

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO	
	Portada del Proyecto de Residencias Profesionales	

Nombre del Proyecto:

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR A TURBINAS G80X 2MW DEL
PARQUE EOLICO PIEDRA LARGA DE UNION HIDALGO OAXACA.**

Nombre del Alumno

ABDIEL OROZCO CASTILLO

Numero de Control

16990681

Nombre de la Carrera

INGENIERIA MECANICA

Especialidad

GESTION DE EFICIENCIA ENERGETICA

MC. Isaac Osorio Hernández
 Nombre del Asesor Interno

Ing. Tomas Orozco Castillo
 Nombre Asesor Externo

*Scap
 Lector Académico*

**DESARROLLOS EOLICOS AGUAYAL
 DE OAXACA, S.A. DE C.V.
 R. F. C. DEM 080723 767
 CARRETERA LAS GRAYO No. 6, COLONIA CENTRO
 70700 OAXACA, OAX. C. P. 70700**

Boca del Rio, Veracruz a 26 de Enero del 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su amor y su apoyo incondicional en todos estos años, en darme la oportunidad de culminar mis estudios, siempre serán mis razones para seguir cumpliendo mis objetivos.

A todos los amigos que conocí en esta institución, gracias por su grandiosa y maravillosa compañía a lo largo de este camino.

A todos mis profesores por ayudarme a forjar mi camino con sus conocimientos, sus enseñanzas, sus retos, estaré eternamente agradecido por su gran trabajo.

RESUMEN

En este proyecto se describe y explica de manera clara que es el mantenimiento correctivo mayor de una turbina, de un aerogenerador, el cual su función es la de transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica para la diversa e importante utilización de esta, así como también, se habla de la historia de este gran ingenio, la importancia de su bajo impacto en el medio ambiente como un generador de energía renovable y la descripción de todas las partes que componen a este aerogenerador, específicamente, el proyecto se desarrolla a partir del mantenimiento correctivo mayor de una turbina G80X 2MW del parque eólico Piedra Larga de Unión Hidalgo, Oaxaca.

Con el paso del tiempo y el trabajo constante de los aerogeneradores, pueden ocurrirles fallas en el sistema o en un componente y en ocasiones, simplemente, esas fallas no pudieron ser evitadas, esto puede detener por completo la turbina, y es ahí cuando se realiza un mantenimiento correctivo, ya sea un mantenimiento correctivo menor o mayor. Estos mantenimientos pueden llevarnos a realizar cambios de componentes muy grandes en el equipo reemplazándolos por unos nuevos, algunos de ellos pueden llegar a ser cambios como el rotor, cambio del generador, cambio de la multiplicadora, cambio del transformador, entre otros cambios, así también como cambios en las partes exteriores ya sean las palas, el buje, etc.

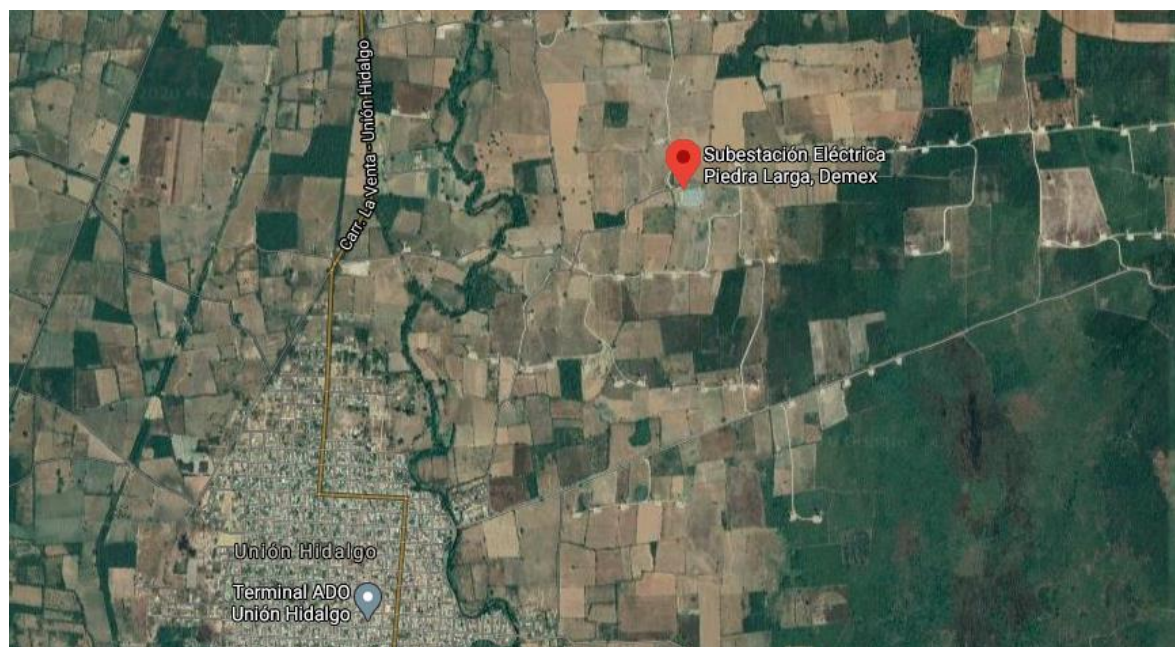


Ilustración 1. Ubicación de la subestación eléctrica con la población de Unión Hidalgo, Oaxaca.

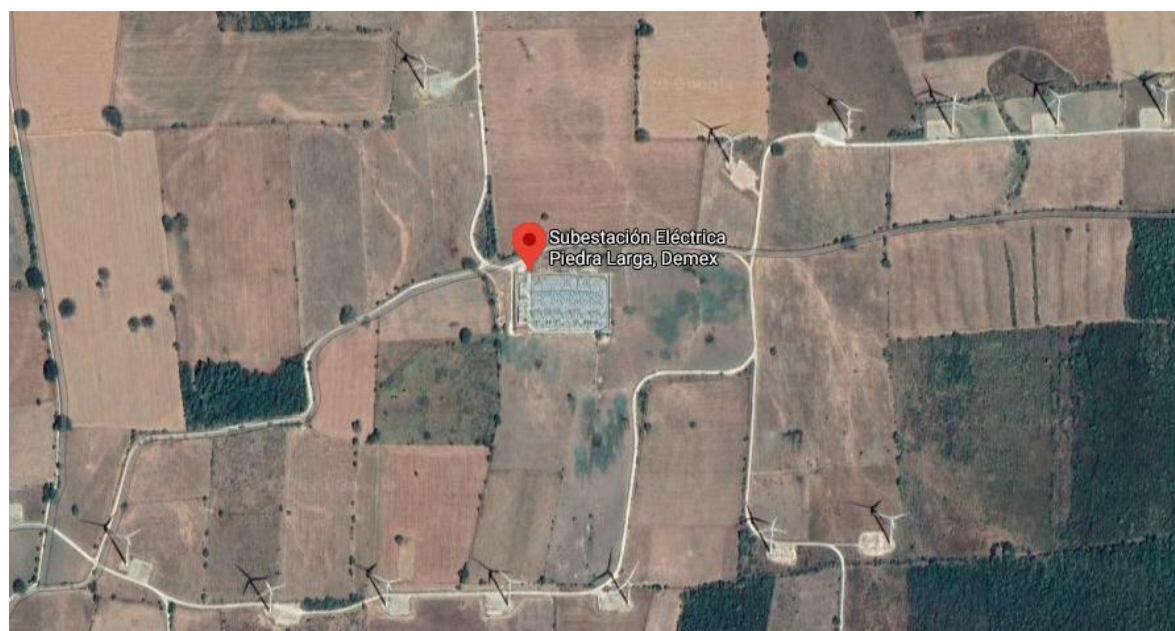


Ilustración 2. Ubicación de la subestación eléctrica Piedra Larga, Demex

Ya que hay una gran demanda en la energía eléctrica, la utilidad de estos equipos de generación de energía eólica es muy importantes ya que esta fuente de energía es renovable, no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles, origen de las emisiones de efecto invernadero que causan el calentamiento global, por lo que su correcta reparación debe ser eficaz y eficiente.

Gracias al mantenimiento correctivo, es posible reparar los aerogeneradores causadas de la existencia de fallas en el funcionamiento de estas máquinas reemplazando partes del equipo extendiendo así su vida útil. Cuando se hace un mantenimiento preventivo de los equipos intervinientes en una actividad determinada, se intenta evitar que exista un accidente o malfuncionamiento repentino que implique una pérdida económica significativa, sin embargo en el mantenimiento correctivo debido a que la falla ya ha ocurrido, el equipo se debe parar por completo para realizar el mantenimiento correctivo, lo que significa que es muy probable que se deban cambiar algunos equipos dentro del sistema los cuales pueden ser muy costosos.

Si bien el mantenimiento preventivo también implica una erogación de dinero, lo cierto es que esta es mucho menor y es controlada, haciendo que exista cierta previsibilidad, a diferencia del mantenimiento correctivo este puede resultar ser más costoso especialmente si se trata de un mantenimiento correctivo mayor y no menor como suelen darse normalmente.

Por todo ello, al realizar un buen mantenimiento nos lleva a conservar nuestro equipo manteniendo así la producción de electricidad mediante energía eólica y su uso de forma eficiente contribuyen al desarrollo sostenible.

De todas estas ventajas, es importante destacar que la energía eólica no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire, que pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y el ser humano. Las sustancias tóxicas pueden dañar los ecosistemas terrestres y acuáticos, y corroer edificios. Los contaminantes de aire pueden desencadenar enfermedades.

La energía eólica no genera residuos ni contaminación del agua, un factor importante teniendo en cuenta la escasez de agua. A diferencia de los combustibles fósiles y las centrales nucleares, la energía eólica tiene una de las huellas de consumo de agua más bajas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMÁTICA.....	3
2.1 ¿QUÉ ES EL SISTEMA YAW?.....	4
2.2 MORDAZA.....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. OBJETIVOS.....	8
4.1 OBJETIVOS GENERALES.....	8
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
5. FUNDAMENTO TEORICO.....	9
6. CAPITULO 1: LA ENERGIA EOLICA.....	10
6.1 ¿QUÉ ES LA ENERGIA EOLICA?.....	10
6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA.....	12
6.2.1 VENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA.....	14
6.2.2 DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA.....	16
6.3 HISTORIA DE LA ENERGIA EOLICA.....	18
6.3.1 CHARLES FRANCIS BRUSH (1849-1929).....	20
6.3.2 POUL LA COUR (1846-1908).....	21
6.3.3 REVOLUCION EOLICA.....	22
6.3.4 ENERGIA EOLICA EN MEXICO.....	22
7. CAPITULO 2: LOS AEROGENERADORES.....	24
7.1 ¿QUÉ ES UN AEROGENERADOR?.....	24
7.2 TIPOS DE AEROGENERADORES.....	24

7.3	¿CÓMO FUNCIONA UN AEROGENERADOR?	26
7.4	DESCRIPCION DE UN AEROGENERADOR	31
7.4.1	CARCASA	31
7.4.2	BASTIDOR	32
7.4.3	EJE PRINCIPAL	32
7.4.4	MULTIPLICADORA	33
7.4.5	SISTEMA YAW	34
7.4.6	SISTEMA DE FRENO	35
7.4.7	SISTEMA HIDRAULICO	35
7.4.8	GENERADOR	36
7.4.9	TRANSFORMADOR	38
7.4.10	ARMARIOS ELECTRICOS DE CONTROL Y DE POTENCIA	39
7.4.11	SISTEMA DE CONTROL	39
7.4.12	ROTOR	41
7.4.13	PALAS	41
7.4.14	BUJE	43
7.4.15	CONO	43
7.4.16	TORRE	44
7.4.17	CIMENTACION	45
7.5	LEY DE BETZ	46
7.5.1	CALCULO DE LA ENERGIA DIARIA PRODUCIDA POR EL AEROGENERADOR	47

8. CAPITULO 3: MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR A TURBINA G80X	
2MW.....	51
8.1 ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO?.....	51
8.2 TIPOS DE MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS.....	51
8.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO MENOR.....	53
8.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR.....	54
8.3 CONCEPTO DE FALLA.....	54
8.3.1 CLASIFICACION DE FALLA.....	55
8.3.2 CLASIFICACION SEGÚN LA DIMENSION DEL FALLO.....	55
8.3.3 CLASIFICACION DEBIDO AL MOMENTO EN EL QUE SE PRODUCE EL FALLO.....	55
8.3.4 CLASIFICACION ATENDIENDO A LA INFORMACION QUE SE TENGA DEL FALLO.....	56
8.3.5 IMPORTANCIA DEL ANALISIS DE FALLA.....	56
8.4 MANTENIMIENTO CORECTIVO MAYOR EN SISTEMA YAW DE LAS MORDAZAS (DESMONTAJE Y MONTAJE EN LA GONDOLA).....	57
8.4.1 CONDICIONES DE SEGURIDAD.....	57
8.4.2 EQUIPOS DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACION DE ESTA ACTIVIDAD.....	57
8.4.3 UTILES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	58
8.4.4 CONDICIONES PREVIAS.....	58

8.4.5 DESMONTAJE DE LAS MORDAZAS DEL SISTEMA DE ORIENTACION.....	59
8.4.6 DESCONEXION HIDRAULICA DE LA MORDAZA.....	59
8.4.7 DESMONTAJE DE LAS MORDAZAS.....	60
8.4.8 MONTAJE DE LAS MORDAZAS.....	62
8.4.9 CONEXIÓN HIDRAULICA DE LA MORDAZA.....	63
8.4.10 OPERACIONES POSTERIORES A LA REALIZACION DE LA ACTIVIDAD.....	63
9. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL TRABAJO CON AEROGENERADORES....	64
9.1 PRINCIPALES MEDIDAS PREVENTIVAS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.....	64
RESULTADOS.....	74
RECOMENDACIONES.....	76
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	77
CONCLUSIONES.....	78
REFERENCIAS.....	79

INDICE DE FIGURAS

1. ILUSTRACIÓN 1. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CON LA POBLACIÓN DE UNIÓN HIDALGO, OAXACA.....	ii
2. ILUSTRACIÓN 2. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA PIEDRA LARGA, DEMEX.....	ii
3. ILUSTRACIÓN 3. SISTEMA YAW CONECTADO A LA TURBINA.....	4
4. ILUSTRACIÓN 4. CORONA.....	5
5. ILUSTRACIÓN 5. MORDAZA.....	5
6. ILUSTRACIÓN 6. PARTES INTERNAS DE UN AEROGENERADOR.....	7
7. ILUSTRACIÓN 7. EVOLUCION DE LOS AEROGENERADORES.....	12
8. ILUSTRACIÓN 8. CARCASA.....	31
9. ILUSTRACIÓN 9. EJE PRINCIPAL QUE VA DEL EJE LENTO A LA MULTIPLICADORA.....	32
10. ILUSTRACIÓN 10. COMPONENTES DE LA MULTIPLICADORA.....	34
11. ILUSTRACION 11. SISTEMA DE FRENO.....	35
12. ILUSTRACION 12. SISTEMA HIDRAULICO.....	36
13. ILUSTRACION 13. GENERADOR.....	37
14. ILUSTRACION 14. UBICACIÓN DEL TRANSFORMADOR.....	38
15. ILUSTRACION 15. PALAS.....	42
16. ILUSTRACION 16. BUJE.....	43
17. ILUSTRACION 17. CONO.....	44
18. ILUSTRACION 18. TORRE DEL AEROGENERADOR.....	45

19.ILUSTRACION 19. CIMENTACION PARA LA CONSTRUCCION DEL AEROGENERADOR.....	46
20.ILUSTRACION 20. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL AIRE.....	48
21.ILUSTRACION 21. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA EL CALCULO DEL AEROGENERADOR.....	49
22.ILUSTRACION 22. CAMBIO DE POSICION DE LA TOMA MINIMESS EN EL RAMAL DE LA MORDAZA.....	60
23.ILUSTRACION 23. UBICACIÓN DE LOS TORNILLOS DE FIJACION DE LA MORDAZA A RETIRAR.....	61
24.ILUSTRACION 24. UBICACIÓN DE LA MORDAZA EN SU POSICION MAS BAJA, BLOQUEADA POR TUERCAS.....	62
25.ILUSTRACION 25. CANTIDADES TOTALES DE LAS MORDAZAS.....	74
26.ILUSTRACION 26. MORDAZA DESMONTADA.....	75
27.ILUSTRACION 27. MORDAZA CON CONSTANTES GOTEOS DE ACEITE.....	75
28.ILUSTRACION 28. MORDAZA SUSTITUIDA.....	76

INDICE DE TABLAS

1. TABLA 1. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA BASE DEL AEROGENERADOR.....	66
2. TABLA 2. MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA TORRE Y PLATAFORMAS INTERMEDIAS.....	67
3. TABLA 3. MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA GÓNDOLA, BUJE Y PALAS.....	69

INTRODUCCION

En esta parte de la región istmeña, en la población de Unión Hidalgo Oaxaca, se pueden apreciar a lo lejos las grandes cantidades de aerogeneradores que se elevan a varios metros sobre el suelo, que ante los ojos de cualquiera quizá puedan llegar a pasar desapercibidos, pero ante los correctos puedo decir la importancia que tienen estas máquinas instaladas en las afueras de la población. Y esta importancia radica en su producción en generar energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento y también en el bajo impacto que tienen en el medio ambiente ya que en la actualidad la importancia en el cuidado del medio ambiente es aún más importante que nunca.

Este trabajo está dedicado a la importancia de la energía eólica, a los aerogeneradores, a su tecnología y por supuesto al mantenimiento que los acondiciona.

En la primera parte de este trabajo se habla del mantenimiento, la historia, el funcionamiento y las particularidades de este gran ingenio. El objetivo no es comprender el fundamento teórico, si no ofrecer una perspectiva diferente a la que se puede encontrar en la abundante bibliografía.

En la segunda parte se describe el problema protagonista de este proyecto final de carrera situado en el contexto del mantenimiento correctivo mayor, el planteamiento inicial del problema propuesto y las restricciones consideradas, la metodología de resolución adoptada, los resultados obtenidos y las conclusiones.

La ubicación geográfica, los accesos, las condiciones climatológicas, los trabajos realizados en altura, la preparación y la alta autonomía que requieren los operarios, entre

otros, ponen de manifiesto cómo la planificación de las distintas labores de mantenimiento es uno de los puntos más complicados en la actividad de mantenimiento de un parque eólico y es de ahí el interés personal depositado en este proyecto final de carrera.

Este invento marco un capítulo importante en la historia de la tecnología y en la producción de energía eléctrica alimentando industrias, hospitales, hogares entre otros, siendo una fuente de energía barata, no contaminante, renovable y accesible para todos los países del mundo es una de las mejores alternativas al respecto

La energía eólica se está volviendo más popular en la actualidad, al haber demostrado su bajo impacto en el medio ambiente y su eficiencia en los aerogeneradores para la producción de energía eléctrica en el mundo, ante un crecimiento de la demanda cada vez más complicada en el ámbito de los combustibles tradicionales.

Un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice en energía eléctrica gracias a un alternador (generador de corriente eléctrica alterna). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se emplean para la extracción de agua de pozos. En este caso, la energía eólica (en realidad la energía cinética del aire en movimiento) proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

PROBLEMATICA

Cuando no se evitan los daños que surgen en la turbina del aerogenerador estos pueden ocasionar que deje de funcionar y es de gran importancia dar solución a estos problemas. En este proyecto se habla de manera general el problema de los aerogeneradores cuando los equipos se dañan y se da conocimiento del mantenimiento correctivo que es la solución cuando los problemas en el sistema ya han ocurrido o no pudieron ser evitados en el mantenimiento preventivo. En este caso nos encontramos ante un problema con uno de los componentes de la turbina G80X de 2MW. Este es un aerogenerador de eje horizontal por lo tanto tiene integrado un sistema Yaw conectado a la turbina, a diferencia de los aerogeneradores de eje vertical que no cuentan con este sistema en la turbina (debo mencionar que cada turbina del aerogenerador tienen componentes en el sistema que pueden variar dependiendo del modelo) permiten que esta funcione adecuadamente hacia la dirección correcta, específicamente nos enfocamos en una de las mordazas del sistema de orientación de la turbina, que fue dañado por los fuertes y constantes vientos de la zona, ya que estos evitan que se produzca un deslizamiento que no deba ocurrir en la turbina, esta mordaza había sufrido un daño muy pequeño pero ocasionaba un constante goteo de aceite en el cual se realizaban mantenimientos preventivos, los cuales no daban solución a este problema por lo que se tomó la decisión de un equipo de ingenieros a realizar un mantenimiento correctivo mayor al sistema de la turbina, en la que se debía sustituir la parte dañada.

Para aclarar el problema que se presenta contesto las siguientes preguntas.

¿QUÉ ES EL SISTEMA YAW?

El sistema yaw de la turbina permite que esta rote hacia la dirección contraria al viento moviendo la nacelle (góndola) donde esta se encuentra, sobre la torre para orientar a todo el sistema, el cual está constituido por los siguientes componentes:

- Un cojinete de fricción; soporta la nacelle.
- 4 reductoras con motor freno eléctrico.
- La corona de giro; se compone de seis sectores de engrane que cubren toda la circunferencia
- 5 elementos de deslizamiento de teflón lubricados con grasa stamina
- Una serie de mordazas rodea la parte de abajo para prevenir el deslizamiento de la turbina por la fuerza que ejerce el viento en el sistema.
- 1 sensor de yaw para controlar la orientación del equipo.

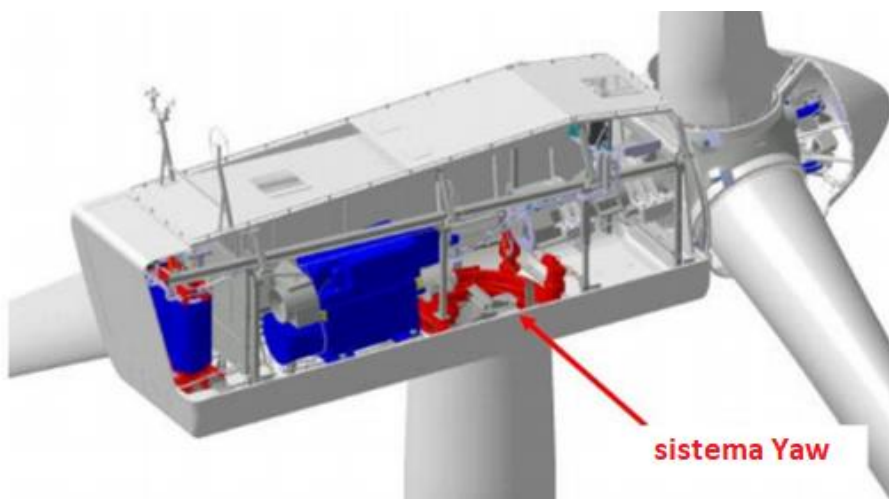


Ilustración 3. sistema yaw conectado a la turbina

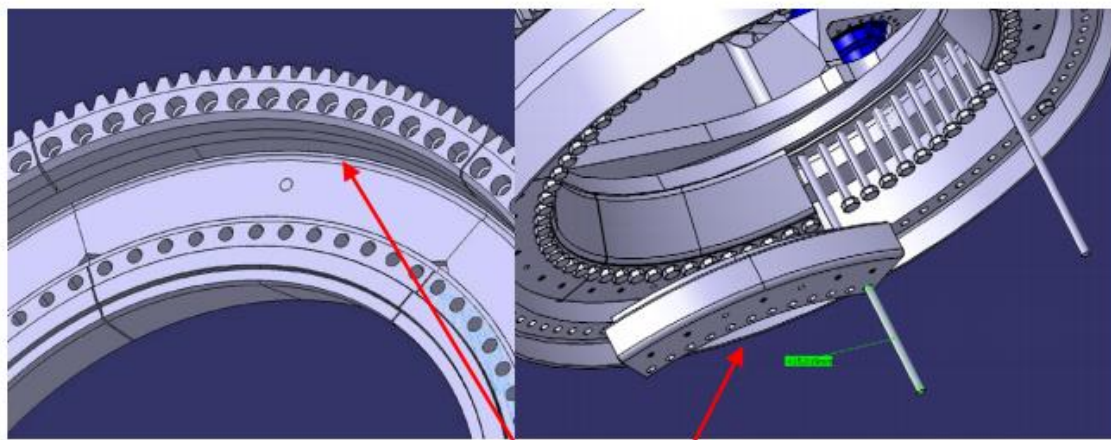


Ilustración 4. Corona

MORDAZA

En nuestra problemática se menciona que esta pieza sufre daño (torsión) al evitar deslizamiento en el sistema de la turbina por los fuertes vientos lo que causa un goteo constante de aceite. En la orientación de la nacelle mantienen el par de retención y absorción de golpe en una maniobra. En el estado de retención con el freno aplicado tiene un par de freno muy elevado para mantener la turbina en la nacelle orientada a pesar de la fuerza ejercida por el viento. Las cuales están compuestas por 5 pistones activos y dos pasivos.

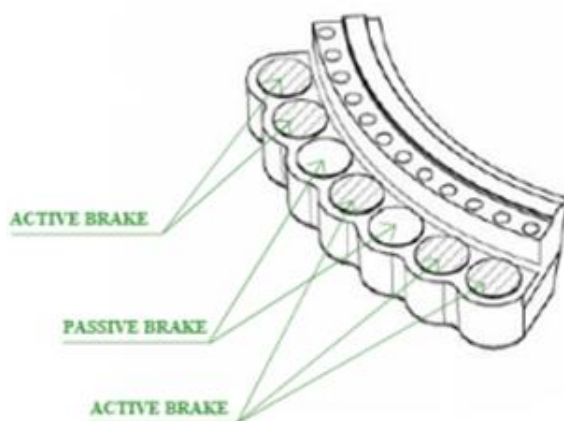


Ilustración 5. Mordaza

JUSTIFICACIÓN

Con este proyecto se pretende describir y explicar lo que corresponde un mantenimiento correctivo mayor, agregando un proyecto de conocimientos importantes más a la sociedad sin fines de ejecutar un mantenimiento si no se tienen las practicas requeridas. Específicamente este trabajo se desarrolla de la problemática existente del mantenimiento correctivo mayor de una turbina G80X 2MW de la subestación eólica ubicada en Piedra Larga de Unión Hidalgo, Oaxaca.

El mantenimiento correctivo es la actividad técnica ejecutada cuando sucede una avería y tiene como objetivo, restaurar el activo para dejarlo en condiciones de que pueda funcionar como se pretende ya sea con su reparación o sustitución.

Eso no quiere decir que el mantenimiento correctivo sea apenas relevante cuando se adopta alguna otra estrategia de mantenimiento ya que puede usarse como estrategia en si misma o conjuntamente con otras estrategias de mantenimiento de activos.

El mantenimiento correctivo mayor, como decíamos anteriormente, se refiere a diversas averías de gran magnitud que afectan a los elementos fundamentales del aerogenerador.

Éstos pueden ser el rotor formado por las palas o álabes y el eje principal de la multiplicadora o el generador.

El mantenimiento correctivo mayor o gran correctivo por suerte no es tan frecuente como el correctivo menor, pero es mucho más preocupante porque suelen ser averías de mucho más impacto puntual porque suponen la pérdida de la producción durante un período de tiempo más largo.

Por suerte, no son tan frecuentes como las averías que están relacionadas con la categoría de incidencias que llamamos correctivo menor. La situación se torna en preocupante cuando la misma avería se produce más de una vez en el mismo aerogenerador o se produce en el parque de aerogeneradores debido a un defecto de fabricación en el mismo modelo pues supone la necesidad de un correctivo mayor o gran correctivo.

Nos referimos a averías fundamentalmente a los elementos principales del aerogenerador. Por un lado, el conjunto rotor compuesto por las espaldas por el buje y por el eje principal el conjunto multiplicador del generador y el transformador.

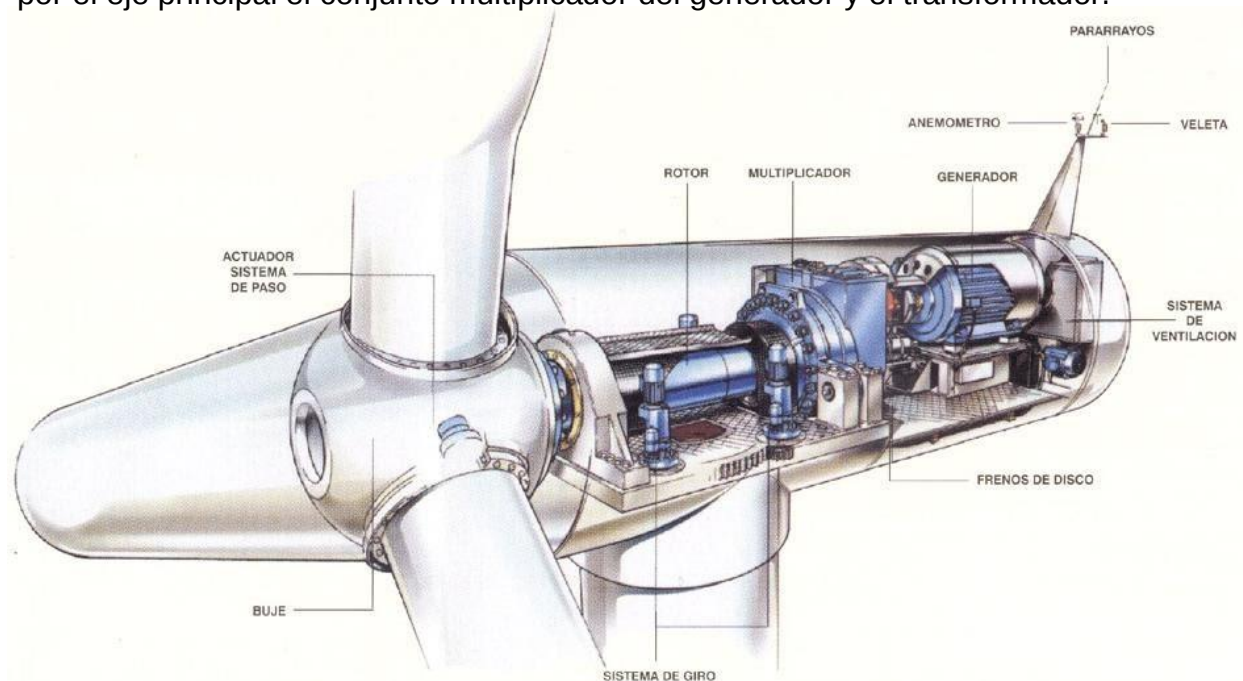


Ilustración 6. Partes internas de un aerogenerador

En cuanto al conjunto rotor las palas son las que presentan el problema más importante y pueden ser debidos básicamente a tres problemas:

- El impacto de un rayo que caiga sobre un aerogenerador puede provocar una serie de daños graves en la estructura en las partes superiores, incluso partir el cabezal.
- En segundo lugar, daños estructurales producidos por impacto con objetos o seres vivos (especialmente el impacto con aves).
- El conjunto rotor también puede presentar algún tipo de daño bien en el eje principal y el eje que une las palas con la multiplicadora o también incluso en el rodamiento principal.

Todos estos daños que se pueden producir en ese eje principal que están referidos fundamentalmente a deformaciones y problemas en su superficie o, sobre todo, a fracturas y grietas en este eje principal.

Igual que los daños que se pueden producir en el rodamiento principal, son daños típicos de rodamiento tienen un gran impacto sobre todo porque su reparación supone en la mayoría de los casos una baja en el conjunto rotor.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

En la aplicación del mantenimiento correctivo mayor a estos aerogeneradores se pretende preservar la vida útil de estas unidades, así como mantener su correcto funcionamiento reparando la falla que se presenta en este proyecto, ya sea sustituyendo

los componentes o reparando estos componentes para seguir generando energía eléctrica con estos equipos mediante la energía eólica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Dar solución al problema planteado que se nos presenta describiendo los siguientes puntos teniendo en cuenta la seguridad en el trabajo:

- Dar a conocer la importancia de la energía eólica y los aerogeneradores.
- Describir los componentes del aerogenerador.
- Describir el mantenimiento correctivo mayor del sistema de giro de la turbina
- Desarrollar una pequeña guía para evitar incidentes y aumentar la seguridad en el trabajo con aerogeneradores, de los posibles riesgos que se presentan tan solo al ingresar en estas enormes máquinas de generación de energía.

FUNDAMENTO TEORICO

A la vista de las definiciones anteriores, el objetivo fundamental del mantenimiento y de toda su organización es el de lograr con el mínimo coste posible y la máxima seguridad para el personal y las instalaciones, y el máximo respeto para el medio ambiente, el mayor tiempo de funcionamiento correcto y eficiente de los equipos e instalaciones. En el contexto empresarial, la función de mantenimiento es una de las tres funciones técnicas de la industria y tiende a separarse de la producción, que sigue siendo el objetivo evidente y prioritario de una empresa. Sin embargo, constituye una ayuda fundamental a la producción.

Desde un punto de vista más amplio, el mantenimiento es una disciplina con la que, antes o después, se relacionan todas las demás disciplinas involucradas en el proceso de producción. Esta interrelación hace que la función de mantenimiento constituya uno de los pilares fundamentales que condiciona la eficiencia de cualquier industria moderna. Porque el resto de disciplinas involucradas dependen en mayor o menor medida del mantenimiento; de tal forma que cualquier intento de producción sin mantenimiento resulta nefasto, aunque el resto de tareas se realicen con gran perfección.

CAPITULO 1: LA ENERGIA EOLICA

¿QUÉ ES LA ENERGÍA EÓLICA?

La energía eólica es un tipo de energía cinética obtenida a partir de turbinas de aire, que usan la fuerza del viento para generar electricidad.

Se trata de una fuente de energía limpia y barata que, debido a su alcance, ayuda a que poblaciones remotas o de difícil acceso puedan contar con electricidad, reduciendo los costos operacionales en comparación con la instalación de fuentes de energía tradicionales.

Aunque lo más común es que la energía eólica se obtenga de aerogeneradores instalados en tierra firme, también se pueden instalar en el mar, cerca de las costas. Las condiciones del viento en ese tipo de zonas favorecen una generación constante de energía.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar fuentes de energía a base

de combustibles fósiles. El impacto ambiental de este tipo de energía es, además, generalmente, menos problemático que el de otras fuentes de energía.

Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, esa incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales. Además se puede proporcionar electricidad en regiones aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica mediante instalaciones eólicas de reducido tamaño. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos a menudo conocidos como parques eólicos offshore por su nombre en inglés, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques eólicos marinos tienen un impacto visual menor, aunque los costos de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores.

Para generar energía eólica, se requiere de aerogeneradores; estos cuentan con unas palas que solo se mueven bajo la acción del viento. Una vez que esto ocurre, comienza a producirse energía mecánica que se convierte en energía eléctrica con la ayuda de un generador.

Para que se produzca suficiente energía eléctrica, se necesitan muchos aerogeneradores que se agrupan en parques eólicos. Solo así es posible aprovechar este tipo de energía para uso colectivo (pueblos y ciudades pequeñas).

- La energía eólica es una fuente de energía limpia, esto quiere decir que no requiere de agentes contaminantes para funcionar ni genera desechos tóxicos.

- Es amigable con el ambiente, pues en caso de que se requiera levantar el parque eólico, el terreno utilizado se puede restaurar nuevamente en poco tiempo.
- La energía eólica utiliza energía renovable, lo que significa que, si bien la fuerza e intensidad del viento pueden variar según la época del año y la región geográfica, se trata de una fuente inagotable, ya que se genera de manera perpetua.
- Es una fuente de energía barata. Aunque al principio el costo de la energía eólica superaba al de la electricidad, en las últimas décadas se ha igualado y en algunos países incluso ha disminuido. Los avances tecnológicos y de materiales abaratan los costos haciendo que la energía eólica se vuelva más accesible.

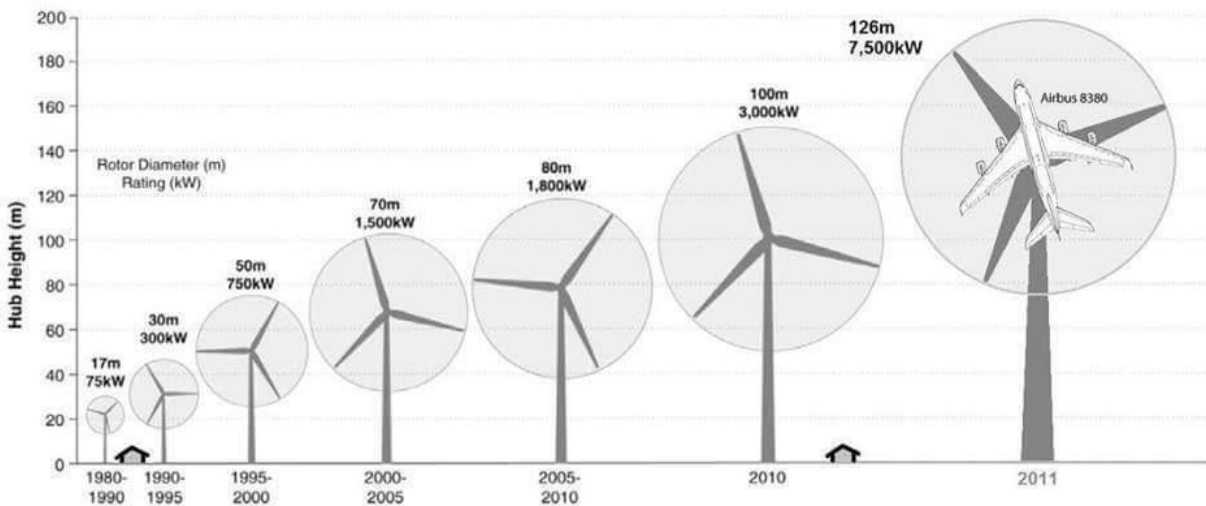


Ilustración 7. Evolución de los aerogeneradores

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA

Las ventajas y desventajas de la energía eólica, se refiere a los beneficios e inconvenientes en el uso del viento como fuente de producción de energía para los seres

humanos. La energía eólica recibe este nombre porque procede del viento, y funciona basada en las leyes de la aerodinámica

Para la sociedad

Ventajas

- Aplicable a baja o gran escala
- Interés económico
- Desarrollo tecnológico
- Bajo mantenimiento

Desventajas

- Requiere sistemas de almacenamiento
- Ruidos molestos
- Efectos en la salud humana
- Perturbación estética
- Desafíos tecnológicos

Para el medio ambiente

Ventajas

- Fuente de energía alternativa
- Fuente de energía renovable
- No contaminante

Desventajas

- Impacto ambiental
- Susceptible a daños

Para el planeta

Ventajas

- Asequible en sitios apartados
- Instalaciones remotas

Desventajas

- Impredecibilidad del clima
- Extensiones de tierras enormes

VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA

Fuente de energía alternativa

Junto con la energía solar y la hidroeléctrica, el viento es una de las fuentes de energía alternativas al uso de combustibles fósiles. De hecho, el viento ha sido usado por el ser humano desde hace más de 5000 años como fuente energética para producir trabajos. Aunque parece muy reciente el interés por la energía eólica, ya en 1890 se empezó a generar electricidad a partir del viento.

Fuente de energía renovable

El viento está disponible en todas partes de la Tierra durante todo el año. No es descabellado afirmar que las corrientes de viento del mundo son inagotables.

Aplicable a baja y gran escala

Con los avances tecnológicos en construcción de turbinas y generadores eólicos, es posible en la actualidad hacer uso de energía eólica en grandes ciudades o por iniciativa individual.

Interés económico

El costo de generación de energía eólica viene cayendo desde hace tres décadas, y cada vez son más los países interesados en invertir en la construcción de parques de molinos eólicos. En el 2010 la capacidad de generación de energía eólica a nivel mundial fue de 197 mil megawatts, mientras que para el 2018 subió hasta 597 mil megawatt, un incremento de 300 %.

El viento es la forma de energía alternativa más barata, comparado con la energía solar e hidroeléctrica. Las centrales eólicas pueden empezar a generar energía con unas cuantas turbinas, que se pueden ir incrementando con el tiempo.

Asequible en sitios apartados

Se puede conseguir utilizar la energía del viento para generar electricidad en:

- aldeas aisladas en países en desarrollo;
- en torres de telecomunicaciones, y
- hogares fuera de la red eléctrica pública, en campos y bosques.

Energía no contaminante

Las turbinas eólicas no producen gases de invernaderos u otros gases tóxicos para funcionar. Al cambiar energía química de los combustibles fósiles por energía eólica,

estamos reduciendo la emisión de gases invernaderos causantes del calentamiento global.

Desarrollo tecnológico

El potencial de energía eólica aumentó de manera considerable gracia al desarrollo tecnológico asociado. Las turbinas actuales son mucho más eficientes que las de hace dos décadas.

Instalaciones alejadas de centros poblados

Los mejores locales para instalar parques eólicos se encuentran por lo general en lugares alejados de centros poblados, pues son estos lugares donde más viento se produce:

- En las cimas de colinas y montañas;
- En las costas marinas.

Bajo mantenimiento

Las turbinas eólicas tienen un bajo mantenimiento y la mano de obra luego de instaladas es mínima.

DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA

Impacto ambiental

Las grandes turbinas de viento matan aves, murciélagos e insectos. Un estudio realizado en 64 parques eólicos en Canadá en el 2016 estimó que más de 47 mil murciélagos mueren por año por colisión con las aspas.

Especialmente, el problema se agrava cuando las turbinas se localizan en corredores migratorios, como sucede en zonas de España.

Impredecibilidad del clima

Como la energía solar, el viento también depende de las fuerzas de la naturaleza. Este varía en intensidad, velocidad y dirección.

Extensiones de tierra enormes

Los parques eólicos necesitan de grandes extensiones de tierra: las turbinas no pueden colocarse unas cerca de otras, pues el viento es modificado en su paso por las mismas. Afortunadamente, el espacio debajo de las turbinas puede ser aprovechado para la agricultura, a diferencia de los centros de paneles solares.

Sistemas pueden sufrir daños

Las torres y las turbinas pueden ser dañadas en condiciones climáticas extremas, como los tornados, los huracanes y las tormentas de hielo.

Requiere sistemas de almacenamiento

La energía eólica se produce cuando sopla el viento; así, es necesario almacenar la energía en baterías para poder tener electricidad cuando no hay viento. Las baterías son costosas y con materiales tóxicas, que representan un problema ecológico.

Al ritmo de consumo energético de la civilización moderna, no podría dependerse 100% de la energía eólica para el suministro de electricidad.

Ruidos molestos

El movimiento de las aspas de la turbina provoca sonidos que pueden ser incómodos para los pobladores en la cercanía de las torres. Adicionalmente, las turbinas pueden producir sonidos de baja frecuencia (20-200 hertz) de una exposición de 20 dB (decibelio). Esto significa que el ruido es prácticamente inaudible, a menos que se esté muy cercano a la torre.

Efectos en la salud humana

La exposición a las turbinas eólicas podría estar relacionado con problemas de sueño, y vértigo. Sin embargo, la aversión a las turbinas en las cercanías puede conducir a ciertos individuos a problemas psicosomáticos más que a problemas biológicos directamente.

Desagradable a la vista

Algunas personas declaran que la visión de las grandes torres eólicas en el horizonte es perturbadoras y desagradables estéticamente.

Desafíos tecnológicos

Una turbina debe instalarse por arriba de los 9 metros de altura, siendo ideal lo más alto posible, y separado de obstrucciones (árboles, edificios, casas, otras torres) unos 60 metros. Esto representa un problema en la instalación de turbinas pesadas, que pueden causar mucho daño si se caen.

HISTORIA DE LA ENERGIA EOLICA

La energía eólica no es algo nuevo, es una de las energías más antiguas junto a la energía térmica. El viento como fuerza motriz se ha utilizado desde la antigüedad. Así,

ha movido a barcos mediante el uso de velas o ha hecho funcionar la maquinaria de los molinos al mover sus aspas. Sin embargo, tras una época en la que se fue abandonando, a partir de los años ochenta del siglo XX este tipo de energía limpia experimentó un renacimiento.

La energía eólica crece de forma imparable ya en el siglo XXI, en algunos países más que en otros, pero sin duda alguna en España existe un gran crecimiento, siendo uno de los primeros países, por debajo de Alemania a nivel europeo o de Estados Unidos a escala mundial. El auge del aumento de parques eólicos se debe a las condiciones favorables de viento, sobre todo en Andalucía que ocupa un puesto principal, entre los que se puede destacar el golfo de Cádiz, ya que el recurso de viento es excepcional.

Los primeros molinos

La referencia más antigua que se tiene es un molino de viento que fue usado para hacer funcionar un órgano en el siglo I. Los primeros molinos de uso práctico fueron contruidos en Sistán, Afganistán, en el siglo VII. Estos eran molinos de eje vertical con hojas rectangulares. Se usaron artefactos para moler trigo o extraer agua hechos con 6 a 8 aspas de molino cubiertas con telas.

Los primeros molinos aparecieron en Europa en el siglo XII en Francia e Inglaterra y fueron extendiéndose por el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para extender sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo.

Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, mediante un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura.

Los molinos de eje horizontal fueron usados extensamente en Europa Occidental para moler trigo desde la década de 1180 en adelante. Basta recordar los famosos molinos de viento en las andanzas de Don Quijote. Todavía existen máquinas de este tipo, por ejemplo, en Países Bajos para sacar agua.

La historia de la energía eólica tiene varios cientos de años. Nuestros antepasados utilizaban primitivos molinos de viento para moler los granos de cereal, Pero la revolución del aprovechamiento de la energía eólica, llega con la posibilidad de obtener electricidad gracias a la fuerza de empuje del viento.

En la Antigüedad, el ser humano aprovechaba la fuerza del viento para mover los molinos de viento. Se empleaban principalmente para mover unas ruedas de piedra y poder moler los granos de cereales.

CHARLES FRANCIS BRUSH (1849- 1929)

El pionero de la energía eólica fue el estadounidense Charles Francis Brush (1849-1929). Tuvo la suerte de crecer en el campo, trabajó en diversas granjas, estudió ingeniería de minas en la Universidad de Michigan, inventó una lámpara de arco alimentada por una dinamo inventada por él mismo.

Brush dedicó su vida al estudio de las energías y a cómo obtener beneficio de ellas. Charles F. Brush fundó la Brush Electric Company y suministró los generadores para la primera planta hidroeléctrica de los Estados Unidos, en el salto de San Antonio en Minneapolis.

Su empresa eléctrica se fusionó con la Edison General Electric, para dar lugar a la General Electric Company. Pero a nosotros nos interesa porque Brush construyó cerca de su casa en Cleveland la primera turbina eólica automática para generar electricidad en 1888.

La turbina, gigantesca, tenía un rotor de 17 metros y 144 palas de madera de cedro. Su mansión se alimentaba de la energía producida por este monstruo que funcionó 20 años.

POUL LA COUR (1846-1908)

Sin embargo, las turbinas del tipo americano tienen demasiadas palas y su eficiencia es muy baja. Para mejorarla, hubo que esperar al danés Poul la Cour (1846-1908).

La Cour era meteorólogo y su pasión era el viento. Construyó su propio túnel de viento y usaba la electricidad producida por sus turbinas para obtener hidrógeno de la electrólisis y alimentar las lámparas de su escuela, donde enseñaba cómo producir electricidad del viento.

Los daneses fueron pioneros en este campo. En la década de 1890, La Cour construyó varios generadores de gran tamaño en su escuela de Askov Folk. En 1904 fundó la Sociedad de Electricistas del Viento y publicó una revista.

Gracias a sus esfuerzos, en 1918 había unas 120 empresas en Dinamarca que se proveían de electricidad, un 3 por ciento del consumo total del país. Una cierta tendencia a la baja quedó compensada por las penurias de la Segunda Guerra Mundial.

En los años cuarenta del siglo XX, la compañía F. L. Smidth empezó a construir aerogeneradores de dos y de tres palas, siendo los de tres más eficientes.

REVOLUCIÓN EÓLICA

En los años 1950, el ingeniero Johannes Juul, alumno de La Cour, inventó un sistema para obtener corriente alterna de los aerogeneradores. Su diseño más conocido es el tripala Gedser de 200 KW, construido entre 1956-1957, muy por encima ya de los 12 KW que obtenía Brush en Cleveland.

Incluso la NASA utilizó este modelo para el nuevo programa estadounidense de energía eólica. La crisis del petróleo de 1973 obligó a construir grandes aerogeneradores.

En los años 1980 se instalaron miles de ventiladores gigantes en California, pero el que más energía obtiene del viento en relación a su consumo sigue siendo Dinamarca, con unos 5.500 aerogeneradores que producen unos 3.000 MW.

En la actualidad se fabrican turbinas tan grandes que son capaces de producir ellas solas hasta 2,5 MW de energía, con rotores de hasta 80 metros de diámetro.

ENERGIA EOLICA EN MEXICO

México es uno de los países con mayor potencial para la generación de energía eléctrica a partir del viento. Los estados de Oaxaca, Yucatán y Tamaulipas han

registrado velocidades de vientos mayores a los ocho metros por segundo (8 m/s), es decir 28.8 km/h.

Estudios han estimado un potencial eólico de alrededor de 70 mil mega watts (MW) en México, es decir, la misma cantidad de energía que se produce en nuestro país actualmente por todos los métodos disponibles.

Según el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), hasta 2017, la capacidad instalada para la generación de electricidad es de 75 mil 685 MW, de los cuales 70.5% corresponden a centrales eléctricas convencionales y 29.5% a plantas eléctricas con tecnologías limpias.

En México hay 50 plantas eólicas en función, cuya capacidad instalada alcanza los 5 mil MW, la mayor parte de ellas en el estado de Oaxaca.

Se estima que cada hogar en nuestro país consume aproximadamente 4 mil kilowatts por hora al año (KWh), es decir, que actualmente la energía generada por el viento alimenta de luz a casi 4 millones 200 mil hogares mexicanos anualmente.

En México, uno de los proyectos eólicos mantiene el récord a nivel mundial del costo más bajo. Se invierten 18 dólares por MWh, cuando el costo promedio de generación para la CFE oscila entre los 60 y 80 dólares, además incluye el Certificado de Energías Limpias (CEL) que se emplea en el país.

“La participación de la industria todavía no es muy significativa, aunque se puede comparar con la de otras geografías, pero no se ve una penetración tan fuerte como en los países del norte de Europa, de América, en Costa Rica o Uruguay, pero al final somos uno de los países líderes en la región”, dijo Julio Valle, vocero de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE).

Actualmente, se produce energía eólica en 13 estados del país, entre los que destacan Oaxaca, Tamaulipas y Nuevo León, pero en total 20 entidades cuentan con el potencial para transformar el viento en energía eléctrica si se instalan las turbinas.

CAPITULO 2: LOS AEROGENERADORES

¿QUÉ ES UN AEROGENERADOR?

Un aerogenerador es una construcción de alta tecnología que aprovecha la energía natural del viento para hacer girar un rotor, convirtiendo la energía cinética en electricidad.

Una de las grandes ventajas que tiene la producción de energía eólica es que se produce gracias a una fuente limpia e inagotable como es el viento y la transformación de energía cinética en electricidad no produce emisiones.

TIPOS DE AEROGENERADORES

Los aerogeneradores se pueden clasificar según su eje de rotación, ya sea de eje horizontal o de eje vertical como se dará a conocer a continuación, sin embargo, este proyecto se trata de un aerogenerador de eje horizontal por lo que solamente se da a conocer este tipo de aerogeneradores.

DE EJE HORIZONTAL

Ventajas

- La altura de la torre permite al aerogenerador acceder a fuertes corrientes de viento gracias a sistema yaw de la turbina
- Cada una de las palas recibe la potencia del viento en cualquier punto de rotación

- Posee una alta eficiencia

Desventajas

- Requiere de una construcción sólida de la torre para soportar el peso de la góndola
- El generador, el tren de engranaje y el transformador (los cuales tienen un peso considerado) deben ser elevados para ser instalados o darles mantenimiento en la góndola
- Requiere de un sistema de control adicional de yaw en la turbina para orientar las palas hacia el viento

DE EJE VERTICAL

Ventajas

- Este tipo de autogenerador no requiere de un mecanismo de yaw en la turbina para orientar las palas contra el viento
- El generador, el tren de engranaje y los transformadores son instalados a nivel del suelo
- La captación del viento es mejor que las del eje horizontal

Desventajas

- Las velocidades del viento a nivel del suelo son bajas, por lo que la potencia del viento será baja
- Objetos muy grandes cercanos al suelo y al aerogenerador pueden provocar turbulencias que pueden provocar vibraciones y causar estrés en los componentes del aerogenerador.

¿CÓMO FUNCIONA UN AEROGENERADOR?

Para iniciar el funcionamiento de estas máquinas, y con él la producción de energía eléctrica, existe un sistema de control en el aerogenerador que analiza los datos de velocidad y dirección del viento. Como es sabido, estos datos son recogidos por el anemómetro y la veleta situados ambos en la zona trasera del techo de la góndola. De esta manera, el sistema de control envía la señal con los datos a un armario eléctrico situado en el interior de la góndola. Este armario se encargará de activar eléctricamente las motorreductoras del sistema de orientación (sistema Yaw). Estas motorreductoras están engranadas con los dientes de una corona firmemente unida a la torre en su parte más alta. Al encenderse, hacen girar la góndola posicionándola a barlovento, que es la dirección desde la que llega el viento.

En esta situación, el aire es obligado a fluir por las caras de las palas generando una diferencia de presiones y dando origen a una fuerza resultante que actúa sobre el perfil de las palas. Si descomponemos esta fuerza en dos direcciones, encontramos la fuerza de sustentación, perpendicular al viento, que produce el movimiento rotatorio de las mismas. Esta fuerza de sustentación de las palas está regulada por otro sistema, el de cambio de paso (sistema Pitch). Hay una particularidad, y es que este sistema puede ser independiente en cada pala y se encarga así de que cada una de ellas gire en torno a su eje longitudinal para ajustar su posición angular.

La variación del ángulo de paso de las palas se consigue gracias a un sistema hidráulico escondido dentro la góndola, y permite a las palas un abanico de rotación que suele ir, aproximadamente, desde -5° a 90° . Por supuesto, la rotación se realiza a través

de un rodamiento que está escondido entre la pala y el buje, es el llamado rodamiento de pala.

Algo importante que hay que tener en cuenta es que las palas también sirven de freno aerodinámico cuando el ángulo de paso se acerca a 90° . Es lo que se denomina la posición de bandera.

Para que un aerogenerador se ponga en marcha es necesario un valor mínimo de velocidad del viento para vencer los rozamientos y comenzar así a producir trabajo útil. A este valor mínimo se le denomina velocidad de conexión comprendida entre los 3 m/s y 5 m/s. Sin esta velocidad no es posible arrancar un aerogenerador.

Para comprender mejor el sistema de cambio de paso, a continuación, se detalla brevemente su funcionamiento:

- Cuando la velocidad del viento es inferior a la nominal, el ángulo de paso seleccionado será aquel que maximice la potencia eléctrica obtenida para cada velocidad del viento.
- Cuando la velocidad del viento es superior a la nominal, el ángulo de paso será aquél que proporcione la potencia nominal de la máquina. Por aclarar este término, entendemos por potencia nominal la máxima que se puede entregar a la red eléctrica.

El sistema de control, del que ya hemos hablado, permite que el aerogenerador funcione a velocidad variable maximizando en todo momento la potencia producida y minimizando las cargas mecánicas y el ruido.

Resumiendo lo explicado hasta ahora: el viento sopla e incide sobre las palas. Éstas giran transmitiendo el movimiento que provoca el viento sobre el rotor hasta la

multiplicadora, a través de lo que se conoce como tren de potencia o eje principal. Este eje principal está unido al buje y a la entrada del eje de baja velocidad de la multiplicadora.

En esta situación, mediante un acoplamiento, la multiplicadora va a transmitir la potencia del eje principal al generador. Así mismo, en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora existe un freno de disco que se activa también hidráulicamente y cuyo uso principal es impedir el inicio de giro una vez que se ha detenido el aerogenerador.

Como ya se ha dicho, hay todo un sistema hidráulico que gestiona numerosos elementos. ¿Qué es lo que hace este sistema hidráulico? Proporciona aceite bajo presión a todos los sistemas citados: el sistema de giro o de orientación, el sistema de cambio de paso y el freno de disco del eje de la multiplicadora, entre otros.

Si imaginamos ahora el eje de alta velocidad de la multiplicadora, lo siguiente que tenemos que considerar es el generador, es decir, el elemento eléctrico principal del aerogenerador. El generador es el encargado de convertir la potencia mecánica del viento, transmitida desde las palas a través del eje principal, en potencia eléctrica que se suministrará a la red.

En el caso de los aerogeneradores, la velocidad variable del viento hace que el caudal que incide en las palas, atravesando su área de barrido, sea diferente en cada instante. Por ello, el rotor del generador variará con la variación de la velocidad de viento. Esto es muy importante tenerlo en cuenta porque justifica el que se emplee un generador asíncrono. En este tipo de generadores, la frecuencia angular de la onda generada y la frecuencia angular de la velocidad de giro del rotor del generador son diferentes. La

primera de ellas tiene que ser equivalente a la frecuencia de la red –para garantizar la estabilidad–, mientras que la segunda vendrá impuesta, de forma general, por la velocidad del viento.

Los generadores o máquinas de inducción más utilizados hoy en día son doblemente alimentados. Este sistema doblemente alimentado está formado por un generador asíncrono en donde tanto el rotor como el estator están conectados a la red. El estator se conecta directamente y el rotor se conecta a un convertidor de frecuencia a través de la electrónica de potencia. A su vez, este convertidor está conectado también a la red. Si entrar en los detalles, este esquema consigue que para la red de distribución eléctrica el aerogenerador se comporte como un generador síncrono eliminando así el problema de que el caudal de viento no es constante, lo cual permite estabilizar la red, facilita la conexión de muchos aerogeneradores, elimina bancos de condensadores para compensar la potencia reactiva y otros problemas.

En todo este apartado juegan un papel fundamental los armarios eléctricos, donde se encuentra el sistema de control de potencia **CCU**. Este controla la potencia activa y reactiva con el convertidor de frecuencia, el cual está conectado, como ya se al dicho, al rotor del generador.

Los armarios eléctricos, fundamentales en un aerogenerador, tienen como funciones principales:

- Controlar la potencia generada (activa y reactiva)
- Vigilar el funcionamiento de todos los equipos y controlar el funcionamiento del aerogenerador.
- Alimentar los distintos equipos eléctricos.

- Proteger contra las faltas eléctricas.
- Permitir la operación de la máquina a través de pantallas táctiles.

Todas estas funciones se reparten en armarios eléctricos cuyos nombres nos dan una idea de su localización en el aerogenerador: el armario **Top, el Ground y el Hub**.

Después del generador aparece otro elemento muy importante: el transformador. La función del transformador es adecuar el nivel de tensión de generación al nivel de la red de media tensión para poder transmitir toda la potencia generada o consumida por el aerogenerador. El transformador eleva la generación de baja tensión (690V) hasta el valor correspondiente de media tensión (20-30kV). Luego será la subestación del parque la encargada de inyectarla a la red eléctrica para su distribución.

Entre el transformador de BT/MT existe el denominado sistema de celdas de media tensión, ubicado a veces en la plataforma inferior de la torre, junto a la entrada.

La misión de las celdas de media tensión es la de proteger al aerogenerador ante posibles faltas de energía en el mismo, especialmente los cables de media tensión y al transformador de potencia y, a la vez, conectar al aerogenerador con la subestación eléctrica de distribución para evacuar así la energía producida.

DESCRIPCION DE UN AEROGENERADOR

A continuación, se describen las partes de las cuales esta compuesta un aerogenerador actualmente en esta subestación de 2MW

CARCASA

La carcasa es la cubierta que protege los componentes del aerogenerador que se encuentran en la góndola frente a las condiciones ambientales externas. Su estructura está realizada de un material compuesto de resina con refuerzo de fibra de vidrio.

En el interior de la carcasa existe el suficiente espacio para realizar las operaciones de mantenimiento del aerogenerador. La carcasa puede tener en algunos casos trampillas que dan acceso a la góndola. Además, puede contar con claraboyas en el techo que proporcionan luz solar por el día, ventilación adicional y acceso al exterior, donde se encuentran los instrumentos de medida de viento y el pararrayos.

Los componentes internos que son giratorios están debidamente protegidos para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento.

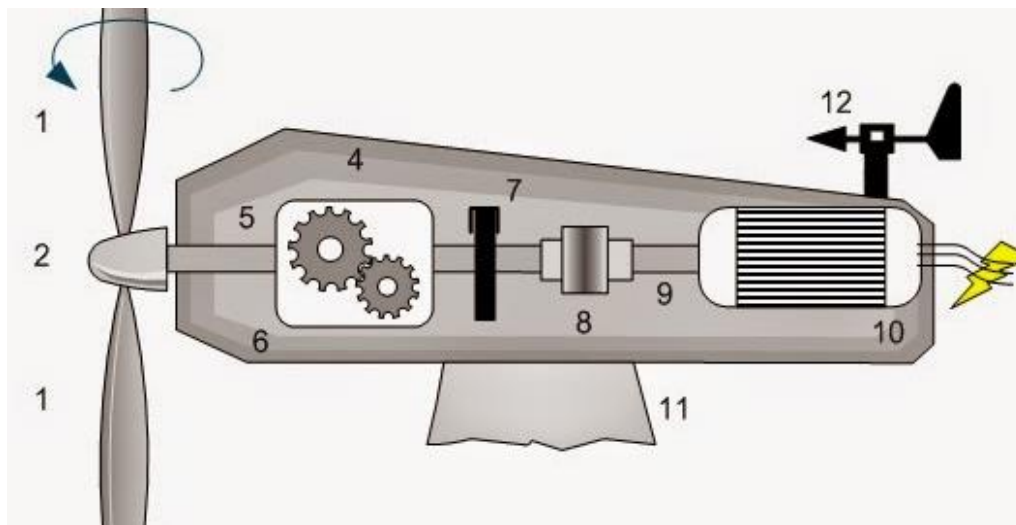


Ilustración 8. Carcasa

BASTIDOR

Toda góndola dispone normalmente de un bastidor cuya función es soportar adecuadamente los elementos de la góndola y transmitir las cargas mecánicas hasta la torre.

EJE PRINCIPAL

La transmisión del par motor que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora se realiza a través del eje principal. El eje se une al buje y está apoyado sobre dos rodamientos.

El eje normalmente está fabricado en acero forjado y tiene un orificio central longitudinal que aloja las mangueras hidráulicas y los cables de control del sistema de cambio de paso (sistema Pitch) de las palas.

El apoyo del eje principal sobre dos rodamientos conlleva importantes ventajas estructurales. Todos los esfuerzos provenientes del rotor son transmitidos al bastidor delantero excepto el par de torsión, el cual se aprovecha en el generador para producir la energía eléctrica. De esta forma, se asegura que la multiplicadora únicamente transmita dicho par y que las sollicitaciones por flexión, axiales y cortantes vayan directamente al bastidor.

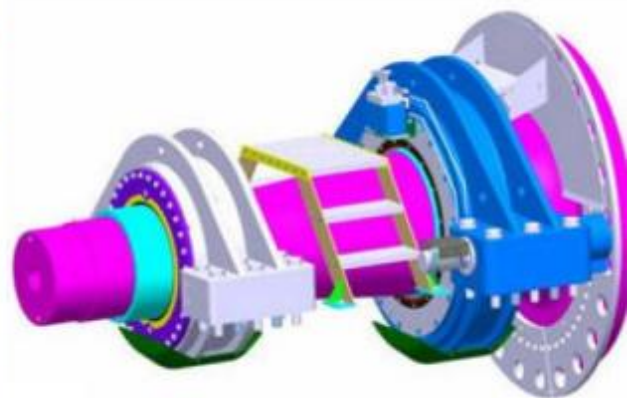


Ilustración 9. Eje principal que va del eje lento a la multiplicadora

MULTIPLICADORA

Transmite la potencia del eje principal al generador. La multiplicadora se compone de tres etapas combinadas, una planetaria y dos de ejes paralelos. Los dientes están diseñados para obtener una máxima eficiencia junto con un bajo nivel de emisión de ruido y vibraciones. Como resultado de la relación de multiplicación, parte del par de entrada es absorbido por los brazos de reacción. Estos brazos de reacción soportan y fijan la multiplicadora al bastidor.

La multiplicadora tiene un sistema de lubricación principal con un sistema de filtrado asociado a su eje de alta velocidad. Existe un equipo secundario eléctrico de filtrado que permite un grado de limpieza del aceite, disminuyendo así el número de averías y además, tiene en algunos casos un circuito extra de refrigeración.

Algo muy importante es que los componentes y parámetros de funcionamiento de la multiplicadora suelen estar monitorizados mediante sensores tanto del sistema de control como del sistema de mantenimiento predictivo.

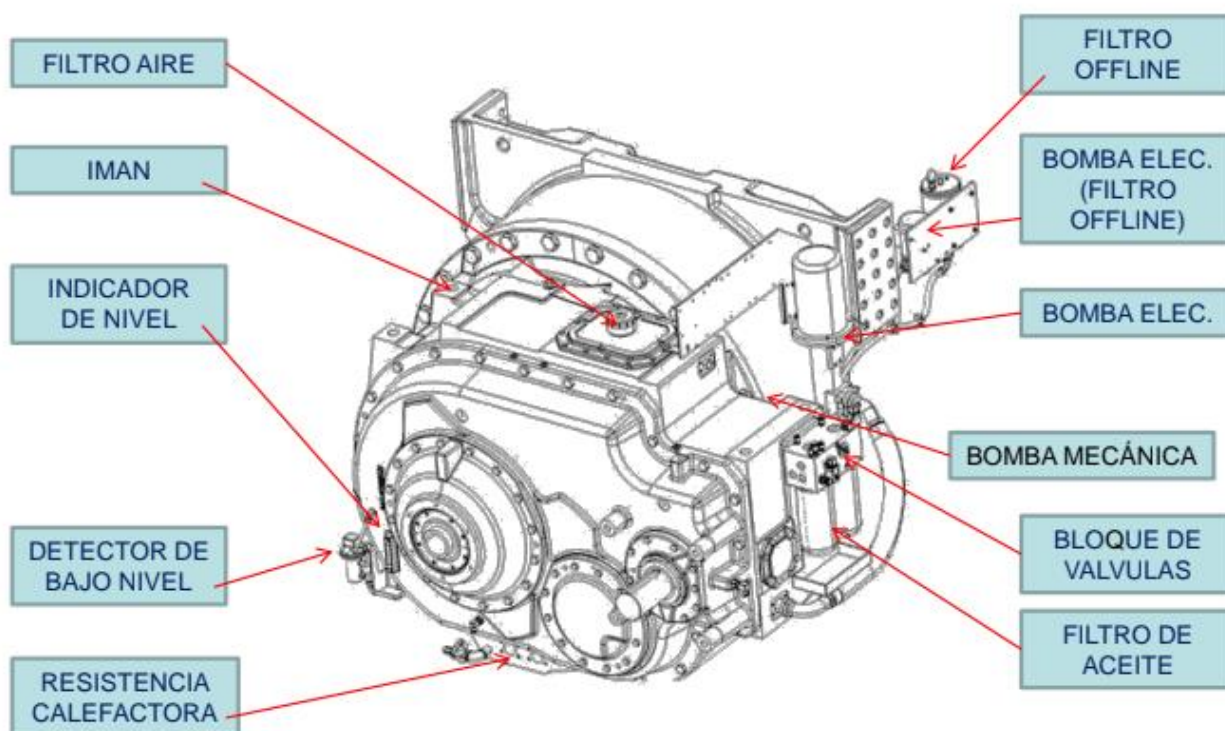


Ilustración 10. Componentes de la multiplicadora

SISTEMA YAW

Este sistema, como ya se ha dicho en la descripción del funcionamiento, permite a la turbina girar alrededor del eje de la torre. Suele estar constituido por un número determinado de motores accionados eléctricamente por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo con la información recibida de los anemómetros y veletas colocados en el techo de la góndola. Los motores del sistema hacen girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre conectada al sistema de la turbina produciendo el giro relativo de todo en la góndola y con la misma.

SISTEMA DE FRENO

El freno principal del aerogenerador es del tipo aerodinámico por puesta en bandera de las palas –orientadas éstas 90° para ofrecer la menor resistencia posible al viento–. Al ser el sistema de cambio de paso –*sistema Pitch*– independiente para cada una de las palas, se cuenta con un sistema adicional de seguridad.

El freno mecánico está compuesto por un freno de disco, activado por el sistema hidráulico y ubicado en el eje de alta velocidad de la multiplicadora. Este freno mecánico se utiliza únicamente como freno de aparcamiento o en caso de emergencia.

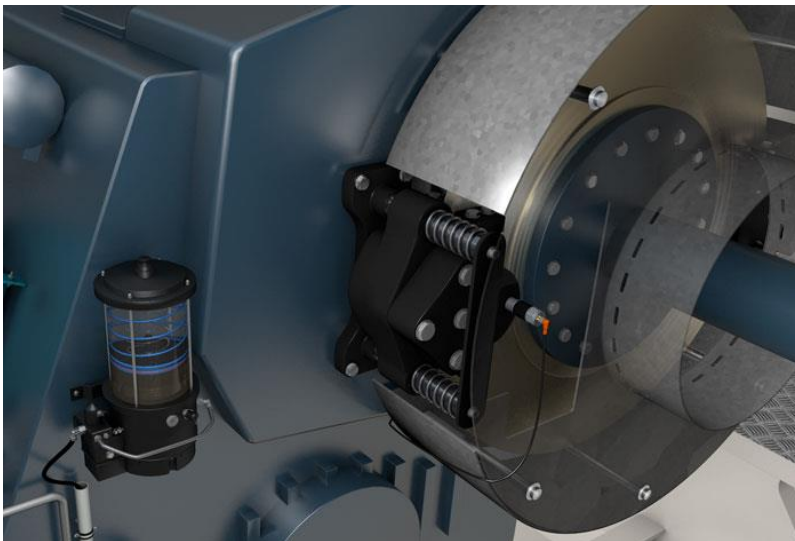


Ilustración 11. Sistema de freno

SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico proporciona aceite presurizado a los actuadores independientes del cambio de paso (sistema Pitch), al freno mecánico del eje de alta velocidad y al sistema de freno del sistema de orientación (sistema Yaw). Incorpora un sistema que

asegura el nivel de presión y el caudal de aceite necesarios en caso de ausencia de corriente para activar el sistema de cambio de paso de las palas, el freno de disco y el freno del sistema de orientación llevando así al aerogenerador a un modo seguro.

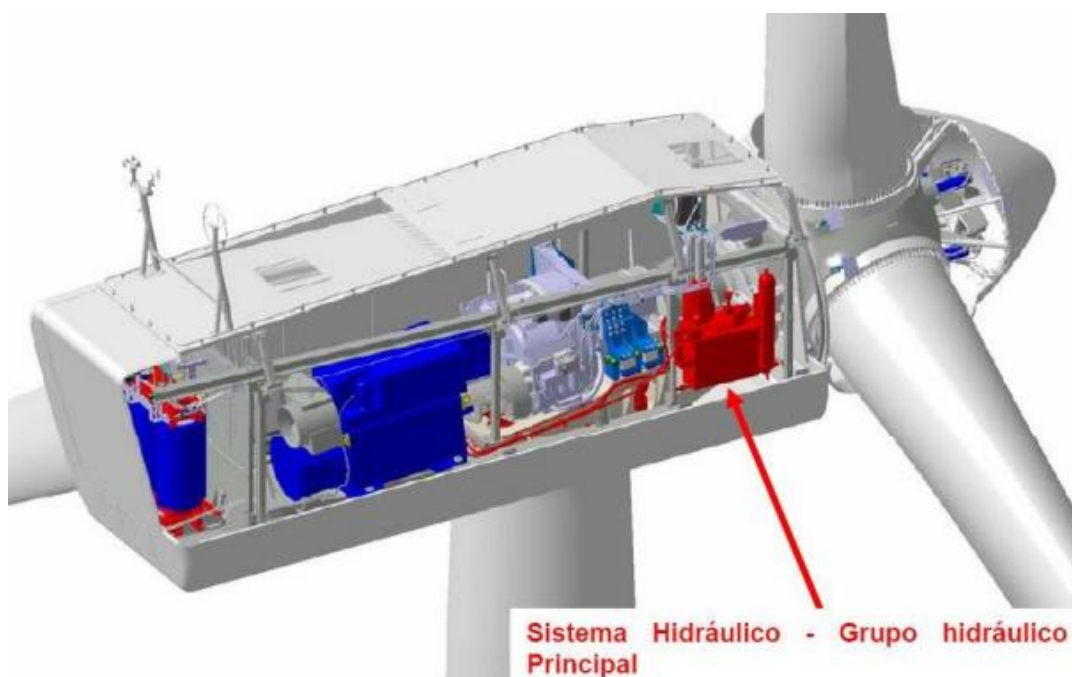


Ilustración 12. sistema hidráulico

GENERADOR

Los generadores, en su mayoría actualmente, son del tipo asíncrono doblemente alimentado con cuatro polos, rotor bobinado y anillos rozantes. Este tipo de generador es altamente eficiente y está refrigerado por un intercambiador aire-aire. El sistema de control permite trabajar con velocidad variable mediante el control de la frecuencia de las intensidades del rotor.

Las características y funcionalidades que introduce este tipo de generador son:

- Comportamiento síncrono frente a la red
- Funcionamiento óptimo para cualquier velocidad de viento maximizando la producción y minimizando cargas y ruido gracias a la operación en velocidad variable.
- Control de la potencia activa y reactiva mediante el control de la amplitud y la fase de las corrientes del rotor.
- Suave conexión y desconexión a la red eléctrica.

Además, el generador está protegido frente a cortocircuitos y sobrecargas. Por otro lado, la temperatura se monitoriza de manera continua mediante sondas en diferentes puntos del mismo.



Ilustración 13. generador

TRANSFORMADOR

Se trata de transformadores especialmente diseñados para aplicaciones eólicas. Son del tipo trifásico, encapsulados de resina seca o de silicona.

Actualmente, en los aerogeneradores más modernos el transformador está situado en la parte trasera de la góndola en un compartimento separado por una pared metálica que lo aísla térmica y eléctricamente del resto de componentes de la góndola. Sin embargo, en función del fabricante esta disposición puede variar. Esta situación del transformador en la góndola evita pérdidas eléctricas debido a la reducida longitud de los cables de baja tensión y reduce el impacto visual.

En el caso del tipo seco, el riesgo de incendio es mínimo. Además, el transformador incluye todas las protecciones necesarias para evitar daños como detectores de arco y fusibles de protección.

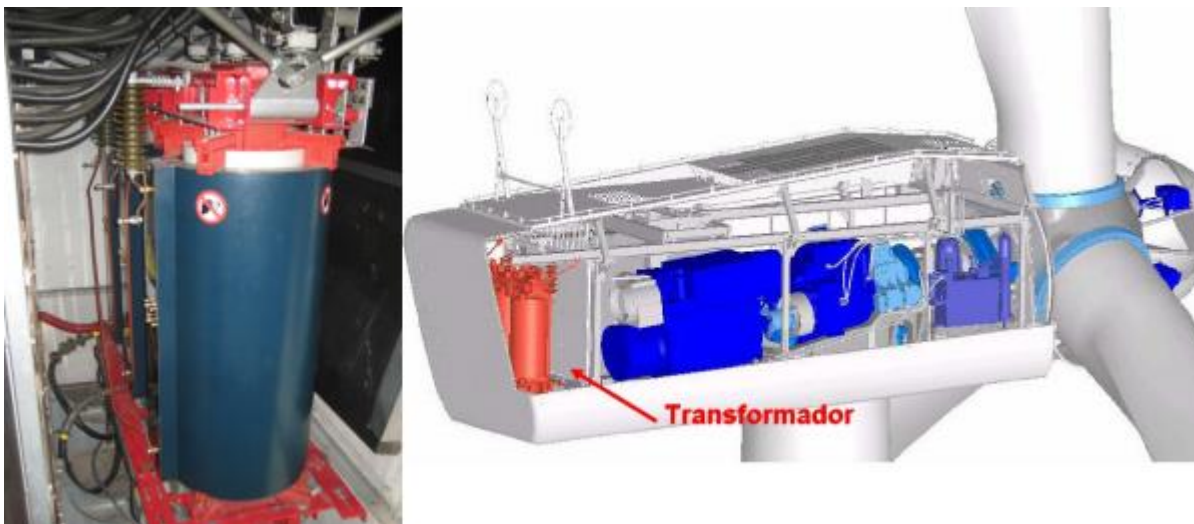


Ilustración 14. Ubicación del transformador

ARMARIOS ELÉCTRICOS DE CONTROL Y DE POTENCIA

Se trata de un conjunto de armarios repartidos por el aerogenerador y la torre.

- Armario Top: es el controlador de la góndola y está ubicado, lógicamente, en la góndola. A su vez, se divide en tres partes:
 - ❖ Sección de control: se encarga de las tareas propias del gobierno de la góndola.
 - ❖ Convertidor de frecuencia: se encarga del control de potencia y de gestionar la conexión y desconexión del generador de la red.
 - ❖ Sección de embarrados y protecciones: aquí se encuentra la salida de la potencia producida con las protecciones eléctricas necesarias.
- Armario Ground: situado en la base de la torre, junto a la entrada. Desde el mismo se pueden revisar parámetros de la operación del aerogenerador, detener y arrancar la máquina, realizar test de los diferentes subsistemas, etc.
- Armario Hub: es el controlador del buje y está situado en el rotor. Se encarga principalmente de la activación del sistema de cambio de paso –*sistema Pitch*– de las palas.

SISTEMA DE CONTROL

Las funciones del aerogenerador están controladas por un sistema de control con los siguientes subsistemas.

- Sistema de regulación: se encarga de seleccionar los valores adecuados de velocidad de giro del aerogenerador, del ángulo de paso de las palas, y de

potencia. Éstas se modifican en cada instante dependiendo de la velocidad de viento que llega a la máquina, garantizando así una operación segura y fiable en cualquier condición de viento existente. Las principales ventajas del sistema de regulación son:

- ❖ Maximización de la producción de energía.
 - ❖ Limitación de las cargas mecánicas.
 - ❖ Reducción del ruido aerodinámico.
 - ❖ Alta calidad de energía.
- Regulación del pitch: a velocidades de viento por encima de la nominal, el sistema de control y el sistema de cambio de paso mantienen la potencia en su valor nominal. Con velocidades de viento por debajo de la nominal, el sistema de cambio de paso variable y de control optimizan la producción de energía seleccionando la combinación óptima de revoluciones y ángulo de paso.
 - Regulación de potencia: el sistema de regulación de potencia o CPU trata de asegurar que las revoluciones por minuto y el par motor del aerogenerador siempre suministren una potencia eléctrica estable a la red.

El conjunto formado por el generador y el convertidor de frecuencia es equiparable al de un generador síncrono con lo que se asegura un óptimo acoplamiento a la red eléctrica con suaves procesos de conexión y desconexión. Además, este sistema conjunto es capaz de trabajar con velocidad variable para optimizar su funcionamiento y maximizar

la potencia generada para cada velocidad de viento. También permite gestionar la potencia reactiva evacuada.

- Sistema de supervisión: se encarga de verificar continuamente el estado de los diferentes sensores, así como el de los parámetros internos:
 - ❖ Condiciones ambientales: velocidad y dirección del viento o T^a ambiente.
 - ❖ Parámetros internos: temperaturas, niveles y presiones de aceite, vibraciones, enrollamiento del cable de media tensión, etc.
 - ❖ Estado del rotor: velocidad de rotación.
 - ❖ Posición de las palas –pitch–.
 - ❖ Situación de la red: generación de energía activa y reactiva, tensión, corrientes y frecuencia.

ROTOR

El rotor de los aerogeneradores está constituido por tres palas unidas a un buje mediante los rodamientos de pala. Los diámetros de rotor de los diferentes modelos abarcan, actualmente, desde los 80 m hasta los 90 m.

PALAS

Las palas de los aerogeneradores normalmente están fabricadas de un material compuesto y con refuerzo de fibra de vidrio o de carbono, que proporciona la rigidez necesaria sin aumentar el peso de la pala. Existen diferentes modelos de pala fabricadas con fibra de vidrio o fibra de carbono exclusivamente, o con una combinación de ambas.

El diseño de las palas muestra el cambio de paso a lo largo de la envergadura completa de la misma, maximizando así la producción energética y reduciendo las cargas y el ruido emitido.

Las palas disponen de un sistema de protección contra rayos cuya misión es conducir el rayo desde el receptor hasta la raíz de pala donde es transmitido a la máquina para ser descargado a tierra.

Por otro lado, van equipadas con los conductos necesarios para evitar la retención de agua en su interior, lo que podría ser causa de desequilibrios o daños estructurales al impactar un rayo, por ejemplo.

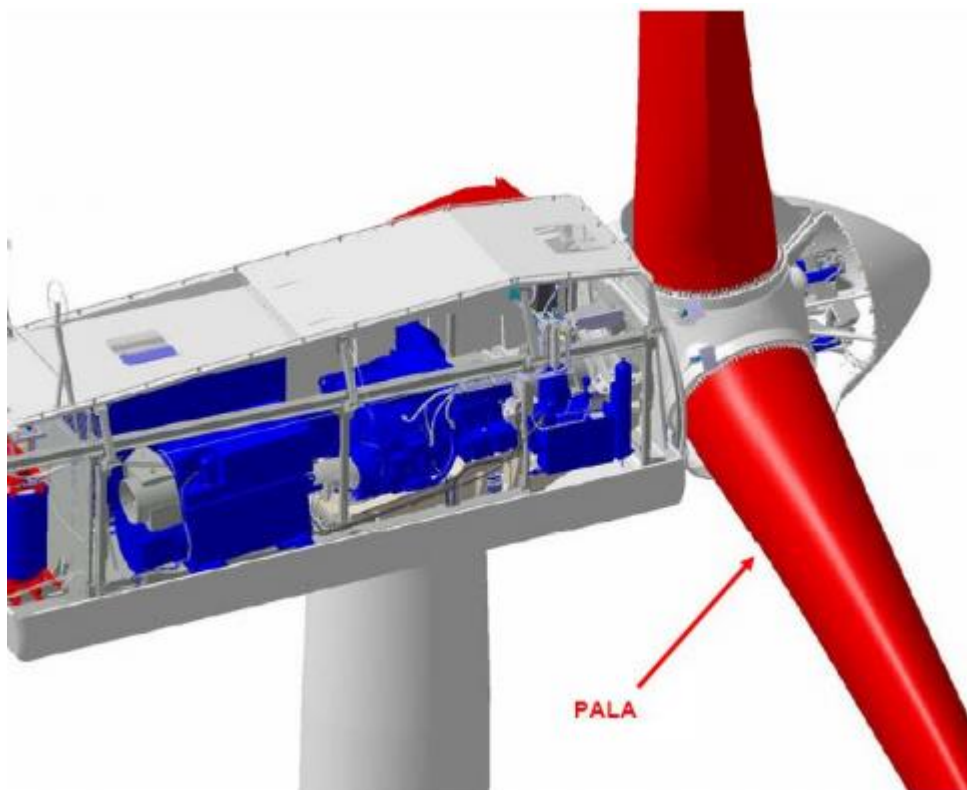


Ilustración 15. Palas

BUJE

El buje está fabricado en fundición nodular y se une a los tres rodamientos de pala y al eje principal mediante uniones atornilladas. Posee una abertura en la parte frontal que permite el acceso al interior para realizar las inspecciones y el mantenimiento tanto del sistema de cambio de paso, así como del par de apriete de los tornillos de las palas.

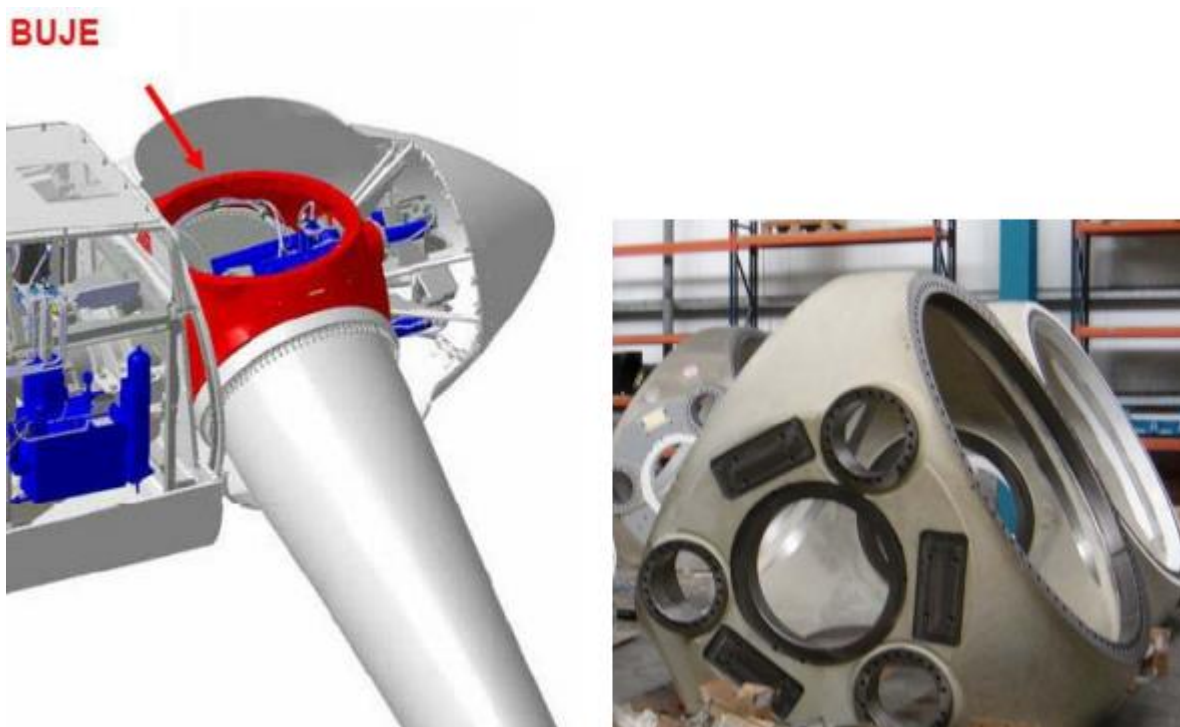


Ilustración 16. Buje

CONO

El cono protege el buje y los rodamientos de pala de las inclemencias atmosféricas. El cono se atornilla a la parte frontal del buje y está diseñado para permitir el acceso al buje para realizar las labores de mantenimiento.



Ilustración 17. Cono

TORRE

Las torres de los aerogeneradores suelen ser tubos de acero de forma tronco-cónica. Está dividida en tres, cuatro o cinco tramos dependiendo de la altura de torre. La torre se trata superficialmente con pintura de protección especial anticorrosión. Actualmente, existen prototipos de torres fabricadas en hormigón.



Ilustración 18. Torre del aerogenerador

CIMENTACIÓN

Las cimentaciones estándar son del tipo losa de hormigón armado con acero. Normalmente su cálculo se basa en las cargas del aerogenerador y considerando un terreno estándar.

Para cada emplazamiento, es necesario revisar las características del terreno junto con los datos de viento para elegir la cimentación más adecuada.



Ilustración 19. Cimentación para la construcción del aerogenerador

LEY DE BETZ

La ley de Betz indica la potencia máxima que se puede extraer del viento, independientemente del diseño de un aerogenerador en flujo abierto. Fue publicado en 1919 por el físico alemán Albert Betz. La ley se deriva de los principios de conservación de la masa y el momento de la corriente de aire que fluye a través de un "disco accionador" idealizado que extrae energía de la corriente de viento. Según la ley de Betz, ninguna turbina puede capturar más de $16/27$ (59,3%) de la energía cinética del viento. El factor $16/27$ (0,593) se conoce como coeficiente de Betz.

CALCULO DE LA ENERGIA DIARIA PRODUCIDA POR EL AEROGENERADOR

Con la mecánica de fluidos podemos realizar un cálculo para determinar la energía diaria que puede producir un aerogenerador al final del día con una velocidad del viento constante, pero este cálculo depende de muchos factores.

En este caso realizaremos un cálculo para determinar la energía diaria producida por un aerogenerador con una velocidad del viento de 7 m/s el cual cuenta con unas palas de 38 m de longitud y un rendimiento del 80%.

La ley de Betz nos dice que el coeficiente de potencia (C_p) del viento tiene un límite establecido de 0.59 y que el viento nunca será capaz de entregarle a la turbina más potencia que eso, sin embargo, en la actualidad los aerogeneradores tienen un límite inferior entre 0.4 y 0.45 del coeficiente de Betz.

Otro de los factores que intervienen en el cálculo, es la densidad del aire que depende de la temperatura en la que nos encontremos, como podemos apreciar en la siguiente tabla

Temperatura $T (^\circ \text{C})$	Velocidad del sonido $c (\text{m} / \text{s})$	Densidad del aire $\rho (\text{kg} / \text{m}^3)$	Impedancia acústica característica específica $z_0 (\text{Pa} \cdot \text{s} / \text{m})$
35	351,88	1.1455	403,2
30	349.02	1,1644	406,5
25	346,13	1,1839	409,4
20	343.21	1.2041	413,3
15	340,27	1,2250	416,9
10	337,31	1.2466	420,5
5	334,32	1.2690	424,3
0	331.30	1.2922	428.0
-5	328.25	1.3163	432.1
-10	325.18	1.3413	436,1
-15	322.07	1.3673	440,3
-20	318,94	1.3943	444,6
-25	315,77	1,4224	449,1

Ilustración 20. Efecto de la temperatura sobre las propiedades del aire

En nuestro caso la ubicación en donde se encuentra la subestación cuenta con una temperatura ambiental promedio de 30°C lo que nos da una densidad del aire de 1.16 Kg/m³.

Para calcular la energía producida por el viento se utilizará la fórmula de la energía cinética

$$Ec = \frac{1}{2} mV^2$$

Y para eso debemos hallar la masa (m) por lo tanto debemos calcular el volumen (V) del viento que atraviesa al aerogenerador y al ser un fluido se determinara el flujo volumétrico que está dada del volumen por unidad de tiempo (V').

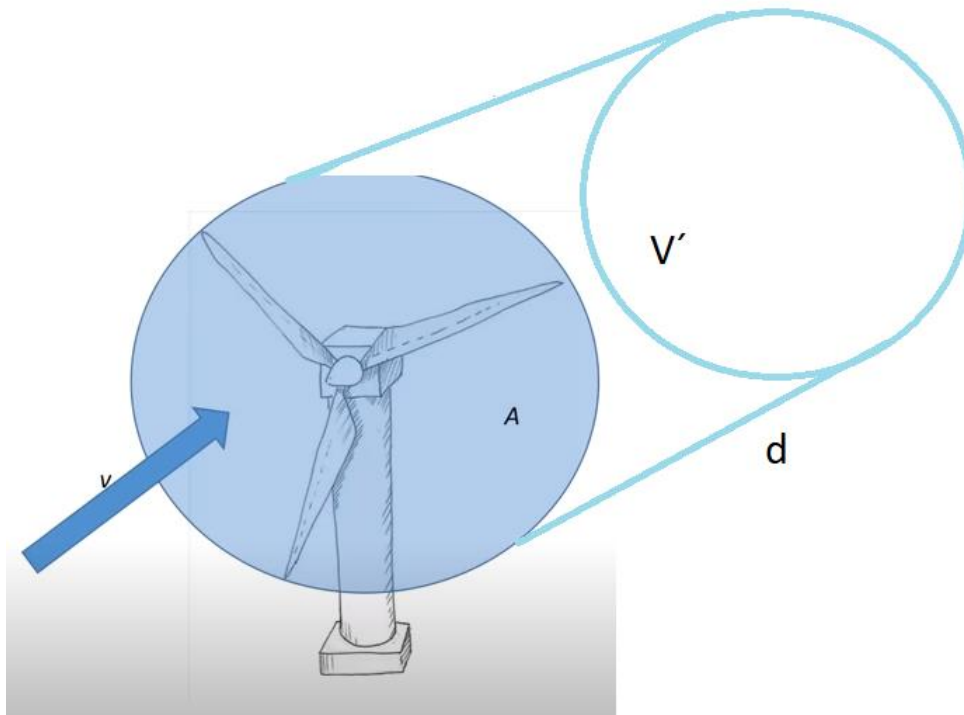


Ilustración 21. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del aerogenerador

Para hallar el flujo volumétrico del viento que atraviesa al aerogenerador se calcula el área de la sección A por la distancia (d) que recorre el viento a dicha velocidad

$$m = V' = \pi r^2 d$$

$$V' = \pi (38m^2) (7m/s)$$

$$V' = 31,755.21 \frac{m^3}{s}$$

Ya que la velocidad del viento es de 7 m/s nos indica que el viento recorre 7 metros cada 1 segundo por lo tanto la distancia son 7 m y la fórmula de la energía cinética se

verá afectada por el coeficiente de Betz, la densidad del viento y el rendimiento del aerogenerador dándonos una nueva formula

$$Ec = \frac{1}{2} m v^2 \rho Cp$$

$$Ec = \frac{1}{2} (31,755.21 \frac{m^3}{s}) (7 \frac{m}{s})^2 (1.16 \frac{Kg}{m^3}) (0.4)$$

$$Ec = 360,993.22 W$$

Multiplicándolo por el 80% del rendimiento del aerogenerador obtenemos un total de

$$Ec = 360,993.22 W . (0.8)$$

$$Ec = 288.8 Kw$$

Y para la energía diaria

$$Ec = 288.8 Kw . (24 hr)$$

$$Ec = 6931.2 Kwh$$

Debo mencionar que esta cantidad seria la energía dada por esta turbina bajo estas condiciones con una velocidad del viento constante, sin embargo, esto varia con unas

condiciones diferentes del aerogenerador y de los fenómenos que actúan sobre él, pero seguirían funcionando con el mismo principio.

CAPITULO 3: MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR A TURBINA G80X DE 2MW DEL PARQUE EOLICO PIEDRA LARGA DE UNION HIDALGO OAXACA.

¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO?

El mantenimiento correctivo es una actividad que se lleva a cabo para reparar el daño encontrado durante el mantenimiento preventivo. En general, no se trata de un conjunto de acciones planificadas, ya que se realiza cuando un componente ha sido dañado. Su objetivo es restaurar la confiabilidad del sistema y devolverlo a su estado original.

El mantenimiento correctivo también se conoce como mantenimiento de descomposturas y solo tiene lugar cuando alguna máquina no funciona. Si esta estrategia es empleada como la principal habrá un alto impacto de las actividades de mantenimiento no planificadas y de reposición de partes del inventario.

TIPOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Mantenimiento correctivo programado

El mantenimiento correctivo programado no se realiza de manera inmediata, sino de forma planificada. Generalmente se utiliza en máquinas o sistemas que no son muy importantes dentro de la cadena de producción de una empresa. Por tanto, pueden permanecer fuera de servicio sin que esto signifique un retraso en la producción o en los tiempos de entrega preestablecidos por la misma. De esta manera, es posible reparar

las averías en momentos donde se disponga del personal, los materiales y las herramientas necesarias para llevar a cabo dicha tarea, sin interferir con los cronogramas de la empresa.

Un ejemplo de este tipo de mantenimiento se da cuando se utiliza una estrategia de “funcionamiento hasta la rotura”, en donde se dispone que una máquina sea utilizada hasta que falle, para luego ser reparada o reemplazada.

Mantenimiento correctivo no programado

El mantenimiento correctivo no programado, también llamado de emergencia, es el que se realiza de manera inmediata. Esto se da generalmente cuando se produce una rotura o falla inesperada en un equipo que es necesario para el correcto funcionamiento de una empresa. Por lo tanto, su reparación y puesta en marcha son llevadas a cabo de manera urgente. Este tipo de mantenimiento suele ser inevitable, ya que independientemente del tipo de estrategia desarrollada para prevenir fallas inesperadas, en ocasiones resulta inevitable la rotura de alguna máquina o equipo.

De todas maneras, una buena planificación de las estrategias de mantenimiento reduce en gran medida las posibles fallas.

La política de mantenimiento correctivo, basada en la presentación del fallo, constituye un método en el que se realizan tareas de mantenimiento correctivo tras ocurrir un fallo, a fin de recuperar las funcionalidades del elemento o sistema considerado. Este tipo de mantenimiento presenta ciertos inconvenientes, uno de los inconvenientes más importantes es que un fallo de un elemento puede a su vez acarrear daños a otros

elementos del sistema y aumentar los costes de reparación. Otro de los inconvenientes es el aumento de los tiempos de parada del aerogenerador debido a la indisponibilidad de recursos (repuestos, personal, herramientas).

MANTENIMIENTO CORRECTIVO MENOR

Hace referencia a intervenciones de los equipos de mantenimiento no programadas o de emergencia. El alcance de las reparaciones del mantenimiento correctivo incluye la reparación o sustitución de la totalidad o parte de los equipos defectuosos.

Los pequeños correctivos agrupan pequeñas averías y cambios de componentes pequeños.

La realización de estas operaciones de pequeños no precisa mucho tiempo, habitualmente, para su detección y solución.

En el supuesto de necesitar material debe asegurarse su acopio previamente a la realización de los trabajos, aunque lo habitual es, en base a los datos históricos, disponer en los emplazamientos de un stock mínimo de los repuestos y consumibles habituales para este tipo de intervenciones. El mantenimiento correctivo menor son todas las pequeñas fallas del aerogenerador y que en el instante el técnico de mantenimiento tendrá que reparar para que la maquina tenga una buena disponibilidad, entre estas tareas se encuentran.

- cambio de escobillas del sistema generador.
- fallo de comunicación PLC/CONVERTIDOR.
- Bajo nivel de aceite de la multiplicadora.

- nivel de aceite del grupo hidráulico (GH).
- diferencia entre dos palas.
- rellenado de aceite de multiplicadora.
- inspección y limpieza de cuerpo de anillos.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR

Se refiere a la sustitución o reparación estructura/integral de un gran componente o que requiera su desmontaje total y parcial. En especial toda operación de mantenimiento que requiera la asistencia de sistemas de elevación tipo grúas es por correctivo mayor.

Entre los equipos que se sustituyen en un correctivo mayor se encuentra los siguientes:

- cambio de rotor.
- cambio de generador.
- cambio de multiplicadora.
- cambio sistema yaw.
- cambio de transformador.
- cambio de nacelle.
- cambio de tramo.
- cambio de eje principal.

CONCEPTO DE FALLA

Se entiende por fallo de una maquina cualquier cambio en la misma que impida que esta realice la función para la que fue diseñada.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debería o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

CLASIFICACION DE FALLAS

Puede establecerse una serie de fallas dependiendo de diversos criterios, los cuales son los siguientes:

- Progresivo: este tipo de fallo es consecuencia generalmente, del deterioro o de la pérdida progresiva de las características propias de algún componente.
- Repentino: cuando la evolución hacia el fallo no puede ser detectada de ninguna forma, por lo que, cuando este se presenta lo hace, generalmente de forma inesperada. Las causas de este tipo de fallos pueden ser por descargas eléctricas, errores humanos, por desgaste o fatiga de elementos no visibles y generalmente estáticos o por un defecto inicial del elemento.

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DIMENSIÓN DEL FALLO

- Parcial: en aquellos casos en las que la aparición del fallo no supone la parada del equipo o del proceso afectado, aunque si disminuye la seguridad operativa y es aquí donde normalmente se puede aplicar un mantenimiento correctivo menor
- Total: un fallo de este equipo provoca la parada inmediata del sistema afectado, sin duda este tipo de fallos se debe evitar y es en este donde el mantenimiento correctivo mayor puede aplicarse

CLASIFICACION DEBIDO AL MOMENTO EN EL QUE SE PRODUCE EL FALLO

- Infantil: suele ser debido a imperfecciones constructivas en algún elemento, a un ensamblaje defectuoso de los componentes del equipo, a un montaje incorrecto del equipo o aun uso inapropiado del mismo.
- Por envejecimiento: este tipo de fallo no debe producirse de forma inesperada, puesto que es consecuencia del deterioro progresivo y natural de los distintos componentes del sistema.

CLASIFICACION ATENDIENDO A LA INFORMACION QUE SE TENGA DEL FALLO

- Manifiesto: en aquellos casos en los que se tiene información acerca del origen del mismo, ya sea por disponer de la información previa (ya sea por experiencia), ya sea por haberse detectado mediante la observación o medida por algún parámetro.
- Oculto: cuando no existen métodos de detección del fallo, o estos no se han puesto en práctica.

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE FALLAS

La importancia de analizar las fallas que ocurren en las maquinas o sistemas radica en que este análisis nos permite confirmar o descartar los supuestos orígenes de dichas fallas, es decir, el análisis de fallas es una etapa donde se escuchan y evalúan las opiniones de los expertos. Lo importante de diagnosticar las fallas es, en sí, plantear o dar soluciones para cada caso en particular y con esto, lograr el funcionamiento deseado.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR EN SISTEMA YAW DE LAS MORDAZAS (DESMONTAJE Y MONTAJE EN LA GÓNDOLA).

Esta actividad únicamente podrá realizarse con un equipo preparado con los conocimientos y experiencias determinadas para realizar un trabajo más detallado de forma eficaz y eficiente. En este caso el aerogenerador cuenta con una cantidad de 7 mordazas de las cuales solo una esta dañada y por lo tanto solo se ocupará una mordaza de repuesto para sustituir la dañada.

CONDICIONES DE SEGURIDAD

- la velocidad del viento para esta operación no debe rebasar los 12 m/s
- para riesgo de caída, la trampilla se mantendrá cerrada en todo momento y no se trabajará sobre ella
- limpiar bien todas las superficies de trabajo y apoyo antes de realizar la actividad
- utilizar gafas para salpicaduras y guantes de protección químicas

EQUIPOS DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACION DE ESTA ACTIVIDAD

- Ropa de trabajo
- Casco con barbuquejo
- Botas de seguridad
- Arnés
- Cabos con absorbedor y gancho de gran apertura
- Guantes con nitrilo
- Guantes de protección contra agresiones mecánicas recubiertas de nitrilo
- Gafas de protección contra salpicaduras de líquidos

- Protector auditivo

ÚTILES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

- Útil de izado para mordazas
- Varilla roscada (M33 x 1000 mm)
- Tuercas (ISO4032 M33)
- 1 kit de herramientas para correctivo
- 1 casquillo cilíndrico hueco
- 1 botellín de recogida de aceite
- 1 juego de llaves dinamométricas de 6 a 50 Nm
- 1 llave Allen de 12 mm
- 1 llave hidráulica
- 1 pistola eléctrica de impactos
- 1 eslinga (0,5 t)

CONDICIONES PREVIAS

Para realizar el desmontaje y montaje de las mordazas del sistema de orientación se deben realizar las siguientes actividades:

- comunicar los trabajos a realizar al responsable del parque
- colocar las señales de advertencia y seguridad en la puerta del aerogenerador
- detener el aerogenerador
- preparar las herramientas y equipos a utilizar (útil de izado para mordazas, varilla roscada, tuercas)
- cantidad según el numero de mordazas a sustituir

DESMONTAJE DE LAS MORDAZAS DEL SISTEMA DE ORIENTACION

DESCONEXION HIDRAULICA DE LA MORDAZA

- 1) comprobar que el péndulo de la torre no impide descender la mordaza correctamente
 - en caso contrario, cambiar la orientación de la góndola antes de desmontar la mordaza
- 2) bloquear el rotor y despresurizar el sistema hidráulico los acumuladores de presión
- 3) vaciar el aceite de la mordaza a sustituir
 - acoplar un capilar en la toma minimess-1- situada al final de la ramal de la mordaza-2-
 - vaciar el aceite en un recipiente para no manchar la plataforma
- 4) aislar hidráulicamente la mordaza a sustituir
- 5) presurizar el sistema de orientación
- 6) aplicar freno a las mordazas del sistema de orientación desde la pantalla táctil

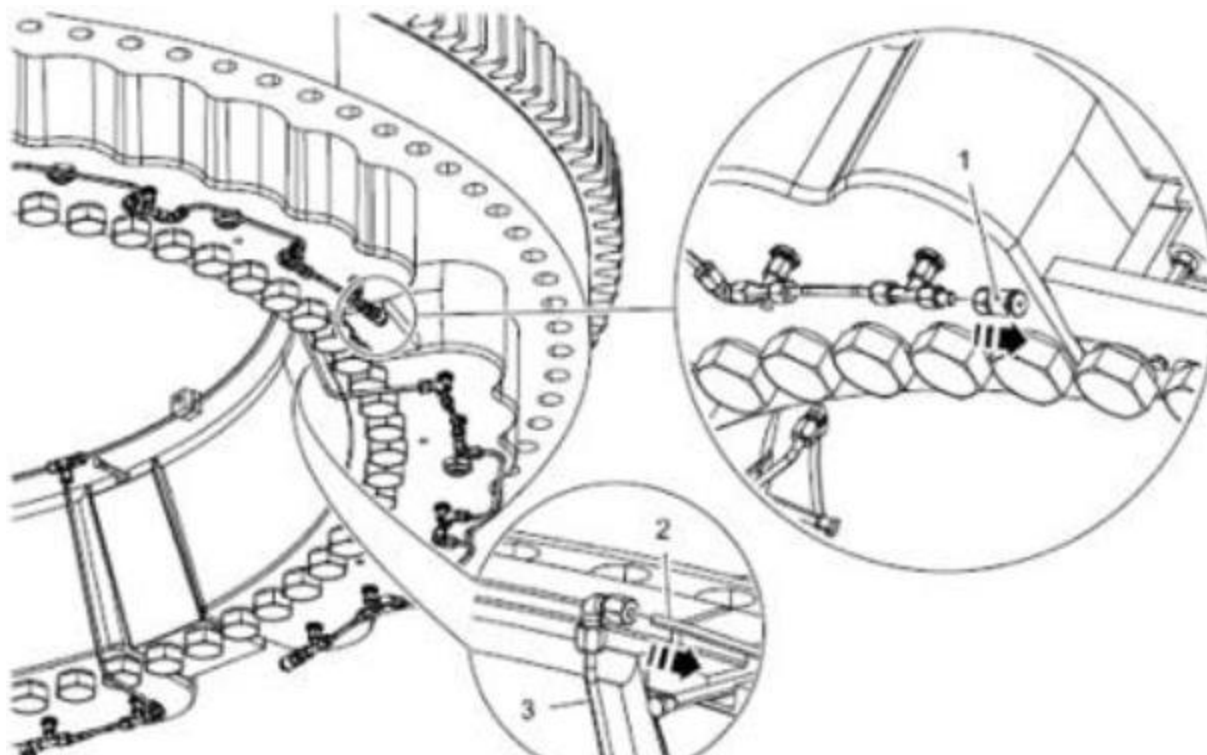


Ilustración 22. Cambio de posición de la toma minimess en el ramal de la mordaza

DESMONTAJE DE LAS MORDAZAS

- 1) aflojar sin retirar los apilados de la arandela muelle de la mordaza a sustituir
 - aflojar sin retirar las tuercas hexagonales y los tornillos reguladores

- 2) montar las varillas roscadas para descenso de la mordaza a sustituir
 - aflojar sin retirar los tornillos-2-
 - aflojar y retirar los tornillos de los extremos de la mordaza-1-

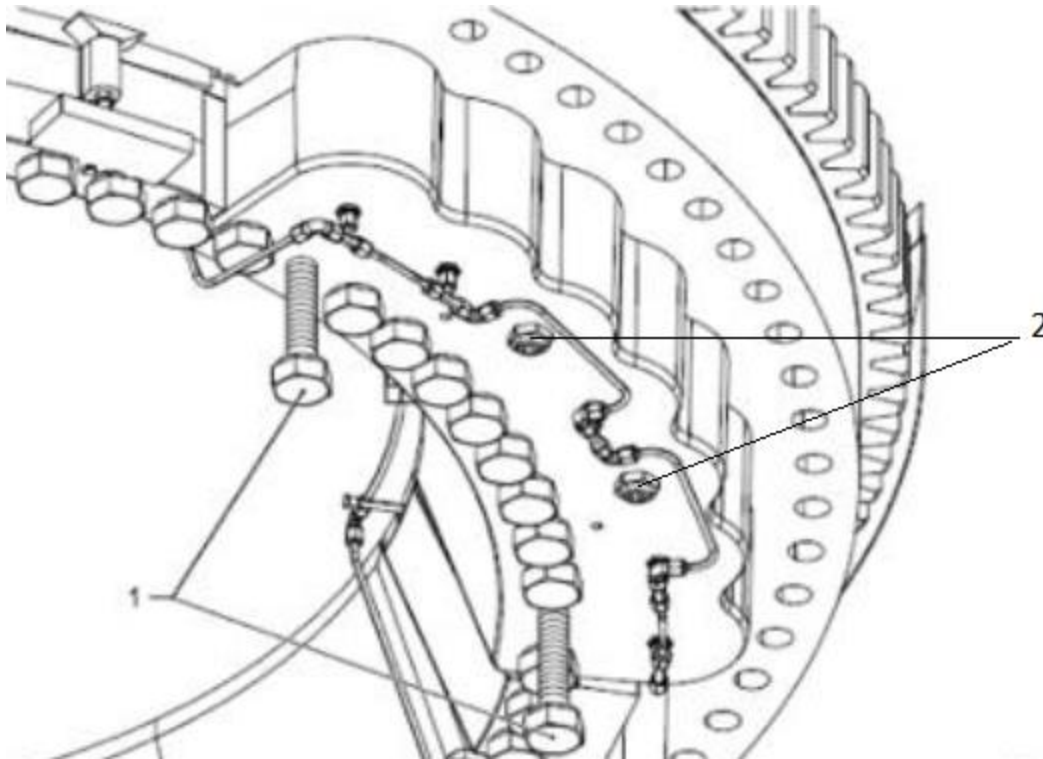


Ilustración 23. Ubicación de los tornillos de fijación de la mordaza a retirar

3) montar el primer polipasto manual con una eslinga, en alguno de los siguientes emplazamientos, según la ubicación de la mordaza

- bastidor
- cáncamos de la multiplicadora
- orejetas de la multiplicadora
- vigas del puente grúa

4) amarrar la mordaza a sustituir con la cadena del primer polipasto manual

- desmontar el gancho de la cadena del polipasto manual

- introducir la cadena por el agujero central de la mordaza de uno de los tornillos de unión y por el interior del casquillo cilíndrico hueco
- montar de nuevo el gancho de la cadena del polipasto manual

5) descender la mordaza a sustituir

6) desmontar la mordaza

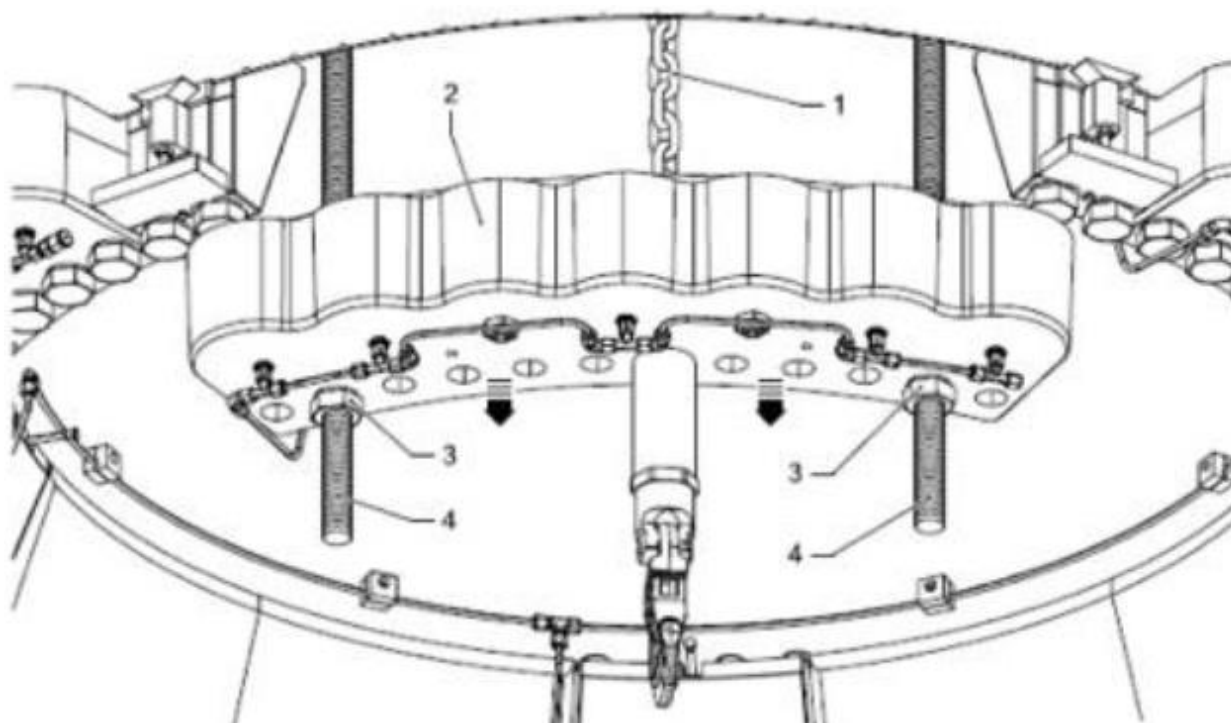


Ilustración 24. Ubicación de la mordaza en su posición más baja, bloqueada por tuercas

7) descender la mordaza hasta el suelo y desmontar

MONTAJE DE LAS MORDAZAS

- 1) izar la nueva mordaza hasta la góndola
- 2) montar la nueva mordaza empezando con los pasos finales hasta el principio
- 3) izar la nueva mordaza
 - apretar las tuercas de las varillas roscadas para bloquear la mordaza

- tensar la cadena hasta que soporte todo el peso de la mordaza
- 4) soltar la mordaza de la cadena del primer polipasto manual
 - 5) desmontar las varillas roscadas para el izado de la mordaza
 - 6) ajustar los apilados de arandela muelle según las indicaciones del procedimiento

CONEXIÓN HIDRÁULICA DE LA MORDAZA

Se deben despresurizar el sistema hidráulico según las indicaciones del procedimiento y conectar hidráulicamente la nueva mordaza

- quitar la toma minimess del inicio del ramal de la mordaza (si la hubiese) y montar la toma minimess al final del ramal de la mordaza (si no la hubiese). A su vez montar el tubo hidráulico

OPERACIONES POSTERIORES A LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD

- presurizar el sistema hidráulico
- quitar la señalización, desbloquear y conectar los interruptores automáticos del sistema
- desbloquear el rotor
- poner en marcha el aerogenerador
- recoger las señales de advertencia y seguridad de la puerta del aerogenerador

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL TRABAJO CON AEROGENERADORES

En práctica, la seguridad industrial puede ser ampliamente relativa, de acuerdo con el giro de cada industria. En teoría, su principal objetivo es el minimizar la mayor cantidad de riesgos posibles por medio de controles, equipos de seguridad y normas para poder obtener el bienestar de la empresa como de los trabajadores. La seguridad industrial busca proteger y preservar el bienestar y la integridad física de los trabajadores de acuerdo con estándares establecidos para garantizar excelentes condiciones de trabajo.

Los riesgos dentro de una empresa residen principalmente en accidentes leves o graves con los trabajadores o que incluso, pueden llegar a tener un terrible impacto ambiental en donde regiones enteras terminan siendo afectadas. También es importante recordar que, como se mencionó previamente, la higiene también se debe considerar parte como seguridad industrial debido al hecho que enfermedades dentro de un área de trabajo puede llegar a ser un problema muy tedioso de enfrentar para el directivo de la empresa.

PRINCIPALES MEDIDAS PREVENTIVAS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Las medidas preventivas y de protección de la turbina deben implementarse por parte del fabricante desde la fase de diseño y fabricación. Así por ejemplo, las máquinas deben estar fabricadas e instaladas de forma que se evite el riesgo de desplome de la máquina; las aberturas y los huecos deben estar correctamente protegidos mediante barandillas; los diferentes equipos (elevador, polipasto y puente grúa, multiplicadora, generador, transformador, etc.) deben contar con los dispositivos de seguridad adecuados; las partes

móviles (eje lento, disco de freno, engranajes de la multiplicadora, etc.) deben estar protegidas adecuadamente; las instalaciones eléctricas deben contar con los dispositivos de protección adecuados siguiendo la normativa electrotécnica específica; las plataformas deben estar diseñadas para soportar el peso de los diferentes equipos y de los trabajadores; los espacios de trabajo deben ser ergonómicamente adecuados; el acceso a la góndola o parte superior debería limitarse y en caso de ser necesario se debe realizar en condiciones de seguridad. El diseño debe permitir realizar las actividades de inspección y mantenimiento de forma segura, y debe poder garantizar que todos los elementos que permiten a los trabajadores realizar las tareas de forma segura estén correctamente mantenidos durante toda la vida útil de la máquina. Además de la normativa legal, los fabricantes pueden basarse en normas técnicas para el diseño de este tipo de máquinas.

En el ámbito de las normas europeas de seguridad de máquinas, la norma UNE- EN 50308 establece los requisitos de las diferentes medidas de protección recomendadas, durante la puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de las turbinas de eje horizontal. Además, pueden tener en cuenta otras normas técnicas como la del diseño de las paradas de emergencia, de los resguardos, y las de dimensiones para el diseño de los espacios mínimos de trabajo que permitan el paso del cuerpo humano.

A continuación, se definen algunas medidas de seguridad en el trabajo con aerogeneradores.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA BASE DEL AEROGENERADOR	
RIESGOS	MEDIDAS DE PROTECCION PREVENTIVAS
Caída de objetos a distinto nivel	• Obligatorio el uso de casco de seguridad en la base y las demás zonas de trabajo del aerogenerador. • Cerrar aberturas en caso de trabajar en diferentes alturas. • No dejar abandonado material en las plataformas intermedias ni en la góndola. • Cerrar las trampillas de seguridad de las plataformas cada vez que se atraviesen (tanto en sentido ascendente como descendente). • Revisiones periódicas de las condiciones estructurales de la torre y plataformas.
Contacto eléctrico	• Procedimientos de seguridad específicos en el foso que contemplen, entre otros, la previa desenergización del habitáculo. • Cumplimiento normativa electrotécnica específica. • Revisión periódica de la instalación eléctrica. • Antes de iniciar tareas de mantenimiento el aerogenerador debe estar parado de forma segura, evitando la puesta en marcha de forma remota o local
Explosión	• Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas de prevención y control, contemplando el derivado de arco eléctrico. • Equipos y materiales adecuados, contemplando específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico. • EPI específicos para operaciones con riesgo de explosión por arco eléctrico • No maniobrar celdas que carezcan o tengan bajo nivel de Hexafluoruro de azufre.
Exposición a sustancias químicas	• En caso de detectar fuga SF6, abandonar inmediatamente la base del aerogenerador y ventilar. • Verificar periódicamente y previamente al trabajo en la turbina la no existencia de fugas de SF6.
Atrapamiento, desplome	• Medidas de protección colectiva bajo el hueco del elevador para impedir atrapamiento. • Dispositivos de seguridad del elevador. • Revisiones periódicas del elevador. • Sistemas de retención de la puerta de entrada a la base. • Sistemas de sujeción en las trampillas que eviten el desplome.

Tabla 1. Medidas de seguridad en la base del aerogenerador

MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA TORRE Y PLATAFORMAS INTERMEDIAS		
AREA	RIESGOS	MEDIDAS DE PROTECCION PREVENTIVAS
Todas las plataformas	Caídas de altura	• Protección colectiva en aberturas y huecos. • No superar la velocidad máxima de viento recomendada por el fabricante para trabajos en la torre. • Normas de seguridad para el acceso y permanencia en las diferentes plataformas intermedias con el uso de EPI. • Cerrar las trampillas. • Uso EPI en el interior del elevador y cuando se abandona el habitáculo. • No apoyarse contra las puertas y estructuras metacrilato del elevador. Revisión periódica. • No permanecer sobre la trampilla o en las inmediaciones sin estar asegurado con EPI. • Mantenimiento periódico de la escala. En caso de peldaños en mal estado o elementos no sujetos de escala detener el ascenso y reparar. • Orden y limpieza.
	Desplome de estructura de torre plataforma	• Respetar el peso máximo y número de personas indicado por el fabricante en cada plataforma y señalizarlo. • Revisión periódica de la estructura (torre, plataformas intermedias). • El Aerogenerador debe estar parado de forma segura, evitando la puesta en marcha de forma remota.
	Caídas de objetos a distinto nivel	• Orden y limpieza. • Utilizar medios de transporte adecuados de herramientas y equipos (portaherramientas, puente grúa y polipasto). • Establecer medios de coordinación en el caso de trabajos en diferentes plataformas. • Cierre de trampillas. • Protección colectiva en el perímetro de aberturas y huecos con barandilla, listón intermedio, rodapiés. • Uso casco de seguridad.
	Atrapamiento	• Colocar sistemas de retención de trampillas. • Cerrar trampillas.

		• Uso guantes de protección mecánica y calzado de seguridad.
	Caídas al mismo nivel	• Orden y limpieza
	Contacto eléctrico	• Evitar el roce con elementos metálicos de los cables eléctricos próximos a la escala. • No utilizar los conductores como puntos de anclaje o asideros para ayudarse en el desembarco de la escala.
Uso del elevador	Desplome del elevador	• Dispositivos de seguridad. • No sobrepasar la carga máxima marcada por el fabricante. • Mantenimiento preventivo periódico y previo al uso. • Respetar las instrucciones del fabricante.
	atrapamiento	• Seguir instrucciones del fabricante durante el desplazamiento y salida del elevador. • Verificar dispositivos de seguridad del elevador previo al uso y periódicamente y no alterarlos. • No utilizar el elevador en posición automático para el transporte de trabajadores. • No desplazarse en zonas no destinadas para el transporte de trabajadores.
	Golpes con elevador	• Prohibido acceder o utilizar la escala mientras el elevador está funcionando.
Plataforma transformada	Contacto eléctrico	• No acceder al transformador sin desenergizarlo. No manipular los conductores ni la puerta de entrada al mismo. • No vulnerar los dispositivos de enclavamiento de los habitáculos de alta tensión. No utilizar llaves maestras. • Utilización de EPI frente a arco eléctrico.
	Contacto térmico	• Dejar enfriar el transformador antes de manipularlo. • Señalización adecuada de las zonas de riesgo. • Uso guantes protección térmica.
	Explosión, incendio	• Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas preventivas, contemplando el derivado de arco eléctrico. • Equipos y materiales adecuados, contemplando

		específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico. EPI para operaciones con riesgo de explosión por arco eléctrico.
Plataforma corona	atrapamiento	- Instrucciones o procedimientos de trabajo para realizar de forma segura las diferentes operaciones de mantenimiento en el sistema de orientación del aerogenerador. - Verificar la existencia de dispositivos de seguridad.
	Exposición a sustancias químicas	- Los productos químicos deben disponer de la ficha de datos de seguridad actualizada así como estar etiquetados. - Adoptar las medidas de prevención o protección adecuadas derivadas de la evaluación de riesgos específica. - Utilizar Equipos de protección individual adecuados.
	Proyección de partículas y sustancias químicas	- En las tareas de mantenimiento mantener el circuito hidráulico sin presión. - Utilizar gafas de seguridad adecuados al riesgo de proyección.

Tabla 2. Medidas preventivas en la torre y plataformas intermedias

MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA GONDOLA, BUJE Y PALAS		
AREA	RIESGOS	MEDIDAS DE PROTECCION PREVENTIVAS
RIESGOS GENERALES	EXPOSICION A AGENTES QUIMICOS	- Ventilar correctamente el emplazamiento. - Evaluación específica de riesgos de la exposición a agentes químicos. - Utilizar EPI adecuados. - Seguir las indicaciones de las fichas de seguridad del producto
	CAIDA DE ALTURA	- Sistema de protección mediante barandillas o cerramientos en zona polipasto o puente-grúa, que proteja hueco tras abertura de puerta. - En los trabajos en la zona de carga de polipasto o puente grúa o cercanos a aberturas y huecos asegurarse mediante sistema de protección individual contra

		caídas de altura, permaneciendo en todo momento sujetos. • La zona de evacuación situada en la góndola estará siempre en condiciones de utilización. • Puntos de anclaje suficientes en aberturas o huecos sin proteger.
	DESPLOME DE ESTRUCTURA	• Revisión periódica y previa al uso de cargas de gran peso, del estado de la fibra. • Respetar el peso máximo en la plataforma indicado por el fabricante. • Señalizarlo adecuadamente e incluirlo en los procedimientos de trabajo.
	ATRAPAMIENTO	• Procedimiento específico de actuación en el mantenimiento de los equipos. • Evitar llevar elementos que puedan quedar atrapados con elementos móviles (pulseras, collares, anillos, etc.).
	CONTACTO TERMICO	• Tener en cuenta el tiempo de parada y enfriamiento indicado por el fabricante, antes de empezar el trabajo. • Uso de guantes protección térmica. • Señalización de las zonas de riesgo.
	CONTACTO ELECTRICO	• Evitar pisar los conductores y llevar elementos que puedan rozar las cubiertas de los mismos.
	EXPLOSION CIRCUITOS A PRESION	• Instrucciones de seguridad específicas para trabajos en grupo hidráulico, que tengan en cuenta las instrucciones del fabricante. • Evitar llevar elementos que puedan quedar atrapados con elementos móviles (pulseras, collares, anillos, etc.). • Utilización EPI adecuados.
	PROYECCION DE PARTICULAS Y S.Q.	• Seguir procedimiento específico para trabajos en grupo y circuito hidráulico. • Uso de gafas de seguridad.
	EXPLOSION	• Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas de prevención y control, contemplando el derivado de arco eléctrico. • Equipos y materiales adecuados, contemplando específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico.

		• Seguir las instrucciones específicas del fabricante.
	GOLPES O CORTES	• Se seguirán las instrucciones específicas indicadas por el fabricante • Mantenimiento preventivo periódico de los equipos siguiendo lo indicado por el fabricante. • Uso de guantes protección mecánica.
	CAIDAS DE OBJETOS A DIFERENTE NIVEL	• Se seguirán las instrucciones del fabricante acerca del peso máximo de utilización. • Asegurar la carga adecuadamente, verificando que el volumen de la carga no supera la dimensión de la escotilla de la góndola. • No vulnerar los dispositivos de seguridad.
EQUIPOS DE ELEVACION DE CARGA	CONTACTOS ELECTRICOS	• Mantenimiento periódico preventivo de los equipos de trabajo. • Mantenimiento correctivo de los elementos del equipo (carcasa, cable de conexión, etc.) si hay deficiencias.
	DESPLOME DE LA ESTRUCTURA	• No sobrepasar el peso máximo del equipo que marca el fabricante. • Vigilar el recorrido de las carga en todo momento. • No vulnerar los dispositivos de seguridad.
BUJE Y PALAS	CAIDA DE ALTURA	• Revisión periódica del estado de la fibra. • Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas. • Utilizar EPI para trabajos en altura. • Coordinación adecuada con el personal de la góndola. • No sobrepasar el peso máximo de las tapas de las palas marcadas por el fabricante. En caso de tener que retirarlas o carecer de ellas permanecer permanentemente anclado a un punto seguro.
	INCENDIO Y EXPLOSION	• Procedimiento trabajo y medios de detección y ventilación adecuados en operaciones lijado de palas.
	ATRAPAMIENTO	• No abrir la compuerta de acceso al buje hasta no tener bloqueado mecánicamente el rotor. • Seguir las instrucciones del fabricante en el bloqueo del rotor y palas respetando las velocidades del viento.

		• Evitar llevar objetos colgantes. • No superar la velocidad de viento máxima indicada por el fabricante para trabajos en buje y palas. • Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas. • Señalizar espacios confinados existentes. • Señalizar en las palas el punto máximo hasta donde está permitido trabajar sin riesgo de atrapa-miento, evitar acceso a palas que no dispongan de espacio mínimo de trabajo.
	ASFIXIA	• Comprobar en función de la tipología de buje y siempre que se accede al interior de la pala la calidad del aire interior mediante dispositivos detectores. • En caso de detectarse fugas de aceite o grasas en el interior del buje, utilizar los EPI adecuados y ventilar adecuadamente. • Algunos espacios deben tratarse como espacios confinados.
	EXPOSICION A TEMPERATURAS EXTREMAS	• Determinar las condiciones de temperatura en las que se pueden realizar las tareas en el interior de buje y palas. Establecer medidas organizativas. • Utilizar ropa de trabajo adecuada al riesgo.
	DESPLOME DE ESTRUCTURAE	• Revisión periódica fibra buje y palas. • No superar el peso máximo indicado por el fabricante.
	EXPOSICION A SUSTANCIAS QUIMICAS	• Los productos químicos deben disponer de la ficha de datos de seguridad actualizada así como estar etiquetados. • Adoptar las medidas de prevención o protección adecuadas derivadas de la evaluación de riesgos específica. • Ventilación. • Utilizar Equipos de protección individual adecuados.

	PROYECCION DE SUSTANCIAS QUIMICAS	• Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas y trabajo con acumuladores. • Desconexión de energía hidráulica en mantenimiento. • Uso de EPI.
EXTERIOR DE LA GONDOLA	CAIDAS AL MISMO NIVEL	• Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, así como llevar permanentemente el equipo de comunicación. • No salir al exterior en caso de fuerte lluvia o hielo. • En caso de existir superficies deslizantes instalar sistemas adicionales como bandas, pinturas.
	CAIDAS DE ALTURA	• Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, llevar permanentemente el equipo de comunicación. • No superar la velocidad de viento máxima indicada por el fabricante para trabajos en el exterior de la góndola. • No realizar trabajos en el exterior en condiciones climatológicas adversas (lluvia, nieve, hielo). • No sobrepasar el peso máximo autorizado por el fabricante de la turbina. • Uso de EPI contra caídas de altura. • En caso de detectar fisuras en la fibra detener el trabajo de inmediato.
	CAIDAS DE OBJETOS	• Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, llevar permanentemente el equipo de comunicación. • Uso de portaherramientas específicos. • En la sustitución de componentes exteriores, señalizar la operación en la base de la turbina.
	RADIACION SOLAR	• Uso de gafas de protección solar.

Tabla 3. Medidas preventivas en la góndola, buje y palas

RESULTADOS

A continuación, se muestran las ilustraciones finales de la actividad realizada sobre el cambio de una de las mordazas en el sistema de yaw de la turbina, como ya había mencionado anteriormente el sistema cuenta con siete mordazas de las cuales una se encontraba en mal estado por los constantes vientos fuertes de la zona y las maniobras del sistema de giro de la turbina donde las mordazas evitan que este sistema sufra un deslizamiento, por consecuencia esta mordaza goteaba aceite por lo que se decidió sustituirla por otra ya que no se podía solucionar el problema, como se aprecia en la ilustración 26 y 27 la mordaza ha sido desmontada para después sustituirla donde corresponde (ilustración 28). El tiempo de parada del aerogenerador fueron solo un par de horas en los que se realizó la actividad (desmontaje y montaje de la mordaza).

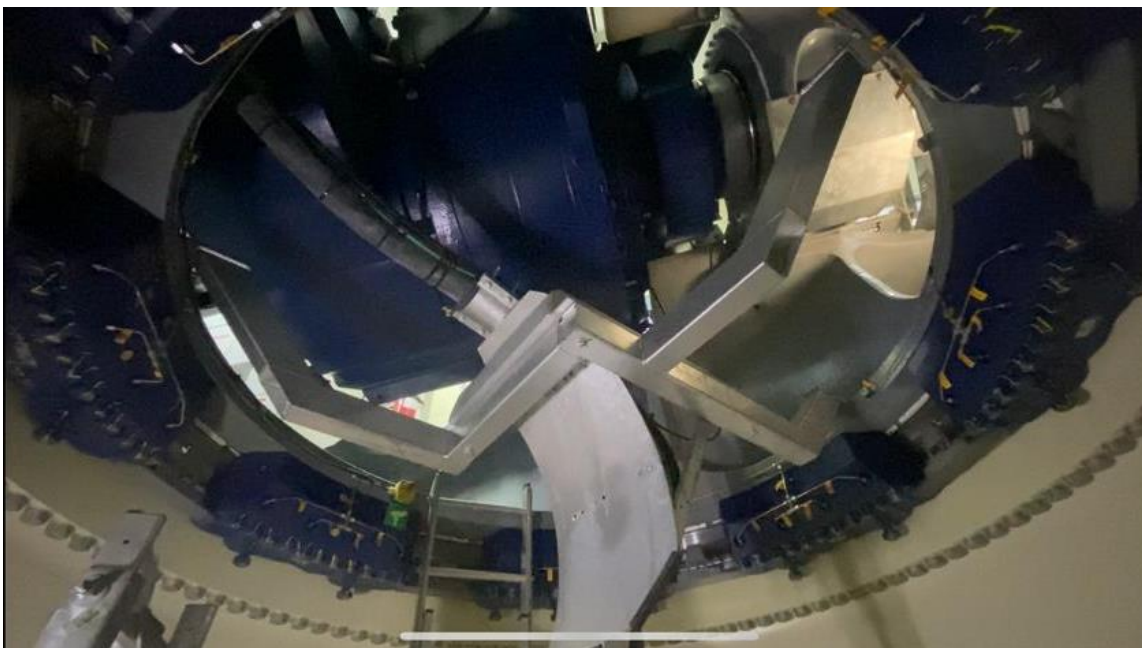


Ilustración 25. Cantidades totales de las mordazas en el sistema de giro



Ilustración 26. mordaza desmontada



Ilustración 27. mordaza con constantes goteos de aceite



Ilustración 28. mordaza sustituida

RECOMENDACIONES

- Realizar la actividad bajo la asesoría de un ingeniero con experiencia suficiente
- Tener las herramientas ordenadas y al alcance antes de realizar la operación (desmontaje y montaje de la mordaza)
- Tomar notas de las actividades que se están realizando como anotaciones, fotos o videos del desmontaje del equipo para que el montaje sea muy sencillo
- Cumplir con los equipos de seguridad correctos
- Se recomienda que cada equipo de mantenimiento cuente con el debido conocimiento de riegos que pueda haber en el aerogenerador para así poder evitar accidentes.
- Aprenderse las herramientas de memoria

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Un conocimiento mayor acerca del gran ingenio de los aerogeneradores, parte de su funcionamiento y el mantenimiento correctivo que esto conlleva realizar, así como los equipos de seguridad personal que deben utilizar al momento de desarrollar sus actividades en estas grandes máquinas.

Las competencias que logre en mi estancia en esta empresa fueron relacionadas a adquirir un gran conocimiento sobre las actividades de un mantenimiento correctivo mayor en estas unidades como pueden ser las siguientes:

- Un estudio realizado sobre las partes del sistema yaw
- Ejecución de un mantenimiento correctivo mayor en estos equipos, relacionado al desmontaje y montaje una de las mordazas del sistema dañada.
- Conocimiento de algunas herramientas para las diferentes actividades
- Análisis antes de la sustitución y asesoría de elementos o partes defectuosas de máquinas y equipos.
- Efectuar ajustes y verificar el resultado de los trabajos realizados.
- Trabajo en equipo para el desarrollo de un mantenimiento correctivo mayor
- Pasos de seguridad para la correcta maniobra al subir y operar dentro del aerogenerador.

CONCLUSIONES

El tema visto en este proyecto es una parte importante para la construcción de un buen conocimiento sobre el uso eficiente de las energías, el conocer la historia, las partes, las funciones y su importancia con el medio ambiente de estas máquinas de generación de energía eólica son importantes para el uso correcto de estos mismos, así como el mantenimiento correctivo que conllevan, y el cual es un trabajo de gran importancia en este tipo de empresas, ya que la generación de energía eléctrica a través de la energía cinética del viento es una de las formas más limpias para obtener electricidad, contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

Este proyecto me ha ayudado a entender y comprender la forma del trabajo técnico en el sector de energías renovables mejorando la vida útil de los aerogeneradores, el cual no es un trabajo tan fácil de desarrollar, así como los riesgos que podemos evitar al personal y al medio ambiente, dándome al final esta experiencia de aprendizaje.

REFERENCIAS

proalt ingenieria. (s.f.). Recuperado el 20 de 10 de 2020, de proalt ingenieria:
<https://www.proalt.es/mantenimiento-aerogeneradores/>

Prezi. (22 de 09 de 2014). Recuperado el 20 de 10 de 2020, de Prezi:
<https://prezi.com/psqka8l9kwnb/concepto-de-falla-y-su-clasificacion/>

Significados. (24 de 04 de 2020). Obtenido de Significados:
<https://www.significados.com/energia-eolica/>

Diferenciador. (s.f.). Recuperado el 28 de 10 de 2020, de Diferenciador:
<https://www.diferenciador.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica/#:~:text=Ventajas%20y%20desventajas%20de%20la%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20,%20Impredecibilidad%20del%20clima%20Extensiones%20d%20...%20>

Rocha, L. (15 de 06 de 2011). *IMF Business School*. Obtenido de IMF Business School:
<https://blogs.imf-formacion.com/blog/corporativo/ade/de-donde-viene-el-nombre-de-energia-eolica/>

Curiosfera. (28 de 07 de 2020). Obtenido de Curiosfera: <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-energia->

eolica/#:~:text=%20Historia%20de%20la%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20%201,alumno%20de%20La%20Cour%2C%20invent%C3%B3%20un...%20More%20

Forteza, H. (30 de 06 de 2020). *El Herald de México*. Obtenido de El Herald de México:
<https://heraldodemexico.com.mx/nacional/2020/6/30/mexico-su-gran-potencial-como-generador-de-energia-eolica-188935.html>

QW. (s.f.). Recuperado el 10 de 11 de 2020, de QW:
https://es.qaz.wiki/wiki/Betz's_law#:~:text=%20Ley%20de%20Betz%20-%20Betz%27s%20law%20,%2F%20v%201%20%2C%20el%20eje...%20More%20

QW. (s.f.). Recuperado el 10 de 11 de 2020, de QW:
https://es.qaz.wiki/wiki/Density_of_air#:~:text=Efecto%20de%20la%20temperatura%20sobre%20las%20propiedades%20del,%20%20413%2C3%20%209%20more%20rows%20

Lifeder. (s.f.). Recuperado el 20 de 11 de 2020, de Lifeder:
<https://www.lifeder.com/mantenimiento-correctivo-caracteristicas-tipos-ejemplos/#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20mantenimiento%20correctivo%2C%20el%20programado,o%20aver%C3%ADa%2C%20despu%C3%A9s%20de%20que%20esta%20sea%20detectada.>

MSC. (s.f.). Recuperado el 25 de 11 de 2020, de MSC:
<https://mscdirect.com.mx/seguridad-industrial/>