del Ruhr en Alemania en el año 1962.

En Canarias, entre los vientos alisios superiores e inferiores existen diferencias de temperatura y humedad. Estas diferencias provocan en las islas la inversión térmica. De esta manera, en donde actúan los vientos alisios superiores, a unos 2 mil metros por encima de la inversión térmica el aire tiene temperaturas más altas y es más seco que por debajo de la zona de inversión, situada a unos 800 por encima del nivel del mar, en donde las temperaturas son más bajas y en donde el aire es más húmedo.

4.2.4 Corriente oceánica fría

Sin embargo, el factor geográfico más influyente en la estabilidad atmosférica de las Islas Canarias es la corriente fría del océano. Canarias se encuentra sometida a los efectos de la corriente oceánica de El Golfo procedente de América Central.

En la siguiente figura observamos las corrientes de marinas más importantes:

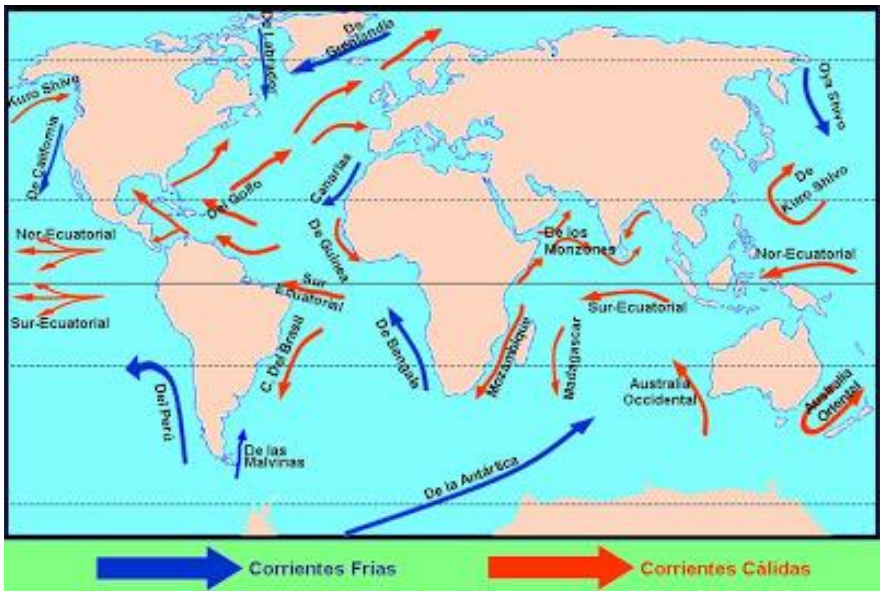


Figura 4.8 Fuente: grupo6naturaleza.blogspot.com

La razón por la que este fenómeno es conocido como corriente oceánica fría es debido a que la temperatura de esta corriente oceánica es inferior a la que le corresponde según la latitud a la que se encuentra. Esto es debido a los vientos alisios mencionados anteriormente, ya que estos vientos retiran el agua de la superficie del océano hacia el oeste, de esta manera, se facilita el ascenso de aguas más profundas y frías. La retirada de las aguas superficiales se conoce como “upwelling”. Gráficamente se entiende mejor:

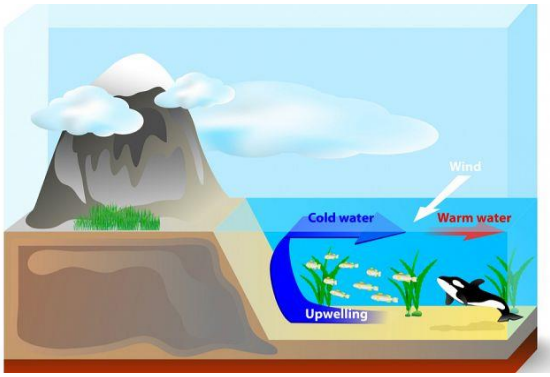


Figura 4.9 Fuente: worldatlas.com

El upwelling produce entonces que las aguas superficiales son sustituidas por aguas provenientes de una mayor profundidad, las cuales son más ricas en nutrientes. Esto tiene como consecuencia un aumento de la producción de fitoplancton.

El fitoplancton se conoce como el conjunto de los organismos acuáticos del plancton, que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis. La presencia de fitoplancton tiene como consecuencia de que exista una mayor presencia de otras especies marinas.

El vacío que los relieves insulares producen en la corriente, forman los llamados lugares de calmas. Las calmas son lugares de aguas más estables y se sitúan principalmente en las islas de Tenerife, Gran Canaria, La Palma, La Gomera y El Hierro, debido a que estas islas tienen un mayor relieve que las islas de Lanzarote y Fuerteventura. En estas últimas islas, debido al menor relieve, la formación de calmas es menor, sin embargo, también en estas islas se pueden formar.

4.2.5 El relieve

Las Islas Canarias se formaron por continuas erupciones volcánicas, lo que tuvo por consecuencia que las islas tengan una configuración muy compleja de relieve. Es más, se caracterizan por su formación a base de continuas construcciones y destrucciones de materiales volcánicos.

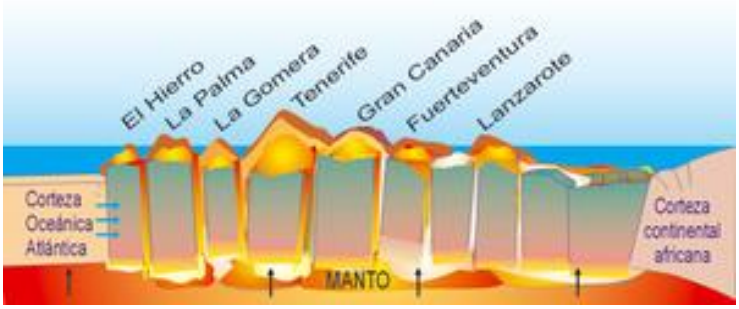


Figura 4.10 Fuente: gobiernodecanarias.org

El rasgo del relieve que más llama la atención aparte de su origen volcánico es su altura. Las islas suelen tener sus puntos más altos en el centro. Luego, la altura va disminuyendo cada vez más hasta llegar a las costas.

Los puntos más altos de las Islas Canarias lo forman el Teide en Tenerife con una altura de 3.718 metros y el Roque de los Muchachos en La Palma con unos 2.423 metros. De hecho, el pico del Teide viene a ser el punto más alto de toda España. Su altura real (desde el fondo del mar) viene a ser unos 7.500 metros.

En estas imágenes se puede ver el punto más alto de España, el Teide:

Figura 4.11 Figura 4.12 Fuente: neolistas.com

En las Islas Canarias se diferencian tres zonas diferenciadas: las montañas (o cumbres), las medianías, situadas por debajo de las cumbres y las costas. Además, en algunas islas se han formado fenómenos geológicos como dorsales o o conos volcánicos, originando de esta manera una gran variedad de formas que toma el relieve en las Islas Canarias.

Sin embargo, el relieve es distinto entre las islas. En Lanzarote y Fuerteventura tienen un relieve más bien suave debido a la erosión que han sufrido. Debido a que son las islas más antiguas del archipiélago, sufrieron estas erosiones durante periodos de tiempo más altos que las demás islas. Esta es la razón por la que son más bajas y llanas las que las demás islas, las cuales tienen un relieve más bien montañoso con altas elevaciones.

Las diferencias de distribución espacial de los elementos climáticos es debido a las distintas altitudes y orientaciones que poseen los relieves formados. Es decir, la situación de los relieves influye en el clima canario, siendo los elementos climáticos más afectados la temperatura, la formación de nubes y la precipitación.

De esta forma, se forman unas precipitaciones muy escasas y muy irregulares. Esto es el caso especialmente en las zonas más bajas de las islas (por debajo de los 300 m). Esto es debido a que el relieve forma una especie de barrera, al ser un obstáculo para el viento.

Esta es la razón por la que se diferencian las Islas Canarias en islas altas e islas bajas. Las islas altas se benefician por la humedad de los alisios, mientras que las islas bajas, aunque se vean afectadas por los alisios, el beneficio no es tan alto.

Además, existen diferencias entre las zonas norte y zonas sur de las islas. Las zonas norte de las islas reciben los vientos a barlovento mientras que las zonas sur a sotavento. Se forman de esta forma climas distintos en estas zonas. Mientras que en

las zonas a barlovento hay más probabilidad de que se produzca lluvia y nubosidad, las zonas a sotavento tienen características más calurosas.

De esta manera, se forman distintos climas en las distintas islas o, incluso pueden formarse distintos climas en la misma isla. Estas diferencias climáticas se conocen como microclimas y es un rasgo muy característico de las Islas Canarias.

4.2.6 Mar de nubes

La acumulación de estratocúmulos (grandes nubes de masas redondeadas) a una altura aproximada entre los 500 y 1.500 metros se conoce como “mar de nubes”. La causa son los vientos marítimos que llevan el aire húmedo hacia las zonas montañosas.

En Canarias, los vientos que llevan el aire húmedo son los vientos alisios inferiores. Transportan el aire hacia las laderas montañosas forman de esta manera el mar de nubes en algunas islas. Los vientos alisios empujan las nubes formadas contra estas laderas montañosas de manera que, observándolas desde un punto superior a estas nubes, parece un mar formado por nubes.

Las islas en las que no se forma el mar de nubes son las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Esto es debido a que la altitud de estas islas, no superan los 1.000 metros.

Figura 4.13 Fuente: tagoror.es

De esta manera, los vientos alisios inferiores al ascender por las fachadas montañosas se condensan y aumentan su humedad. Por otro lado, los vientos alisios superiores

impiden el paso de los inferiores a una altura de 1.500 metros. Esto provoca una condensación aún mayor formando así los estratocúmulos a esta altura.

Según el aumento de humedad relativa y según la velocidad del aire, se producen con frecuencia los fenómenos de “precipitaciones horizontales”. Así es como se forman las lluvias significativas de estas zonas, las cuales son una fuente de humedad.

El mar de nubes atenúa las temperaturas de las zonas de las islas que están situadas por debajo de las nubes, impidiendo que la humedad se escape a regiones superiores.

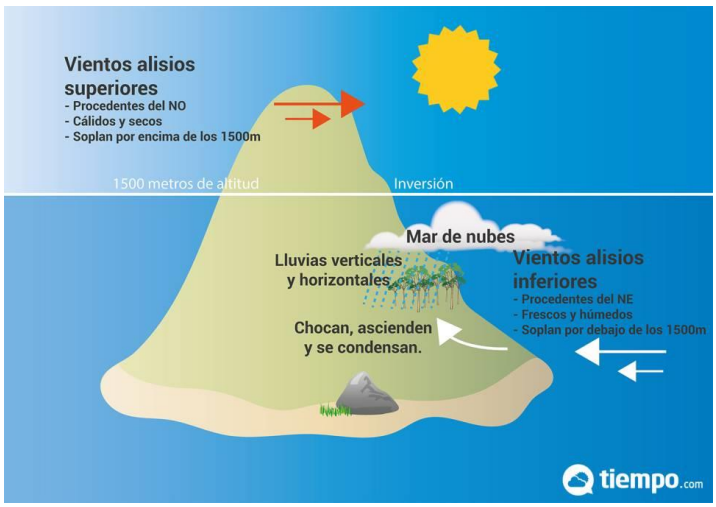


Figura 4.14 Fuente: tiempo.com

Así es como se forman las lluvias significativas de esta zona, las cuales son una fuente de humedad. Estas lluvias se forman generalmente entre octubre y abril, siendo los meses de marzo y noviembre los más propensos a sufrirlas. Los meses de junio, julio y agosto son los menos propensos a que se produzcan estas lluvias.

Las siguientes dos imágenes representan la distribución de las precipitaciones y de la humedad relativa en el archipiélago respectivamente.

Figura 4.15 Fuente: canariasanuncia.com

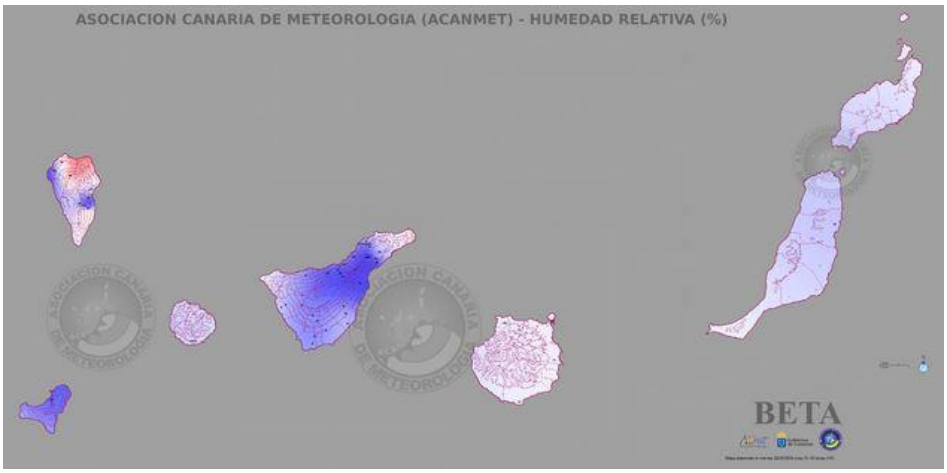


Figura 4.16 Fuente: acanmet.org

4.2.7 Conclusión

Todos estos factores influyen en el clima característico que tienen las Islas Canarias y provocan los microclimas en ellas.

En general, el clima en estas islas presenta unas condiciones térmicas suaves. Como visto anteriormente, las temperaturas más altas se alcanzan en los meses de verano, mientras que en los meses de otoño e invierno se alcanzan las temperaturas más bajas.

Además, se registran en las costas del sur de todas las islas las temperaturas más cálidas. La temperatura media anual en estas zonas costeras supera los 20 ºC.

En cuanto a las islas más cálidas, éstas son las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Esto es debido a la cercanía que presentan las islas al continente africano y a la baja altitud de las mismas.

La cercanía que presentan las islas al continente africano tiene como consecuencia que las islas son más propensas a sufrir el fenómeno de la calima, el cual aumenta considerablemente la temperatura.

La baja altitud de las islas tiene como consecuencia que, al contrario de las demás islas, en estas dos no se forma el mar de nubes. Por lo tanto, no se benefician las islas de la humedad que trae el mar de nubes consigo.

En la siguiente imagen podemos observar las temperaturas medias en las Islas Canarias:

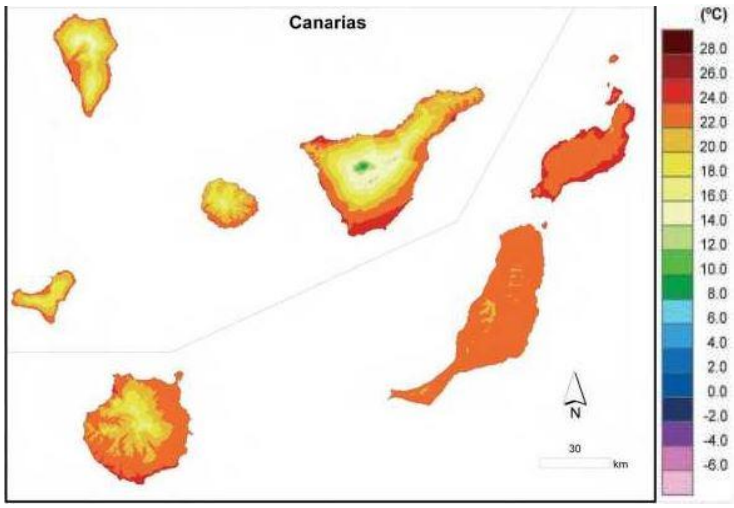


Figura 4.17 Fuente: aemet.es

La variación de temperatura se ve influenciada también por la altitud. Es decir, en las zonas más altas de las islas habrá temperaturas más bajas que en las zonas costeras.

De esta manera, se diferencian tres zonas en el archipiélago: La zona baja, la zona media y la zona alta, las cuales a su vez se dividen en vertiente norte (en donde inciden los vientos alisios) y en vertiente sur (en donde no inciden).

Primeramente, se centrará en el vertiente norte. La zona baja es la zona comprendida entre el nivel del mar y los 600 metros de altura. Hasta los 200 metros las oscilaciones térmicas son muy escasas y se mide una temperatura media entre los 19 y los 23 ºC. También es la zona con mayor prosperidad agrícola, en especial para los cultivos de plátano, aunque también para otros cultivos tropicales. Entre los 200 y los 600 metros de altitud ya se observan mayores oscilaciones de temperatura que por debajo de los 200 metros. Además, la temperatura media a estas alturas es entre los 16 y los 21 ºC.

La zona media está comprendida entre los 600 metros y los 1.500 metros de altura. El clima en esta zona es húmedo y frío. En esta zona se forman la mayor parte de las nubes. La temperatura media en esta zona oscila entre los 12 y los 16 ºC.

A medida que se sube en altitud, la temperatura media puede llegar a unos 9 ºC como es el caso en las Cañadas del Teide en Tenerife. En las zonas altas se diferencian dos niveles: las zonas entre los 1.500 y 2.700 metros de altura y las zonas entre los 2.700 y 3.700 metros de altura.

Las zonas con una altura entre 1.500 y 2.700 metros se encuentran únicamente en las islas con mayor elevación: Tenerife, La Palma y Gran Canaria. A estas alturas las temperaturas oscilan mucho entre el día y la noche. La temperatura media es de 9 ºC, aunque puede haber temperaturas por debajo de los 0 ºC.

En cuanto al nivel entre los 2.700 metros y los 3.700 metro, éste sólo existe en la isla de Tenerife. Para ser exactos en el Pico Viejo y El Teide. A estas alturas llegan a alcanzarse temperaturas por debajo de los 15 ºC bajo cero, produciéndose de esta manera en ocasiones importantes nevadas (principalmente en invierno).

El vertiente sur es, tal y como se mencionó anteriormente, más cálido que el vertiente norte. Debido a eso, la zona baja costera del vertiente sur es generalmente seca. Presenta una variación mayor de temperatura que la zona baja del vertiente norte.

La zona media es propensa a recibir precipitaciones locales e intensas. Posee grandes diferencias frente a la zona media del vertiente norte, ya que no tiene influencia directa de los vientos alisios. En esta zona, el clima consta de características similares al clima mediterráneo de la península ibérica.

La zona alta del vertiente sur sin embargo, posee un clima similar a la zona alta del vertiente norte. Es decir, existen altas oscilaciones térmicas y las temperaturas son similares.

Capítulo 5: Ingeniería del mantenimiento

5.1 Introducción

Se entiende como mantenimiento el conjunto de acciones de mantenimiento que tienen como objetivo principal preservar un equipo o restaurarlo en el que puede llevar a cabo su función requerida. Se consigue la optimización de los equipos, los procedimientos y los presupuestos para asegurar una mayor fiabilidad y una mayor disponibilidad de los equipos.

En los procesos de fabricación, el mantenimiento tiene varios objetivos:

- Evitar los fallos producidos en los equipos y, en caso de no ser posible, reducir y reparar los fallos inevitables.
- Evitar o reducir las detenciones innecesarias de los equipos, aumentando así la productividad de los procesos de fabricación.
- Evitar accidentes e incidentes para aumentar así la seguridad de las personas y asegurar la conservación de los bienes dentro de la instalación industrial, ya sean los propios equipos o los productos en fabricación.
- Reducir los costes que se podrían haber ahorrado con un mantenimiento adecuado.
- Aumentar la vida útil de los equipos y su productividad.

Estos objetivos se aseguran mediante distintas acciones de mantenimiento:

- Análisis y revisión de los equipos a mantener, así como de los procedimientos repetitivos empleando herramientas de análisis.
- Utilización de herramientas metódicas y sistemáticas.
- Optimización de la estructura de organización para el mantenimiento.
- Estimación de costos de mantenimiento.
- Previsión de piezas de repuesto de los equipos de la instalación.
- Evaluación de alternativas de los equipos existentes, así como del personal, justificando los cambios materiales y/o de personal.
- Aplicación de programas y gestión de proyecto.
- Previsión de las habilidades y competencias necesarias del personal que realiza las acciones de mantenimiento.

Estas acciones de mantenimiento no son solamente acciones técnicas, sino también acciones administrativas que aseguran el correcto funcionamiento, así como el aumento de la vida útil del equipo.

5.2 Actividades de mantenimiento

Existen tres tipos de actividades de mantenimiento según la periodicidad:

- Actividades rutinarias, llevadas a cabo por el equipo de operación, que se realizan diariamente. Este tipo de actividades son llevadas a cabo normalmente por el equipo de operación y consisten en actividades básicas que se realizan de forma sistemática.
- Actividades programadas que se realizan a lo largo del año, las cuales son más específicas que las actividades rutinarias y no necesitan den ser realizadas diariamente.
- Actividades que se realizan durante paradas planeadas: Este tipo de actividades son acciones que no se pueden realizar con la instalación en pleno funcionamiento por lo que es necesario realizar las paradas de ciertos equipos.

5.3 Marco histórico

Alrededor del año 120.000 a.C. el ser humano comienza a desarrollar el inicio del pensamiento y de sus habilidades. Ahí es cuando el hombre comienza a desarrollar ciertas actividades básicas de mantenimiento sobres los utensilios empleados, ya sean simples reparaciones de los mismos.

A través de la historia, el ser humano ha ido evolucionando al igual que el mantenimiento. Sin embargo, con la aparición de las máquinas a finales del siglo XVIII, surge la necesidad de aumentar la vida útil de las mismas ya que la pérdida de máquinas se reflejaba en la pérdida de recursos económicos. En las fábricas de papel a principios de los años 80 se empezó a cuidar las máquinas mediante reparaciones. Así es como a finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX surge el concepto de mantenimiento. Aunque el mantenimiento tenía una importancia secundaria en estos tiempos y lo realizaron los propios operarios.

Con el inicio de la producción en serie de la compañía “Ford-Motor Company”, el plan de mantenimiento es implementado por primera vez en los procesos de fabricación y pasa a tener un papel más importante en la industria. La compañía contaba de un departamento encargado de la realización del mantenimiento de las máquinas de la fábrica para el aumento de la velocidad de producción.

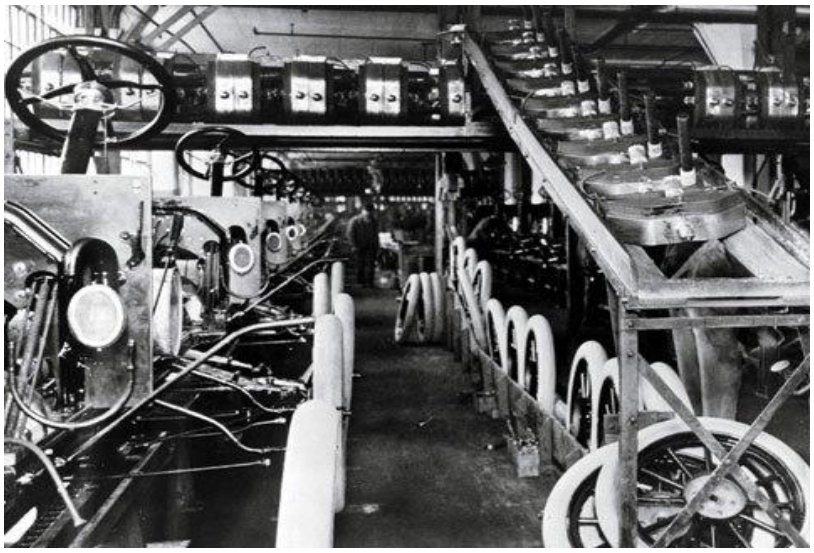


Figura 5.1 Fuente: motorpasion.com

Al mismo tiempo, en Japón se inicia otro tipo de mantenimiento, llevado a cabo por unos ingenieros japoneses, que simplemente seguían las instrucciones de los fabricantes para el cuidado de los equipos, aumentando así la vida útil de los mismos.

De esta manera, hacia el año 1920 aparece el concepto de mantenimiento correctivo, el cual se mantuvo hasta los años 50 y pasó a ser la base de los planes de mantenimiento de la actualidad. Es entonces en los años 50 cuando unos ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto de mantenimiento, el mantenimiento preventivo. A lo largo del siglo XX van apareciendo más conceptos de mantenimiento en los cuales se profundizará posteriormente.

5.4 Estrategias de mantenimiento

Existen distintas estrategias de mantenimiento para preservar los equipos que, según la situación, puede resultar más conveniente una que otra o incluso una combinación de las mismas. La elección de las estrategias puede depender de diversos factores, como son factores económicos o factores de sostenibilidad.

Los distintos tipos de estrategias nombradas anteriormente son el mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento de actualización.

5.4.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en asegurar la fiabilidad de los equipos antes de que pueda producirse algún tipo de fallo o avería, lo que tiene como consecuencia una reducción importante de paradas de los equipos.

Figura 5.2 Fuente: slideplayer.es

Sin embargo, se requieren acciones de cierta frecuencia para llevar a cabo de forma correcta esta estrategia de mantenimiento. Estas acciones requieren planificación y mano de obra, por lo que se necesitan hacer inversiones económicas. Es necesario entonces realizar un estudio para saber si el mantenimiento preventivo resulta ser favorable económicamente o no.

Aun así, existen excepciones, por ejemplo, para equipos cuyo fallo tendría consecuencias fatales como son las pérdidas de vidas humanas, es necesario realizar el mantenimiento preventivo y evitar esos fallos a todo coste.

De esta manera, se consigue un alto rendimiento y una importante reducción de paradas imprevistas. Aunque así no se aprovecha la vida útil del equipo, y debido a las planificaciones necesarias para este tipo de mantenimiento, el mantenimiento preventivo supone mayores gastas que por ejemplo el mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento se emplea para equipos de los cuales se conocen tanto el desgaste que tienen y la relación de fallo-duración de vida, o como se mencionó anteriormente, en sistemas en donde un fallo o una avería tendrían graves consecuencias.

Dentro del mantenimiento preventivo se distinguen 3 subtipos, los cuales son el mantenimiento predictivo, el mantenimiento programado y el mantenimiento de oportunidad:

- **Mantenimiento predictivo**: Consiste en realizar seguimientos de funcionamiento de los equipos, informando constantemente del estado y de la operatividad de los mismos para conocer su evolución y, por tanto, cuándo se deben realizar las reparaciones.

  Esto permite conocer mejor los equipos para así controlarlos de manera más eficiente, pudiendo de esta manera conocer el tiempo óptimo para realizar el mantenimiento preventivo, ejecutándolo así sin interrumpir el funcionamiento normal de los equipos.

  Para el mantenimiento predictivo se necesitan estudios específicos, los cuales necesitan generalmente tanto de personal altamente formado como de instrumentación de análisis costosa.

- **Mantenimiento programado sistemático:** Consiste en realizar el mantenimiento sobre un equipo siguiendo un programa establecido, sin importar la condición del equipo.

  Este tipo de mantenimiento es muy eficaz para equipos o instalaciones de disponibilidad media o alta. Es decir, los equipos cuyos fallos pueden causar problemas en el plan de producción de la instalación.

- **Mantenimiento de oportunidad:** Conjunto de actividades de mantenimiento que aprovecha las paradas de los equipos para realizar las revisiones o reparaciones necesarias. Esto permite evitar paradas innecesarias de los equipos aprovechando las paradas ya existentes.

5.4.2 Mantenimiento correctivo

Consiste en la realización de las acciones de mantenimiento una vez que se produzcan los fallos o averías en los equipos. Es decir, se corrigen los errores en el momento en el que surgen.

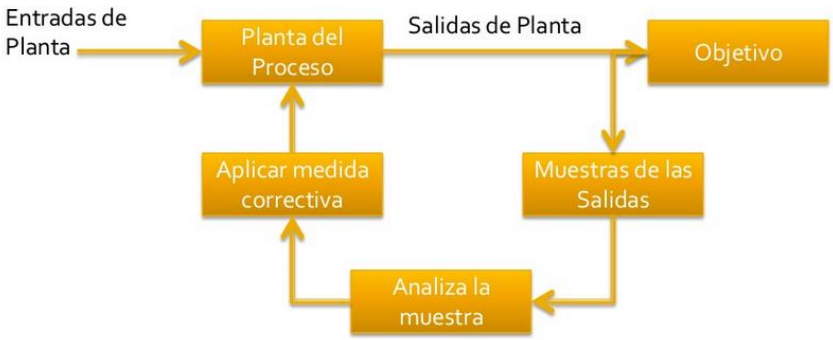


Figura 5.3 Fuente: es.slideshare.net

Corregir los errores en el momento en el que surgen tiene como consecuencia que las acciones correctivas no se pueden ni planificar en el tiempo ni es posible calcular el presupuesto necesario. Esto significa que en los equipos surgirán averías de forma imprevista, lo que se repercuta en paradas imprevistas en los procesos de fabricación.

Estas paradas suponen pérdidas económicas, así como la necesidad de tener un stock amplio de materiales de repuesto.

Aun así, mediante el mantenimiento correctivo no es necesario tener una gran infraestructura técnica ni una gran capacidad de análisis, ya que no hay que prever los fallos, sino que se reparan cuando surgen. Además, se aprovecha así al máximo la vida útil de los equipos sin tener que tomar grandes acciones preventivas.

El mantenimiento correctivo se aplica es actualmente es tipo de mantenimiento más empleado en las plantas industriales. Es empleado cuando el coste total de las acciones preventivas supera el coste total de las paradas ocasionadas, aunque también se implementan tanto en sistemas muy complejos y en sistemas secundarios en donde una avería no afecta de forma importante a la producción de la planta.

Existen dos subgrupos dentro del mantenimiento correctivo: El mantenimiento correctivo inmediato y el mantenimiento correctivo diferido.

- Mantenimiento **inmediato**: Conjunto de acciones correctivas que se realizan inmediatamente tras aparecer el fallo o avería, con los medios y materiales disponibles en ese momento.
- Mantenimiento **diferido**: Tras surgir una avería o fallo en el equipo, se paran los procesos de fabricación en la instalación para agrupar los medios y materiales necesarios para poder realizar así la reparación del equipo.

5.4.3 Mantenimiento de actualización

Con el avance tecnológico los planes de mantenimiento hacen cada vez más uso de software para la planificación y la realización de las acciones de mantenimiento. Los programas necesitan de continuas actualizaciones para su correcto funcionamiento, quedándose así en ocasiones atrás el hardware.

El mantenimiento de actualización es el conjunto de acciones de mantenimiento destinadas a las partes físicas de una máquina que permiten el funcionamiento de algún software. Puede ocurrir que, con un hardware desactualizado, el software no puede funcionar al 100%, o incluso puede llegar a ser vulnerable a ataques informáticos desde el exterior. De ahí la importancia de actualizar tanto el software como el hardware de las máquinas.

Un ejemplo de mantenimiento son los ordenadores dentro de una planta industrial. Cada año hay nuevos programas o nuevas versiones de programas ya existentes. Por ejemplo, Autodesk saca anualmente nuevas versiones de sus programas (AutoCAD, Revit, etc.). Estas nuevas versiones de programas ofrecen más ventajas que sus versiones anteriores, lo que tiene como consecuencia que los programas tienen mayores requerimientos del hardware. El hecho de actualizar el hardware de los ordenadores acorde a los programas nuevos o a nuevas versiones de programas es un claro ejemplo del mantenimiento de actualización.

5.4.4 Conclusión

Como conclusión se muestra un esquema sobre los distintos niveles de las estrategias de mantenimiento. De esta manera, se obtiene una visión global de los mismos.

Figura 5.4

5.5 Niveles de mantenimiento

Para una mejor realización de los planes de mantenimiento se ha dividido el mantenimiento en distintos niveles. Existen 5 niveles distintos de mantenimiento:

- Mantenimiento de primer nivel: Consiste en intervenciones, preventivas o correctivas, sencillas necesarias y realizadas en elementos fáciles de acceder. Es decir, acciones que no requieren desmontajes ni paradas del sistema.

- Mantenimiento de segundo nivel: Acciones de mantenimiento, preventivas o correctivas, que requieren procedimientos sencillos que tienen que ser realizados por un personal cualificado, y requiere procedimientos detallados.

- Mantenimiento de tercer nivel: Corresponde a las acciones de mantenimiento complejas que requieren el paro del sistema y necesitan de técnicos cualificados. Tras parar el sistema se identifica y localiza la causa de los fallos, se realizan las reparaciones por cambio de componentes y se realizan reparaciones mecánicas menores.

- Mantenimiento de cuarto nivel: Conjunto de acciones de mantenimiento que son realizadas por un técnico o un equipo especializado. Estas acciones pueden requerir el desmontaje completo o parcial del sistema.

- Mantenimiento de quinto nivel: Acciones de mantenimiento importantes en un sistema realizadas por el fabricante o una empresa autorizada por el fabricante.

5.6 Software de gestión de mantenimiento y reparación

En los planes de mantenimiento se observa la creciente importancia de los ordenadores. Es decir, el mantenimiento asistido por computadora (GMAO). Consiste en un software que sirve de ayuda para la gestión del mantenimiento, normalmente siendo este software una base de datos con información sobre el mantenimiento, que puede ser accesible en cualquier momento. Esto mejora la planificación y el control del mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento es un paso hacia adelante en dirección a la industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial. Está previsto que en esta revolución pasa a ser elemento central la inteligencia artificial, siendo la mayoría de los elementos dispositivos inteligentes.

En el siguiente diagrama se muestran las 4 etapas o revoluciones de la historia de la humanidad.

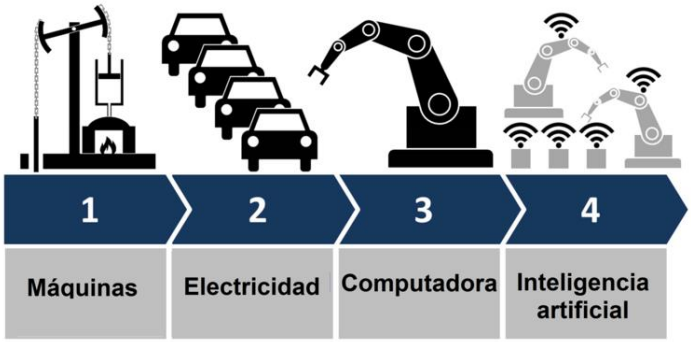


Figura 5.4 Fuente: Wikipedia

El mantenimiento asistido por computadora sirve para realizar las acciones de mantenimiento de forma más segura y más eficaz, reduciendo posibles fallos humanos. Además, la recolección de información sirve también para la evaluación de resultados y la toma de decisiones.

Mediante este tipo de mantenimiento lo que se consigue es una optimización de los recursos, tanto de recursos humanos como de recursos materiales, así como mejoras en calidad y productividad, anticipando las cargas de trabajo.

5.7 Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento se conoce como el “conjunto de tareas, procedimientos, instrucciones técnicas, y medios materiales y humanos para llevar a cabo el mantenimiento.

A la hora de realizar un plan de mantenimiento existen una serie de factores que se deben de tener en cuenta:

- Todas las actividades a llevar a cabo para realizar el mantenimiento de la planta o instalación, así como los procedimientos de los mismos.
- Todos los recursos necesarios para la realización de las actividades de mantenimiento, tanto los humanos como los materiales.
- Los aspectos de seguridad a tener en cuenta a la hora de realizar las actividades de mantenimiento.

- Los documentos técnicos de la instalación en donde se encontrarán las instrucciones técnicas para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.

Para realizar un plan de mantenimiento, antes que nada, se deben de establecer los objetivos del plan. Es decir, determinar lo que se quiere obtener del mismo. Normalmente, se establecen objetivos como son minimizar tanto en número como en tiempo los paros de producción de la instalación.

Tras establecer los objetivos, se establece la maquinaria y equipo a incluir en el plan de mantenimiento y clasificarlos en 3 grupos: Las máquinas, que suponen el nivel superior, los componentes de la misma (nivel intermedio) y los subcomponentes, las cuales suponen el nivel inferior. Es importante tener en consideración todos los equipos y los componentes dentro de la planta industrial para el plan de mantenimiento.

En el caso de que es una instalación ya existente sobre la que se han realizado previamente planes de mantenimiento, es necesario revisar estos planos. Esto nos permitirá conocer los sistemas y equipos existentes, así como los repuestos necesarios. De esta manera, se pueden conocer las reparaciones realizadas y las fechas correspondientes.

Es igual de importante consultar los manuales tanto de los equipos existentes en el caso de que el plan de mantenimiento se realiza sobre una instalación industrial ya existente como de los equipos que vienen de fábrica y sobre los que se va a realizar un plan de mantenimiento por primera vez.

Otro factor importante a tener en cuenta es la obligación legal de cada equipo. Según el tipo de equipo o maquinaria se establecen distintas obligaciones para la protección de los operarios y de la instalación en general. Estas obligaciones han de tenerse en cuenta a la hora de realizar el plan de mantenimiento para evitar conflictos futuros con la ley. Los supuestos ahorros que se pueden hacer ignorando algunos aspectos de esta obligación pueden resultar en pérdidas tanto económicas (mediante multas más altas que los costos ahorrados) como en pérdidas de vidas humanas, lo cual supone una mala imagen de la empresa y se ve reflejado también en más pérdidas económicas. De esta manera, respetando las leyes establecidas y haciendo las cosas de la forma correcta, se evitan costes posteriores innecesarios.

El siguiente paso es escoger el tipo de mantenimiento y planificarlo. Es aquí en donde se definen las acciones de mantenimiento que deben de realizarse sobre los equipos además de la frecuencia y los recursos necesarios para las mismas. Además, se decide si es necesario realizar paradas para realizar estas acciones, así como la duración de

las mismas. En los manuales suelen encontrarse recomendaciones de los fabricantes sobre estos aspectos. Generalmente, se elige la frecuencia de las acciones de mantenimiento en base a periodos de tiempo o en base a métricas, como por ejemplo “kilómetros recorridos” de una carretilla elevadora.

Tras conocer los equipos sobre los cuales se van a realizar las acciones de mantenimiento y las acciones a realizar sobre ellos, se establece el presupuesto del plan. Se estiman los costes de revisión, del personal que realiza las revisiones, etc. Se aconseja que el 80% del presupuesto se debe invertir en el mantenimiento preventivo, mientras que solamente el 20% debe de invertirse en la corrección de las averías, es decir, el mantenimiento correctivo.

Una vez realizado el presupuesto, se deben de designar los responsables de las distintas acciones de mantenimiento. Se clasifican los operarios a base de sus especialidades y habilidades. Los responsables y operarios deben de incluirse en el plan de mantenimiento.

Tras establecer el plan de mantenimiento se llevan a cabo las acciones establecidas en él. Sin embargo, no es suficiente con haber comenzado con las acciones del plan de mantenimiento. El plan de mantenimiento debe ser revisado y mejorado constantemente. Además, se deben de realizar investigaciones metódicas de los fallos producidos de los equipos dentro de la planta industrial.

Capítulo 6: Mantenimiento del parque eólico

6.1 Introducción

El plan de mantenimiento del parque eólico se realizará aplicando los criterios expuestos anteriormente.

6.2 Localización

Numerosos estudios llegaron al resultado que el potencial eólico en tierra canaria es mayor que la demanda de energía eléctrica en la mayor parte de las islas. Las únicas islas cuya demanda eléctrica es mayor que el potencial eólico son las islas de Tenerife y Gran Canaria, debido a su alta población en comparación con el resto de las islas.

Esto es debido al clima canario visto en el capítulo 4, el cual favorece en grandes medidas la obtención de la energía eólica a través de los vientos de la costa, sobre todo.

Debido a eso, se planea la instalación de un parque eólico en la isla de Tenerife, realizando distintos estudios para saber si resulta rentable la instalación. Uno de los estudios que se realizan es la posibilidad de la realización del mantenimiento, así como su presupuesto, lo cual es el objetivo de este trabajo.

Se planea como localización de este parque eólico la isla de Tenerife. Concretamente, la zona sur costera de la isla, entre el polígono industrial de Granadilla y la localidad de La Mareta.

De esta manera se asegura el aprovechamiento de los vientos costeros. Además, así el parque eólico está localizado cerca de un polígono industrial. Es decir, la energía eólica obtenida puede aprovecharse sin necesidad de grandes transportes.

En la siguiente imagen podemos visualizar la vista desde el satélite de la superficie destinada al parque eólico:

Figura 6.1 Fuente: Google Maps

6.3 Descripción de los elementos del parque eólico

El parque eólico, como se puede ver en la imagen anterior, está compuesto por 10 aerogeneradores y una subestación, los cuales forman los elementos de mayor importancia del parque eólico. Aun así, éstos no son los únicos elementos que se encuentran en el parque. Existen distintos componentes en el parque eólico por fuera de los aerogeneradores y la subestación que son difíciles de englobar. Por esta razón, se crea un tercer grupo en donde se englobarán todos estos componentes, el cual se llamará “Otros”.

En resumen, englobamos todos los componentes del parque eólico en 3 grupos: Aerogenerador, Subestación y Otros. A continuación, se entrará en detalle a estos elementos:

6.3.1 Aerogenerador

Como se ha mencionado anteriormente, el parque eólico contará con 10 aerogeneradores. Estos aerogeneradores serán de la serie 9x de Gamesa. En concreto, el modelo G80 de 2 MW. Los 10 aerogeneradores presentes serán de este modelo.

Las características que presenta este modelo de aerogenerador son las siguientes:

ROTOR	
Diameter	80 m
Swept area	5,027 m²
Rotational speed	9.0 - 19.0 rpm
BLADES	
Number of blades	3
Length	39 m
Airfoils	NACA 63.XXX + FFA-W3
Material	Pre-impregnated epoxy glass fiber
TOWER	
Type	Modular
Height	60, 67, 78 and 100 m
GEAR BOX	
Type	1 planetary stage 2 parallel stages
Ratio	1:100.5 (50 Hz) 1:120.5 (60 Hz)
GENERATOR	
Type	Doubly-fed machine
Rated power	2.0 MW
Voltage	690 V AC
Frequency	50 Hz / 60 Hz
Protection class	IP 54
Power factor	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*

* Power factor at generator output terminals, on low

Figura 6.2

Como podemos ver, el generador de los aerogeneradores tendrá de salida 690 V de corriente alterna. En el centro de transformación de cada generador, se transforman los 690 V a 33 kV para su transporte a la subestación. La frecuencia de la corriente alterna será de 50 Hz (Valor normalizado).

Dato: En el Anexo I se encuentra la hoja de datos completa de los aerogeneradores.

Las especificaciones del transformador son las siguientes:

- Potencia nominal: 2.350 kVA
- Relación de transformación: 33.000/690 V
- Tipo de conexión: Dy11
- Nivel de aislamiento: 70/170 kV

Los aerogeneradores presentes en el parque eólico poseen una altura de 67 metros. De esta manera, se facilitan las acciones de mantenimiento en el exterior del aerogenerador.

Al tener 10 aerogeneradores de potencia de nominal 2 MW, el parque eólico de potencia nominal será de 20 MW.

6.3.2 Subestación

La función de la subestación es elevar la tensión proveniente de los aerogeneradores a la tensión de las líneas de distribución. En este caso, se transforman los 33 kV provenientes de los aerogeneradores a 66 kV para el transporte.

Por lo tanto, el componente de mayor importancia de la subestación es el transformador. La tensión del primario serán los 33 kV que llegan de los aerogeneradores y la del secundario será de 66 kV.

Las especificaciones de este transformador son las siguientes:

- Potencia nominal: 40/50 MVA
- Relación de transformación: 33/66 kV
- Tipo de conexión: YNd11
- Nivel de aislamiento: 140/325 kV

6.3.3 Otros

En este grupo se localizan los componentes como son la valla limitadora, la luminaria, los pórticos y estructuras, las herramientas y los sistemas de comunicaciones.

Además, el parque eólico contará con un vehículo, sin embargo, éste no se incluye en el mantenimiento ya que se subcontrata. De esta manera, la empresa subcontratada se encargará del mantenimiento del vehículo.

La valla limitadora será de panel soldado metálico con forma mallada. El tamaño de cada malla será de 100mm x 55mm. La altura elegida es de 2 metros para impedir el paso de gente ajena al parque eólico. La valla será la siguiente.

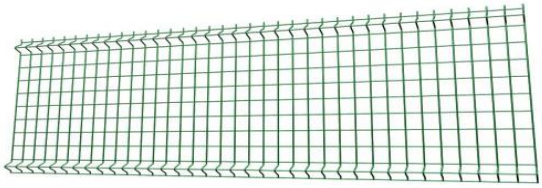


Figura 6.3 Fuente: fencix.com

6.4 Tipos de averías

Para poder realizar un mantenimiento adecuado, es importante conocer los tipos de averías que pueden tener lugar en un parque eólico.

En los aerogeneradores, pueden surgir numerosos tipos de averías. Se clasificarán las averías según el componente que las origina.

En el siguiente gráfico podemos observar el porcentaje de las averías que presenta un aerogenerador a lo largo de su vida útil.

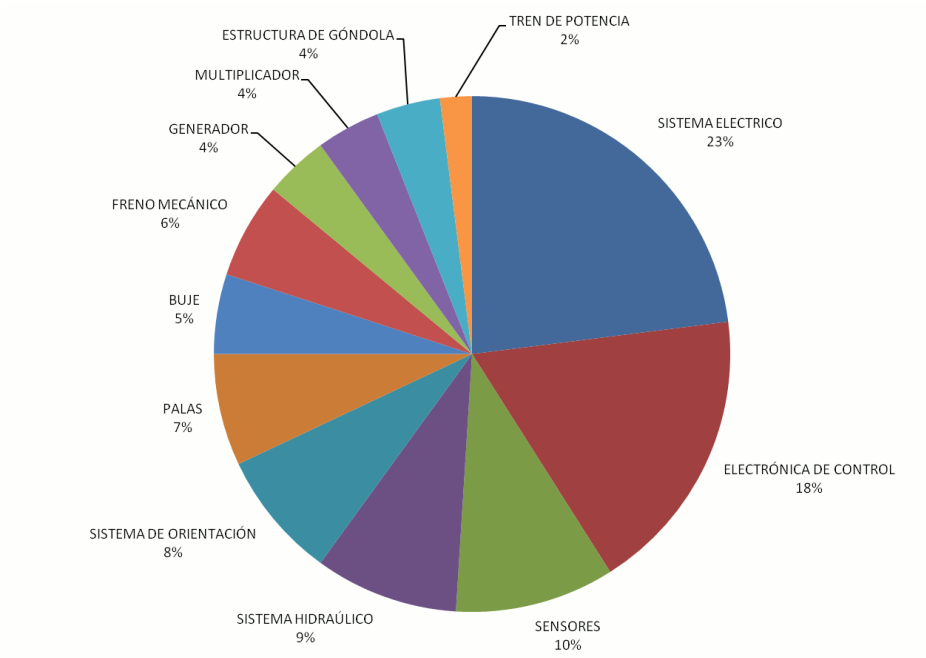


Figura 6.4 Fuente: antonionarejos.wordpress.com

Este tipo de avería afectan a la producción de energía, suponiendo una pérdida importante económica. Por esta razón, es importante realizar un plan de mantenimiento sobre los componentes, para evitar paradas innecesarias y reducir los costes al mínimo.

Sin embargo, existen también averías en un parque eólico por fuera de los aerogeneradores. La subestación necesita también de una serie de acciones de mantenimiento para poder funcionar de la forma exigida. Sobre todo, el transformador de la subestación debe de tener un mantenimiento adecuado y suficiente

El parque eólico contará con una valla metálica que impide el paso a personas no autorizadas. Además, el parque eólico cuenta con una subestación eléctrica.

6.5 Identificación de componentes

En la siguiente tabla se reflejarán los componentes existentes en el parque eólico, sobre los cuales se realizarán las acciones de mantenimiento.

Tabla 6.1

Infraestructura	**Componente**
Aerogeneradores	Sistema eléctrico
	Electrónica de control
	Sensores
	Sistema hidráulico
	Sistema de orientación
	Palas
	Buje
	Freno mecánico
	Generador
	Multiplicadora
	Estructura de góndola
	Tren de potencia
Subestación	Transformador de potencia
	Equipos de protección
	Equipo de maniobra y medición
	Equipo rectificador
	Sistema de tierra
Otros	Pórticos y estructuras
	Sistema de alumbrado
	Valla limitadora

En el siguiente apartado se procederá con el análisis de estos componentes.

6.6 Análisis de los componentes

En este apartado se profundizará en el mantenimiento de cada componente del parque eólico.

Aerogenerador:

- Sistema eléctrico: Consiste en la limpieza de los distintos componentes y accesorios eléctricos, así como distintas pruebas para asegurar el funcionamiento del sistema eléctrico. Entre las pruebas se encuentran pruebas de aislamiento, pruebas a dispositivos de protección, pruebas de conexión a tierra y pruebas funcionales. Los componentes tales como los fusibles serán sustituidos en caso de producirse alguna sobreintensidad. Cuenta con sistemas de protección de circuitos eléctricos (fusibles, magnetotérmicos, etc.).
- Electrónica de control: Se identifica el funcionamiento de los equipos y elementos electrónicos realizando pruebas de funcionamiento. Además, se sustituirán los componentes electrónicos una vez sean dañadas.
- Sensores: Al igual que en la electrónica de control, se realizan pruebas de funcionamiento, asegurando de esta manera el correcto funcionamiento de cada sensor. En el caso de que algún sensor no funcione de forma correcta se sustituirá por otro sensor.
- Sistema hidráulico: Se inspeccionarán los cilindros hidráulicos, así como el tanque en donde se almacena el fluido.
- Sistema de orientación: Se tienen que inspeccionar tanto el propio mecanismo de orientación como el contador de la torsión de los cables, cuya función es medir la torsión de los cables eléctricos, para evitar que la torsión supere el límite, produciendo daños en los mismos. En el caso de que se supere la torsión, los cables deben de volver a ser colocados de la forma correcta. En el caso de que los cables presenten fisuras por su torsión, se reemplazarán con cables nuevos.
- Palas: Se realiza la limpieza de las palas, así como el pintado para que se ajuste a la normativa.
- Buje: Se realiza la limpieza del buje, para evitar cualquier tipo de fuerza de rozamiento que pueda dificultar la rotación del rotor.
- Freno mecánico: Se realizan pruebas de funcionamiento, por ejemplo, frenando el rotor cuando está en pleno funcionamiento.

- Generador: Limpieza externa e interna del equipo (mensual), pruebas de funcionamiento (mensual), revisión de los componentes (escobillas, conexiones, lubricación, entrehierros, devanados, etc.) (trimestral), comprobación del equilibrio del rotor (anual).
- Multiplicadora: Limpieza de los engranajes, así como la sustitución de los engranajes en el caso de que fuera necesario.
- Estructura de la góndola: Revisión del aspecto de la góndola (señales de oxidación) y la limpieza de la misma (tanto interna como externa)
- Tren de potencia: Limpieza profunda y sustitución de los componentes del tren de potencia.

Subestación:

- Transformador de potencia: De manera periódica se realiza el análisis del aislamiento del transformador. Además, se controla el estado del aceite (cambiándolo cada cierto tiempo), se monitorea posibles fallos en el transformador y se realizan limpiezas internas y externas del mismo. En el caso de que se produce algún fallo, se reemplazarán los componentes tales como las bobinas o empaques.
- Equipo rectificador: Comprobar su correcto funcionamiento, y si no es el caso, sustituir los componentes defectuosos.
- Sistema de tierra: Se mide periódicamente la tierra, comprobando que tenga el valor correcto.

Otros:

- Pórticos y estructuras: Revisión de las estructuras de las infraestructuras.
- Sistema de alumbrado: Reposición de luminaria y/o bombillos en caso de que se produzca algún defecto.
- Valla limitadora: Se revisa que la valla está completa y no tenga “huecos” que permitan el acceso al terreno.
- Equipos de maniobra y medición: Estos equipos son revisados antes y después de su uso, para asegurar el correcto funcionamiento.
- Equipos de protección: Los equipos de protección tales como los interruptores automáticos son revisados periódicamente mientras que los elementos de bajo presupuesto y fácilmente sustituibles tales como los fusibles se cambian cuando sea necesario.

A continuación, se clasificarán los mantenimientos a realizar en mantenimientos preventivos y mantenimientos correctivos. Además, cada acción de mantenimiento a realizar se clasificará en alguno de los subgrupos de mantenimiento dentro del mantenimiento preventivo o correctivo.

Para los componentes electrónicos que se pueden monitorizar se empleará el mantenimiento predictivo.

Para las pruebas periódicas que deben realizarse, se opta por el mantenimiento programado sistemático. Las limpiezas importantes se realizarán también de forma periódica, así como la sustitución de componentes que no deben averiarse.

Para los mantenimientos no prioritarios, como son por ejemplo las limpiezas, se aprovecharán las paradas de las infraestructuras para realizar el mantenimiento de oportunidad.

La sustitución de componentes cae bajo el mantenimiento correctivo, si es necesario parar el sistema al que pertenece el componente, se optará por el mantenimiento diferido. En el caso de que se pueda realizar la acción de mantenimiento instantáneamente con los materiales disponibles, se optará por el mantenimiento inmediato.

Aerogenerador:

En la primera tabla, se detallan las acciones de mantenimiento de los aerogeneradores. Se evalúa cada aerogenerador por separado.

Tabla 6.2

Acción de mantenimiento	**Tipo de mantenimiento**	**Subgrupo**
Limpieza del sistema eléctrico del aerogenerador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Pruebas de aislamiento del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Pruebas de conexión a tierra del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático

Pruebas funcionales del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo
Sustitución de componentes electrónicos (electrónica de control)	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato
Pruebas de funcionamiento de la electrónica de control	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Pruebas de funcionamiento de los sensores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de los sensores defectuosos	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato
Prueba de funcionamiento del sistema hidráulico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Reparaciones en el sistema hidráulico si hay avería	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Inspección del mecanismo de orientación	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Inspección del contador de torsión del sistema de orientación	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de cables de la torre del aerogenerador si presentan roturas por torsión	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Limpieza de las palas	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Pintado de las palas	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Limpieza del buje	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Pruebas de funcionamiento del freno mecánico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático

Reparaciones del freno mecánico en el caso de averías	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Limpieza del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Pruebas de funcionamiento del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Revisión de componentes del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Comprobación del equilibrio del rotor del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo
Limpieza de los engranajes de la multiplicadora	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de los engranajes de forma periódica de la multiplicadora	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Revisión de la estructura de la góndola	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Limpieza de la góndola	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Limpieza del tren de potencia	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de componentes del tren de potencia	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático

Subestación:

La siguiente tabla está destinada a las acciones de mantenimiento de la subestación.

Tabla 6.3

Acción de mantenimiento	**Tipo de mantenimiento**	**Subgrupo**
Pruebas de aislamiento del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Comprobación del nivel de aceite del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo
Cambio de aceite del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Pruebas de funcionamiento del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Limpieza del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Sustitución de componentes del transformador	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Revisión del equipo rectificador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de componentes del equipo rectificador	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Medida de la puesta a tierra	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo
Calibración de la tierra	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido

Otros:

Por último, se expone la tabla del resto de las acciones de mantenimiento.

Tabla 6.4

Acción de mantenimiento	**Tipo de mantenimiento**	**Subgrupo**
Revisión de pórticos y estructuras	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad
Reparaciones en los pórticos y estructuras	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Sustitución de luminaria y/o bombillas	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato
Revisión de valla limitadora	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Reposición de la valla limitadora	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido
Revisión de equipos de maniobra y medición	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Revisión de equipos de protección de circuitos eléctricos	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático
Sustitución de elementos de protección (Ej: fusibles)	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato

6.7 Estándares de mantenimiento

En el anexo II se exponen las duraciones periodicidades de cada acción de mantenimiento en una tabla. Se llega a la conclusión de que el mantenimiento preventivo tiene una duración anual de aproximadamente 2.512 horas.

Es importante tomar en consideración que las horas de mantenimiento de los aerogeneradores representan un único aerogenerador. Es decir, las horas de mantenimiento dedicadas a los aerogeneradores expuestos en la tabla se multiplican por los diez aerogeneradores del parque eólico.

En la tabla se dividen las acciones de mantenimiento en las tres categorías mencionadas anteriormente. Se añaden las periodicidades de cada acción de mantenimiento, clasificándolas en distintas listas de acción de mantenimiento en la columna de “Documento”.

Las listas de mantenimiento tienen un código asignado. Las primeras tres siglas corresponden a Mantenimiento del Parque Eólico (MPE). La segunda sigla corresponde al sistema:

Tabla 6.5

2ª Sigla	Sistema
A	Aerogenerador
S	Subestación
O	Otros

La tercera sigla corresponde a la periodicidad:

Tabla 6.6

3ª Sigla	Periodicidad
M	Mensual
S	Semestral
A	Anual
2	Cada 2 años
3	Cada 3 años

Las listas de acciones de mantenimiento se encuentran en el anexo III.

El obrero y el encargado compartirán una copia de cada lista, para tener las observaciones anotadas conjuntamente. Además, habrá una copia de las listas de los aerogeneradores en cada aerogenerador y una copia de las listas de la subestación en la subestación.

Para el mantenimiento correctivo se calcula un 20% del mantenimiento preventivo, debido a que es un parque eólico de reciente construcción y no se necesitan

demasiadas reparaciones. El 20% corresponde a 503 horas al año destinado al mantenimiento correctivo.

Entonces, las horas totales anuales destinados al mantenimiento que se calculan son 3.015 horas.

Debido a posibles bajas de los trabajadores se aplica un margen de seguridad del 5% de las horas calculadas. Se obtienen entonces 3.166 horas al año.

6.8 Recursos

6.8.1 Recursos humanos

Para calcular el número de trabajadores necesarios, dividimos las horas totales dedicadas al mantenimiento obtenidas por las horas laborales de los trabajadores. Se calculará entonces a continuación el número de horas efectivas que tiene un trabajador.

Primeramente, se obtienes los días efectivos al año de un trabajador:

- A los 365 días del año se restan 52 sábados y 52 domingos y 21 días vacacionales y 14 días festivos. Entonces, se llega a 226 días efectivos.
  En la siguiente tabla se resumen los días laborales al año:

Tabla 6.7

Días en un año	Sábados	Domingos	Días festivos	Vacaciones
365	52	52	14	21

- Entonces, multiplicamos los días por la jornada de 7 horas y media (8 horas de jornada más 30 minutos de descanso). Obtenemos entonces 1.695 horas anuales.
- Se descuentan un 5% de las horas por posibles bajas. Se concluyen entonces 1.610 horas anuales por trabajador.
- Dividiendo las 3.166 horas que supone el mantenimiento del parque eólico entre las horas efectivas de un trabajador, llegamos a la conclusión de que se necesitan 2 trabajadores.

Tabla 6.8

Horas por trabajador	Número de trabajadores	Horas totales
1.610	2	3.220

Se necesitan entonces, como mínimo 2 trabajadores dedicados al mantenimiento, con una disponibilidad de 3.220 horas al año. Se tienen entonces 54 horas vacantes, en las que no hay trabajo asignado.

Estas horas vacantes estarán destinados a trabajos de planificación, documentación, supervisión, etc. Por simplicidad, se resumen estos trabajos a trabajos de documentación. Se calcula entonces una hora y media semanal aproximadamente destinada a este tipo de trabajos. Se llega a la conclusión de que un trabajador será un obrero destinado exclusivamente a las acciones de mantenimiento, mientras que el otro trabajador será el encargado del mantenimiento del parque eólico. El encargado realizará tanto acciones de mantenimiento como trabajos de los trabajos de documentación.

Además, los trabajadores estarán de guardia en el caso de que no sea necesario realizar una acción de mantenimiento. Los trabajadores permanecerán a disposición del empresario, de manera que puedan acudir al parque eólico en caso de algún problema. El Tribunal de Justicia de la Unión Europea sentenció el 21 de febrero de 2018 que el tiempo de disponibilidad localizada (incluso fuera de la empresa) es reconocido como jornada de trabajo.

Las horas calculadas para las acciones de mantenimiento correctivo serán horas de guardia de los trabajadores, de manera que estarán disponibles por si surge algún problema en el parque eólico.

Debido a que el parque eólico está en funcionamiento también los fines de semana, es necesario que los sábados y domingos alguno de los trabajadores esté presente. Por lo tanto, el obrero tendrá una semana laboral de lunes a viernes, mientras que el encargado estará presente en el parque eólico de miércoles a domingo.

En la siguiente tabla se expone el horario de los trabajadores:

Tabla 6.9

Día	Jornada	Trabajador	Tipo de trabajo
Lunes	10:00-16:00	Obrero	Acciones preventivas
	16:00-18:00	Obrero	Guardia
Martes	10:00-16:00	Obrero	Acciones preventivas
	16:00-18:00	Obrero	Guardia
Miércoles	8:00-14:00	Encargado	Acciones preventivas
	14:00-16:00	Encargado	Guardia
	12:00-18:00	Obrero	Acciones preventivas
	18:00-20:00	Obrero	Guardia
Jueves	8:00-14:00	Obrero	Acciones preventivas
	14:00-16:00	Obrero	Guardia
	12:00-18:00	Encargado	Acciones preventivas
	18:00-20:00	Encargado	Guardia
Viernes	8:00-14:00	Encargado	Acciones preventivas
	14:00-16:00	Encargado	Guardia
	12:00-18:00	Obrero	Acciones preventivas
	18:00-20:00	Obrero	Guardia
Sábado	10:00-16:00	Encargado	Acciones preventivas
	16:00-18:00	Encargado	Guardia
Domingo	10:00-14:30	Encargado	Acciones preventivas
	14:30-16:00	Encargado	Documentación
	16:00-18:00	Encargado	Guardia

Las 2.512 horas al año destinadas al mantenimiento preventivo equivalen a 11,12 horas diarias en los días laborales (excluyendo sábados y domingos). Se aproxima a 12 horas diarias dedicadas al mantenimiento preventivo.

Es decir, de lunes a viernes, 12 horas al día son dedicadas al mantenimiento preventivo. Esto corresponde a un valor real de 2.712 horas anuales dedicadas al mantenimiento preventivo.

De lunes a viernes los trabajadores estarán entonces presentes 6 horas en el parque eólico realizando acciones de mantenimiento preventivo. De esta manera, se completan las 12 horas previstas.

Las demás horas son dedicadas a acciones de corrección y trabajos de documentación. Se calculó anteriormente que una hora y media semanal estará dedicada a los trabajos de documentación (equivalente a 68 horas al año). El encargado realizará estos trabajos los viernes para concluir la semana laboral.

Las horas sobrantes son dedicadas al mantenimiento correctivo. Como no se puede prever cuándo son realizadas las acciones de mantenimiento, los trabajadores estarán durante este tiempo de guardia. De esta manera, si ocurre algo en el parque eólico, los trabajadores pueden reaccionar lo suficientemente rápido para que las paradas de los aerogeneradores no se reflejen en pérdidas económicas altas.

6.8.2 Recursos materiales

Los recursos materiales empleados para realizar el mantenimiento del parque eólico se clasifican en consumibles, subcontratos, herramientas y repuestos.

En la siguiente tabla se entra en detalle sobre los recursos de cada grupo.

Tabla 6.10

Grupo	Recursos materiales
Consumibles	Aceite
	Productos de limpieza
	Pintura
	Líquido de refrigeración
	Cemento
	Agua
Subcontratos	Vehículo
Herramientas	Equipos de medida y maniobra
	Herramientas mecánicas
	Comprobador de instalaciones
	Equipos de protección individual
	Equipos de escalado
	Herramientas de pintura
	Herramientas de limpieza
	Herramientas de pruebas de aislamiento
Repuestos	Fusibles
	Valla
	Engranajes
	Interruptores
	Seccionadores
	Cables
	Componentes eléctricos
	Sensores
	Accionadores
	Ventiladores
	Luminaria/Bombillas
	Tornillos/Madres/Clavos…

Algunos de los recursos materiales son poco concretos, por lo que se concretarán más a continuación.

- **Vehículo:** El vehículo será subcontratado por una empresa para que ésta se encargue del mantenimiento y de las reparaciones del mismo. Se subcontratará un único vehículo, ya que solamente se cuenta con dos trabajadores dedicado al mantenimiento.
- **Herramientas mecánicas:** Entre las herramientas mecánicas se encuentran las herramientas generales como son martillos, destornilladores, etc. como herramientas eléctricas (instrumentos de medida, por ejemplo).
- **Cemento:** El cemento estará destinado a las deficiencias de los pórticos y las estructuras.
- **Equipos de protección individual:** Para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, es necesario que lleven los equipos de protección individual (EPIs) establecidos en el plan de prevención de riesgos laborales.

Capítulo 7: Presupuesto

En la siguiente tabla podemos observar el presupuesto de cada partida del mantenimiento del parque eólico. Se llega a la conclusión de que el mantenimiento del parque eólico supone un gasto aproximado de 114.400 euros al año. Como dato, el IGIC está comprendido dentro del precio calculado.

Tabla 7.1

Partidas	Precio anual	Cantidad	Presupuesto
Mano de obra			
Obrero	29.160,00 €	1	29.160,00 €
Encargado	35.640,00 €	1	35.640,00 €
Total			64.800,00 €
Materiales			
Fusibles (conjunto de 100 piezas)	4,97 €	10	50 €
Aceite	15.180,00 €	-	15.180,00 €
Valla (25m)	92,95 €	2	186 €
Engranajes	700,00 €	-	700,00 €
Productos de limpieza	500,00 €	-	500,00 €
Pintura	450,00 €	-	450,00 €
Interruptores/Seccionadores	200,00 €	-	200,00 €
Cables	259,00 €	-	259 €
Componentes eléctricos	150,00 €	-	150,00 €
Sensores	200,00 €	-	200,00 €
Accionadores	200,00 €	-	200,00 €
Líquido de refrigeración	2.000,00 €	-	2.000,00 €
Ventiladores	800,00 €	-	800,00 €
Cemento	400,00 €	-	400,00 €
Luminaria/Bombillas	350,00 €	-	350,00 €
Tornillos/Madres/Clavos…	400,00 €	-	400,00 €
Agua	400,00 €	-	22.024,60 €
Total			43.999,50 €
Subcontratos			
Renting vehículo	2.916,00 €	-	2.916,00 €
Total			2.916,00 €
Herramientas			
Equipos de medida y maniobra	500,00 €	-	500,00 €
Herramientas mecánicas	400,00 €	-	400,00 €
Comprobador de instalaciones PCE-ECT	98,90 €	-	98,90 €
Equipos de protección individual	300,00 €	-	300,00 €

Equipos de escalada	400,00 €	-	400,00 €
Herramientas de pintura	200,00 €	-	200,00 €
Herramientas de limpieza	500,00 €	-	500,00 €
Herramientas de pruebas de aislamiento	250,00 €	-	250,00 €
Total			2.648,90 €
		Presupuesto total:	114.364,40 €

En la columna de partidas se exponen los elementos sobre los cuales se realiza el presupuesto. La columna de precio anual indica el gasto anual estimado de una unidad de partida, mientras que la columna de cantidad representa la cantidad de partidas necesarias al año. Las partidas con guion son elementos cuya cantidad es difícil de estimar, por lo que se realiza un presupuesto estimado sin indicar la cantidad. Por último, la columna de presupuesto supone el gasto total anual de cada partida, es decir, el producto entre la cantidad y el precio anual de cada partida.

La mayor parte de los gastos lo suponen los dos trabajadores. Se pagan mensualmente al obrero unos 1.800 euros y al encargado unos 2.200 euros. Incluyendo los costes sociales, los cuales suponen un 35% del saldo, se llega a 64.800 euros en gastos de mano de obra.

Los gastos en materiales de consumo y de repuesto, tanto como los gastos de las herramientas, son difíciles de estimar, por lo que se realizó una sobreestimación de los mismos. Los gastos de los materiales de consumo y de repuesto llegan a 44.000 euros, mientras que los gastos en herramientas llegan a 2.650 euros. Sin embargo, como ya mencionado, estos gastos previstos son sobreestimaciones para cubrirnos en seguridad.

Como visto anteriormente, el único recurso subcontratado es el vehículo de mantenimiento. Esto supone un gasto mensual de 243 euros. Al año se llega entonces a gastos de 2.916 euros.

Sin embargo, los 114.400 euros anuales calculados no representan el presupuesto total del mantenimiento del parque eólico. Al ser subcontratado el plan de mantenimiento, la empresa subcontratada obtiene también un beneficio industrial. Además, se producen gastos generales.

El beneficio industrial que obtiene la empresa subcontratada supone el 6% del presupuesto calculado, es decir, 6.840 euros. Los gastos generales suponen gastos

entre un 13% y un 17% del presupuesto calculado. Para un valor del 15% se obtienen entonces 17.160 euros de gastos generales.

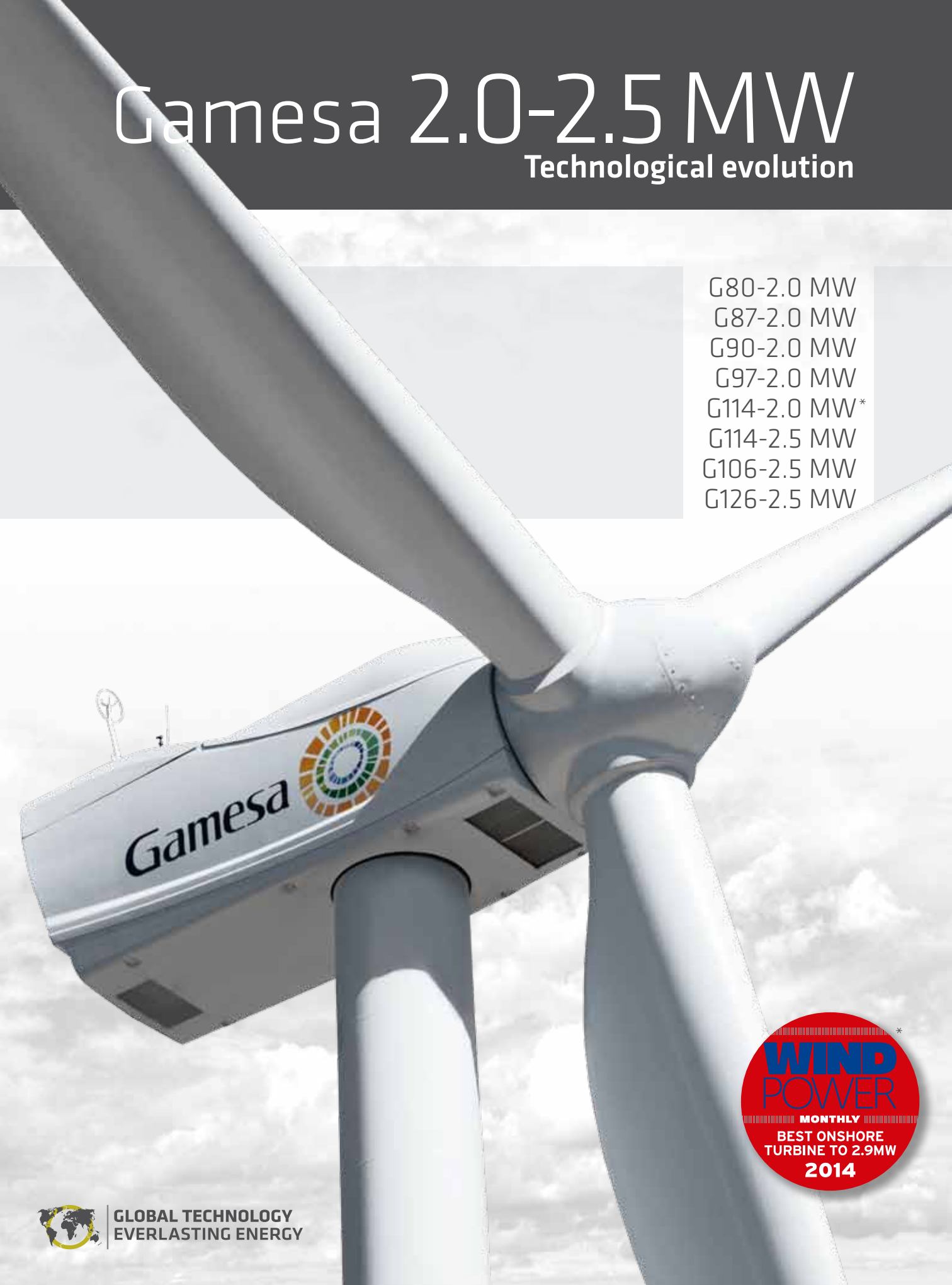
Tomando en cuenta los gastos indicados anteriormente se obtiene un presupuesto total de 138.400 euros.

Anexo I

Gamesa 2.0-2.5 MW

Technological evolution

G80-2.0 MW
G87-2.0 MW
G90-2.0 MW
G97-2.0 MW
G114-2.0 MW*
G114-2.5 MW
G106-2.5 MW
G126-2.5 MW



WIND POWER MONTHLY
BEST ONSHORE TURBINE TO 2.9MW
2014

GLOBAL TECHNOLOGY
EVERLASTING ENERGY

INDEX

p. 3 Economic progress and sustainable development.

p. 4 Innovative evolution.

p. 5 Global capacity for production, installation and operation and maintenance.

p. 7 Versatility.

p. 8 Discovering the Gamesa 2.0-2.5 MW:
- Advantages of the new Gamesa 2.0-2.5 MW platform.
- New features and improvements.
- Technical specifications and services.

Economic progress & Sustainable development

These are the great challenges facing today's society. In the areas of energy management and power generation, Gamesa is tackling these challenges by developing technologies that foster energy sustainability in a clean, efficient and profitable manner.

By harnessing the best and most modern technologies in conjunction with its high industrial potential, Gamesa continues to improve the efficiency and capacity of its products and services by designing and manufacturing of ever more advanced wind turbines.

The drive behind our work to develop more efficient technologies, products and services is to ensure that Gamesa's range of offerings is the most comprehensive in terms of capabilities and the most competitive in the market. Our goal? Complete customer satisfaction.

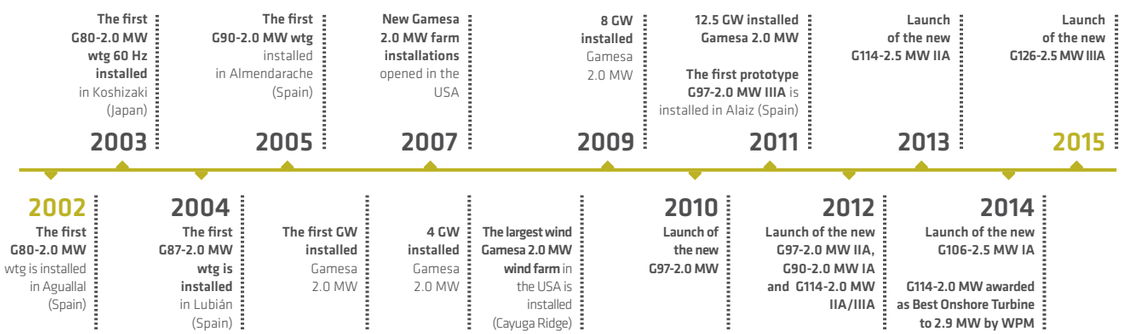
Innovative Evolution

Technology is one of the fundamental focal points of Gamesa's activities, evidenced by the substantial research and development efforts employed by the company to continually improve its Gamesa 2.0-2.5 MW platform.

Gamesa wind turbine technology is characterized by its robustness, reliability and adaptability to all types of sites and wind conditions from the toughest, most demanding locations to those with medium to light winds. The Gamesa 2.0-2.5 MW technology has been very well received and has become an industry workhorse, as evidenced by the more than 18,600 MW of power installed in 33 countries*.

The company's significant experience base and its in-depth knowledge of market needs and demands have enabled it to develop technological improvements in this platform. The evolution and incorporation of substantial innovations in design, products and features have put the new Gamesa 2.0-2.5 MW platform on the path to leadership in the multi-megawatt segment.

As a matter of fact, the G114-2.0 MW model has recently been awarded Best Turbine Of The Year 2014 in the category of less than 3 MW by the publication Windpower Monthly.



* As of 31st, Dec 2014

Global capacity for production, installation and operation and maintenance

Gamesa is a company specializing in technologies for sustainable energy, mainly wind energy, and is one of the world leaders in the manufacture of wind turbines.

Within this sector, Gamesa manages the entire process, from the design, manufacture and installation of wind turbines, to their operation and maintenance. The over 31,200 MW installed throughout the world is evidence of the excellent performance of Gamesa's wind turbines. This optimum behavior is only possible with a full command of the technology and of the product with all its critical components.

Gamesa has the capacity to design, manufacture, operate and maintain its wind turbines. The tailor-made development of the critical components of its turbines-from the gearbox to the blades- ensures excellence in the design and the very highest quality standards. At the same time, it permits the shortest delivery times and the fastest technical response during the maintenance period.

Research, Development and Innovation form an integral part of the company's processes and products as well as its tasks and operations all along the supply chain, ensuring customer satisfaction and the search for excellence. In addition to this high ability to innovate, Gamesa also has an impressive manufacturing capacity, having production centres that support the main wind markets. Spain and China are the global production and supply hubs, and local production capacity is maintained in India and Brazil.

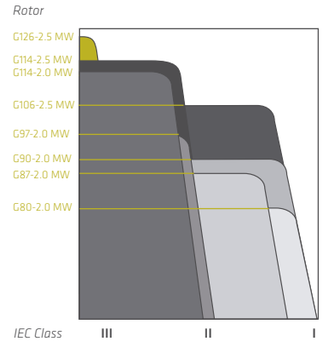
Gamesa fully controls the production process and attends to the needs of its clients on all five continents, offering its customers the highest quality standards and short customer response times.

* Data as of 31st, Dec 2014

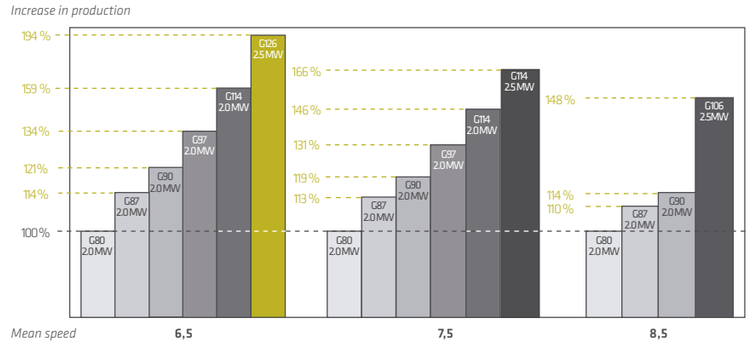
Versatility

Gamesa's 2.0-2.5 MW platform offers turbines in seven rotor diameters -80, 87, 90, 97, 106, 114 and 126 meters. The availability of these different rotor diameters enables the platform to operate in IEC Class I, Class II and Class III environments, thus achieving maximum output for specific site wind conditions. Multi-megawatt wind turbines from the Gamesa 2.0-2.5 MW platform improve competitive investment ratios per MW installed and Cost of Energy produced.

IEC Class per model



Production gain by mean speed



* NOTE: theoretical production calculated for k=2, density 1,225 kg/m3, with average speed at hub height.

Discovering Gamesa 2.0-2.5 MW

The operational improvements of the Gamesa 2.0-2.5 MW are derived from its speed control and variable pitch technology enhancements, as well as other hardware and software design upgrades. Ongoing turbine upgrades ensure that maximum energy is extracted from the wind as efficiently as possible.

- Composite materials reinforced with glass and carbon fiber for lighter blades without sacrificing rigidity and strength.
- The Gamesa WindNet® remote control system.
- Gamesa SMP predictive maintenance.
- Gamesa NRS® noise control.
- Solutions for optimum grid connection.

Model	IEC	Rated Power	Grid Code	Tower Heights	Environm. Options (1)	Type certificate	50 Hz 60 Hz
G80	IA	2,000 kW	√	60, 67, 78, 100(2) m	√	√	√
G87	IA(3)/ IIA	2,000 kW	√	67, 78, 90, 100 m	√	√	√
G90	IA/IIA	2,000 kW	√	55(6), 67(5), 78, 90(6), 100 m	√	√	√
G97	IIA/IIIA	2,000 kW	√	78, 90, 100, 104(7), 120 m	√	√	√
G114	IIA/IIIA	2,000 kW	√	80, 93, 125 m and site specific	√	√	√
G106(4)	IA	2,500 kW	√	72, 80, 93 m and site specific	√	(4)	√
G114	IIA	2,500 kW	√	80, 93, 125 m and site specific	√	(4)	√
G126(4)	IIIA	2,500 kW	√	84, 102, 129 m and site specific	√	(4)	√

(1) Different versions and optional kits are available to adapt machinery to high or low temperatures and saline or dusty environments.
(2) 100 meter IEC IIA tower.
(3) Class S, available with 78 and 90 m tower heights.
(4) Under development.
(5) Availability depending on the site.
(6) Available only for Class I.
(7) Class S.

New G114-2.0 MW

Best Onshore Turbine 2014*

- Model with the HIGHEST CAPACITY FACTOR of the market.
- MINIMUM power density.
- IMPROVED CoE.
- MAXIMUM profitability.
- TYPE CERTIFICATE available.

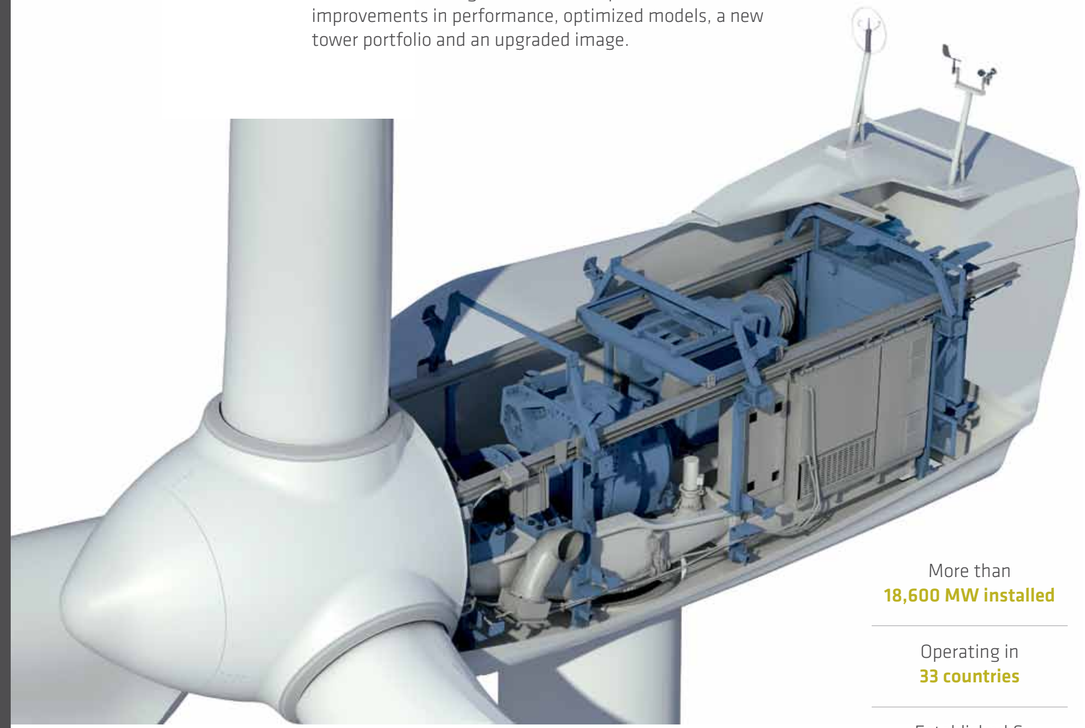
Innovative Evolution
Gamesa 2.0-2.5 MW.

One step forward.

Advantages of the new Gamesa 2.0-2.5 MW platform

- Platform versatility: site-specific offerings to optimize energy capture & production.
- Two power outputs available: 2,000 kW and 2,500 kW.
- New, latest generation 106-, 114- and 126-meter rotors for high, medium and low winds which, together with the 80-, 87-, 90 and 97-meter rotors, make this the most versatile platform on the market.
- Variable pitch and speed technology maximize energy production.
- State-of-the-art blade manufacturing technology. New optimized blade profile guarantees maximum production and low noise.
- Technological solutions guarantee compliance with international grid connection requirements.
- Gamesa active yaw system ensures optimum adaptation to complex terrain.
- Aerodynamic design and the Gamesa NRS® control system minimize noise emissions.
- Gamesa WindNet®: remote control and monitoring system with web access.
- Gamesa SMP: System for predictive maintenance.

The reliability of the Gamesa 2.0-2.5 MW, backed by broad experience and proven capacity to adapt, combines with Gamesa' s technological advances to provide notable improvements in performance, optimized models, a new tower portfolio and an upgraded image.

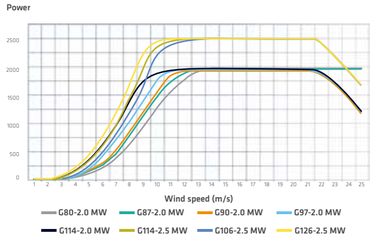


More than
18,600 MW installed

Operating in
33 countries

Established & vertically integrated manufacturing capabilities in Spain and the main wind markets:
China, India and Brazil

New features and improvements



- New 2.5 generator.
- Maximum output under any wind condition.
- Enhanced power curves.
- Reduced noise levels:
  - Aerodynamic design.
  - Gamesa NRS® control system.
- Compliance with the main international grid connection requirements.
- Gamesa WindNet®: remote control and monitoring system with web access.

- New optimized blade profiles for the new G97-2.0 MW, G114-2.0 MW, G106-2.5 MW, G114-2.5 MW and G126-2.5 MW:
  - Optimized blade root with high thickness blade profiles.
  - Lighter blades through the use of fiber glass and preimpregnation methods.
  - Patent on blade root profile family.

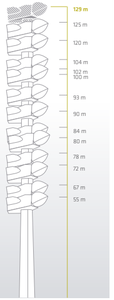
Maximum energy production and reduced noise emissions.

NEW MODELS:

- **New G126-2.5 MW IIIA.**
- **New G114-2.5 MW IIA.**
- **New G106-2.5 MW IA.**
- **New G114-2.0 MW IIA/IIIA.**
- New G97-2.0 MW IIA/IIIA.
- New G90-2.0 MW IA.

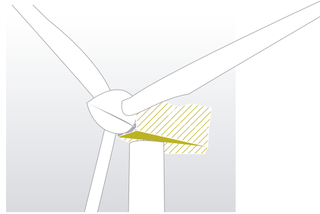
LARGE TOWER PORTFOLIO:

- New 84, 102 and 129 meter towers for G126-2.5 MW IIIA.
- New tower heights for G114-2.0 MW IIA IIIA and G114-2.5 MW IIA – 80, 93 and 125 m.
- New 55 m. tower for the G90-2.0 MW IA.
- New 72 m. tower for the G106-2.5 MW.



UPGRADED NACELLE:

- Newer, more attractive nacelle design.
- Improvements and capacity increases on key drive train components.
- Expanded space for nacelle maintenance tasks and operations.



Gamesa

2.0-2.5 MW

Gamesa 2.0-2.5 MW
Technical specifications and services

Mechanical design

The Gamesa 2.0-2.5 MW platform incorporates improved and increased mechanical capacity in key wind-turbine components such as the yaw system, the framework, main axis and blade bearings.

These improvements guarantee maximum reliability of the equipment and allow larger rotors to be used to increase the power generated in medium and light winds.

Drive train

The main axis is supported by two spherical bearings that provide significant advantages since lateral loads are transmitted directly to the framework through a rack. This prevents the gear box from receiving additional, unwanted loads, reduces the possibility of breakdown and provides a longer service life.

Total lightning protection

The Gamesa 2.0-2.5 MW platform uses the "Total Lightning Protection" system, designed according to the IEC 62305 standard. This system conducts the lightning from both sides of the tip of the blade to the root, and from there, through the nacelle and the tower structure, to the foundation grounding system. This protects the blade and prevents the lightning from going through the blade bearings and main axis, safeguarding sensitive electrical and electronic elements from damage.

Controlled brake system

The joint action of the primary aerodynamic brakes and mechanical emergency brake (located at the output of the high-speed axis of the gear box) with a hydraulic control system, allows controlled braking that prevents damage due to excessive transmission load.

Designed for simple maintenance

Gamesa's global response offers a wide range of operational and maintenance options. Gamesa turbines come with maintenance service, a two-year warranty on components, availability and power curves - all standard.

But Gamesa's commitment to its customers does not end there. The company has developed a wide range of maintenance services which offer great flexibility in long-term operation and maintenance contracts (up to 15 years, extendable) and provide maximum coverage to guarantee optimum availability - helping to pave the way to financing.

Through detailed analysis of its extensive operational experience, Gamesa also continuously adapts its equipment to the most demanding connection grids and environmental surroundings.

Gamesa WindNet® Real-time Operation and Monitoring

The new generation SCADA wind farm system entirely developed by Gamesa, allows remote operation and the monitoring of the wind turbine, its meteorological mast and electrical substation in real time. Gamesa's WindNet® innovative, modular design is based on TCP/IP architecture. Control features include active and reactive power, voltage and frequency regulation tools and environmental options to optimize production while complying with current regulations.

Accessible anywhere through a Web browser, Gamesa WindNet® is simple to use and intuitive. It features the Report Generator and Information Manager analytical tools, as well as TrendViewer, an advanced tool to illustrate key data trends.

Control system: Maximum output under any wind condition

Dual powered generator, speed and power controlled by IGBT converters and electronic PWM control (Pulse Width Modulation).

Advantages:
- Active and reactive power control.
- Low harmonic content and minimum losses.
- Increased efficiency and production.
- Improved useful life of the machine.

On-Line Condition Monitoring System for Predictive Maintenance (SMP)

Predictive maintenance system for premature detection of potential deterioration or faults in the main wind-turbine components.

Advantages:
- Fewer large correctives.
- Improved reliability, availability and useful life of the machine.
- Integration with the control system.
- Risk mitigation provides preferential conditions in negotiations with insurance providers.

Noise Reduction System® Minimum Noise Emission

New aerodynamic design of the blade tip and mechanical components design minimize noise emissions.

In addition, Gamesa has developed the Gamesa NRS® noise control system, which makes it possible to program the turbine to reduce noise emissions according to such criteria as the date, time or wind direction.

This achieves compliance with local regulations and enables maximum production.

Optimum electrical grid connection and stable production

Gamesa's Doubly Fed wind turbines, adopting Active Crowbar and DAC converter technologies, guarantee compliance with today's most demanding grid code requirements as well as future electrical grid and wind farm configurations, by offering full support for voltage-drop and dynamic active and reactive power regulation.

The DFIM Technology (Doubly Fed Induction Machine) in combination with Gamesa WindNet®, the new SCADA System developed by Gamesa, allows the regulation of active and reactive power via the injection of rotor currents with variable amplitude, frequency and phase.

Specifically, the injection of currents with variable amplitude allows the system to control the reactive power by varying the power factor, whereas the injection of currents with variable phase allows the system to control the active power.

With less than 25% of the generated power passing through the converter, the DFIM Technology guarantees that the harmonics generated are minimized.

Dynamic regulation of reactive power on the wind farm

The on-site power measurement equipment monitors the high-voltage active and reactive power data at the output of the substation transformer and send them to Gamesa WindNet® via the control unit of the substation.

Gamesa WindNet® dynamically calculates and corrects the power factor in accordance with the reference values of the System Operator.

Gamesa WindNet® actuates on both the reactive power regulation capability of the turbine and, where available, other equipment in the substation such as capacitor banks and FACTS systems.

Fulfillment of grid code requirements

REQUIREMENT	GAMESA FULFILLMENT[1]
Voltage ride-through	Low voltage ride-through capabilities covering the most important grid codes.
Reactive regulation[2]	Up to Cos phi 0.95 (cap) - 0.95 (ind) in output terminals of the turbine.
Active regulation	±10% ΔP* and capacity to participate in primary regulation.
Operational frequency range	47-53 (50 Hz) 57-63 (60 Hz)
Operational voltage range	±5% in normal operation and ±10% in specific periods.
Remote control	Control via Gamesa WindNet® of the active and reactive power with different set-point options and the possibility of dealing dynamically with the commands for operations of the grid operator.

(1) Valid for new machines.
(2) Options to be defined in every order.

* The increase in power will depend on the existence of wind resources or previous commands from the O.S. to reduce power.

	G80-2.0 MW	G87-2.0 MW	G90-2.0 MW	G97-2.0 MW	G114-2.0 MW	G106-2.5 MW	G114-2.5 MW	G126-2.5 MW
ROTOR								
Diameter	80 m	87 m	90 m	97 m	114 m	106 m	114 m	126 m
Swept area	5,027 m^2	5,945 m^2	6,362 m^2	7,390 m^2	10,207 m^2	8,825 m^2	10,207 m^2	12,469 m^2
Rotational speed	9.0 - 19.0 rpm	9.0 - 19.0 rpm	9.0 - 19.0 rpm	9.6 - 17.8 rpm	7.8 - 14.8 rpm	7.7 - 14.6 rpm	7.7 - 14.6 rpm	7.1 - 12.9 rpm
BLADES								
Number of blades	3	3	3	3	3	3	3	3
Length	39 m	42.5 m	44 m	47.5 m	56 m	52 m	56 m	62 m
Airfoils	NACA 63.XXX + FFA-W3	DU + FFA-W3	DU + FFA-W3	Gamesa	Gamesa	Gamesa	Gamesa	Gamesa
Material	Pre-impregnated epoxy glass fiber	Pre-impregnated epoxy glass fiber	Pre-impregnated epoxy glass fiber	Pre-impregnated epoxy glass fiber + carbon fiber	Fiberglass reinforced with epoxy or polyester resin	Fiberglass reinforced with epoxy or polyester resin	Fiberglass reinforced with epoxy or polyester resin	Fiberglass reinforced with epoxy or polyester resin
TOWER								
Type	Modular	Modular	Modular	Modular	Modular	Modular	Modular	Modular
Height	60, 67, 78 and 100 m	67, 78, 90 and 100 m	55, 67, 78, 90 and 100 m	78, 90, 100, 104 and 120 m	80, 93, 125 m and site specific	72, 80, 93 m and site specific	80, 93, 125 m and site specific	84, 102, 129 m and site specific
GEAR BOX								
Type	1 planetary stage 2 parallel stages	1 planetary stage 2 parallel stages	1 planetary stage 2 parallel stages	1 planetary stage 2 parallel stages	1 planetary stage 2 parallel stages	2 planetary stages 1 parallel stage	2 planetary stages 1 parallel stage	2 planetary stages 1 parallel stage
Ratio	1:100.5 (50 Hz) 1:120.5 (60 Hz)	1:100.5 (50 Hz) 1:120.5 (60 Hz)	1:100.5 (50 Hz) 1:120.5 (60 Hz)	1:106.8 (50 Hz) 1:127.1 (60 Hz)	1:128.5 (50 Hz) 1:102.5 (60 Hz)	1:129.7 (50 Hz) 1:103.8 (60 Hz)	1:129.7 (50 Hz) 1:103.8 (60 Hz)	1:98 (50 Hz) 1:118 (60 Hz)
GENERATOR								
Type	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine	Doubly-fed machine
Rated power	2.0 MW	2.0 MW	2.0 MW	2.0 MW	2.0 MW	2.5 MW	2.5 MW	2.5 MW
Voltage	690 V AC	690 V AC	690 V AC	690 V AC	690 V AC	690 V AC	690 V AC	690 V AC
Frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Protection class	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54
Power factor	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range*

* Power factor at generator output terminals, on low voltage side before transformer input terminals.

C/ Ciudad de la Innovación, 9-11
31621 Sarriguren (Spain)
Tel: +34 948 771 000
Fax: +34 948 165 039
info@gamesacorp.com
www.gamesacorp.com

AUSTRALIA
Level 39 , 385 Bourke Street,
Melbourne VIC 3000

BRAZIL
Rua Hungria 1240, 3ºA
Jd. Europa,
CEP 01455-000
São Paulo (SP)
Tel: +5511 3096 4444

CHINA
23/F, Tower 1,
Beijing Prosper Center No. 5
Guanghua Road, Chaoyang District,
Beijing 100020
Tel: +86 10 5789 0899
Fax: +86 10 5761 1996

EGYPT
3, 218 St. Degla,
11431 Maadi, Cairo
Tel: +20 225 211 048
Fax: +20 225 211 282

FRANCE
97 Allée Borodine - Cedre 3
69800 Saint Priest
Tel: +33 (0) 4 72 79 49 39

GERMANY
Neuer Wall 10 / Jungfernstieg
20354 Hamburg
Tel: +49 40 822 15 30 - 48

GREECE
9 Adrianiou str,
11525 Neo Psychiko, Athens
Tel: +30 21067 53300
Fax: +30 21067 53305

INDIA
The Futura IT Park,
B-Block, 8th Floor
334, Rajiv Gandhi Salai
Sholinganallur,
Chennai - 600 119
Tel: +91 44 3924 2424
sales.india@gamesacorp.com

ITALY
Via Pio Emanuelli 1
00143 Rome
Tel: +39 0645543650
Fax: +39 0645553974

MEXICO
C/Hamburgo, nº 213, Planta 18,
Juárez (Reforma Centro)
06600, México D.F.
Tel: +52 55 5533 08010

POLAND
Ul. Galaktyczna 30A
80-299 Gdansk
Tel: +48 58 766 62 62
Fax: +48 58 766 62 99
poland.wind@gamesacorp.com

ROMANIA
169A Calea Floreasca Street,
Building A, 4th Floor,
office no 2069, Sector 1
014459 Bucharest
Tel: +40 318 21 24
Fax: +40 318 60 21 00

SRI LANKA
#51/1, Colombo Road,
Kurana, Katunayake
Tel: +94 31 2235890

SWEDEN, FINLAND, NORWAY
Bibilotekstorget 8
171 45 Solna (Sweden)
Tel: +46 (0) 8 510 668 10

TURKEY
Astoria
Buyukdere Cad. No. 127
Kule A, Kat 10
Esentepe
Istanbul 34394
Tel: +90 212 340 76 00

UNITED KINGDOM
25 Napier Place
Wardpark North
Cumbernauld G68 0LL
Tel: +44 1236724890

UNITED STATES
1150 Northbrook Drive
Trevose, PA 19053
Tel: +1 215 710 3100
Fax: +1 215 741 4048

In order to minimize the environmental impact, this document has been printed on paper made from 50% pure cellulose fiber (ECF), 40% selected pre-consumer recycled fiber, and 10% post-consumer deinked recycled fiber inks based exclusively on vegetable oils with a minimum volatile organic compound (VOC) content. Varnish based predominantly on natural and renewable raw materials.

The present document, its content, its annexes and/or amendments has been drawn up by Gamesa Corporación Tecnológica, S.A. for information purposes only and could be modified without prior notice. All the content of the Document is protected by intellectual and industrial property rights owned by Gamesa Corporación Tecnológica, S.A. The addressee shall not reproduce any of the information, neither totally nor partially.

Printed date: September 2015

Anexo II

					Periodicidad							
Sistema	**Sección**	**Acción de mantenimiento**	**Tipo de mantenimiento**	**Subgrupo**	**Mensual**	**Semestral**	**Anual**	**Cada 2 años**	**Cada 3 años**	**Corr/Oport**	**Duración (h)**	**Documento**
Aerogenerador	**Sistema eléctrico**	Limpieza del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
		Pruebas de aislamiento del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático				X			2	MPE-A-2
		Pruebas de conexión a tierra del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				2	MPE-A-A
		Pruebas funcionales del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						0,5	MPE-A-M
		Revisión de interruptores/seccionadores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático					X		1	MPE-A-3
		Revisión del centro de transformación	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					1	MPE-A-S
		Revisión de pararrayos	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				1	MPE-A-A
		Sustitución de fusibles	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato						X	-	
		Revisión de sistemas de protecciones	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático				X			2	MPE-A-2
	Electrónica de control	Pruebas funcionales de electrónica de control	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						0,5	MPE-A-M
		Sustitución de componentes electrónicos	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato						X	-	
	Sensores	Pruebas de funcionamiento de los sensores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Sustitución de sensores defectos	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento inmediato						X	-	
	Sistema hidráulico	Revisión de accionadores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Pruebas funcionales del sistema hidráulico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Reparaciones en el sistema hidráulico	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Sistema de orientación	Inspección del mecanismo de orientación	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Inspección del contador de torsión	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Sustitución de cables en caso de rotura por torsión	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Palas	Limpieza de las palas	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
		Pintado de palas	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
		Revisión de palas	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
	Buje	Limpieza del buje	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
		Pintado del buje	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Freno mecánico	Pruebas de funcionamiento del freno mecánico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Reparaciones del freno mecánico en caso de avería	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Generador	Limpieza del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
		Pruebas de funcionamiento del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Revisión de componentes del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					1	MPE-A-S
		Comprobación del equilibrio del rotor del generador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Revisión de ventiladores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Revisión de escobillas	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Comprobación de lubricación	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-A-M
		Comprobar aislamiento	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					1	MPE-A-S
	Multiplicadora	Limpieza de los engranajes de la multiplicadora	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Sustitución de los engranajes	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Góndola	Revisión de la estructura de la góndola	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				1	MPE-A-A
		Limpieza de la góndola	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-A-S
		Pintado de la góndola	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Tren de potencia	Limpieza del tren de potencia	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-A-M
		Sustitución de componentes del tren de potencia	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	

Subestación	**Sistema eléctrico**	Limpieza del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-S-S
		Pruebas de aislamiento del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático				X			2	MPE-S-2
		Pruebas de conexión a tierra del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				2	MPE-S-A
		Pruebas funcionales del sistema eléctrico	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						2	MPE-S-M
		Revisión de interruptores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático					X		1	MPE-S-3
		Revisión de seccionadores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático					X		1	MPE-S-3
		Revisión de pararrayos	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				2	MPE-S-A
		Sustitución de fusibles	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento inmediato						X	-	
		Revisión de sistemas de protecciones	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático				X			1	MPE-S-2
		Revisión del equipo rectificador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					0,5	MPE-S-S
	Transformador	Limpieza del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-S-S
		Pruebas de funcionamiento del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						1	MPE-S-M
		Revisión de componentes del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					2	MPE-S-S
		Revisión de ventiladores	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						0,5	MPE-S-M
		Cambio de aceite del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					1	MPE-S-S
		Comprobación del nivel de aceite del transformador	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático	X						0,5	MPE-S-M
Otros	**Pórticos y estructuras**	Revisión de pórticos y estructuras	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático					X		2	MPE-O-3
		Reparaciones en los pórticos y estructuras	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
		Pintado de pórticos y estructuras	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Luminaria	Revisión de luminaria	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					0,5	MPE-O-S
		Sustitución de luminaria y/o bombillas	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Valla limitadora	Revisión de la valla limitadora	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático			X				2	MPE-O-A
		Reposición de la valla limitadora	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
	Equipos	Revisión de equipos de maniobra	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad						X	-	
		Revisión de equipos de medición	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad						X	-	
		Revisión de herramientas	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento de oportunidad						X	-	
	Sist. de comunicaciones	Revisión de sistemas de comunicaciones	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento programado sistemático		X					1	MPE-O-S
		Sustitución de componentes defectos	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento diferido						X	-	
										Duración total: 2512 horas/año		

Anexo III

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-A-M
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Mensual
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas funcionales del sistema eléctrico			
2	Pruebas funcionales de la electrónica de control			
3	Pruebas funcionales de los sensores			
4	Revisión de accionadores del sistema hidráulico			
5	Pruebas funcionales del sistema hidráulico			
6	Inspección del mecanismo de orientación			

7	Inspección del contador de torsión			
8	Pruebas funcionales del freno mecánico			
9	Pruebas funcionales del generador			
10	Comprobar el equilibrio del rotor del generador			
11	Revisión de ventiladores del generador			
12	Revisión de las escobillas del generador			
13	Comprobación de la lubricación del generador			
14	Limpieza de los engranajes de la multiplicadora			
15	Limpieza del tren de potencia			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-A-S
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Semestral
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Limpieza del sistema eléctrico			
2	Limpieza completa de las palas			
3	Revisión y comprobación de las palas			
4	Limpieza completa del buje			
5	Limpieza del interior y exterior del generador			
6	Revisión de componentes del generador			

7	Comprobación del aislamiento del generador			
8	Limpieza completa de la góndola			
9	Revisión del centro de transformación			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-A-A
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Anual
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas de conexión a tierra			
2	Revisión y comprobación del pararrayos			
3	Revisión de la estructura de la góndola			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-A-2
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Cada 2 años
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas de aislamiento del sistema eléctrico			
2	Revisión de los sistemas de protecciones			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-A-3
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Cada 3 años
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Revisión y comprobación de los interruptores			
2	Revisión y comprobación de los seccionadores			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-S-M
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Mensual
Sistema	Subestación

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas funcionales del sistema eléctrico			
2	Pruebas funcionales del transformador			
3	Revisión de ventiladores del transformador			
4	Comprobación del nivel de aceite del transformador			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-S-S
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Semestral
Sistema	Subestación

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Limpieza del sistema eléctrico			
2	Revisión del equipo rectificador			
3	Limpieza del transformador			
4	Revisión de componentes del transformador			
5	Cambio de aceite del transformador			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-S-A
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Anual
Sistema	Aerogenerador

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas de conexión a tierra			
2	Revisión y comprobación del pararrayos			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-S-2
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Cada 2 años
Sistema	Subestación

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Pruebas de aislamiento del sistema eléctrico			
2	Revisión de los sistemas de protecciones			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-S-3
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Cada 3 años
Sistema	Subestación

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Revisión y comprobación de los interruptores			
2	Revisión y comprobación de los seccionadores			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-O-S
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Semestral
Sistema	Otros

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Revisión periódica de luminaria			
2	Revisión de los sistemas de comunicaciones			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-O-A
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Anual
Sistema	Otros

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Revisión de la valla limitadora			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	

Lista de acciones de mantenimiento preventivo	

Empresa	Tenerife Eólica S.A.
Código del documento	MPE-O-3
Nombre del operario	
Nombre del encargado	
Periodicidad	Cada 3 años
Sistema	Otros

		Cumple		
Nº	**Acción de mantenimiento**	**SI**	**NO**	**Observaciones**
1	Revisión de pórticos y estructuras			

Firma del operario:	

Firma del encargado:	

Fecha:	