

## INGENIERÍA ELÉCTRICA

# Análisis De Funcionamiento Del Sistema De Orientación YAW En Aerogeneradores AW1500.

Reporte De Residencia

**Sergio Alonso Espinosa Arrazola 11270521**  
**Manuel Alberto Ramírez Hernández 11270542**

**ASESOR INTERNO:**  
**Dr. Rubén Herrera Galicia**

**ASESOR EXTERNO:**  
**Ing. Alan Josué Betanzos Ordaz**

**ACCIONA ENERGÍA**

Junio, 2016

## ÍNDICE

1. Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Estado Del Arte.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4Objetivos.....	5
1.5 Metodología.....	6
2. fundamento teórico.....	7
2.1 Aerogeneradores.....	7
2.2Proceso de generación de energía.....	9
3. Desarrollo.....	12
3.1 Aerogeneradores AW 1500.....	12
3.2 Generador.....	22
3.3 Grupo hidráulico.....	26
3.4 Análisis de los sistemas de control.....	31
3.5 Diagrama unifilar del parque eólico.....	39
3.6 Pruebas de diagnóstico para la detección de fallas en el generador.....	40
3.7 Funcionamiento del sistema de orientación YAW.....	50
3.8 Mantenimiento a equipos que interactúan con el sistema YAW.....	56
3.9 Revisión del reglamento para medidas de seguridad.....	61
3.10 Inspección de los frenos del sistema.....	71
3.11 Análisis de las fallas registradas en los aerogeneradores del parque eólico.....	75
3.12 Revisión e inspección de material para trabajo en turbina.....	82
4. Conclusiones.....	86
Referencias bibliográficas.....	87
Anexos.....	88
Anexo A.....	88
Anexo B.....	88
Anexo C.....	90
Anexo D.....	91
Anexo E.....	91

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

La demanda de energía eléctrica incrementa rápidamente y no siempre proviene de fuentes renovables o no contaminantes. La contaminación por fuentes eléctrica no renovables o convencionales causan daños irreparables, como es la nuclear, o las que utilizan combustibles fósiles por estos los precios del petróleo y sus derivados incrementan y se escasean.

Uno de los inconvenientes del uso de combustibles fósiles son las emisiones contaminantes locales y de gases de efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono. Entre los principales contaminantes emitidos por el uso de dichas energéticas tenemos: óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados y las partículas suspendidas.

Otro de los contaminantes es el aceite. Un litro de aceite llegar hacer capaz de contaminar una extensa cantidad de agua, millones de seres vivos depende del agua, animales, plantas, peces. La contaminación por aceite es devastador y no solo por aceites sino también de otros químicos que alteran directamente al ecosistema con daños irremediables.

Las centrales eléctricas utilizan los hidrocarburos en termoeléctricas, esto provoca contaminantes y desequilibrios al medio ambiente. Las termoeléctricas también obtienen el calor mediante la fisión controlada de núcleos de uranio. El uranio es un reactivo nuclear que afecta al medio ambiente. Los efectos secundarios de los desechos de uranio son daños genéticos, en seres vivos en contacto con este.

El repentino cambio climático mundial y los altos niveles de contaminación en las zonas urbanas han determinado la incesante búsqueda de tecnologías limpias implementando el uso de energías renovables. Estas razones de alguna manera explican porque en los últimos años ha resurgido el interés a nivel mundial por desarrollar las fuentes alternas de energía, como lo es la energía eólica.

Las fuentes convencionales tienden a utilizar grandes extensiones de tierra, como la nuclear, termoeléctricas, incluso algunas de las fuentes renovables como es la hidroeléctrica o solar. La energía tiende a utilizar grandes extensiones de tierra pero aun así son utilizables para ciertas actividades, como es la ganadería, huertas de frutas o vegetales.

La energía eólica comienza a tener un posicionamiento creciente en la producción de energía eléctrica y el reconocimiento de ser una de las menos contaminantes y seguras en el panorama energético mundial. Las centrales convencionales son un peligro para el medio ambiente estas se deben de sustituir por fuentes menos contaminantes.

## 1.2 Estado del Arte

La sociedad de poder y energía en la universidad de Wisconsin-Madison en el 2009 presentaron una investigación sobre las características de los aerogeneradores en plantas de energía eólica del parque eólico Mitch, Brat. Enfocado a los tipos y características de los generadores que utilizan principalmente motores de inducción [1].

Wayne Dilling, Travis Smith en el 2009 presentaron una investigación sobre una planta de energía eólica como sistema recolector de energía eléctrica. Realizaron una demostración de los requerimientos para una planta de energía eólica, así como terreno y aerogeneradores con transformadores de 750 kVA. [2].

Hamidreza Jafarnejadsani, Jeff Pieper, Julian Ehlers realizaron una investigación sobre un control adaptativo de velocidad y paso variable utilizando una red neuronal de función base radial. Realizaron una simulación usando redes neuronales sobre un control de los aerogeneradores para un máximo aprovechamiento de las corrientes de aire [3].

“NORVENTO” empresa energética de España en el 2011, realizó un caso práctico en la automatización de aerogeneradores con la plataforma de PLC AC500 de ABB. Se aplicó a un aerogenerador tipo tripala con potencia nominal de 100kW, 22 metros de diámetro del rotor y 36 metros de altura del buje. El proyecto consiste en controlar al aerogenerador por medio del PLC [4].

Patricia Acosta Santana, Efraín Alcorta García y Luis H. Rodríguez Alfaro, FIME UANL en el 2013, presentaron una investigación sobre “Localización de fallas en un aerogenerador via redundancia analítica” En este trabajo se considera el uso de técnicas de diagnóstico basadas en observadores para la localización de fallas en el generador eólico. La propuesta es probada con una simulación realista proporcionada por un fabricante de generadores eólicos [5].

En este proyecto se analizará y obtendrá conocimiento del sistema de orientación YAW de un aerogenerador de 1500 kW. Se participará en el sistema de operación, control, y mantenimiento, así como conocer la lógica de operación del sistema de orientación con el fin de optimizar el sistema de orientación para el mayor aprovechamiento del viento.

## 1.3 Justificación

La energía eólica es, después de la energía solar, la mejor alternativa. La energía generada a través de aerogeneradores es la que menor impacto tiene sobre el medio ambiente, debido a que durante su proceso de generación no lleva implícito proceso de combustión, de manera que los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación y combustión benefician la atmósfera.

**Ventajas de la energía eólica.-** a). Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la Tierra procedente del Sol y se convierte en viento. b). Es una energía limpia y segura ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes para el medio ambiente.

No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático. Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables. Es una de las fuentes más baratas y rentables.

Actualmente, las investigaciones sobre los aerogeneradores están dirigidas a la búsqueda de sensores y sistemas que permiten monitorizar constantemente la dirección y velocidad del viento para su mayor aprovechamiento, también lugares adecuados donde el viento tenga la fuerza para mantener turbinas eólicas. El sistema de orientación YAW del aerogenerador realiza tres funciones diferentes:

Como función principal ha de mantener el rotor orientado en la dirección del viento predominante. Las otras dos funciones consisten en controlar el enrollamiento del cableado que pasa por el interior de la torre actuando para desdoblarlos si fuese necesario y el detectar el efecto estela durante el estado de marcha del aerogenerador.

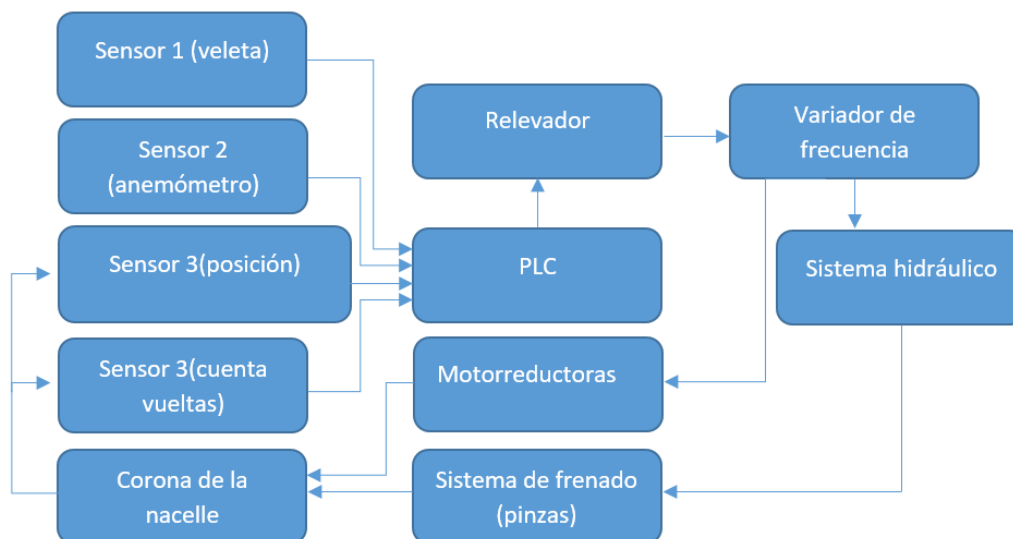
La producción de energía eléctrica por medio de la fuerza cinética del viento es una de las mejores fuentes de energía que tenemos, es limpia, silenciosa y de bajo costo, los terrenos que se utilizan para los parque eólicos son utilizables para ciertas actividades como cultivo o ganadería que benefician a las persona que tienen aerogeneradores en sus terrenos.

#### **1.4 Objetivo**

Analizar y obtener conocimiento del sistema de orientación YAW de una turbina AW 1500 y participación en el sistema de operación y control, así como conocer la lógica de operación del sistema de orientación.

**Objetivos específicos.-** Descripción de la turbina AW 1500, obtener conocimientos del funcionamiento del aerogenerador así como su sistema de orientación, obtener conocimientos sobre los grandes correctivos a la turbina, mantenimiento preventivo al cilindro pitch.

## 1.5 Metodología



**Fig. 1.1** Diagrama a bloques del hardware del sistema de orientación YAW.

Para que el sistema de orientación YAW funcione se tiene que utilizar ciertos parámetros: El sistema gira debido a la acción de cuatro motorreductoras situadas en el bastidor de la nacelle y que, gobernadas por el PLC del sistema, actúan sobre el dentado del rodamiento produciendo el giro relativo entre las pistas del mismo para orientar el rotor del aerogenerador en la dirección y sentido apropiados mismo.

Es la veleta, situada en la parte superior de la nacelle, quien transmite al PLC la dirección predominante del viento. Éste, tras analizar los datos, se encarga de transmitir las órdenes de desactivación de los frenos hidráulicos, y puesta en marcha de los motores de las reductoras para girar la nacelle en el sentido deseado. El sistema de freno activo, está compuesto por doce pinzas de freno hidráulicas, que actúan sobre la parte superior de la pista exterior del rodamiento de YAW.

En momentos cuando las reductoras no actúan sobre la corona dentada. La utilización de los frenos de los motores de reductoras obedece a una razón de seguridad. En caso de mantenimiento o montaje de la máquina, no existiese presión en el circuito hidráulico, se emplean estos frenos para mantener fija la posición de la nacelle. Existen dos sensores de posición que sirven para conocer cuál es el grado de enrollamiento del cableado que desciende por el interior de la torre.

El primero de ellos, transmite la posición de la nacelle respecto a la torre para que sea el PLC el encargado de enviar la orden necesaria para proceder al



desenrollado de

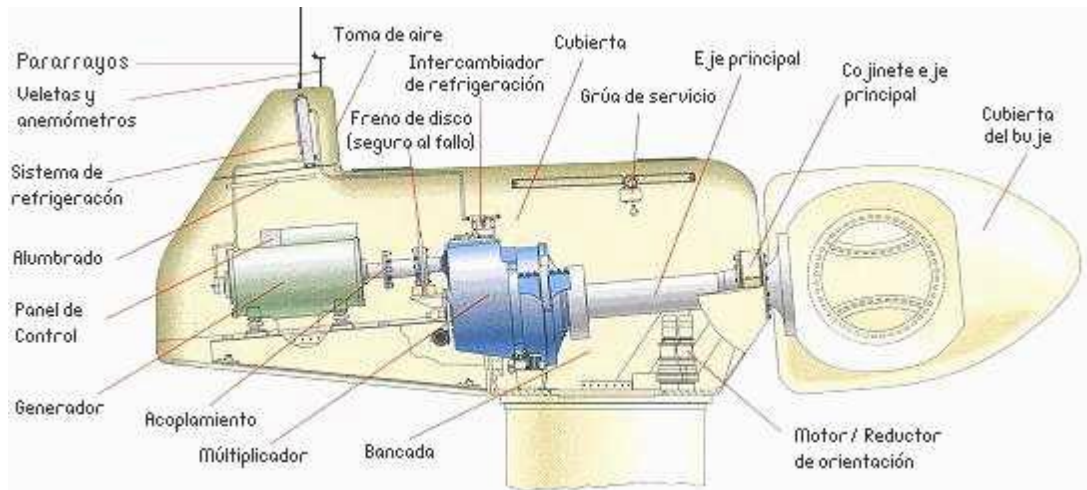
los cables si fuese necesario. El segundo sirve para activar la alarma de que los límites normales han sido sobrepasados, actuando como dispositivo de seguridad ante un eventual fallo del primero.

## 2. Fundamento teórico

### 2.1 Aerogeneradores

**Generador eólico.-** es una máquina capaz de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, según el uso que se le dará a esa energía mecánica, se pueden dividir en dos tipos: los aerogeneradores que utilizan esa energía mecánica para el accionamiento de un generador eléctrico y así generar electricidad, o los aeromotores que utilizan directamente esa energía mecánica para el accionamiento de una máquina.

La generación de energía eléctrica es el uso de la energía eólica más importante. En un aerogenerador se producen varios cambios de energía: la energía cinética del viento que se convierte a energía mecánica por medio del rotor, y la energía mecánica que se convierte en energía eléctrica por medio del generador. Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable.



**Fig. 2.1** Partes de un aerogenerador.

**Subsistemas.-** Tren de potencia: Su función es convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Rotor: Su función es convertir la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación, son el conjunto de componentes del aerogenerador que giran fuera de la góndola. Está compuesto por las palas, el buje y la nariz.

### **Palas.-**

Son el elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico capturan la energía del viento y transmiten su potencia hacia el buje al que están conectadas. **Buje.-** Es el elemento de unión entre las palas y el sistema de rotación, ya que este está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador. **Cono o nariz.-** Es la cubierta metálica con forma cónica que se encara al viento, y lo desvía hacia el tren motor.

Debe tener la forma aerodinámica adecuada para impedir la formación de turbulencias. **Eje de baja velocidad.-** Es el encargado de conectar el buje del rotor con la multiplicadora y transmitir la energía captada por las palas. **Multiplicadora.-** Debido a la velocidad que gira el rotor es mucho menor a la que necesita el generador para producir electricidad, se necesita una multiplicadora, para aumentar la velocidad a la que gira el rotor y así lograr el accionamiento del generador.

La multiplicadora conecta el eje de baja velocidad del rotor con el eje de alta velocidad del generador. Con ella se consigue la conversión entre potencia de alto par, que se obtiene del rotor girando lentamente, y la potencia de bajo par, a alta velocidad, que se utiliza en el generador, se caracteriza por su relación de transformación, definida como la relación entre la velocidad de giro del eje de entrada (lado del rotor) y la del eje de salida (lado del generador eléctrico).

**Eje de alta velocidad.-** Es el encargado del accionamiento del generador eléctrico. **Generador eléctrico.-** Su función es convertir la energía mecánica de rotación que le entrega la multiplicadora, en energía eléctrica. El generador eléctrico de un aerogenerador, tiene que trabajar bajo niveles de cargas fluctuantes, debido a las variaciones en la velocidad del viento.

**Góndola.-** La góndola encierra en su interior la multiplicadora, el generador eléctrico y los sistemas auxiliares del aerogenerador, dispone de una cubierta de protección y de insonorización de los componentes de la máquina, también, incorpora las aberturas necesarias para lograr una ventilación efectiva del multiplicador y del generador. **Sistemas auxiliares del aerogenerador.-** Sistema de regulación y control:

Este sistema tiene como función, mantener la velocidad de rotación constante y regular, y limitar la potencia eólica aprovechada o recuperada por el rotor. Cuando la velocidad del viento es menor a la de conexión o mayor a la de desconexión, el sistema de control frena el aerogenerador como medio para prevenir daños. Para lograr esto, el aerogenerador cuenta con dos tipos de frenos, el freno aerodinámico y el freno mecánico.

El primero, frena el aerogenerador por medio del giro del ángulo de las palas, gracias a esto el aerogenerador se detiene de forma suave y segura en unas pocas vueltas, cuando se aplica este freno, el aerogenerador queda en estado de libre giro pero no detenido completamente. El freno mecánico es un freno de disco situado en el eje de alta velocidad del multiplicador.



Este

frena

completamente el aerogenerador, se usa en caso de emergencia (fallo del freno aerodinámico) o durante las tareas de mantenimiento, para inmovilización por seguridad. **Sistema de orientación.-** Este sistema tiene como función orientar el rotor de forma que quede colocado de forma perpendicular a la dirección del viento y así presente siempre la mayor superficie de captación.

**Anemómetro.-** Se utiliza para medir la velocidad del viento **Veleta.-** Se utiliza para medir la dirección del viento. **Sistema hidráulico.-** Proporciona la potencia hidráulica para los accionamientos del aerogenerador (Palas). **Torre.-** Es la encargada de soportar la góndola y el rotor. Entre más alta sea la torre mayor cantidad de energía podrá obtenerse, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al nivel del suelo.

## 2.2 Proceso de generación de la energía

El tren de potencia (rotor, multiplicadora y generador eléctrico) se deja girar libremente (en vacío, sin carga) desconectado de la red hasta que alcanza una velocidad por encima de la de sincronismo. Cuando esta velocidad se adquiere, se procede a la conexión del generador eléctrico a la red, en este momento, el generador eléctrico comienza a suministrar potencia eléctrica útil.

A medida que aumenta la velocidad del viento, crece la potencia eléctrica. Cuando se llega a la velocidad nominal de viento, entonces el generador alcanza su potencia nominal. A través de los sistemas de regulación y control, se limita la velocidad de giro del rotor a fin de que la potencia eléctrica del generador no sobrepase valores superiores a un 110% de la potencia nominal durante periodos no superiores a unos 10 minutos.

Esto con fin de evitar sobrecalentamientos del generador que producirían una disminución de su vida útil. Las características principales que diferencian un aerogenerador de una máquina rotativa convencional son sus condiciones de funcionamiento bajo parámetros de velocidad y carga variable. A continuación se explican estas dos características principales.

**Velocidad variable.-** Hoy en día se espera que las turbinas diseñadas para generación de energía trabajen con un elevado grado de uniformidad en su velocidad de giro y en el par que transmiten para que estas puedan estar conectadas directamente a la red. En el caso de las turbinas eólicas, para que esto se llegara a cumplir, los elementos del tren de potencia, deberían girar a la misma velocidad.

En la mayoría de los diseños, la velocidad de giro de la turbina no corresponde con la velocidad de giro del generador y es necesario incluir una caja multiplicadora. El excluir la caja multiplicadora del diseño del tren de potencia es

una

ventaja

importante ya que este elemento está sometido a esfuerzos cíclicos que provocan fatiga de sus componentes y reducen su vida útil.

El empleo de éste tipo de generadores multipolares ha sido posible gracias a que este tipo de sistemas funcionan con un tipo de convertidor de frecuencia que permite reducir el número de polos del generador y por lo tanto el diámetro del generador y su peso. Una manera de disminuir las cargas generadas por los esfuerzos de empuje transmitidos por el rotor dada la variabilidad de la velocidad del viento a lo largo del tiempo, es variando la velocidad de giro de la turbina.

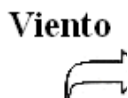
Cuando la velocidad de giro permanece constante las variaciones de la velocidad del viento se traducen en oscilaciones bruscas del par transmitido, sin embargo cuando la velocidad de la turbina varía, el rotor eólico actúa como un volante de inercia capaz de almacenar parte de la energía mecánica transitoria introducida en el sistema de energía cinética de rotación. Esto hace que se suavice tanto el par transmitido como la potencia eléctrica generada.

La frecuencia de la red impone la velocidad de giro del generador y a través de la caja multiplicadora, la velocidad de giro del rotor. Por esta razón, el rotor de la eólica debe girar a velocidad sensiblemente constante. Con relación a su velocidad de rotación, se pueden concebir dos formas de funcionamiento para el rotor de un aerogenerador, a velocidad fija y a velocidad variable, a continuación se explica cada una de ellas.

**Aerogeneradores de velocidad de giro variable y coeficiente de potencia constante.-** Se caracteriza porque la velocidad de giro del rotor varia con la velocidad del viento, de forma que el rotor gira más cuando aumenta la velocidad del viento y más lento en caso contrario. Dado que el rotor girará a velocidad variable, la frecuencia de la onda eléctrica también será variable y en consecuencia no podremos inyectarla directamente a la red.

Para poder realizar esta inyección, la interconexión a red se lleva a cabo a través de un sistema rectificador-inversor. El rectificador convierte la señal de corriente alterna de frecuencia variable en una señal de corriente continua y posteriormente el inversor u ondulator vuelve a convertir la tensión continua en alterna pero a frecuencia constante e igual a la de la red. La relación de multiplicación de la caja, en el caso de que exista, permanece constante.

R.



*Fig. 2.2 Sistema eólico con rotor a velocidad variable.*

### **Aerogeneradores de velocidad de giro fija y coeficiente de potencia variable.-**

Se caracterizan porque la velocidad de giro del rotor se mantiene prácticamente constante e independiente de la velocidad del viento, la velocidad de giro de su generador eléctrico que está directamente conectado a la red es constante, dado que la frecuencia de la red es constante, esto se logra con ayuda del sistema de regulación y control.

El sistema de regulación y control tiene como funciones mantener la velocidad de rotación constante y regular, y limitar la potencia eólica aprovechada o recuperada por el rotor. Cuando la velocidad del viento alcanza valores muy elevados que puedan poner en riesgo la integridad de la máquina, este sistema debe ser capaz de detener el rotor y sacarlo fuera de la acción del viento para evitar daños sobre el mismo.

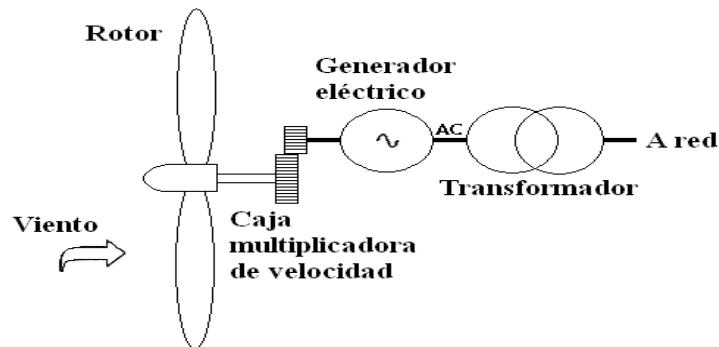
Al mantener el rotor una velocidad de rotación constante, la velocidad de salida de la caja multiplicadora también lo es y el alternador eléctrico siempre gira a velocidad constante (síncrono) o casi-constante (asíncrono), y de esta forma se garantiza la estabilidad de la frecuencia de la corriente que se inyecta a la red. Los generadores síncronos giran a la velocidad de sincronismo.

Los asíncronos giran a esta velocidad cuando están trabajando en vacío y giran aproximadamente a un 1% por encima de esta velocidad cuando están a plena carga. Este estrecho margen de variación de la velocidad no puede considerarse como operación a velocidad variable. Para ello se requiere un margen mayor de variación de la velocidad.

La ventaja de los sistemas de velocidad variable en cuanto a mayor captura energética a bajas velocidades del viento es compensada por los fabricantes de

sistemas de velocidad fija incorporando un generador de dos velocidades. En la mayoría de los casos este generador está constituido por un generador de inducción con dos devanados estáticos:

Uno de mayor número de polos es de menor velocidad y menor potencia, para aprovechar los vientos bajos, y el otro de menor número de polos es de mayor velocidad y mayor potencia, para aprovechar los vientos altos. En otros casos se utilizan dos generadores distintos. No obstante la forma de operación es exactamente la misma.



**Fig. 2.3** Sistema eólico con rotor a velocidad constante.

**Aerogeneradores de regulación por cambio del ángulo de paso.-** El controlador electrónico de la turbina comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden. El mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas de forma hidráulica del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas dan vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo.

### 3. Desarrollo

#### 3.1 Aerogenerador AW 1500

**Descripción de la turbina.-** Es un aerogenerador con rotor de tres palas a barlovento de velocidad variable, regulado por un sistema pitch de cambio de paso, y con un sistema de orientación automático activo que actúa a las direcciones de viento. Están especialmente adaptados para emplazamientos de mayor potencial eólico, y soporta condiciones de viento de clase 1 y 2.

Los aerogeneradores AW 1500 tienen un rotor de 70 metros de diámetro de barrido y utilizan el sistema de control capaz de adaptarse para operar en velocidad de rotor variable. La turbina está recubierta por una carcasa de poliéster

reforzado con fibra de vidrio, que la protege de las inclemencias meteorológicas y que ayuda a preservar de la contaminación acústica al entorno medioambiental.

Las palas están fabricadas en fibra de vidrio reforzada con poliéster o resina epoxi y dotadas de un recubrimiento superficial de protección. La longitud de la pala correspondiente al rotor es de 34 m. Dotadas del sistema pitch independiente, que permite variar el ángulo de paso de cada pala al girar sobre su eje longitudinal, lo que optimiza la regulación de la potencia generada con altos vientos y eleva la seguridad del sistema de frenado aerodinámico.

El rotor capta la energía cinética del viento por medio las palas, que están conectadas al buje, a su vez este está acoplado por medio de barras con rosca en los extremos al eje lento, para aumentar la velocidad de giro este se conecta a una multiplicadora que consta de; un sistema planetario y una serie de trenes helicoidales con una relación de transmisión de 1 a 78.6 vueltas

La multiplicadora se conecta vía eje cardan y convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica por el generador, el cual es asíncrono con tres pares de polos doblemente alimentado de rotor devanado, el estator está conectado directamente a la red y el rotor a anillos rozantes que se unen por medio de escobillas al convertidor de frecuencia. Genera a media tensión (12,000 Vca).

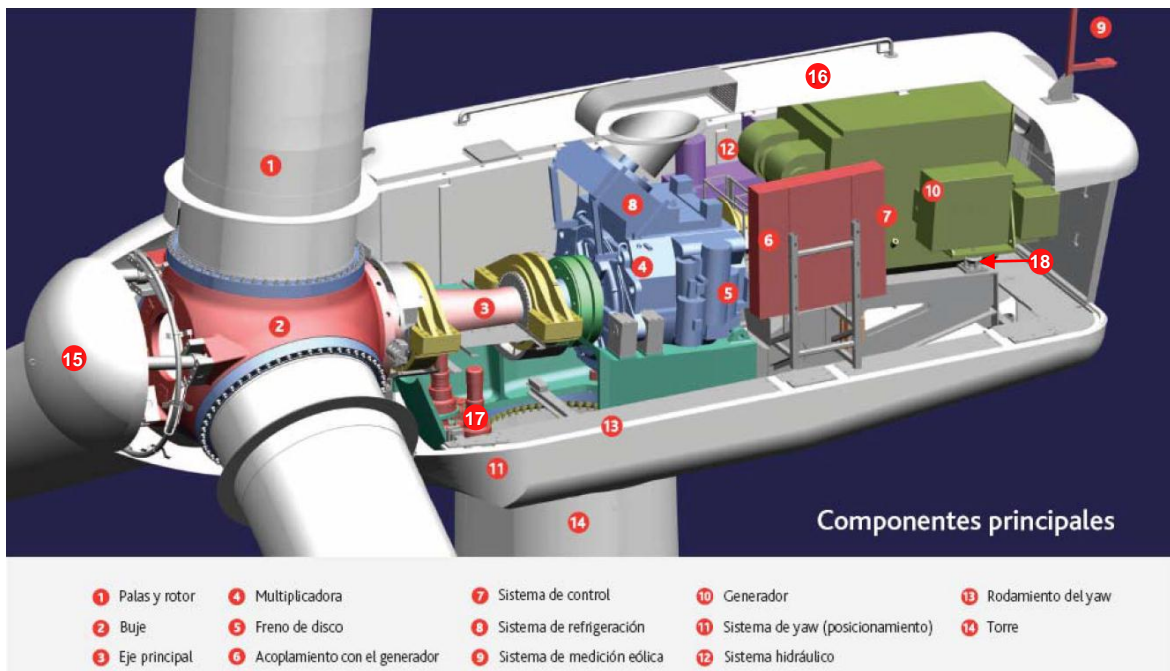
El sistema de orientación de la turbina consta de 4 motor-reductoras que actúan sobre el rodamiento dentado (rodamiento YAW) atornillado al último tramo de la torre. El rodamiento de YAW tiene 12 frenos pasivos activados hidráulicamente para evitar la desorientación de la turbina. Además las 4 motorreductoras incorporan un freno eléctrico, que se aplican en ausencia de tensión eléctrica.

El sistema hidráulico de la turbina AW 1500 está diseñado para proporcionar y controlar la presión necesaria al sistema de orientación YAW y al sistema de paso pitch, el sistema hidráulico se activa por medio de un contacto situado en el TOP. Este actúa a través de electroválvulas y otros elementos que permiten obtener la presión deseada en cada momento y que deberán estar correctamente calibradas.

**Funcionamiento del aerogenerador.-** El aerogenerador se orienta de forma automática para aprovechar al máximo la energía cinética del viento, a partir de los datos registrados por la veleta y anemómetro que incorpora en la parte superior estos datos son procesados en el PLC de la máquina que ese encuentra en Ground. La barquilla gira sobre una corona situada al final de la torre.

El viento hace girar las palas, que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 3,5 m/s y proporciona la máxima potencia con unos 11 m/s. con vientos muy fuertes superiores a 25 m/s las palas se colocan en estado bandera y el aerogenerador se frena para evitar excesivas. El que es el conjunto de las tres palas en el buje hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro.

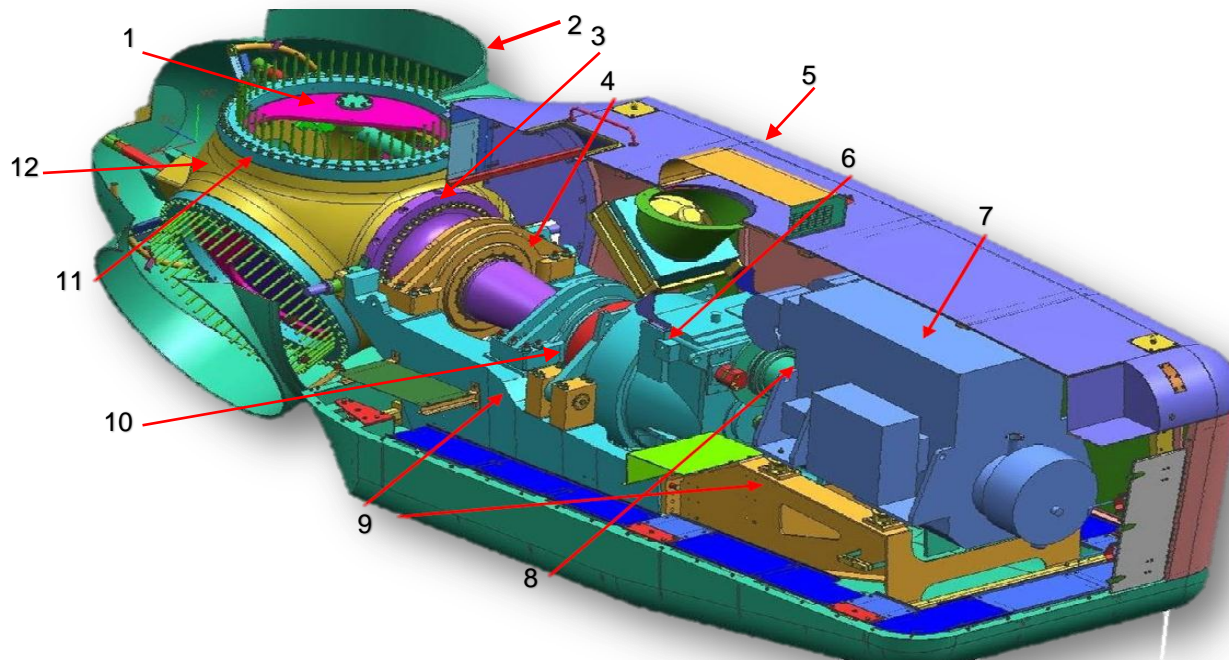
La multiplicadora, a través del eje rápido, transfiere su energía al generador acoplado, la energía generada es conducida por el interior de la torre hasta la base y, desde allí, por líneas subterráneas hasta la subestación, donde se eleva su tensión para inyectar a la red eléctrica. Los aerogeneradores AW 1500 del parque eólico Acciona energía/euros se componen de las siguientes partes: 15.- Punta del cono, 16.- Tapa de la góndola, 17.- Reductoras, 18.- Silenceblock generador.



**Fig. 3.1** Partes de la góndola.

La figura 3.2 los numero también van ligados con los que aquí se mencionan: 1.- Placa pitch, 2.- Cono, 3.- Acoplamiento del rotor al eje lento, 4.- Eje lento, 5.- Góndola o nacelle, 6.- Multiplicadora, 7.- Generador, 8.- Acoplamiento elástico, 9.- Bastidor doble, 10.- Acoplamiento del eje lento a la multiplicadora, 11.- Rodamiento de pala, 12.- Buje

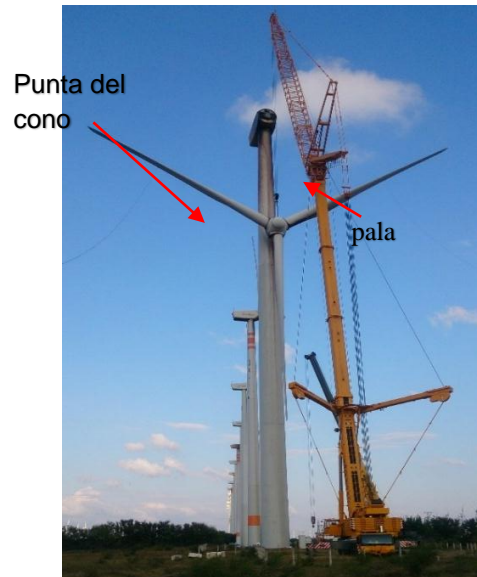




**Fig. 3.2** Partes de la góndola.

**Rotor de la maquina.-** La función del rotor de la turbina es captar a energía del viento, con un diámetro de barrido de 70 m. El conjunto del rotor lo forman, las tres palas que van sujetas mediante un rodamiento cada una al buje, a su vez este va

cubierto por un cono que lo protege. El rotor está dotado de un ángulo de conicidad de  $3^\circ$ , que aleja la punta de las palas de la torre.



**Fig. 3.3** Desmontaje del rotor.

**Palas.-** Las palas del aerogenerador AW 1500 son de 34 metros están diseñadas para la rotación en el sentido de las agujas del reloj, están fabricadas en poliéster reforzada con fibra de vidrio. Van unidas al rodamiento del buje mediante una corona de 64 pernos a una tensión de 210 KN. Este rodamiento permite el giro longitudinal al eje de la misma de  $-5^\circ$  a  $90^\circ$  que es la posición en bandera y el sistema pitch es el encargado de mover la pala.



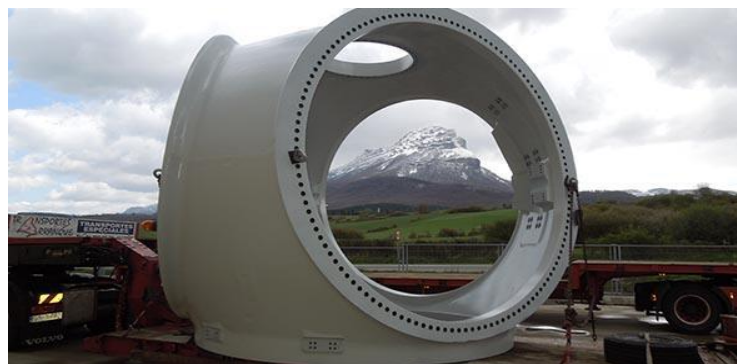


**Fig. 3.4** Desmontaje de pala.

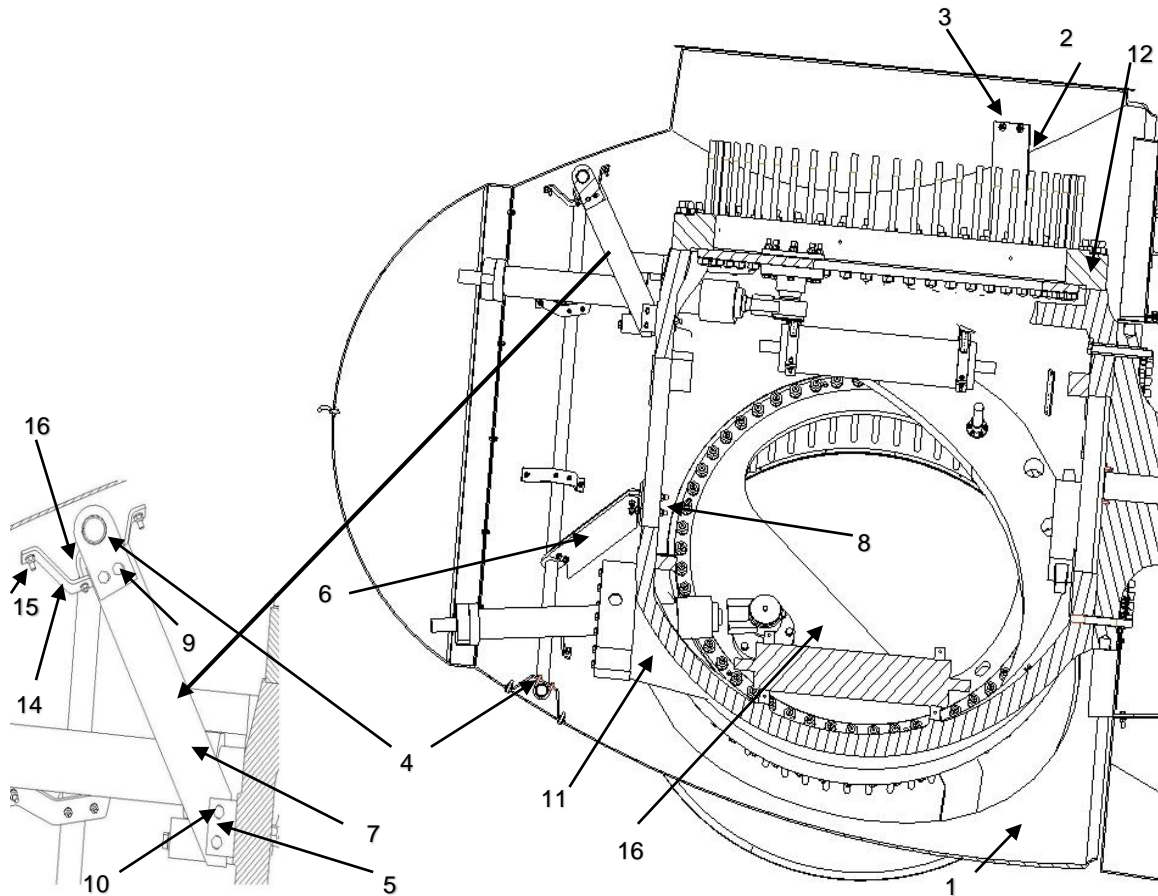
**Cono y buje.-** La turbina consta de un cono nariz, el cual protege ante los factores meteorológicos. El diseño de este cono nariz junto con el buje permite un acceso cómodo y seguro al buje, sin tener que salir al exterior de la turbina. Esta realizado en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Lo holgura existente entre la pala y el cono se encuentra cerrada por unas piezas amarradas a la propia pala.

Existe una abertura para permitir el amarre del buje al eje lento de la máquina y la holgura que queda con la nacelle se cierra con un vierteaguas en la propia nacelle para evitar entradas de agua. Los agujeros de la pala en el cono disponen de un reborde en fibra hacia el exterior para poder fijar un toldo de protección para taparlo en el caso de que hubiera que desmontar alguna pala o para el transporte del buje con cono al campo.

El cono está dividido en dos partes para permitir el montaje de las palas en el suelo con el buje situado en posición invertida. Asimismo el hecho de separar la punta del cono facilitara labores de mantenimiento en el buje como puede ser el cambio de cilindros de pitch. Estas dos partes se unen mediante tornillos y se sella para evitar la entrada de agua.



**Fig. 3.5** Buje.

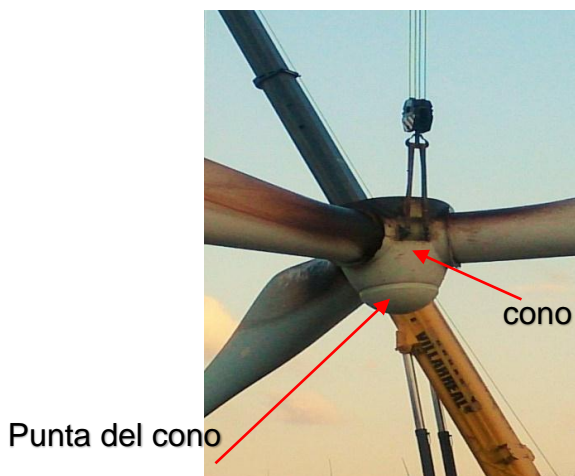


**Fig. 3.6** Imagen del cono montado al buje.

1.- Cono, 2.- Azada cono, 3.- Tornillo, tuerca y arandela, 4.- Conjunto aro, 5.- Unión angular buje-cono, 6.- Tirante izquierdo unión buje-cono, 7.- Tirante derecho unión buje-cono, 8.- Tornillo, tuerca y arandela, 9.- Tornillo, tuerca y arandela, 10.- Tornillo, tuerca y arandela, 11.- Buje, 12.- Rodamiento pala, 13.- Abarcón, tuerca y arandela, 14.- Brida amarre aro, 15.- Tornillo, tuerca y arandela, 16.- Tapa de rodamiento de pala.

El buje está fabricado en fundición nodular, transmite la energía cinética del viento, captada con el conjunto de las 3 palas a través del eje principal, este va sujeto por medio de 64 barras de doble rosca al eje lento. El interior es hueco y en él se alojan los elementos para el control de pitch variable. Y está cubierto por el cono que lo protege de las condiciones climatológicas.





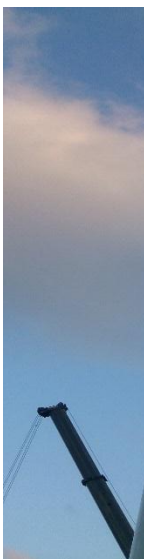
**Fig. 3.7** Fotografía del cono.

**Góndola o nacelle.-** Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. La góndola del aerogenerador protege a todos los componentes del mismo de las inclemencias del tiempo, a la vez que aísla acústicamente el exterior del ruido generado por la máquina.

La capota de la góndola, fabricada en material compuesto, está unida al chasis, sobre el que se montan todos los componentes. Está construida en un 30% de fibra de vidrio y en un 70% de poliéster. Dispone de tomas de aire para la refrigeración de los componentes internos de la góndola, trampilla, pararrayos, anemómetro y veleta.

La cara externa está protegida con gelcoat, no permitiendo que en su acabado aparezcan deformaciones o marcas de fibra, Este acabado proporciona una resistencia suficiente al medio marino y a la erosión derivada de vientos fuertes y partículas en suspensión. El chasis es partido, con una parte frontal en la que se soportan y transmiten las cargas del rotor y tren de potencia, y una parte posterior en voladizo sobre la que descansan el generador y los armarios de potencia.

**Torre.-** Truncocónica tubular de acero, compuesta de tres tramos, con diseños específicamente concebidos para las diferentes alturas de buje (60 m, 71,5 m y 80 m) y clases de viento. Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo.



**Fig. 3.8** Torre de acero.

La cimentación del aerogenerador asegura la estabilidad del mismo para todas las condiciones de diseño, y está diseñada para una amplia variedad de terrenos. Consta del anclaje y de la zapata. El anclaje se diseña como continuación de la torre, a la que se atornilla por medio de una brida interior, de manera que transmite los esfuerzos a la zapata. La zapata, construida en hormigón en masa, es de planta cuadrada, y está reforzada por una armadura de acero.



**Fig. 3.9** Cimentación de la torre.

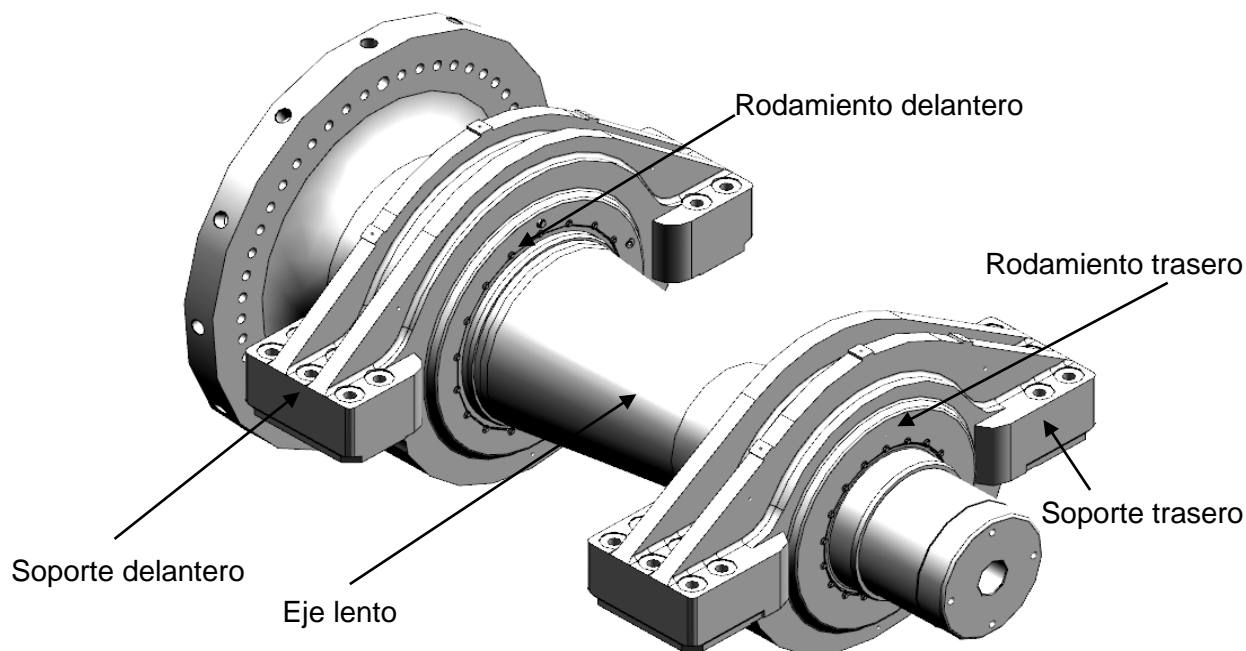
**Eje lento.-** El eje principal de la turbina acomete la función de transferir la energía del viento captada por el rotor en forma de energía cinética angular hasta la multiplicadora. El eje principal de la turbina se coloca sobre el bastidor con una inclinación respecto de la horizontal de  $5^{\circ}$ , para evitar que las palas pudieran llegar a tocar la torre en caso de altas velocidades de viento.



El eje lento o principal está construido en un único bloque de aleación con tratamiento superficial metalizado de zinc. Su forma es troncocónica, terminando en forma de trompeta, siendo su diámetro inferior en la unión con la multiplicadora. En la parte más cercana al rotor, el eje termina en un plato, con el cual se realiza la unión del eje principal y el rotor.

Este plato se utiliza también para realizar la función de bloqueo mecánico de la turbina. El eje principal está atravesado longitudinalmente por un eje hueco con un diámetro aproximado de 120 mm por el que mediante unas tuberías se transmite presión al sistema hidráulico del pitch, a la vez se envía potencia y señales eléctricas para el correcto funcionamiento de dicho sistema a través de una canalización de cables.

El eje lento está apoyado sobre dos soportes que a su vez estos están en el bastidor, el delantero y el trasero, donde se alojan los rodamientos del eje lento, permitiendo el giro de este y transportar la fuerza y velocidad necesaria a la multiplicadora. A través de estos soportes se transmite el peso del eje y las fuerzas axiales transmitidas por el rotor al bastidor a la multiplicadora.



**Fig. 3.10** Imagen del eje lento.

**Multiplicadora.-** La multiplicadora de la turbina desempeña la función de transmitir el par motor del rotor al generador, aumentando la velocidad angular. La multiplicadora consta de un sistema planetario y una serie de trenes helicoidales. La multiplicadora está unida al generador por un eje rápido, también denominado cardan, que transmite hasta el generador las altas velocidades que nos

proporciona la multiplicadora y que excitan al generador para producir energía eléctrica.

El eje rápido es en realidad un acoplamiento elástico el cual permite transmitir el giro desde la multiplicadora al generador, incluso con los ejes desalineados. La multiplicadora se une al bastidor delantero en dos puntos. Esta unión se realiza a través de soportes amortiguadores que tienen como función la de observar las vibraciones de la multiplicadora y no transmitir al resto de la estructura.

La multiplicadora de la turbina está equipada con un sistema de lubricación con el propósito de: Lubricar los rodamientos y engranajes de la misma, refrigerar o calentar el aceite contenido en su carter y con ello dichos rodamientos y engranajes, filtrar el aceite contenido en la misma. Para ello el sistema cuenta con una bomba accionada mediante un motor eléctrico.

Un filtro a la salida de dicha bomba, un filtro de menor micraje de riñón y un filtro magnético para las partículas metálicas, un bloque de válvulas en el que se conectan los diferentes componentes para el control del sistema, un intercambiador de calor para la refrigeración del aceite, una resistencia calefactora sumergida en el carter para calentar el aceite si fuera necesario.

El aceite de la multiplicadora es calentado por dos resistencias bifásicas a 220V y 750W de potencia, cuando su temperatura sea inferior de un valor predeterminado por el programa, y desconectándose al superar los valores máximos determinados. En el caso de bajas temperaturas la multiplicadora incorpora un calentador externo para el aceite.

La bomba, accionada por un motor trifásico alimentado a 380V, hace recircular el aceite por el sistema de lubricación con un caudal proporcional a la temperatura del aceite. Este caudal variable se consigue bien mediante un variador de frecuencia que rige el funcionamiento de la bomba o mediante motores de dos velocidades en baja temperatura ver anexo A.

Mientras la temperatura del aceite se mantiene por debajo del límite marcado, la válvula termostática está cerrada, mandando directamente todo el caudal de la bomba a los rodamientos y engranajes de la multiplicadora. A partir de la temperatura marcada la válvula termostática se abre progresivamente conforme aumenta la temperatura, permitiendo el paso de parte del caudal a través del intercambiador y parte del caudal directamente de vuelta a la multiplicadora.

A partir de una temperatura prefijada entra en marcha el ventilador de refrigeración del aceite de la multiplicadora, manteniéndose encendido mientras la temperatura no descienda por debajo de un valor determinado. Este ventilador o enfriador del aceite de la multiplicadora es accionado por un motor trifásico a 380V. En el caso de baja temperatura este motor también es de dos velocidades.

La multiplicadora incorpora dos transductores de temperatura que transmiten al PLC en todo momento, pudiendo controlar su refrigeración adecuadamente. Estas sondas de temperatura están ubicadas en la parte superior en el rodamiento de alta e inferior trasera de la multiplicadora (cárter). Todo el sistema de refrigeración y lubricación de la multiplicadora es gestionado a través del PLC, el cual generará las alarmas pertinentes ante posibles fallos de las sondas de la multiplicadora.



**Fig. 3.11** Multiplicadora desmontada.

### 3.2 Generador

El generador es el encargado de transformar la energía cinética de rotación procedente de la multiplicadora en energía eléctrica. La turbina genera energía eléctrica en media tensión (12000V). Convencionalmente la generación de energía eléctrica se realiza en baja tensión (690 V). La turbina tiene instalado un generador asíncrono de rotor bobinado con tres pares de polos, el estator conectado directamente a la red y rotor conectado a anillos rasantes.

Es asíncrono doblemente alimentado. Esto consiste en el control, a través del convertidor de frecuencia, el cual está conectado a los anillos rozantes, de las corrientes rotóricas en magnitud y frecuencia, para establecer unos valores de par mecánico y velocidad de giro deseados. Gracias a este control de corrientes es posible controlar el desfase de la tensión y corriente del estator y por lo tanto del factor de potencia.



### **3.12 Imagen del generador.**

Este elemento eléctrico es soportado por el bastidor trasero de la nacelle y está unido a él a través de cuatro silent-block, uno en cada pata, que amortigua las vibraciones. El control de la temperatura del generador lo realiza el PLC y está activo en los modos de Marcha, Pausa y Stop. Para controlar y monitorizar las temperaturas el generador está equipado de los siguientes elementos:

Sensores de temperatura (PT100) en puntos del estator y de rodamientos, electro-ventiladores, resistencias de caldeo. Los dos ventiladores del generador, localizados en el lado del acoplamiento del generador, fuerzan el flujo de aire desde la nacelle hacia el exterior, refrigerando de este modo los bobinados del generador y los anillos rasantes.

La estrategia de activación de estos ventiladores es: Siempre que la máquina esté acoplada. Los electro ventiladores del generador tienen además otras funciones secundarias para mantener la maquina a una temperatura adecuada: Refrigerar la nacelle cuando la temperatura  $> 40^{\circ}\text{C}$ , refrigerar el aceite del Grupo Hidráulico cuando la temperatura es  $> 55^{\circ}\text{C}$ .

Las resistencias de caldeo localizadas en los devanados de estator y en el cuerpo de anillos, se utilizan para mantener los bobinados sin humedad. Su estrategia de funcionamiento está parametrizada, pero independientemente de esta estrategia, las resistencias se activan siempre que se cumplen las siguientes condiciones: Temperatura de la nacelle  $< 15^{\circ}\text{C}$ , velocidad del generador  $< 350\text{rpm}$ .

En el caso en el que exista una pérdida de la conexión a la red durante largo tiempo a bajas temperaturas, la evolución del modo Pausa a Marcha debe de seguir un procedimiento de arranque: En primer lugar tendremos que Alimentar de



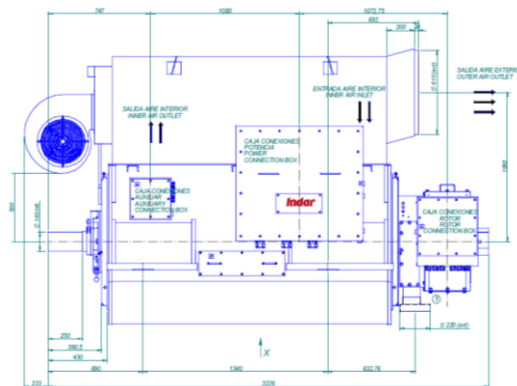
nuevo el PLC para que chequee la temperatura de los devanados del generador, durante el arranque del generador las resistencias de caldeo deben estar conectadas.

El generador debe estar en marcha a velocidad nominal y desconectada de la red durante al menos 8 horas antes de volver a conectarse a red eléctrica. **Cajas de conexiones.-** El generador lleva tres cajas de conexiones: la caja de conexiones de alimentación del estator, la caja de conexiones de alimentación del rotor y la caja de conexiones de auxiliares. **Caja de conexiones de alimentación del estator.-**

El generador dispone de 3 pletinas, u1, v1, w1 en la caja de conexiones de potencia del estator. La alimentación del aerogenerador se realizara por medio de tres cables monofásicos de potencia que pasan a través de la caja de conexiones por 3 prensaestopas. Se dispone de 3 auto-válvulas para evitar las sobretensiones en los devanados del generador.

Estos elementos están conectados de la siguiente manera, uno de sus extremos a cada una de las fases y el otro extremo al punto de descarga del generador (punto neutro). **Caja de conexiones de alimentación del rotor.-** El aerogenerador dispone de 3 pletinas, K, L y M en la caja de conexiones de potencia del rotor. La alimentación se realiza por medio de 6 cables monofásicos de potencia que atraviesan la caja de conexiones por 6 prensaestopas.

**Caja de conexiones auxiliares.-** El generador dispone de un regletero, en la caja de conexiones auxiliares que contiene los terminales para los PT100 del devanado y rodamientos, caldeo de carcasa, caldeo de anillos, terminales para el sensor inductivo. Las conexiones se realizan utilizando 4 cables multifilares que atraviesan la caja de conexiones por 4 prensaestopas.



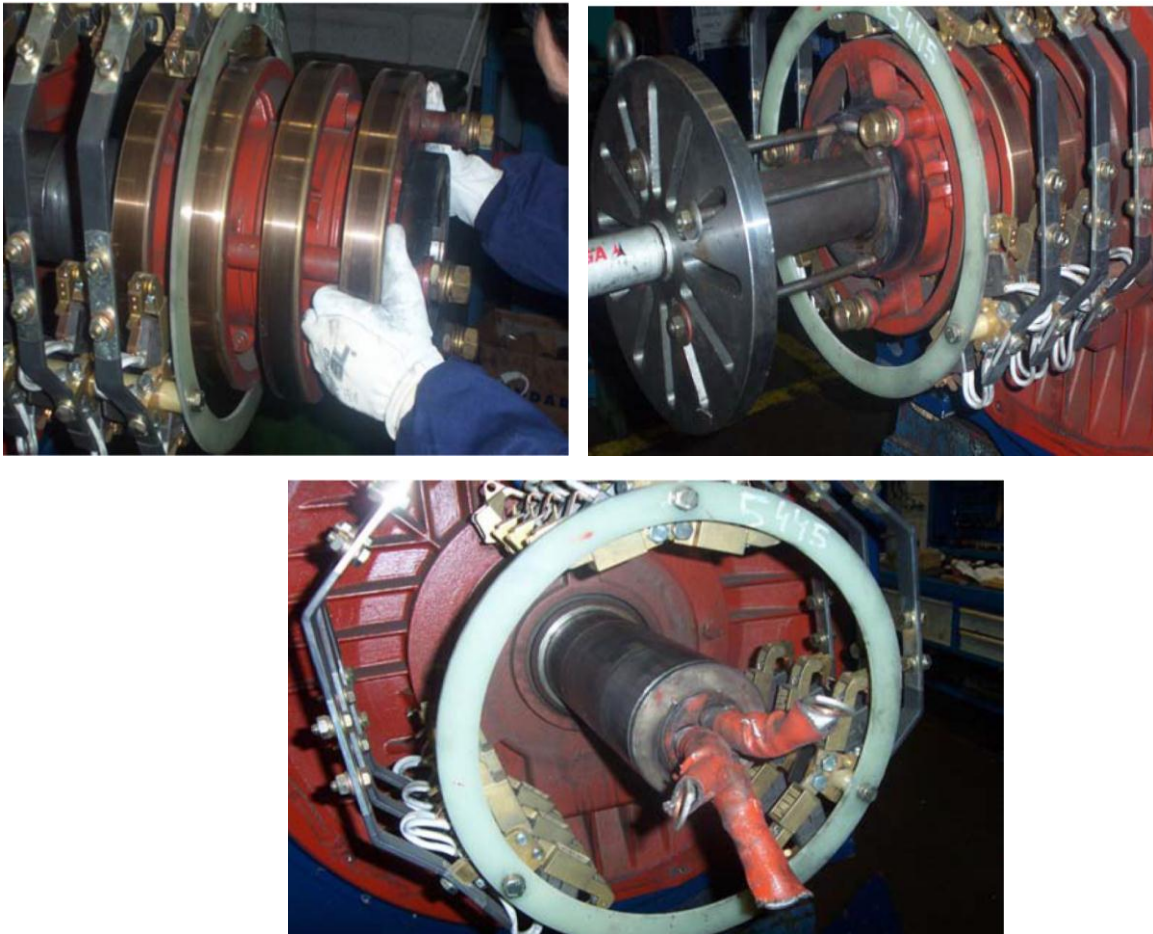
**Fig. 3.13** Imagen de la caja de conexiones.

**Cuerpo de anillos.-** El cuerpo está situado en el LO. De la máquina, formando un habitáculo, separado del conjunto de la máquina. El cuerpo de anillos está compuesto por 4 anillos, tres permiten la conexión eléctrica de las 3 fases del

devanado del  
rotor con el equipo de control, a través de 18 escobillas, 6 por cada anillo.

El 4° anillo tiene la función de descargar corrientes parasitas, que se crean en el eje a través de 2 escobillas que están unidas eléctricamente a la carcasa de la máquina. **Rodamientos.**- El generador lleva dos rodamientos rígidos de bolas, uno en el LA y el otro en el LO que garantiza una vida de 175.000 horas. Ambos rodamientos son aislados, para evitar el paso de corriente.

En las tapas LA y LO existen escobillas de descarga que descargan las corrientes parasitas inducidas evitan que la corriente pase a través de los rodamientos. Los rodamientos van calados en el eje y se fijan al estator por medio de los platillos de alta resistencia. En LA el rodamiento es fijo y en LO existe un espacio libre para compensar la elongación del rotor.



*Fig. 3.14 Cuerpo de anillos rozantes.*

### 3.3 Grupo hidráulico



El

sistema

hidráulico de la turbina AW1500 está diseñado para el control de la posición de pitch en funcionamiento de la máquina, envío de la pala a 90° en caso de emergencia, activación del freno de YAW con presión alta en caso de máquina orientada o emergencia, y presión baja en caso de máquina orientándose, activa el freno de disco en eje rápido.

El Sistema hidráulico se activa por medio de un contactor situado en el TOP (K102). El sistema actúa a través de electro-válvulas y otros elementos que permiten obtener la presión deseada en cada momento y que deberán correctamente calibradas. Este subsistema requiere una lógica de control específica, para proporcionar la presión correcta en el instante correcto, que estará en función de los requisitos del control de la turbina.

El sistema se compone de un grupo de presión formado por la bomba, depósito, acumuladores que aseguran que en el circuito siempre haya presión en la línea. Caso de que no sea así, la máquina va a emergencia por grupos de válvulas que aseguran las funciones necesarias del sistema. Para trabajar en condiciones de bajas temperaturas, el grupo hidráulico incorpora un sistema externo para el calentamiento del aceite.

El sistema está compuesto por un grupo motobomba, que es capaz de trabajar con fluidos de alta viscosidad, el cual toma el aceite del tanque lo fuerza a pasar por unas resistencias para a continuación volverlo a enviar al tanque del grupo hidráulico. El rango de trabajo de este sistema depende de la temperatura del aceite del grupo hidráulico y de la temperatura de la nacelle.

**Funcionamiento del grupo hidráulico.-** Tenemos los dos acumuladores principales de 35 litros ubicados en el lateral del bastidor de la máquina, conectados a la línea de presión de la bomba a través del anti retorno. De este modo cada vez que la bomba arranca, estos acumuladores se cargan de aceite. Con esto hacemos que la presión de la línea aumente. El anti retorno evita la descarga de los acumuladores principales cuando la bomba esta parada.

Definimos P1 como presión mínima de trabajo 200 bares, punto en el que arrancaremos la bomba, y P2 como presión máxima de trabajo 230 bares, punto en el que parará la bomba. El transductor (1.23) es el que manda la señal al top, y es esta manda arrancar y parar la bomba en función de esta señal analógica. Del bloque principal cuelgan tres acumuladores de buje, de modo que cuando la bomba para, los tres acumuladores y los generales tienen la misma presión de 230 bares.

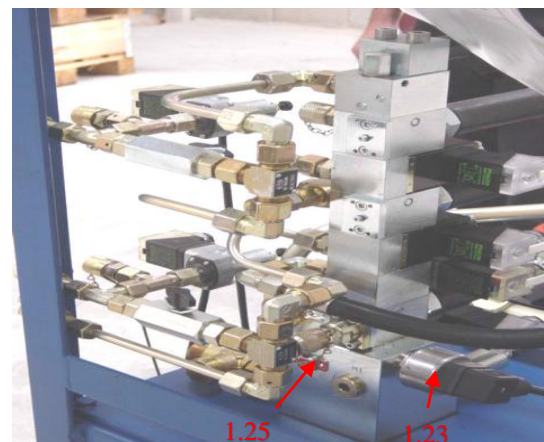
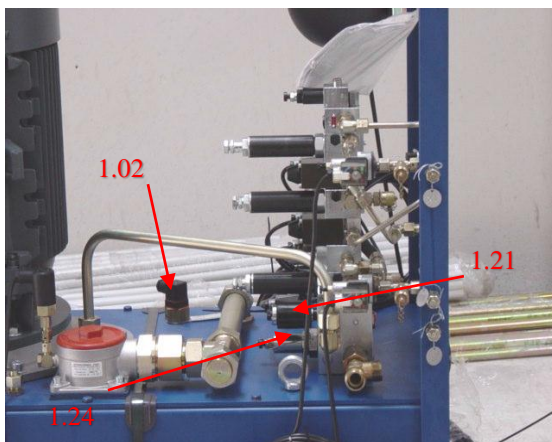
A destacar que: La descarga de los acumuladores principales NO implica la descarga de ningún otro acumulador del sistema. La descarga de cualquier acumulador del sistema implica la descarga de los generales. Los generales siempre tendrán la presión del acumulador de buje que menos presión tenga. La

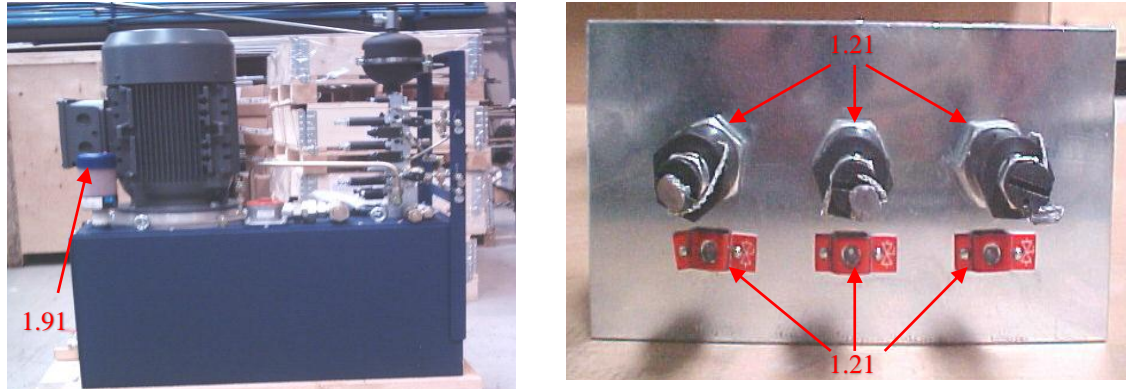
válvula 1.21 que une presión con tanque justo a la salida de la bomba se encarga de que la puesta en presión sea progresiva.

Cuando la bomba está en marcha, la válvula esta activada, y desactivada cuando la bomba esta parada. La limitadora de presión (1.24) asegura que aunque el motor de la bomba no pare, la presión del circuito no supere los 260 bares. La llave (1.25) asegura la descarga de los acumuladores principales. No descarga ni los acumuladores del buje ni el acumulador del freno del YAW y disco.

Como ya hemos indicado los acumuladores de buje son independientes entre sí debido al aislamiento de las líneas de presión por medio de los antirretornos. Es por esto que cada acumulador tiene su propia llave de descarga, limitadora toma de presión. Cada acumulador dispone de un transductor de presión en el lado del nitrógeno para buje, y para el general. La medida de presión debe coincidir con la de la línea de cada acumulador a menos que este esté completamente descargado de aceite.

En la conexión de aceite disponen de un regulador de caudal que hace que la descarga sea controlada para la carga libre. A destacar que sobre el tanque del grupo hidráulico tenemos una PT-100 (1.02) que nos permite saber la temperatura del aceite del tanque, un filtro desecante de aire (1.91) (sustituir cuando este rosa), nivel eléctrico, llave de vaciado, y dos tomas libres de impulsión y retorno de aceite para periféricos.





**Fig. 3.15** Grupo hidráulico.

**Sistema de frenado aerodinámico.-** El freno aerodinámico del generador lo constituyen las palas. Puesto que la variación del paso es independiente para cada una de las palas, se puede utilizar el conjunto del rotor como sistema de frenado primario y secundario a la vez. Las turbinas se detienen durante el funcionamiento de manera totalmente aerodinámica mediante el giro de las palas del rotor hasta la posición de bandera.

La velocidad de la turbina se reduce sin que el sistema de transmisión reciba ninguna sobrecarga adicional. Así pues, para reducir la velocidad del rotor a un nivel de seguridad, basta con poner una de las palas en posición de bandera salvo en condiciones de viento extremas. El rotor no está bloqueado de forma fija nunca, excepto en labores de mantenimiento, ni siquiera cuando está desconectado de la red.

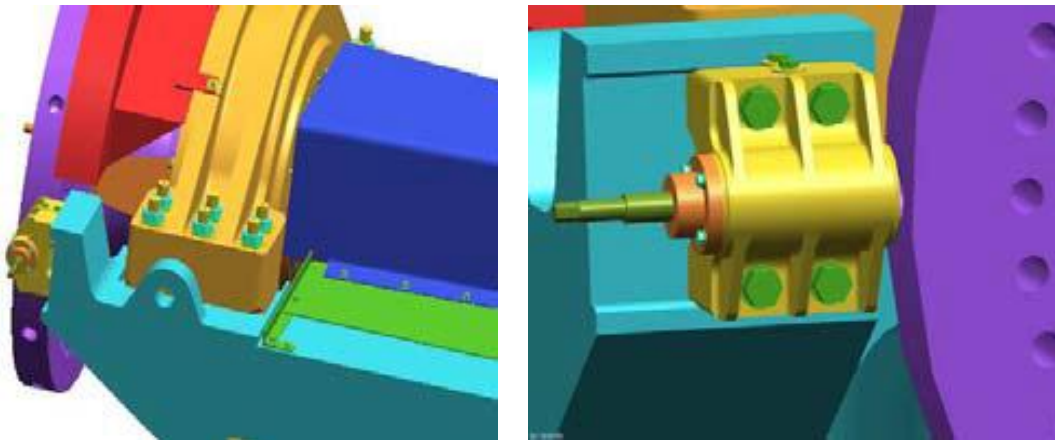
Esto significa que puede rotar libremente a una velocidad reducida, por lo que el rotor y el sistema de transmisión no soportan apenas sobrecargas. **Sistema de frenado desde el eje rápido.-** El sistema de freno, también llamado freno de parking, está compuesto por una pinza accionada hidráulicamente que actúa sobre un disco que está unido al acoplamiento elástico en la salida de la multiplicadora. Este freno del eje rápido debe actuar únicamente en los siguientes casos:

Al accionar una de las setas de emergencia, al aplicar la orden accionar de freno del generador a través de modos manuales - ordenes subsistemas - freno generador de la pantalla táctil, en el Ensayo de la turbina, para realizar los cálculos de polo inicial, antes de acoplar a Red. Este sistema de freno no es suficiente para el acceso al interior del buje, Los frenos hidráulicos están temporizados a los 10 segundos de aplicar una seta de emergencia.

Para permitir que el rotor haya quedado parcialmente frenado mediante el sistema de control de paso. **Sistemas de bloqueo.-** En la turbina existen dos bloqueos del rotor, uno que bloquea directamente el eje lento y otro que bloquea el disco rápido en el lado de alta velocidad de la multiplicadora. Estos bloqueos no se pueden

aplicar indistintamente,  
si no que cada uno de ellos responde a aplicaciones de mantenimiento diferentes.  
Sistema de bloqueo en eje lento:

El sistema de bloqueo en el eje principal o eje lento, consiste básicamente en la inserción en la trompeta del eje lento de dos bulones accionados manualmente. La trompeta del eje lento lleva mecanizados en su posición axial agujeros de diámetro, que permiten posiciones diferentes para el bloqueo de la turbina. Los bulones de bloqueo se insertarán en estos agujeros. De esta forma la turbina proporciona un bloqueo mecánico en el eje lento seguro y fácilmente realizable.



**Fig. 3.16** Sistema de bloqueo en eje lento.

En la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora se acopla un disco de freno que puede ser frenado con la pinza hidráulica. Este disco tiene unos agujeros que permiten el bloqueo mecánico del eje rápido. La pinza hidráulica puede ser activada de forma manual a través de una bomba. Una vez frenado el rotor aproximaremos el bulón hacia el agujero que nos permita la posición deseada del bloqueo del rotor. Por último insertaremos el bulón roscándolo a los soportes de las pastillas.

**Sistema pitch.-** La turbina acciona windpower es una máquina de eje horizontal, rotor tipo hélice y tripala. La función del rotor de la turbina es la de captar la energía del viento y transformarla en energía cinética. A través del eje lento se transmite a la turbina para la generación de la energía eléctrica. Definiremos rotor como el conjunto del buje y las tres palas con su carcasa de fibra de protección denominada cono.

Las palas están unidas al buje mediante rodamientos que permiten el giro longitudinal al eje de las mismas. Gracias al sistema de orientación de la barquilla, el rotor siempre está a barlovento, es decir, de cara a la componente predominante de viento, excepto para estados de la máquina de emergencia. La velocidad del rotor está constantemente vigilada mediante el PLC y por un sistema de medida de velocidad TOG (Team Overspeed Guard) independiente del PLC.



El buje, fabricado en fundición nodular, es el mecanismo que transmite la energía producida por las palas hasta el eje lento. La unión con el eje lento se produce mediante pernos. El interior de este componente es hueco, y en él se alojan los elementos imprescindibles en la realización del control de pitch. Estos elementos son: 3 cilindros hidráulicos que mueven las palas sobre su propio eje, 3 acumuladores hidráulicos para los cilindros.

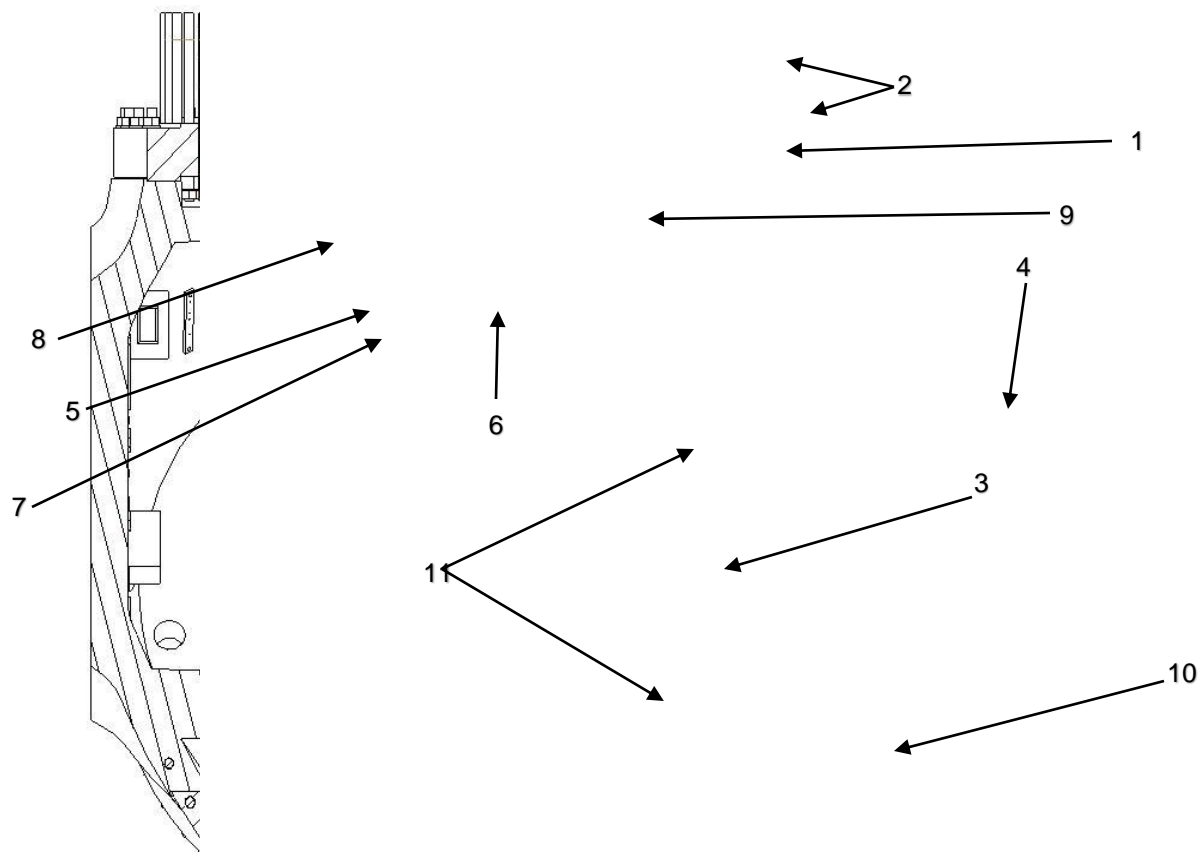
Tres bloques de válvulas para el accionamiento de los cilindros. Tres sensores de posición de pitch, 1 bloque de distribución de presiones, caja de conexiones eléctricas. Sobre el mismo buje de la turbina se colocan los rodamientos de palas. El movimiento desde los cilindros hasta las palas se transmite por unos bulones colocados en la placa pitch, que se encuentra unida al rodamiento de palas, transformando este movimiento rectilíneo en angular a través de una rotula.

Los cilindros se encuentran unidos al buje mediante unos soportes que incluyen unos casquillos deslizantes para permitir el balanceo del cilindro durante su movimiento de pitch. Los sensores de posición de pala se encuentran insertados a lo largo del vástago del cilindro permitiéndonos chequear directamente la posición en la que se encuentra el vástago de pitch y de esa forma traducirlo a los grados a los que se encuentra cada una de las palas.

Los acumuladores se encuentran firmemente anclados en el buje mediante unas abrazaderas directamente amarradas al buje en la zona entre palas. Estas abrazaderas se encuentran recubiertas de goma para evitar el deslizamiento del acumulador. Los bloques de válvulas se encuentran amarrados al buje cercano a las aberturas de paso de cada uno de los cilindros. Cada cilindro actúa guiado mediante uno de estos bloques de válvulas.

El bloque de distribución de presiones se encarga de distribuir la presión que llega desde la junta rotativa a cada uno de los 3 cilindros y acumuladores así como de recoger los retornos de cada uno de los cilindros y llevarlos a una única línea de retorno conectada a tanque mediante la junta rotativa. El buje dispone de 8 aberturas: 3 aberturas para la inserción de las palas, 3 para los cilindros de pitch, 1 abertura que sirve como acceso al buje.

Una vez ensamblada la turbina, 1 abertura por la que transmitiremos la presión hidráulica y el cableado eléctrico. 1.- Rodamiento de pala, 2.- Esparrago, arandela, tuerca, 3.- Placa pitch, 4- Cilindro pitch, 5.- Brida acumulador, 6.- Acumulador de pistón, 7.- Tornillo, tuerca, arandela, 8.- Tornillo, arandela, 9.- Eje rotula pitch, 10.- Subconjunto orejetas pitch, 11.- Porta rotula del cilindro pitch.



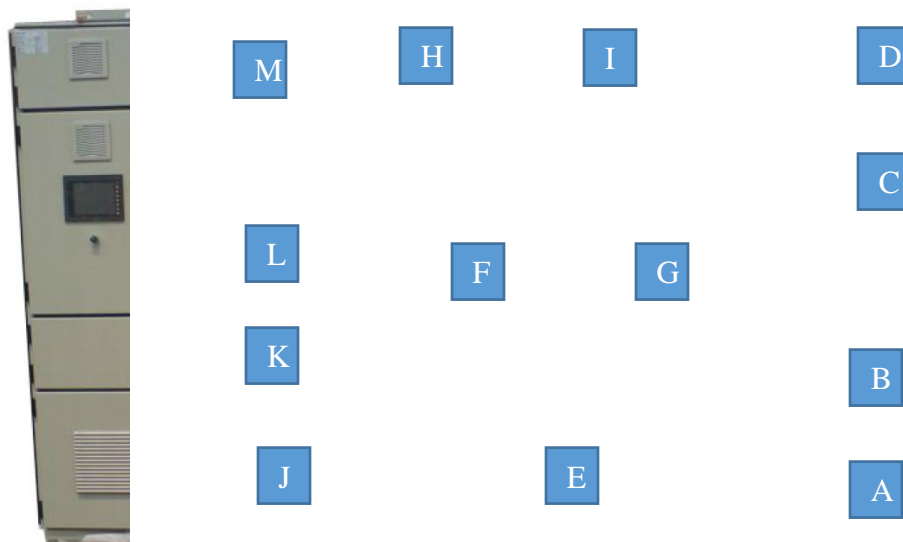
**Fig. 3.17** imagen del sistema pitch.

### 3.4 Análisis de los sistemas de control

El Sistema INGECON-WIND de 1500kW está formado por un armario Ground cuyas características se describen a continuación. El Armario está situado en la base de la torre del aerogenerador y tiene como función principal gestionar su potencia. En este armario está ubicado el convertidor de potencia encargado de realizar la excitación del generador, permitiendo el control de las potencias activas y reactivas transmitidas a la red.

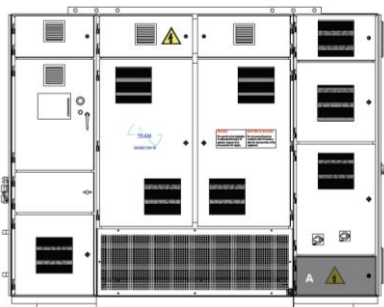
Incluye los componentes del sistema Smart Crowbar, así como un sistema UPS para alimentar a los servicios de control ante posibles caídas de red. Contiene además, la pantalla interface hombre-máquina para el mando y visualización de todo el aerogenerador, el sistema A, el controlador CCU del convertidor y el equipo necesario para el telemando. Contiene los aparatos necesarios para el funcionamiento a bajas temperaturas.





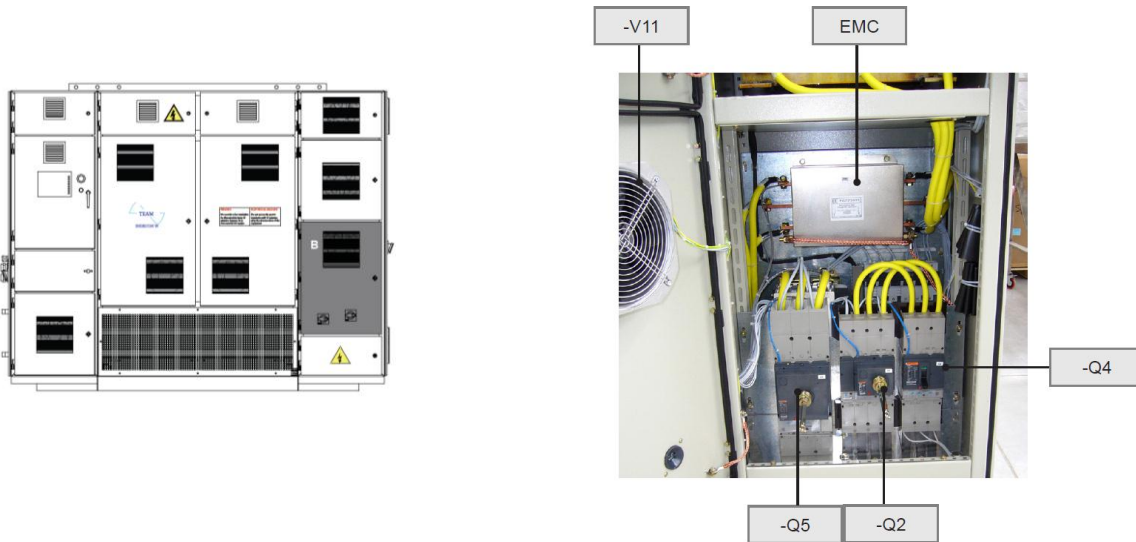
**Fig. 3.19** Imagen del armario Ground.

Se encuentra dividido en 13 compartimentos tal y como se aprecia en la imagen anterior cada compartimiento aloja los distintos componentes que hacen posible el control de la maquina: **Compartimiento A.-** Contiene las pletinas de acometida para la interconexión del cuadro eléctrico a la red de 690V~ y 400V~, así como las pletinas de salida para la alimentación del TOP (400V~) ver anexo B para los datos de cada compartimiento.



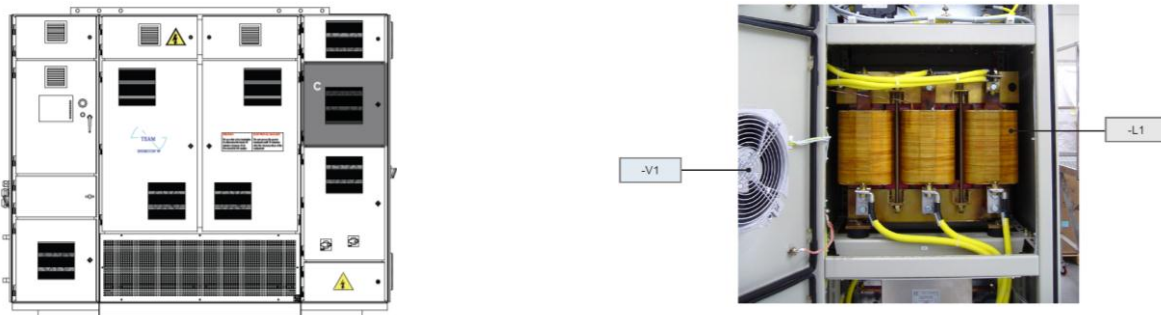
**Fig. 3.20** Compartimiento A del Ground.

**Compartimiento B.-** Contiene las protecciones de alimentación del convertidor (-Q5) de servicios auxiliares (-Q2) y de alimentación al cuadro TOP (-Q4). Así mismo podemos encontrar: Contactor de maniobra del convertidor K52R, protecciones de sobretensión F60 y F113, protecciones de sobretensión del circuito de 230V F61, protección de 400V F111, resistencias DVDT, filtro de emisiones EMC.



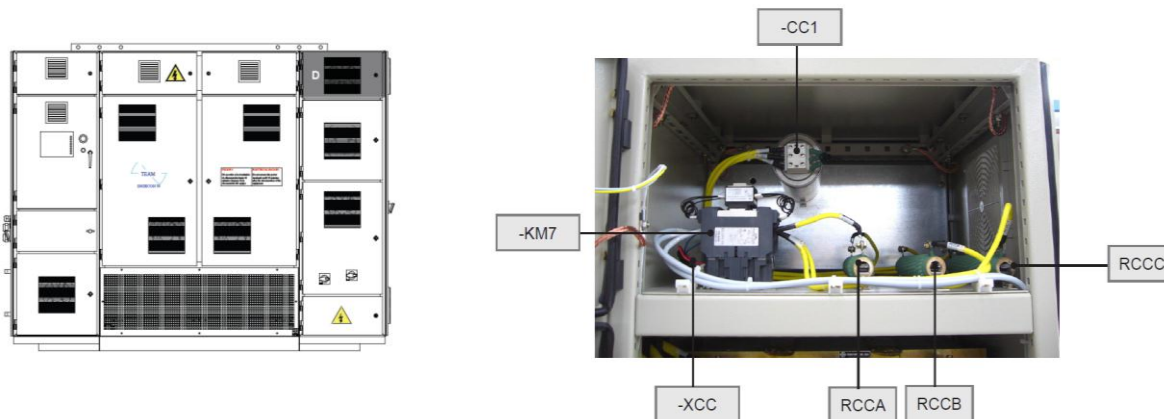
**Fig. 3.21** Compartimiento B del Ground.

**Compartimiento C.-** En este compartimento está ubicada la inductancia que es el campo magnético que crea una corriente eléctrica al pasar a través de una bobina de hilo conductor enrollado alrededor de la misma que conforma un inductor del lado red L1. Inductancia lado red 0.4mH  $I_{th}$  294<sup>a</sup> (-L1) Y ventilador de 80 w 230 v (-V1) para la refrigeración de la inductancia.



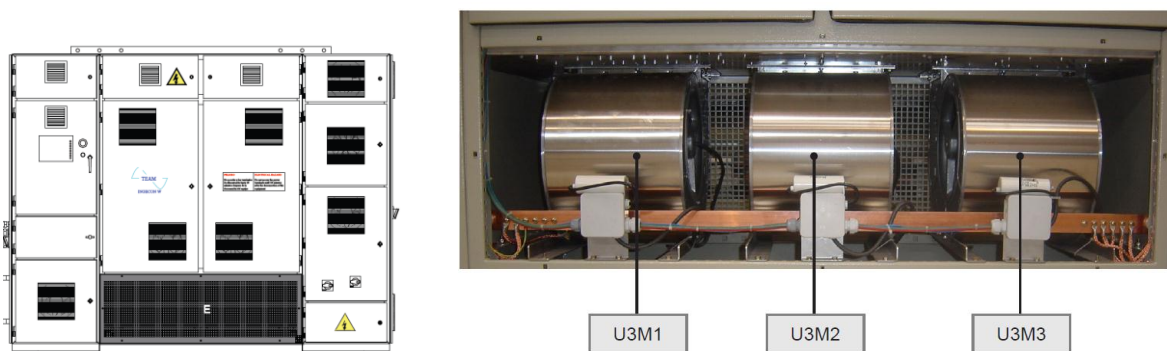
**Fig. 3.22** Compartimiento C del Ground.

**Compartimiento D.-** Contiene el condensador y las resistencias del filtro de armónicos así como su accionamiento para no tener fallos como sobrecargar los cables, provocar fallos en relés e interruptores automáticos, incluso altera el funcionamiento de algunos equipos como ordenadores y teléfonos. Al utilizar un inductor con un condensador, la tensión del inductor alcanza su valor máximo a una frecuencia dependiendo de la capacitancia y de la inductancia.



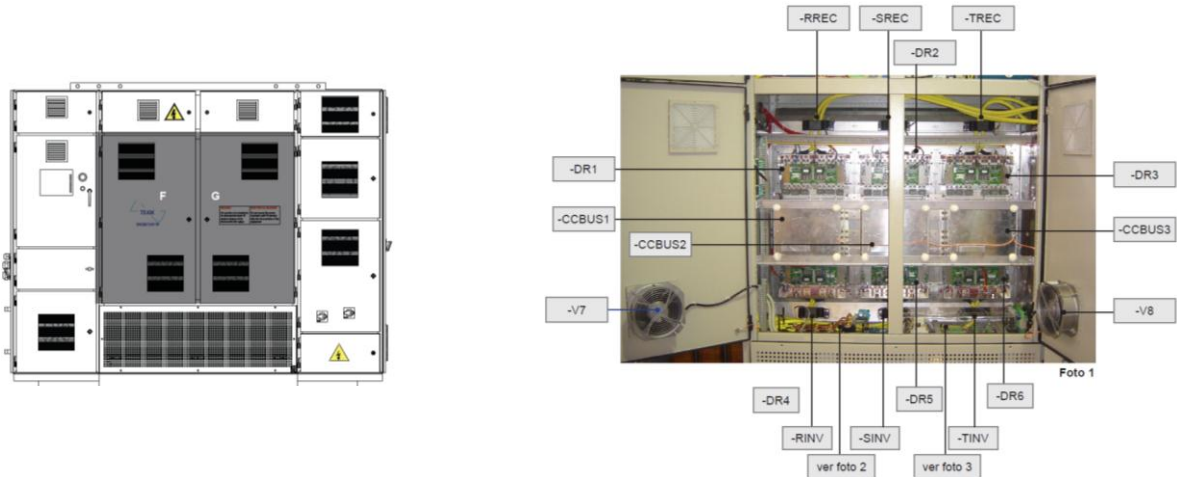
**Fig. 3.23** Compartimiento D del Ground.

**Compartimiento E.-** En este compartimento están ubicados los tres ventiladores de refrigeración del convertidor. Los ventiladores se encargan de drenar aire caliente del interior del convertidor al exterior por medios de unos ductos que absorben el aire, para mantener los circuitos a una temperatura adecuada para su óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil.



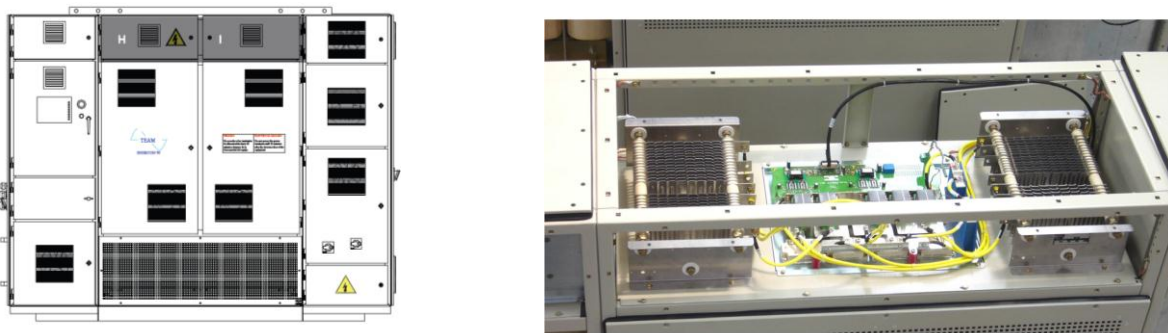
**Fig. 3.24** Compartimiento E del Ground.

**Compartimiento F y G.-** Contiene el Convertidor de potencia. En la bandeja inferior se encuentran los elementos necesarios para la precarga del bus de condensadores del convertidor: Resistencias del circuito de precarga, resistencias de descarga del bus de condensadores, sistema Crowbar pasivo, tarjeta multiplexora para medida de temperaturas de la CCU, bornero de interconexión interno.

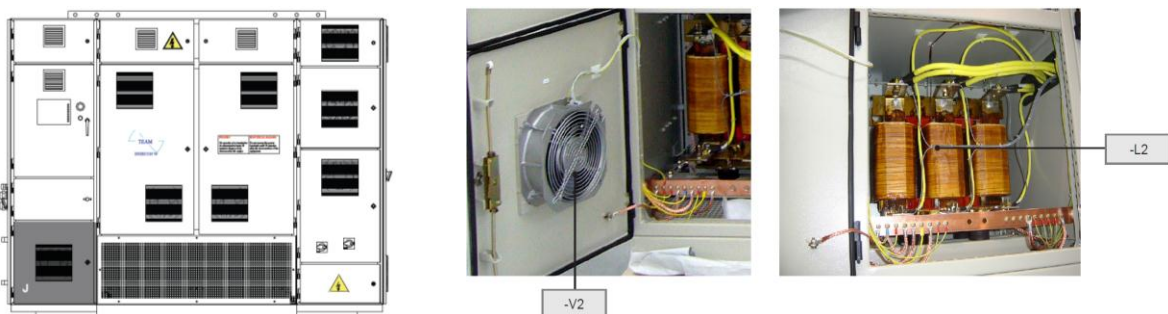


**Fig. 3.25** Compartimiento F y G del Ground.

**Compartimiento H, I y J.-** Contiene el Sistema de Smart Crowbar que es el sistema encargado de evitar que se desconecte de la red cuando hallan huecos de tensión y protegiéndolo ver figura 3.26. Contiene la inductancia del lado máquina (-L2) y el Ventilador 230V~ 80W (-V2) que mantiene condiciones adecuada de esa inductancia para optimizar su funcionamiento ver figura 3.27



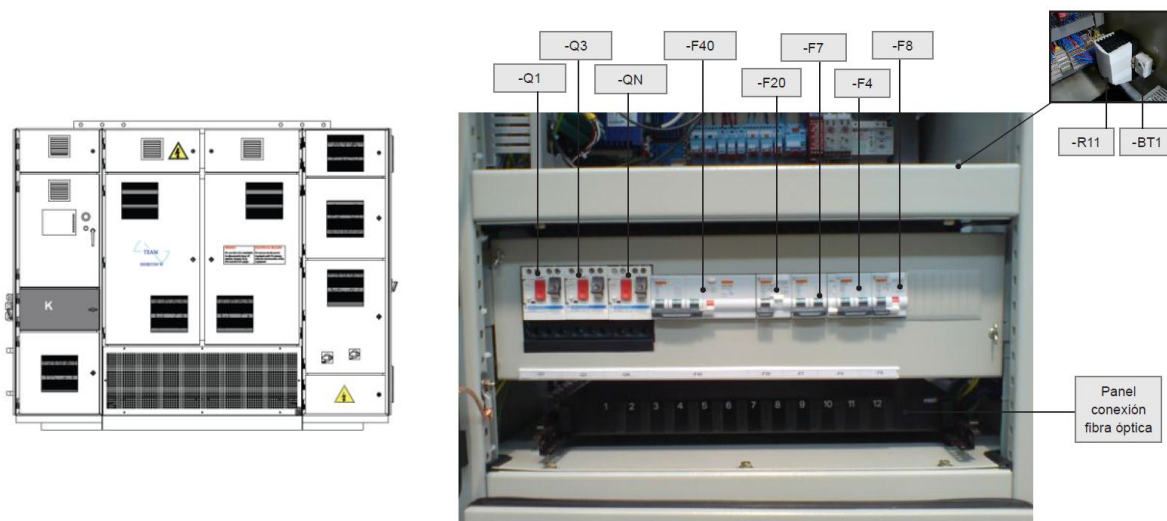
**Fig. 3.26** Compartimiento H y I del Ground.



**Fig. 3.27** Compartimiento J del Ground.



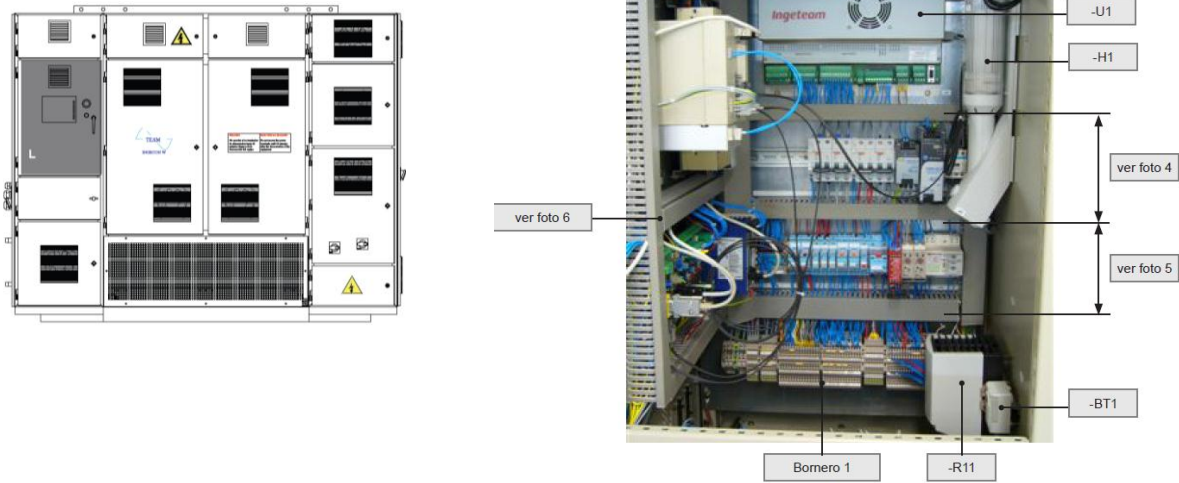
**Compartimiento K.-** En este compartimento se encuentran las protecciones de las tensiones auxiliares de alimentación y de las medidas de tensión, así como los puntos de test de la tensión de red, generada y de neutro. En la parte inferior existe una caja de conexión de fibra óptica que comunica la maquina a la subestación donde se encuentra telemando.



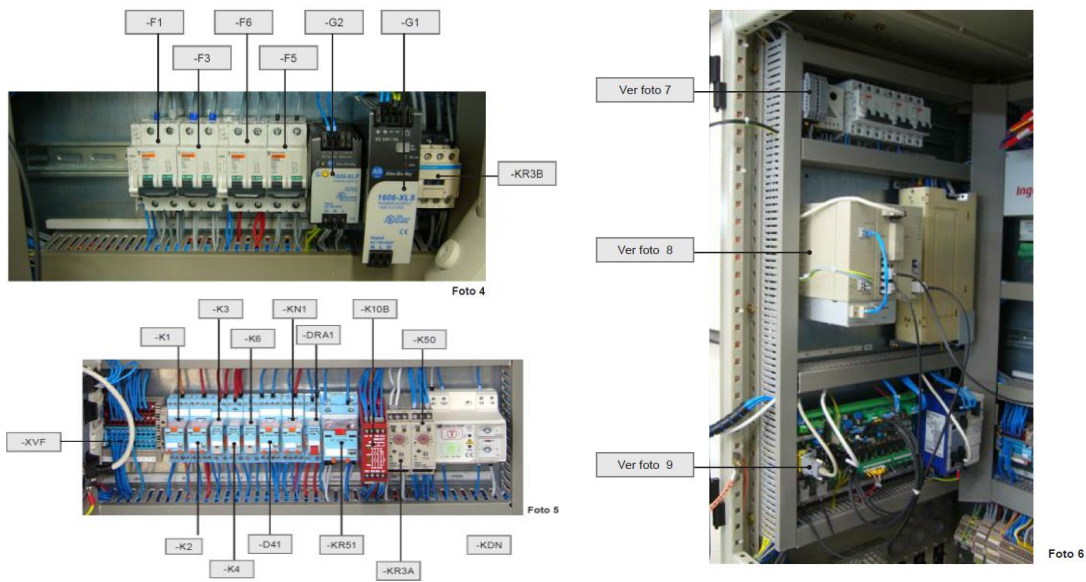
**Fig. 3.28** Compartimiento K del Ground.

**Compartimiento L.-** Contiene la pantalla interface hombre-máquina, el controlador CCU del convertidor, la CPU del sistema ha, así como los elementos necesarios para la alimentación de dicho convertidor, relés y tarjetas auxiliares. Así mismo en este compartimento se encuentran el circuito de desconexión de los PLC cuando la temperatura es inferior a 0°C, los automáticos aguas abajo de la UPS y los automáticos de alimentación de auxiliares del KIT de bajas temperaturas

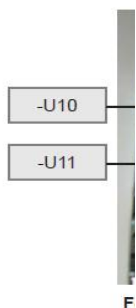




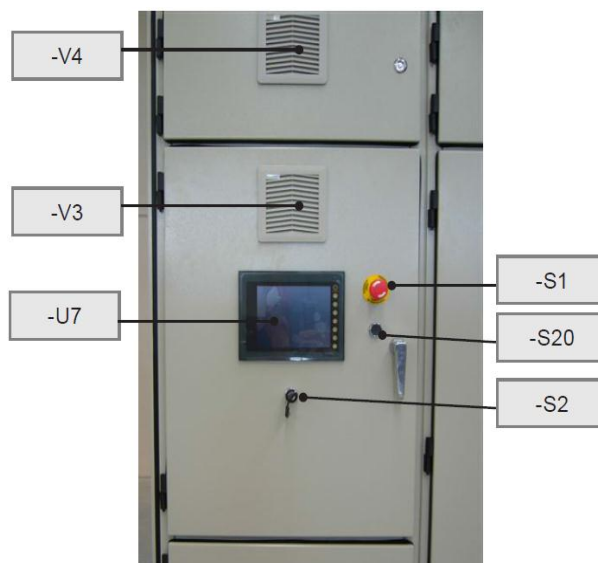
**Fig. 3.29** Compartimiento L del Ground.



**Fig. 3.30** Sistema de control del Ground.



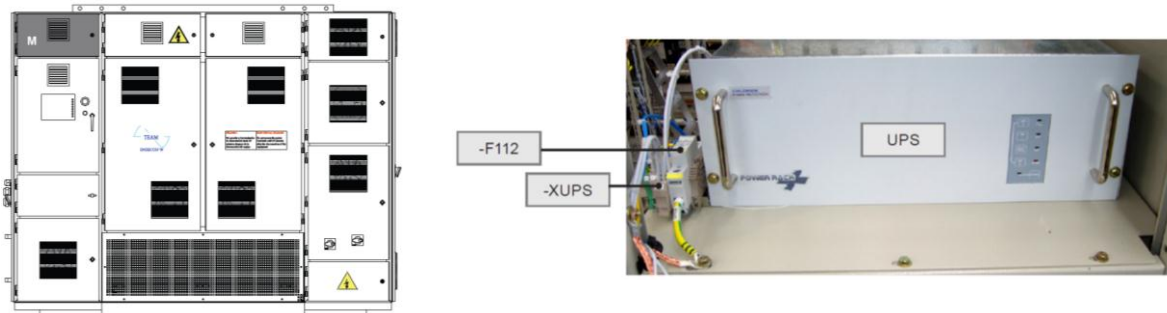
**Fig. 3.31** Sistema de control del Ground.



**Fig. 3.32** Imagen de la pantalla de control.

**Compartimiento M.-** En este cubículo se encuentra el sistema de alimentación ininterrumpida UPS para alimentar a los servicios de control ante posibles caídas

de red. Este es un banco de baterías conectadas en serie para que soporte por unos segundos ante posibles caídas de red el tiempo suficiente para que la red se reinicie y trabaje normalmente.



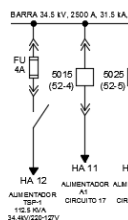
**Fig. 3.33** *Compartimiento M del Ground.*

### 3.5 Diagrama unifilar del parque eólico

La subestación eurus cuenta con un total de 167 aerogeneradores de 1500 KW de potencia nominal por generador. Están divididos en 17 circuitos, del 1 al 9 son 86 máquinas que se conectan al transformador y del circuito 10 al 17 son 81 y van conectados a un transformador distinto a los circuitos 1 al 9 son dos transformadores que controlan el parque eurus.

Cada circuito tiene desde 8 hasta 10 máquinas y cada una cuenta con un transformador elevador en el exterior, el cual conecta al circuito correcto perteneciente. Existen dos barras de 34 kv don están conectados los circuitos, el cual son separadas por un contactor, y se cierra cuando se le da mantenimiento a uno de los transformadores así los 17 circuitos quedan a conectados a uno.

El diagrama unifilar que se muestra en la figura 3.34 muestra desde la conexión de los circuitos a la barra hasta la conexión a la red nacional, a los dos trasformadores entran 34.5 kv y salen 230 kv este va conectado a un interruptor y a su vez este está a una cuchilla, en la salida de las cuchillas de los dos transformadores se conecta a una barra, la barra se conecta otra cuchilla la está conectada a la red y a tierra por cual quiere percance.



**Fig. 34** Diagrama unifilar del parque eólico euros.

### 3.6 Pruebas de diagnóstico para la detección de fallas en el generador.

Las pruebas de diagnóstico realizadas al generador son: medidas del valor global de vibración en generador, con el propósito de identificar fallas en sus rodamientos.

Comprobación del generador este tipo de comprobación se usará en caso de avería del convertidor o bien del generador. La turbina da error al realizar el ensayo de polo ya que no realiza completamente el ensayo de polo y se va emergencia.

**Medidas de vibración.-** El equipo de medida empleado es el MMF-VM15, capaz de realizar medidas de vibración RMS o pico-pico en desplazamiento, velocidad y aceleración. En la parte posterior del aparato aparecen indicadas las distintas medidas posibles así como los rangos dinámicos que soporta. No obstante, debe mencionarse que se ha reducido el filtro paso bajo de su valor original de 10 kHz a 5 kHz.

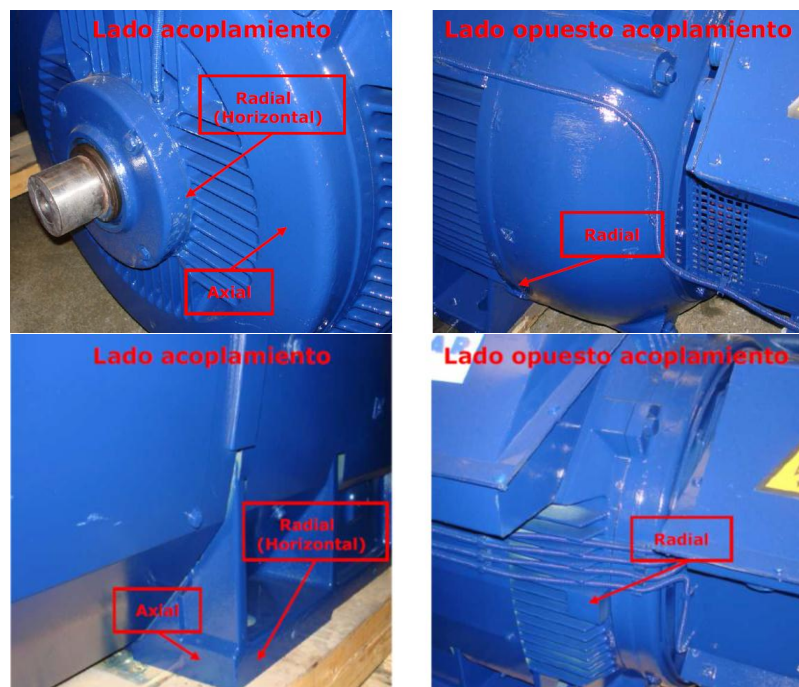


**Universal Vibration Meter VM15**  
 Measuring Ranges(RMS):  
 Vib. Acceleration: 0.5 - 200 m/s<sup>2</sup>  
 Vib. Velocity: 0.5 - 200 mm/s  
 Vib. Displacement: 10 - 2000 μm  
 Temperature: -2 - 200 °C  
 Frequency Ranges:  
 Vib. Acceleration: 3 Hz - 10 kHz  
 Vib. Accel. (HP): 1 kHz - 10 kHz  
 Vib. Velocity: 3 Hz - 1 kHz  
 Vib. Displacement: 3 Hz - 200 Hz  
 Metra Radebeul  
 www.MVF.de  
 Made in Germany  
 Serial no.: 070357

**Fig. 3.35** Detector de vibraciones.

**Puntos de medida.-** deberá medirse la vibración en ambos rodamientos. En el rodamiento delantero (lado acoplamiento) se medirá tanto en dirección radial como en axial, mientras que en el trasero sólo será necesario realizar la medida radial. se ha de medir siempre lo más cerca posible de cada uno de los rodamientos, pero nunca sobre chapas protectoras en caso de tenerlas, como en el generador Indar ncr-450 l/4, ya que la medida no sería representativa del estado del rodamiento.

En ese caso es preferible medir en la pata del generador (siempre en zonas rígidamente unidas al rodamiento). La medida radial se hará lo más horizontal posible, evitando siempre la dirección vertical. A continuación se muestran, a modo de ejemplo, puntos adecuados de medida para los generadores INDAR NCR-400 X/4 y NCR-450 L/4.



**Fig. 3.36** Puntos de medida adecuados.

Todas las medidas deben tomarse con el generador girando en vacío (sin producir energía) a una velocidad de 1000 rpm. Si la escasez de viento no permite alcanzar esta velocidad deberá indicarse la velocidad de giro a la que se han realizado las mediciones, aunque debe hacerse lo posible por medir a 1000 r.p.m. Aunque el equipo ofrece la posibilidad de tomar más valores, sólo se requiere la captura de 3 medidas en el rodamiento delantero y 2 en el trasero:



Medidas en el rodamiento L.A. dirección radial: Valor RMS de aceleración en el rango 1000 Hz-5000 Hz (Acc HP), valor RMS de velocidad en el rango 3 Hz-1000 Hz (Vel). Medidas en el rodamiento L.A. dirección axial: Valor RMS de velocidad en el rango 3 Hz-1000 Hz (Vel). Medidas en el rodamiento L.O.A. dirección RADIAL: Valor RMS de aceleración en el rango 1000 Hz-5000 Hz (Acc HP), valor RMS de velocidad en el rango 3 Hz-1000 Hz (Vel).



**Fig. 3.37** Rangos del detector de vibraciones.

Una vez colocado el acelerómetro en el punto de medida, y tras alcanzar el generador la velocidad de 1000 r.p.m., se pulsará el botón “Vel” (el indicador “mm/s” deberá iluminarse con una luz roja). Estar atentos a la pantalla durante aproximadamente 30 segundos, en los que el valor deberá fluctuar entre valores próximos (p. e. entre 5.5 mm/s y 6.2 mm/s).

Tras comprobar que el valor se mantiene más o menos estable, anotar el valor más alto detectado (p. e. 6.2 mm/s). Realizar el mismo proceso con el resto de medidas. Precauciones a tener en cuenta; el led pk-pk, debe estar siempre apagado, ya que de lo contrario no medirá valor RMS. Si está encendido, pulsar el botón “pk-pk” para apagarlo. El equipo de medida es delicado por lo que debe procurarse que no se caiga al suelo o sea golpeado.

El sensor de medida es especialmente delicado a los impactos. Aunque visualmente no lo parezca, un impacto fuerte puede destruir internamente el transductor, falseando todas las mediciones. Ello hace que, a la hora de colocarlo deba tenerse cuidado para que la fuerza de atracción del imán no provoque un golpe fuerte contra el generador. Se recomienda apoyar primero un lado de la base tal y como se indica en la figura siguiente para alargar la vida útil del acelerómetro.

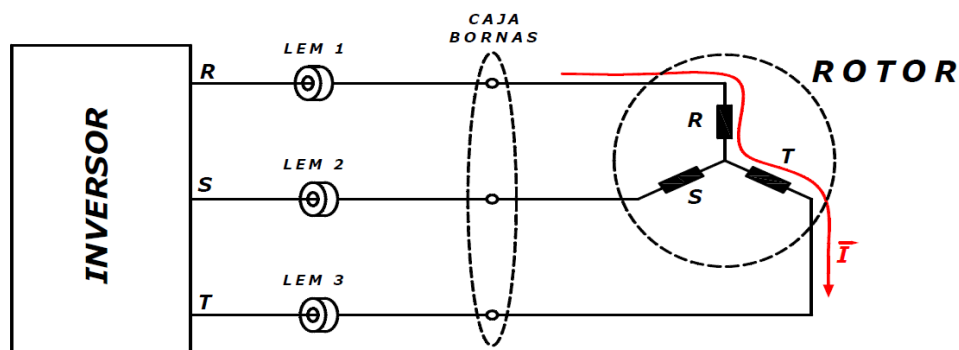


**Fig. 3.38** Forma correcta de poner el imán.

**Comprobación de generador.-** Este tipo de comprobación se usará en caso de avería del convertidor o bien del generador. La turbina da error al realizar el ensayo de polo ya que no realiza completamente el ensayo de polo y se va emergencia. Las alarmas que están relacionadas con esta avería normalmente son: sobre intensidad fase-estator, sobre intensidad fase-inversor, fallo IGBT fase-inversor, fallo de captura de datos realizando ensayo.

Para verificar que este fallo está provocado por una avería del generador hay que conectarse con la CCU mediante el programa OCS. El cable de conexión es el RS232 paralelo. Configurar el registrador OCS para poder visualizar las gráficas con las siguientes variables (medidas) y parámetros: Intensidad R del rotor, Ir\_rot. (Medida por LEM1 a la salida del inversor), Intensidad S del rotor, Is\_rot. (Medida por LEM2 a salida la del inversor).

Consigna de intensidad de la fase R del rotor, Sp\_Irrot, Consigna de intensidad de la fase S del rotor, Sp\_Isrot, Tensión de Bus, Vbus. Ensayo de polo.- En el ensayo del polo, el inversor inyecta un pulso de corriente por la fase "r" rotor y lo hace volver por la fase "t" del rotor (así que por la fase "s" del rotor no debe circular corriente). El ensayo pretende calcular la posición del rotor respecto al estator.



**Fig. 3.39** Bornes de conexiones.



**Fig. 3.40** Gráfica 1 del ensayo de polos.

LEM 1: (Ir\_rot). Medida de Intensidad de la fase “R” del rotor, LEM 2: (Is\_rot), Medida de Intensidad de la fase “S” del rotor, LEM 3:(It\_rot). Medida de Intensidad de la fase “T” del rotor. En la siguiente gráfica (gráfica 1) se observa un registro del ensayo del polo cuando todo funciona correctamente. Violeta; Tensión del bus (continua), Azul; Intensidad fase “r” salida inversor, Ir\_rot, Verde; Consigna intensidad fase “r” rotor, Amarillo; Intensidad fase “s” salida inversor, Is\_rot.

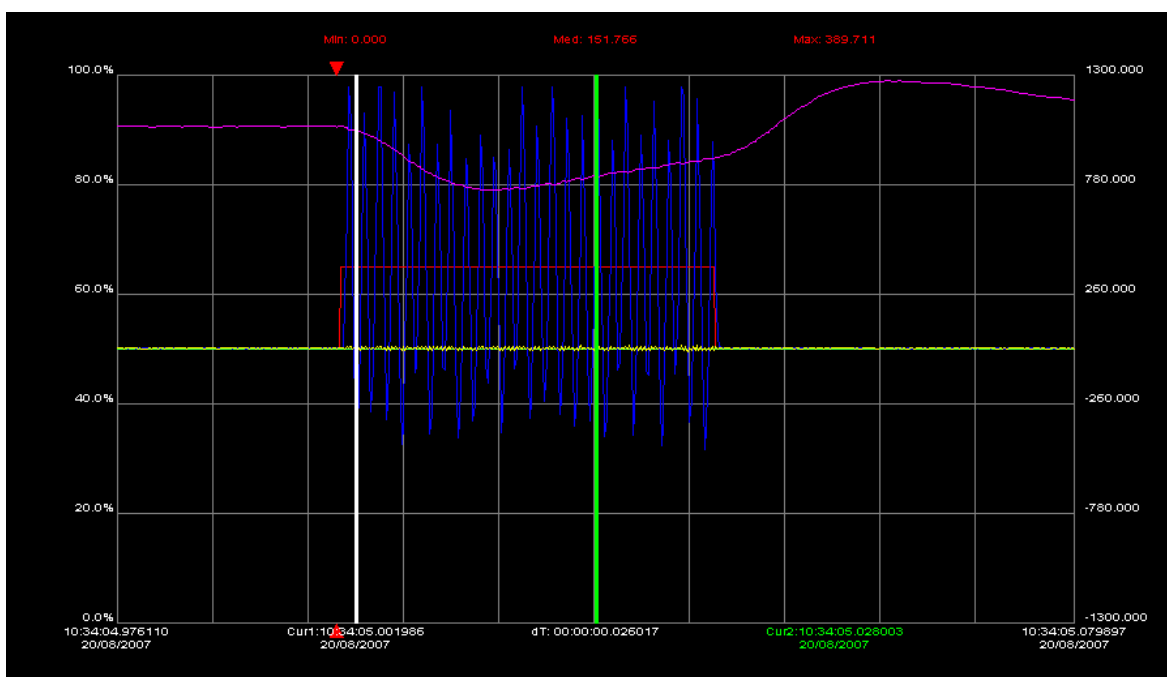
Se puede observar cómo la intensidad de la fase “R” (color azul) sigue “fielmente” al pulso de intensidad que inyecta el inversor (color verde) por la misma fase. La tensión de bus (color violeta) apenas oscila (desciende durante la rampa ascendente que hace la intensidad de la fase “R” y aumenta durante la rampa descendente).

Por la fase “S” (color amarillo) no circula corriente. Con cualquier otra gráfica que difiera de la gráfica 1 se entenderá que el ensayo del polo no se ha realizado correctamente, es decir: Que la consigna de la intensidad de la fase “R” (color verde) no dibuje un escalón casi perfecto como el que se ve en la gráfica 1. Que la intensidad de la fase “R” (color azul) no dibuje un escalón más o menos desfasado siguiendo a la consigna del pulso de corriente (color verde).

Que la intensidad de la fase “S” (color amarillo) no dibuje una línea casi horizontal, ya que la intensidad tiene que ser prácticamente cero durante el ensayo. Que la tensión de Bus presente variaciones anómalas. En un ensayo de polo bien realizado la tensión de Bus disminuye durante la rampa ascendente que hace la

intensidad de la fase “R” y aumenta durante la rampa descendente que se observa en la gráfica 1.

Si se presentan oscilaciones diferentes, en magnitud o en tiempo, es que el ensayo ha sido mal realizado. En la siguiente gráfica (gráfica 2), se observa el registro de un ensayo del polo mal realizado. Violeta; Tensión del bus continua, azul; Intensidad de fase “R” salida inversor. ( $I_{r\_rot}$ ), rojo; Consigna intensidad fase “r” rotor, amarillo; Intensidad de fase “S” salida inversor. ( $I_{s\_rot}$ ).



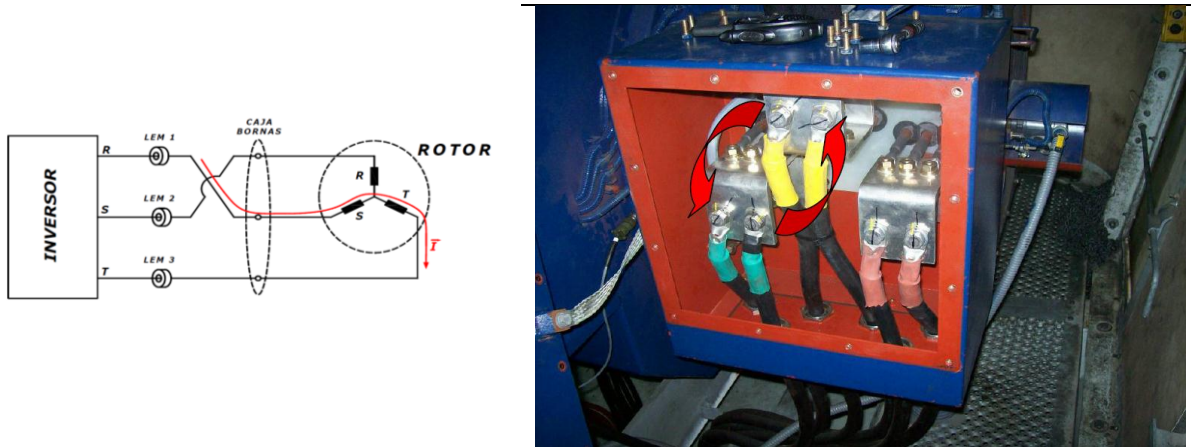
**Fig. 3.41** Gráfica 2 del ensayo de polos.

La intensidad de la fase “R” (color azul) no sigue a la consigna (color rojo) y crea una forma de onda dentada que hace presagiar que algo falla. El pulso de intensidad de la consigna es correcto. La tensión de Bus (color violeta) oscila considerablemente durante el ensayo, lo cual no sucede en la realización de un ensayo del polo correcto.

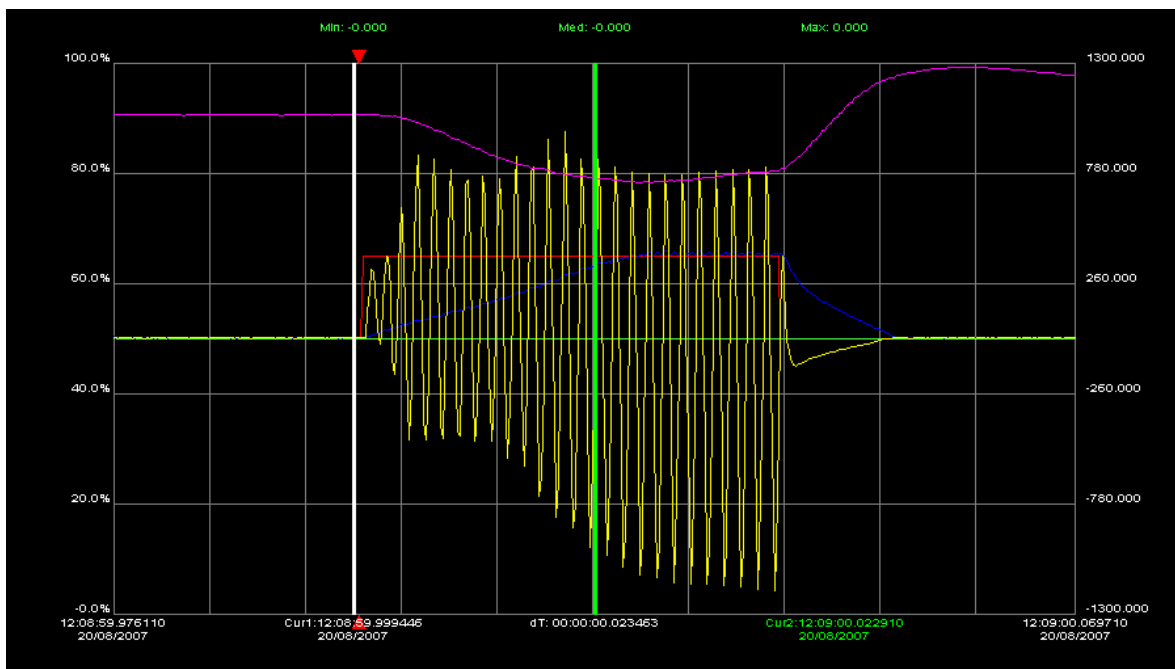
En este punto viendo que hay un problema todavía sin localizar y que se puede localizar en el generador. De los conductores que unen el convertidor con el rotor, o del equipo, lo primero que se hará es comprobar el generador. Para ello se harán las correspondientes mediciones con el meguer y el microhmetro antes de tomar cualquier decisión.

Llegados a este punto pueden ocurrir dos situaciones: Si las mediciones que se han tomado con el meguer y el microhmetro en el rotor y en el estator son incorrectas ya se puede dar por malo el generador. Si las mediciones son las

correctas, se procederá al intercambio de la fase “R” con la fase “S” en la caja de bornas del rotor. Seguidamente se vuelve a realizar el ensayo del polo registrando una nueva gráfica con el OCS.



**Fig. 3. 42** Intercambio de fases de R por S.



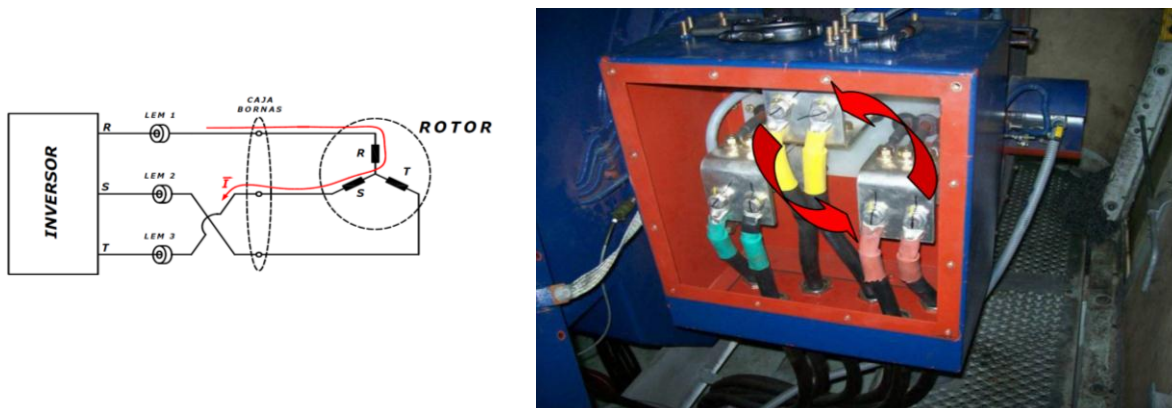
**Fig. 3.43** gráfica 3 del ensayo de polos.



LEM 1: (Ir\_rot).Medida de Intensidad de la fase “S” del rotor, LEM 2: (Is\_rot).Medida de Intensidad de la fase “R” del rotor, LEM 3: (It\_rot).Medida de Intensidad de la fase “T” del rotor. Entonces se analiza la gráfica obtenida al realizar el ensayo del polo (gráfica 3). Violeta; Tensión del bus continua, azul; Intensidad fase “R” salida inversor, (Ir\_rot). Fase “S” del rotor, rojo; Consigna intensidad fase “r” rotor. Ejemplo de ensayo del polo mal realizado con fases “R” y “S” intercambiadas;

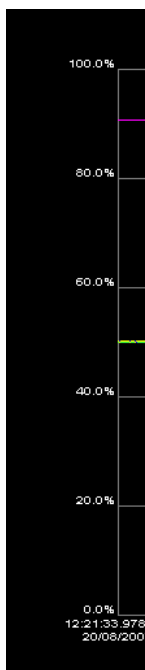
En esta gráfica se observa que la intensidad de la fase “R” a la salida del inversor (que ahora es la fase “S” del rotor (mirar gráfica 1)), más o menos sigue a la consigna. Pero ahora se ve que la intensidad de la fase “S” a la salida del inversor, no es correcta si se compara con la gráfica 1. Tener en cuenta que se está inyectando el pulso por la fase “S” del rotor.

Por lo que se deduce que hay un problema en el generador o en el equipo de potencia. A continuación se intercambiara nuevamente las fases, en la caja de bornes del rotor, la fase “S” por la fase “T” y se realizará el ensayo de polo registrando una nueva gráfica con el OCS y tomar una decisión concreta sobre el generador.



**Fig 3.43** Intercambio de fases de S por T.

LEM 1: Medida de Intensidad de la fase “R” del rotor, Ir\_rot, LEM 2: Medida de Intensidad de la fase “T” del rotor, Is\_rot, LEM 3: Medida de Intensidad de la fase “S” del rotor, It\_rot. Se analizará la gráfica obtenida al realizar el ensayo (gráfica 4). Violeta; tensión del bus continua, azul; intensidad fase “r” salida inversor, (ir\_rot). fase “r” del rotor, rojo; consigna intensidad fase “r” rotor, amarillo; intensidad fase “s” salida inversor, (is\_rot). fase “t” del rotor.

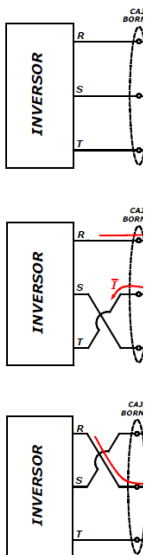


**Fig. 3.45** grafica 4 del ensayo de polos.

Ejemplo de ensayo de polo mal realizado con fases “S” y “T” intercambiadas. En esta gráfica se observa que la intensidad de la fase “R” a la salida del inversor no sigue a la consigna (mirar gráfica 1). Y además ahora se ve que la intensidad de la fase “S” a la salida del inversor no es correcta si se compara con la gráfica 1. Tener en cuenta que se está inyectando el pulso por la fase “R” del generador.

Por lo que se deduce que hay un problema en el generador o en el equipo de potencia. Después de analizar las tres gráficas anteriores (gráfica 2, 3 y 4) existen dos posibilidades: **Gráficas iguales.**-Si las tres gráficas son iguales, indica que el problema está dentro del convertidor de potencia y/o en los conductores inversor-rotor.

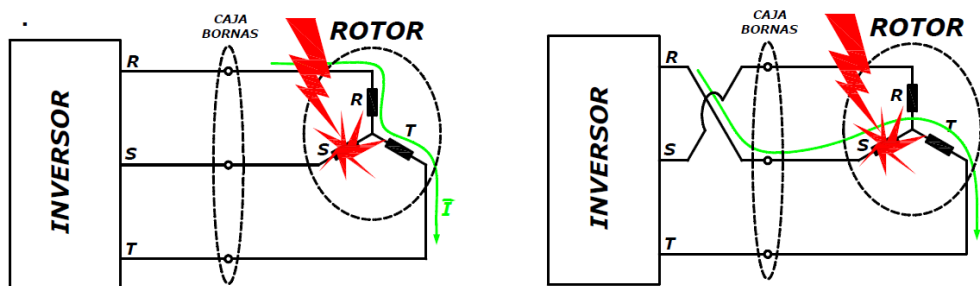
En esta secuencia gráfica se explica porque las tres gráficas deben ser similares cuando los devanados están en perfecto estado. Si los devanados de las tres fases están en buen estado, esto quiere decir que las tres impedancias son iguales. Por lo tanto al inversor le dará igual que fases se intercambien porque la impedancia que verá será la misma (la impedancia de dos de las tres fases).



**Fig. 3.46** Generador en buen funcionamiento.

**Gráficas distintas.-** Si las tres gráficas no son iguales, que es el caso que se ha visto, indican que el problema está en el generador (cuerpo anillos y/o devanados). En los siguientes dibujos se muestra un ejemplo en el que el defecto está en la fase “S” del rotor. Si el defecto se encuentra en la fase “S” del rotor resultarán gráficas diferentes dependiendo del cambio de fases que se haga.

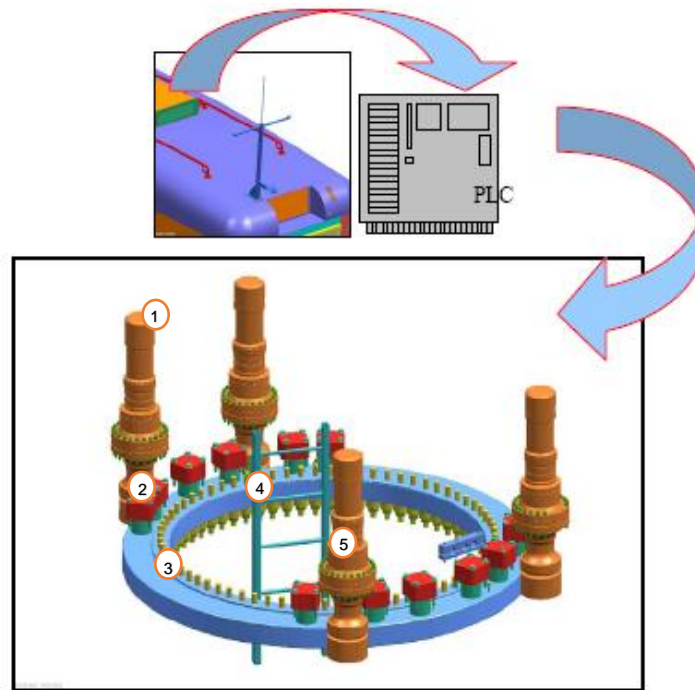
Inicialmente el pulso no circula por el defecto de la fase “S” por lo tanto la intensidad de la fase “R” dibujará una curva parecida a la de la consigna del pulso de intensidad. Pero al intercambiar la fase “R” por la fase “S” el pulso de intensidad circula por la fase “S” y se encuentra con el defecto. Resultando así una gráfica diferente a la anterior. Las impedancias que ve el inversor varían dependiendo del cambio de fases que se haga.



**Fig. 3.46** Generador en mal funcionamiento.

### 3.7 Funcionamiento del sistema de orientación YAW

El sistema de giro de la turbina acomete dos funciones diferentes, la de mantener el rotor orientado en la dirección de viento predominante, controlar el enrollamiento del cable de la torre, desdoblándolo si fuera necesario y detectar el efecto estela durante la marcha. Este sistema se apoya en una corona dentada insertada en la nacelle, la cual gira mediante un rodamiento unido a la nacelle y a la torre.



**Fig. 3. 47** Diagrama del sistema de orientación YAW.

El sistema se compone por una veleta o sensor Sónico que nos proporciona la dirección de viento, sensor de YAW nº 1, sensor absoluto de enrollamiento y posición, sensor de YAW nº 2 de una leva, de seguridad, 4 reductoras, 4 motores eléctricos y un variador de YAW. 1.- Motores eléctricos, 2.- Pinzas de freno hidráulicas, 3.- Corona dentada, 4.- Escalera para acceso a nacelle, 5.- Reductora.

La corona es arrastrada por cuatro reductoras de giro que hacen a la nacelle girar en ambos sentidos dependiendo de las necesidades del momento. Cabe señalar que las reductoras de giro no necesitan ningún tipo de mantenimiento ni reengrase, estando constituidas en etapas para su fácil montaje y desmontaje. Para ver los datos técnicos de las reductoras ver anexo C.



*Fig. 3.48 Fotografía de reductora.*

**Reductoros del sistema de YAW.-** Como se ha descrito anteriormente, son cuatro las reductoros del sistema de YAW. Cuentan con motores eléctricos de jaula de ardilla a 380V con sistema de arranque progresivo por medio de un variador. Estos motores cuentan con freno, alimentado de forma independiente del motor. Las reductoros, alojadas en el bastidor de la nacelle actúan sobre el dentado de la pista exterior del rodamiento del YAW.





**Fig. 3.49** Engrane de reductora, parte exterior de rodamiento.

Cada reductora tiene dos puntos de apoyo en el bastidor de la nacelle. El primero de ellos, se sitúa en una ménsula a la que se une por medio de 24 tornillos y el segundo se sitúa en un nivel inferior, cercano a la zona de engrane entre el piñón de salida de la reductora y el rodamiento de YAW. En los aerogeneradores AW 1500 se montan dos modelos de motorreductora compatibles: MT709T024 de Bonfiglioli (Tecnotrans) y PG 1605 PR de Comer (Ingetrans). Ver anexo C.



**Fig. 3.50** Posición de la Motorreductora.

## Corona de orientación

**del YAW.-** Orienta el rotor hacia el viento incidente, mantener la orientación respecto al viento incidente, transmitir las fuerzas desde la nacelle hasta la torre, desenrollar los cables si es necesario, permitir giro controlado en operación de mantenimiento. **Pinzas de freno YAW.-** Evita desplazamientos radiales de la góndola no deseados, bien por efecto del viento incidente o por giro del rotor Asimismo, reducen el desgaste de los engranajes de orientación.

Su accionamiento puede ser hidráulico o eléctrico, actuando en pinzas de freno o motor eléctrico respectivamente. **Sistema hidráulico.-** Grupo de presión. Se encarga de suministrar fluido hidráulico a una presión determinada para permitir el accionamiento de sistemas de captación, orientación o transmisión. Conductos hidráulicos. Canalizan el fluido hidráulico hasta el punto de utilización. Válvulas de control. Adaptan la presión y caudal del fluido en base al actuador a accionar.



**Fig. 3.51** Grupo hidráulico.

Las reductoras están accionadas a través de los cuatro motores eléctricos, con rotor de jaula de ardillas, alimentados a 380 v de tensión. Estos motores se alimentan a través del variador de YAW, un arrancador suave. Estos motores incorporan freno, alimentando independientemente del motor. En la turbina se incorpora una protección térmica para cada uno de los motores eléctricos de YAW, así como para la alimentación de los frenos de motor.



**Fig. 3.51** Fotografía de los motores eléctricos.

Estos motores cuelgan de una única protección magnética. El sistema de orientación de YAW se complementa un sistema de freno activo, accionado con doce pinzas de freno hidráulicas, que evitan que la nacelle se desoriente cuando las reductoras no actúan sobre la corona dentada. A través de una veleta instalada sobre la capota de la nacelle, enviamos la información sobre la dirección predominante de viento en ese momento al PLC instalado en el TOP.

Este recibe esta información y la procesa, actuando sobre el grupo hidráulico para que las pinzas de freno se desactiven. Una vez desaplicadas las pinzas de freno hidráulicas, aplicamos tensión a los motores de giro de la nacelle para que se muevan en el sentido deseado. Los frenos de los motores se desaplican instantáneamente al suministrar tensión a los motores, pero estos no comienzan a girar al mismo tiempo debido al arrancador suave.

La finalidad de estos frenos en los motores del YAW, se debe a una razón de seguridad. Si en caso de mantenimiento o montaje de la máquina, no tuviéramos presión en el circuito hidráulico, la nacelle de la turbina quedaría a merced del viento. Para evitar esta situación utilizamos los frenos de los motores del YAW, los cuales están accionados siempre que no tengan tensión entre sus bornes, como sería el caso en un estado de emergencia de la máquina.

Los cables que cuelgan a lo largo de la torre se van enrollando mientras la nacelle se va orientando. El estado de enrollamiento de estos cables es transmitido al PLC mediante dos sensores de posición de la nacelle. El PLC procesa esta información y hace girar a la nacelle en el sentido correcto para realizar el desenrollamiento de los cables. El variador de YAW se instala en un armario calefactor y con ventiladores consiguiendo una temperatura de funcionamiento óptima.



**Fig. 3.52** variador de YAW.

**Orientación.-** Como ya se ha indicado antes, la veleta o el sensor sónico nos proporcionan la dirección de viento predominante. Antes de comenzar la orientación se debe asegurar que se ha completado la presurización del grupo hidráulico. En primer lugar se desaplican los frenos eléctricos de los motores, a continuación garantizar que las pinzas hidráulicas se han desaplicado y por último se aplica tensión a los motores.

Una vez desaplicadas las pinzas hidráulicas de freno, aplicamos tensión a los motores de giro de la nacelle para que se muevan en el sentido deseado.

**Enrollamiento de cables.-** Los cables de potencia, alimentación y control que cuelgan lo largo de la torre sufren un enrollamiento paulatino mientras la nacelle se va orientando.

El estado de enrollamiento se controla a través del sensor de YAW 1 (sensor de posición absoluta) y por el sensor de YAW 2 y es transmitido al PLC. El PLC monitoriza y gestiona esta información y, siempre que el estado de torsión de los cables llegue a un límite establecido, ordena girar a la nacelle en el sentido correcto para realizar el desdoblamiento de los cables.

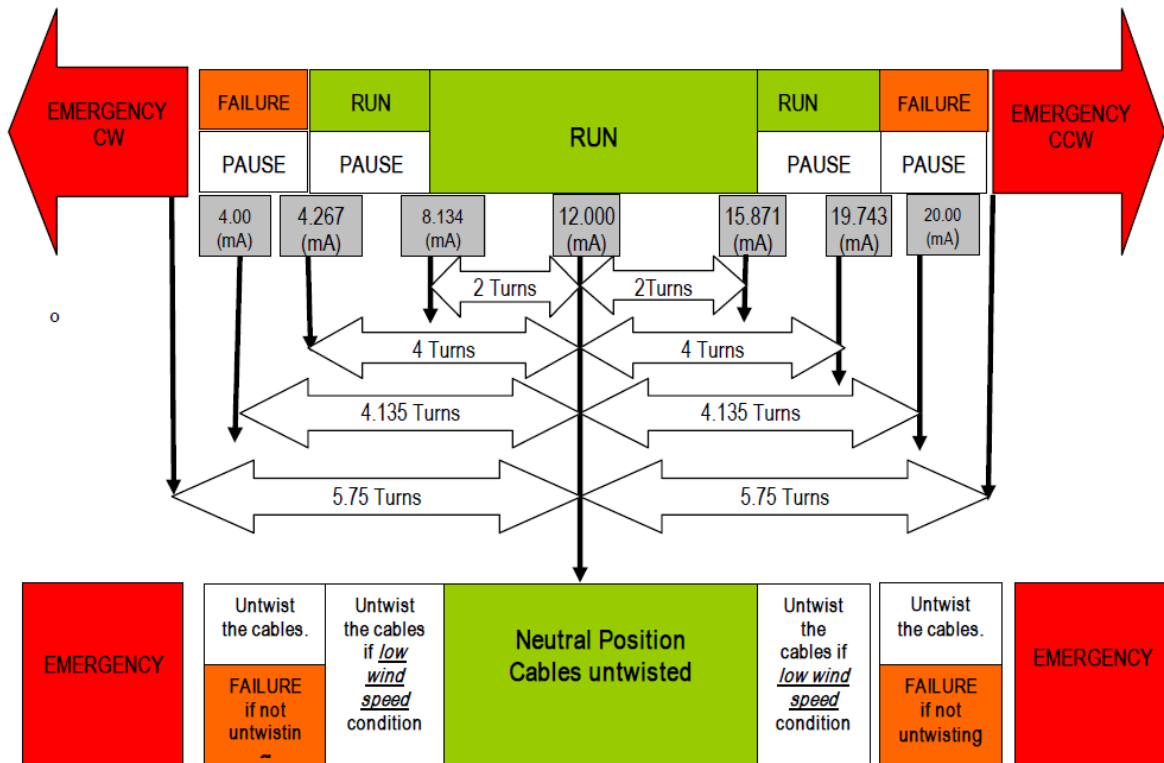


Fig. 3.53 Sistema de posicionamiento de la nacelle.

**Estrategia de estela.-** Por cada alineación del parque eólico, es necesario decidir que turbinas deben pararse bajo las condiciones de viento en estela. Es necesario definir los sectores posicionales y las condiciones específicas de viento bajo las cuales dichas turbinas cambian de estado; MARCHA a PAUSA. Tomando como referencia el norte, los sectores son definidos comenzando desde la línea recta imaginaria delimitada por la turbina anterior y siguiente a la que nos encontramos.

El rango de estos sectores debe ser parametrizado. A través de la señal analógica del sensor de YAW 1, sensor de posición absoluta conoceremos la posición de la nacelle mientras esta señal se encuentre fuera de los sectores prohibidos, estaremos en el modo de marcha. Cuando estemos dentro de los sectores prohibidos la turbina pasara de marcha a estela.

### 3.8 Mantenimiento a los equipos que interactúan con el sistema YAW

**Cambio de Motorreductora.-** Cada 6 meses se realiza una inspección visual de las motorreductoras aunque estas pueden fallar en cualquier momento dependiendo de su límite de vida en el sistema de frenado YAW y las condiciones de viento que se presenten en la máquina. Así como el ajuste de los motores en las reductoras. Verificar el par de apriete de las motorreductoras.





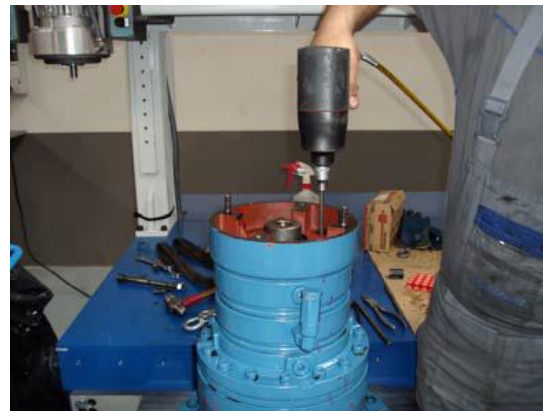
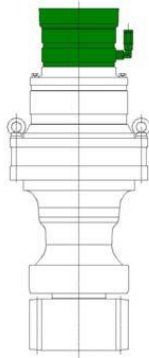
**Fig. 3.54** Cambio de reductora.

**Sustitución de etapa planetaria en reductoras.-** Para empezar el trabajo se debe asegurar la reductora al banco de trabajo de forma que el desmontaje se realice de forma cómoda y segura evitando que en cualquier momento la reductora pueda moverse. A continuación proceder a quitar el aceite que baña los trenes mecánicos soltando el tapón de drenaje con una llave Allen de 8 y colocando una cubeta para recogerlo.



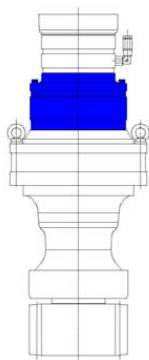
**Fig. 3.55** Drenado de aceite.

Marcar con un rotulador permanente todas las uniones para que en el montaje sirva de guía y se deje como estaba. **Desmontaje de la 1ª etapa planetaria o tren de entrada.** Soltar los tornillos de la tapa de la 1ª etapa planetaria con una llave Allen de 6 para ir poco a poco quitando los solares, los satélites, las coronas y las bridas, así como las juntas que componen el tren de entrada con ayuda de dos cinceles.



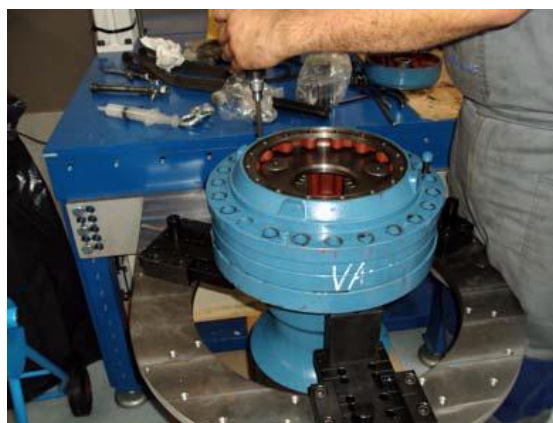
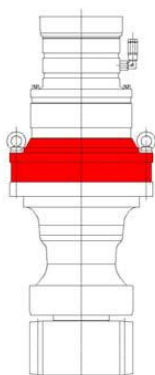
**Fig. 3.56** Desmontaje de la 1ª etapa.

**Desmontaje de la 2ª etapa planetaria o tren intermedio.** Cuando se haya llegado a la primera reducción, con una llave Allen de 8 quitar la tapa de la 2ª etapa planetaria y quitar, igual que en la etapa anterior, los solares, satélites, coronas, bridas y juntas que componen el tren intermedio del sistema planetario de la reductora.



**Fig. 3.57** Desmontaje de la 2ª etapa.

**Desmontaje de la 3ª etapa planetaria o tren de salida.** Soltar los tres tornillos colocados a 120° entre ellos, de la tapa de la 3ª y última etapa planetaria colocada en el sistema con una llave Allen de 8 y quitar el solar, los satélites y la corona que componen el tren de salida. Quitar también la arandela que queda debajo de la porta satélites.



**Fig. 3.58** Desmontaje de la 3ª etapa.

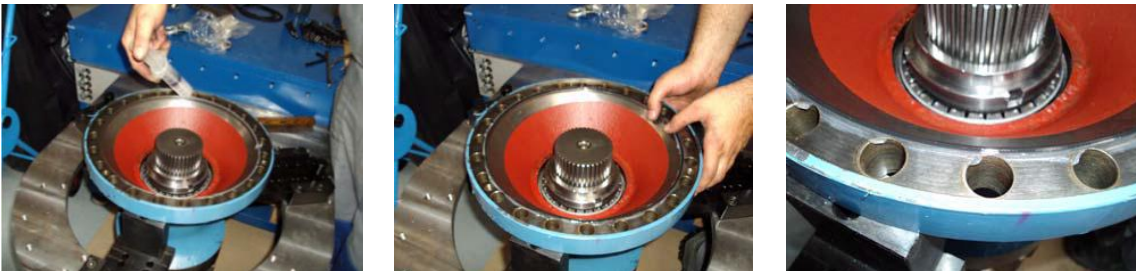
**Limpieza de los trenes.-** A continuación proceder a limpiar todas las piezas que componen la reductora. Para la limpieza se puede utilizar una hidrolavadora. Si no se dispone de ella habrá que hacerlo mediante papel y disolvente eliminando cualquier tipo de viruta y aceite que haya podido quedar en las partes de la reductora.



**Fig. 3.59** partes de la reductora.

Una vez estén todas las partes de la reductora limpias de viruta y aceite proceder a su montaje. **Montaje de los trenes.**- El montaje se hará de forma inversa al desmontaje, colocando en primer lugar la arandela, que va debajo del tren estropeado, para posteriormente, ir colocando los satélites, planetarios y corona del tren de salida.

Después de introducir la arandela hay que colocar la junta tórica en la unión entre la base del tren de salida y la corona. Para ello dar una fina capa de silicona Bessil 20 mediante una jeringuilla en la ranura en la que va alojada la junta e ir colocándola suavemente asegurándose de que queda bien asentada y no hay posibilidad de pillarla al ensamblar la corona.



**Fig. 3.60** Montaje de las etapas de la reductora.

A continuación colocar el tren reforzado, y terminar de colocar el resto de componentes que conforman el tren mecánico, (Corona, junta tórica, brida) haciendo coincidir las marcas que se han hecho previamente. Apretar entonces los tres tornillos. Para finalizar el montaje de la reductora, se debe sustituir tanto el rodamiento como el retén en la entrada de la reductora.

Para ello, quitar la grupilla y extraer el rodamiento junto con el eje y el retén con ayuda de la maza de nylon. Seguidamente soltar la grupilla que asegura el rodamiento y extraerlo del eje. Calentar el rodamiento mediante un soplete para poder introducirlo en el eje y colocar la grupilla y una vez se han montado todos los trenes se procederá a la comprobación de la estanqueidad de la reductora.





**Fig. 3.61** Introducción del rodamiento al eje.

### 3.9 Revisión del reglamento para medidas de seguridad

La finalidad de este apartado es informar sobre las normas de seguridad generales durante cualquier trabajo que se realice en parque, con aerogeneradores AW1500. En cualquier caso, siempre se deberá cumplir la normativa de seguridad indicada por el propietario de cada parque. Estas normas abarcan las reglas y procedimientos de seguridad generales.

**Condiciones atmosféricas.** - En caso de tormenta con aparato eléctrico, se abandonará inmediatamente el aerogenerador y la persona se refugiará en la subestación o en el vehículo. Se actuará de igual modo si la persona se encuentra en cualquier otro lugar del parque eólico ya sea este en operación o no esté operando.

Toda operación que implique salir al exterior de la nacelle en condiciones de falta de visibilidad (de noche o con niebla intensa), con nieve o hielo sobre las superficies o bajo lluvia intensa estará completamente prohibida. Se podrán realizar trabajos puntuales desde las trampillas de salida al exterior de la nacelle estando la persona convenientemente atada a un punto de anclaje resistente del interior de la nacelle.

Se suspenderán o aplazarán todos los trabajos en presencia de densa niebla que impidan tener una visión simultánea y permanente de todos los equipos de trabajo y personas implicadas en la operación (maniobras con polipasto en las que no se tenga una visibilidad completa del recorrido de la carga, trabajos con grúa que no garanticen el contacto visual permanente gruísta-nacelle y viceversa).

También, bajo condiciones atmosféricas adversas (niebla intensa, lluvia fuerte y nieve que colapse las pistas de acceso a los aerogeneradores y que dificulte la circulación de los vehículos) se prohíbe toda operación clasificada como de “gran correctivo” (cambio de rodamientos, cambio de palas, eje lento, multiplicadora y generador).

En caso de posibilidad de presencia de hielo o nieve en la turbina, vigilar desde lejos para asegurarse que no existe riesgo de desprendimiento conforme nos acercamos a la máquina. En estos casos los trabajos con plataformas elevadoras



estarán estrictamente prohibidos, así como también el uso de polipastos y elevar material pesado.

En estos casos, si las condiciones de acceso seguro a los aerogeneradores lo permiten, se realizarán los siguientes movimientos de pitch con cada una de las palas: Llevar la pala a 0° y a continuación pulsar una seta para llevar la pala rápidamente a 90° para tratar de quitar el hielo o la nieve en las palas, si esto no sucede se cancela actividades.

**Temperaturas bajas extremas.-** Las limitaciones del tiempo de exposición y tiempos de recuperación en función de la temperatura, velocidad de viento y actividad metabólica de la tarea a realizar. Se tomaran las siguientes medidas de precaución para los trabajos ligeros en exterior: supervisión de trabajos a pie, andando despacio, manipulando materiales pequeños). Las condiciones de temperatura y viento limite están en el anexo D.

**Medidas preventivas a adoptar.-** Los tiempos de recuperación durarán entre 1 hora y 3 horas, en un local a una temperatura de entre 22°C (71 °F) y 25°C (77 °F), donde sea posible quitarse la ropa y tomar bebidas calientes. El tiempo de recuperación puede ser menor si durante el descanso se realizan trabajos ligeros. Evite en todo momento que su ropa se moje o humedezca, ya que se generará una pérdida de calor que facilitará la aparición de síntomas de hipotermia.

Por ello, quítese la ropa si su actividad física aumenta, y por tanto tiene más posibilidades de sudar. Así mismo, retírese la ropa húmeda o mojada tras los descansos. Realice descansos periódicos en una zona cálida. Adecúe la cantidad de ropa que lleva. Le recomendamos que tome bebidas calientes y dulces (recomendable así mismo, las bebidas para deportes). Evite las bebidas con cafeína (café, té, chocolate caliente) y por supuesto el alcohol.

Siempre que sea posible, protéjase del viento, realizando sus trabajos en zonas cubiertas o apantalladas. No toque con la piel descubierta, materiales metálicos que puedan estar a una temperatura inferior a los -7°C (19 °F). Utilice guantes anti contacto. No realice trabajos en solitario. Programe sus trabajos diarios en función de los límites de exposición establecidos en base a las condiciones meteorológicas a las que esté expuesto.

**Temperaturas altas extremas.-** Las afecciones más comunes en exposiciones a temperaturas altas extremas son, golpe de calor: Ante la sospecha de la existencia de un golpe de calor es imprescindible ofrecer asistencia médica inmediata al afectado. Los primeros auxilios incluyen el traslado del afectado a un área fresca, soltar y humedecer su ropa con agua fría y abanicar intensamente a la víctima para refrescarla.

Agotamiento por calor: El tratamiento en estos casos consiste en hacer descansar a la víctima en un lugar fresco y consumir grandes cantidades de líquido. Cuando no se produzca la recuperación espontánea con este tratamiento es conveniente

ofrecer

asistencia

médica, calambres: Los calambres pueden presentarse durante o después de las horas de trabajo. Pueden ser aliviados consumiendo bebidas isotónicas o líquidos ricos en sal.

**Trabajos en horarios nocturnos.-** Quedan prohibidos siempre los siguientes trabajos de mantenimiento en horario nocturno: Salidas de personas al exterior de la nacelle, utilización del polipasto salvo que se disponga de iluminación artificial adecuada, es decir, focos o luminarias de carácter fijo o portátil diseñados para tal efecto y que garanticen la correcta iluminación del área de trabajo, de las vías de circulación o de paso.

Actuaciones programadas y por tanto planificadas cuya duración prevista de entrada se salga del horario solar de la época en la que nos encontremos. En lo que a “mantenimientos correctivos” se refiere, en la medida de lo posible se aplazarán hasta el día siguiente siempre que se prevea que no finalizarán antes del horario considerado como nocturno.

Excepcionalmente, en el supuesto de encontrarse trabajando en la nacelle y de echarse la noche encima como consecuencia de haberse complicado la reparación, podrá descenderse la herramienta con el polipasto extremando las precauciones. En estos casos, si el trabajo se va a prolongar demasiado, se suspenderá y se reanudará en la siguiente jornada.

En horario nocturno estarán permitidos los siguientes trabajos tanto en el “Ground” como en la nacelle: Mantenimientos correctivos “menores” o pequeños trabajos sin riesgo eléctrico que sólo requieran la utilización de herramientas manuales, tales como rearme de aerogeneradores, ajuste de inductivos, sustitución de pequeños componentes que quepan en la bolsa portaherramientas del operador. Véase las velocidades de viento límite en el anexo E.

En caso de que la instrucción para realizar una operación en concreto indique un límite de velocidad de viento inferior, se tomará siempre el límite más restrictivo. En caso de que la maquinaria utilizada (plataformas elevadoras y grúas) indique un límite de velocidad de viento inferior, se tomará siempre el límite más restrictivo. Criterios para limitar los trabajos por viento:

Los valores se tomarán siempre con la máquina orientada hacia el viento. Cuando la última media diezminutal sea mayor al límite establecido (entendiendo ésta como la recogida de valores de viento cada diez minutos durante una hora), cuando la última media diezminutal sea menor que el límite establecido, pero se den picos, de viento 4 unidades por encima de los límites indicados y además la previsión para las próximas cinco horas sea de un aumento de la velocidad.

Si durante el desarrollo las tareas cambiaran las condiciones, el responsable de la misma valorará si parar o continuar en función del riesgo que suponga una cosa u otra. Las funciones del responsable podrán ser asumidas por personal de la

empresa propietaria de las instalaciones capacitado para ello y que se encuentre en el lugar.

**Equipos de protección a utilizar.-** Todos los equipos de protección individual cumplirán las siguientes condiciones generales: Cumplir con la legislación aplicable (CE y ANSI), se recomienda la utilización de ropa ignífuga, se conservan y revisan conforme a las instrucciones de montaje. Los usuarios han recibido información sobre su correcto uso y mantenimiento.

Relación de equipos de protección individual a utilizar. - Además de los indicados en cada instrucción de trabajo, en la evaluación de riesgos y en la normativa de seguridad del propietario de las instalaciones, los equipos de protección individual (EPI's) a utilizar serán: Para subir y bajar por el interior del aerogenerador, independientemente que exista elevador, y para trabajos en alturas superiores a 2 metros.

Para trabajos en el suelo son: Casco con barbiquejo, guantes, botas de seguridad, chaleco o ropa de alta visibilidad en todo momento en parques en construcción o en grandes correctivos (con grúas) en parques en mantenimiento. Para realizar trabajos eléctricos en baja tensión: Guantes dieléctricos, pantalla de protección y calzado aislante.

Para realizar maniobras en celdas: Guantes aislantes clase 3 categoría RC, equipo de puesta a tierra: Conforme a legislación o estándares aplicables siguiendo siempre la IU de AW correspondiente, equipo para detección de la ausencia de tensión según IU de AW correspondiente. El uso de las gafas de seguridad es recomendable durante todos los trabajos y obligatorio en las siguientes circunstancias:

1) Siempre que se realicen tareas en la que exista exposición a proyección de partículas. 2) Todas las operaciones en las que se utilicen los traccionadores. 3) Manejo de herramientas que puedan producir proyección de partículas; radial, taladro. 4) Utilización de aire comprimido (soplados). 5) Intervenciones en circuitos hidráulicos que tienen o han podido tener presión 6) Corte de flejes metálicos y plásticos 7) Utilización de disolvente.

**Uso y mantenimiento del arnés.-** Para la retención de caídas, sujeción al trabajo y sistema de retención. Ajustárselo lo máximo posible, sin que nos reste movilidad. El anti caídas se sujeta a los anclajes pectorales. La cuerda de seguridad con disipador, al frontal o al dorsal (trasero superior entre omoplatos). Las anillas laterales no están diseñadas para la protección anti caídas.

**Cabos de anclaje disipador de energía.-** Uso: Para anclarnos a un punto de anclaje y minimizar los efectos de una eventual caída. Siempre con mosquetones de seguridad. Mantenimiento: Inspección ocular, prestar especial atención a las costuras. Hacer que lo revisen en caso de sufrir una caída, aunque aparentemente

no

presente daños.

Lavado con jabón neutro y secar en lugar ventilado sin calefacción. No exponer a productos químicos ni altas fuentes de calor.

**Mosquetones de seguridad.-** Como conectores. Siempre que se usen, con el cierre roscado. Evitar palancas, golpes y cargas transversales. No conectar el mosquetón del anti caídas sobre otro mosquetón, anclarlo directamente sobre los anclajes del arnés. Mantenimiento: cierre con cuidado de no contaminar los elementos textiles del E.P.I. Hacer que lo revisen en caso de sufrir una caída, aunque aparentemente no presente daños.

**Anti caídas (antec. modelo cab max).-** Conexión a la línea de vida vertical. Probarlo manualmente antes de usar (no colgándose de él). Recordar de nuevo no anclar el mosquetón del anti caídas sobre otro mosquetón, conectarlo directamente sobre los anclajes del arnés. Mantenimiento: Limpiar con jabón neutro, solo en caso de extrema suciedad, secar y engrasar. Hacer que lo revisen en caso de sufrir una caída, aunque aparentemente no presente daños.

**Mosquetón gran apertura.-** Auto aseguramiento para acceder y salir del tubo en altura. Auto aseguramiento en la nacelle. Mantenimiento: Inspección ocular. Limpiar con jabón neutro, aclarar y secar. Engrasar cierre con cuidado de no contaminar los elementos textiles del E.P.I. Hacer que lo revisen en caso de sufrir una caída, aunque aparentemente no presente daños. Evitar palancas.

**Casco.-** Protección contra golpes en la cabeza por objetos caídos y en caso de caída del portador. Utilizarlo en cuanto estemos bajo el aerogenerador y siempre que exista riesgo de caída propia o de objetos situados por encima. El barbiquejo siempre atado. Mantenimiento: Lavar con jabón neutro y secar en lugar fresco y ventilado. Hacer que lo revisen en caso de sufrir una caída, aunque aparentemente no presente daños.

**Acceso al aerogenerador.-** Antes de acceder a cualquier parque se deberá informar y pedir permiso al responsable de las instalaciones conforme al procedimiento establecido en cada parque. Sólo se permite el acceso a la nacelle y/o la permanencia en los tramos de tubo o nacelle para cualquier tipo de actividad, en los siguientes casos: a) Máquina sin energizar. b) Máquina en emergencia. c) Máquina en manual sin activación de pruebas.

Para poner la maquina en manual se seguirá con lo descrito en la instrucción correspondiente. Siempre que realice cualquier tipo de tarea en el aerogenerador, el equipo estará compuesto por dos personas como mínimo. Asegúrese, antes de subir, que el intercomunicador funciona adecuadamente y su batería va a aguantar toda la maniobra.

**Acceso con elevador.-** Antes de utilizarlo revise lo siguiente. El manual está accesible en la cabina. El bloqueo electromecánico se encuentra en la posición "LOCK" y la llave de desbloqueo no se encuentra en la cabina del elevador, de

manera que no es posible abrir la puerta salvo cuando el elevador se encuentra en la parada inferior o en la superior.

No utilizar la máquina en caso de que presente o haya presentado algún defecto en su funcionamiento. No tratar de reparar o mantener los componentes integrados de la máquina (motorreductoras, por ejemplo). Sólo los técnicos especializados pueden realizar una intervención con garantías sobre esos equipos. El recorrido de la máquina está libre, es decir, no hay ninguna persona ni objeto sobre la escalera, en toda su altura.

**Procedimiento de trabajo en instalaciones eléctricas.-** Para poder intervenir en las instalaciones eléctricas de alta, media o baja tensión de los aerogeneradores “acciona windpower”, cualquier trabajador, propio o de contrata, debe estar capacitado, como mínimo, como “trabajador autorizado” y por tanto debe acreditar ante “acciona windpower” lo siguiente:

Haber recibido formación e información sobre riesgos eléctricos; causas y efectos de los contactos eléctricos, directos, indirectos, arco eléctrico, quemaduras y explosiones eléctricas, y caídas o contusiones como consecuencia de arcos eléctricos. Haber recibido formación en “medidas de prevención frente al riesgo eléctrico”; medidas que intenten evitar los riesgos (muy específicamente, las cinco reglas de oro), y medidas de protección frente a ellos.

Haber recibido formación en “zonas y distancias de proximidad y peligro” a partes activas en tensión, al menos para las tensiones existentes en los Aerogeneradores AWP. Haber recibido formación en “primeros auxilios” en caso de accidentes eléctricos. Conocer las normativas y las Instrucciones de las instalaciones de los aerogeneradores acciona windpower.

Sin esta acreditación mínima, que debe ser personal, queda totalmente prohibida la intervención u operación en las instalaciones de alta, media o baja tensión de los Aerogeneradores acciona windpower. Los trabajos eléctricos que requieran conocimientos especializados, formación adecuada o experiencia específica en ellos deberán ser realizados o supervisados directamente por un Trabajador capacitado como “Trabajador Cualificado”.

Estarán prohibidos los trabajos en el foso de la máquina sin antes haber desenergizado el aerogenerador. Se requiere la desenergización siempre previa al inicio de los trabajos en este espacio. Tras desenergizar se podrá utilizar un generador externo para apoyo en tareas de instalación, puesta en marcha o mantenimiento, siempre que el voltaje sea de 400V o menos.

Es obligación de todo personal, propio o de contrata, que intervenga en la operación o maniobra del sistema eléctrico de alta, media o baja tensión de los Aerogeneradores acciona windpower, conocer y seguir estrictamente las instrucciones contenidas en las citadas Instrucciones de Uso y Mantenimiento que



a tales efectos residen en cada una de los centros de trabajo o de control de los parques eólicos que corresponda.

Existen específicamente instrucciones de uso y mantenimiento para los siguientes trabajos: Manipulación de las celdas, retrofits de cualquier tipo en el generador, operaciones dentro del equipo de potencia, operaciones dentro del armario “Ground” (zona de fuerza). Las Instrucciones de uso y mantenimiento, también llamados “procedimientos de operación”, son la:

“Secuencia de las operaciones a desarrollar para realizar un determinado trabajo, con inclusión de los medios materiales y humanos necesarios para llevarlo a cabo.” Las instrucciones de uso y mantenimiento contienen por tanto la descripción de la secuencia de maniobras ordenadas por pasos para ejecutar una determinada acción (abrir, cerrar, poner a tierra, etc.) para cada uno de los módulos o celdas de alta o media tensión de las instalaciones.

Se entenderá por “trabajo eléctrico”, cualquier trabajo realizado sobre una instalación eléctrica o en su entorno, tal como los ensayos y medidas, reparación, sustitución, modificación, instalación, mantenimiento o verificación. La organización de todo “trabajo eléctrico” implica obligatoriamente, como mínimo, la identificación del “responsable de la instalación” y la delimitación precisa de una “zona de trabajo”.

La realización de un trabajo eléctrico sin tensión requerirá siempre la configuración de una zona de trabajo concreta, segura y bien delimitada cuyas características serán las siguientes: Para conformar una zona de trabajo para trabajar sin tensión se aplicarán siempre las denominadas “cinco reglas de oro” que son las que se verán a continuación:

Corte efectivo de todas las fuentes de tensión, enclavamiento, detección de ausencia de tensión, puesta a tierra y en cortocircuito, señalar la zona de trabajo, es responsabilidad del jefe de trabajos conformar y delimitar la zona de trabajo. La delimitación física de la zona de trabajo quedará definida por las puestas a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión.

Por lo general, las puestas a tierra y en cortocircuito que delimitan físicamente la zona de trabajo deben ser visibles por el trabajador desde dicha zona de trabajo. En el caso de que esto no pudiera ser, el trabajador, en su zona de trabajo deberá disponer de algún sistema que le garantice que la puesta a tierra y en cortocircuito que no puede ver desde su zona de trabajo, está eficazmente instalada. En este sentido pueden valer, entre otros dispositivos, los siguientes:

Posesión de llave única de bloqueo y enclavamiento de seccionador de tierras cerrado. Llave única de candado que bloquee el seccionador de puesta a tierra cerrado. Trabajador específico para vigilar la puesta a tierra. Materiales y herramientas En relación con los materiales o herramientas a usar en los trabajos

eléctricos, se

seguirán las siguientes: Se conservarán en sitio seco y nunca a la intemperie. Se transportarán en fundas y estuches apropiados.

Cada operario dispondrá en la zona de trabajo de un equipo de protección personal que constará de casco aislante, guantes de protección mecánica y gafas de protección, o pantalla facial inactiva. Según el trabajo a efectuar, el operario estará equipado con calzado especial con suela conductora, guantes aislantes, manguitos aislantes y herramientas aislantes.

En función de las condiciones de explotación de las instalaciones, se establecen dos regímenes de operación; Régimen de operación normal o no restrictivo. Régimen de operación especial o restrictiva. La declaración del “régimen de operación” es competencia exclusiva del Responsable de cada uno de los parques. Las condiciones que determinan el régimen de operación son las siguientes:

Régimen de operación normal o no restrictivo. Se considerará este régimen de operación cuando la condición de explotación del sistema eléctrico a operar no ofrezca dudas de su plena capacidad de maniobrabilidad operativa y funcional, y cuando las condiciones atmosféricas no impliquen riesgos razonables de intervención. Se considerará régimen normal de operación cuando:

La instalación ya ha estado sometida a tensión. Cuando no existan “alarmas” activas en el sistema. Cuando la instalación ha sido revisada y comprobada con éxito de acuerdo con el protocolo de comprobaciones previas a la energización que se tiene establecido para cada tipo de aerogenerador. Cuando no existan condiciones meteorológicas o atmosféricas adversas entendiendo como tales, las tormentas, lluvias y vientos fuertes.

Cuando de la inspección visual de la instalación previa a la intervención no se detecten anomalías que hagan sospechar incremento de riesgos en la intervención, tales como ruidos anormales, humedades, olores, humo, vibraciones anormales, etc. En este régimen de operación normal, serán de aplicación directa las Instrucciones tal y como están definidos sin ninguna otra restricción.

Régimen de operación especial o restrictiva. Se considerará régimen de operación especial o restrictiva cuando las condiciones de explotación del sistema eléctrico a operar ofrezcan dudas razonables de su plena capacidad de maniobrabilidad funcional, o cuando las condiciones atmosféricas sean adversas. Se considerará régimen especial o restrictivo de operación cuando:

Es la primera vez que se energiza la instalación, cuando existan alarmas activas en el sistema. cuando se maniobra para la detección y localización de una avería en el sistema, cuando la instalación que va a recibir tensión, lleve des energizada más de tres días seguidos y no haya sido revisada y comprobada con éxito de

acuerdo con el protocolo de comprobaciones previas a la energización que se tiene establecido para cada tipo de aerogenerador.

Cuando existan condiciones meteorológicas o atmosféricas adversas entendiéndose por tales “cuando se vean relámpagos o se oigan truenos, o en caso de inminente aproximación de una tormenta acompañada de relámpagos. Cuando de la observación visual de la instalación previa a la intervención se detecten anomalías que hagan sospechar incrementos razonables de riesgo, tales como ruidos anormales, humedades, olores, humo, vibraciones anormales.

Cuando a pesar de que la instalación haya sido revisada y comprobada de acuerdo con el protocolo de comprobaciones previas a la energización que se tiene establecido para cada tipo de Aerogenerador, existan dudas razonables de incremento de riesgo en la intervención. En este régimen de operación especial o restrictiva se adoptarán las medidas complementarias a las Instrucciones tendientes a la eliminación del riesgo.

En la adopción de estas medidas se dará prioridad a Que sean maniobradas sin tensión en alta tensión. Que cuando tengan que ser energizadas esta operación se realice sin presencia de personal en el interior de la misma. Que la energización a distancia de la instalación se realice bien desde un interruptor seccionador, si el riesgo es moderado o bajo, o bien desde un interruptor disyuntor si el riesgo es moderado alto.

**Trabajos en baja tensión.-** Los tipos de trabajo en baja tensión en los que se deberán seguir los requisitos que se contemplarán en este capítulo son: Conexión y desconexión de la línea en entrada. Por ejemplo, para el recambio del cabezal de entrada o de la caja de conexión. - Montaje de interruptores de la red y fusibles en líneas de reparto. Montaje y desmontaje de descargadores de sobretensión.

Recambio de bornes en conductores de corriente. Montaje de manguitos en derivación de cables y de empalmes. Conexión y desconexión de cables en distribuidores. Montaje y desmontaje de las partes inferiores de fusibles y laminillas-fusible en distribuidores. Reapriete de bornes, Recambio de cajas de conexión, Trabajos en cajas de conexión. Por ejemplo, el recambio de las partes inferiores de fusibles.

**Trabajos en contacto.-** En este método el operario se aísla del conductor por medio de dispositivos y equipos aislantes. Protección del operario Con accesorios aislantes (pantallas, vainas...) para cubrir conductores desnudos o que presenten aislamiento defectuoso, los aisladores y las masas. Con dispositivos aislantes (plataformas, banquetas, alfombras). Utilizando protección personal (guantes, gafas, casco). Utilizando ropa de trabajo normal que cubra brazos y piernas.

**Trabajos a distancia.-** En este método el operario ejecuta el trabajo a distancia con la ayuda de herramientas montadas en el extremo de pértigas o aislantes. Por

alejamiento de los conductores a distancias prescritas, por medio de pértigas o dispositivos aislantes. Utilizando protección personal (guantes, gafas, cascos). Utilizando ropa de trabajo normal que cubra brazos y piernas.

**Trabajos en alta tensión.-** Trabajos sin tensión en alta tensión. Se entenderá por trabajo sin tensión en alta tensión a todo trabajo realizado en instalaciones eléctricas sin tensión y sin carga eléctrica que se realiza después de haber tomado todas las medidas para prevenir el riesgo eléctrico, entre las más fundamentales, la aplicación de las “cinco reglas de oro”.

Trabajos en proximidad en alta tensión. Se entenderá por trabajo en proximidad, a todo trabajo durante el cual el Trabajador entra, o puede entrar, en la zona de proximidad, es decir, invadiendo la distancia “Dprox” a un punto desnudo en tensión, sin entrar en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que manipula.

Los trabajos en proximidad deben limitarse a los estrictamente imprescindibles, y siempre cumpliendo los siguientes requisitos: Todo trabajo en proximidad debe ser expresamente autorizado por el responsable de instalación. El trabajo en proximidad debe estar precedido por un plan específico de seguridad para ese trabajo concreto, en donde se determinen claramente los riesgos posibles, los puntos en tensión, el método de trabajo a realizar y las medidas de prevención.

Dentro de las medidas de prevención a adoptar estará el nombramiento de un trabajador autorizado cuya misión específica será el control de los movimientos del trabajador o trabajadores que puedan invadir la zona de proximidad al objeto de velar porque en ningún caso puedan llegar a invadir la distancia de peligro al punto en tensión.

**Situación de las setas de emergencia.-** la máquina dispone de 5 botones de parada de emergencia, localizadas en los siguientes puntos: armario de “Ground”, plataforma del tercer tramo, grupo hidráulico, armario de top, soporte delantero eje lento. El freno mecánico es un freno de parking que solo se activa si una seta de emergencia es pulsada, activándose dicho freno de parking a los 10 segundos de ser activado cualquier pulsador de emergencia de la máquina.



**Fig. 3.63** Botón de paro de emergencia.

La activación del freno se produce de las siguientes formas: Instantáneamente si: Se presiona cualquiera de las setas de emergencia situadas en la nacelle o en la plataforma superior de la torre. Se presiona la seta situada en el armario de Ground, el aerogenerador se encuentra en modo “MANUAL – MANTENIMIENTO” y la velocidad del generador es menor que 650 rpm.

Con un retardo de 15 segundos en los aerogeneradores AW1500 si se presiona la seta situada en el armario de “Ground” en cualquier estado de máquina excepto en modo “MANUAL – MANTENIMIENTO” y la velocidad del generador es menor que 650 rpm. Existen tres tipos de paradas de emergencia: Parada de Emergencia 1 (SS1): Parada aerodinámica mediante freno aerodinámico (pitch) instantánea.

Parada de Emergencia 2 (SS2): Parada aerodinámica mediante freno aerodinámico (pitch) instantánea, más Parada con el freno de disco, después de un tiempo de retardo Parada de Emergencia 3 (SS3): Parada aerodinámica mediante freno aerodinámico (pitch), más Parada con el freno de disco instantánea. Para resetear una parada de emergencia y volver a poner en marcha la máquina se seguirá con lo descrito en la instrucción correspondiente.

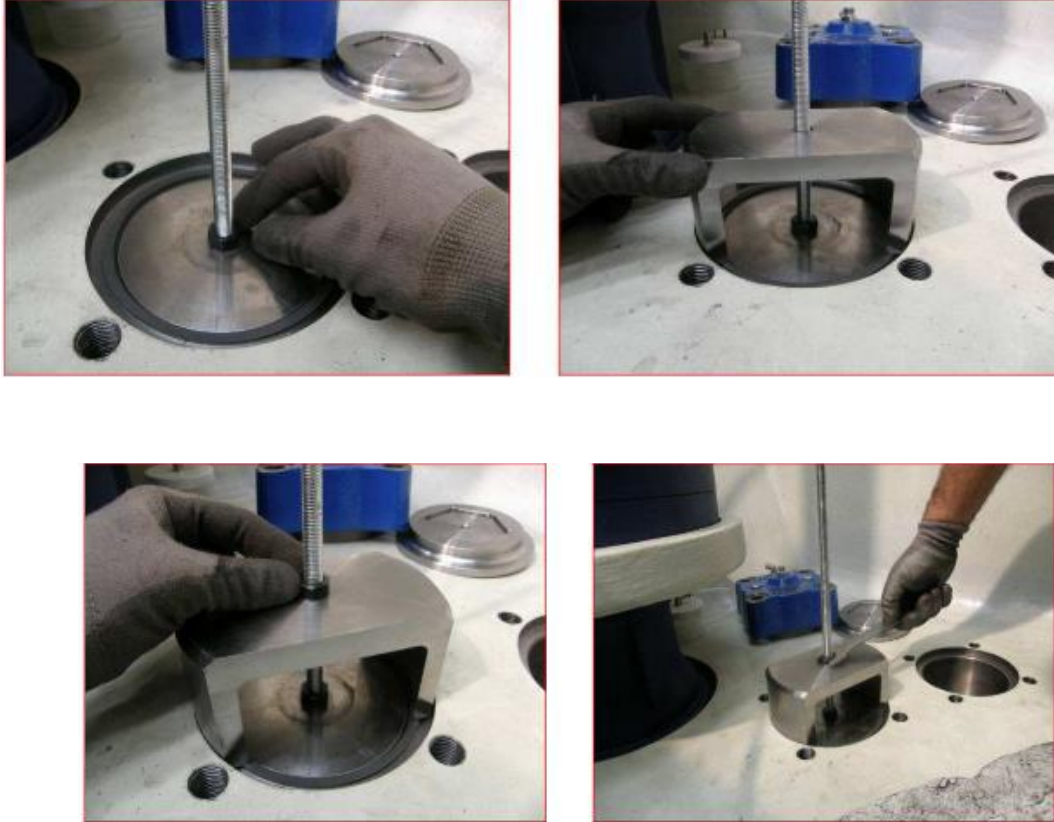
### 3.10 Inspección de los frenos del sistema

**Cambio freno “antec” del YAW.-** En primer lugar, debemos despresurizar el circuito hidráulico, mediante las llaves situadas en el bloque de válvulas del grupo hidráulico que se muestran en las imágenes siguientes: Aflojar la Válvula de descarga de la posición 1.25 con una Allen de 5 y cerrar la palomilla del acumulador de freno. Una vez despresurizado el circuito, desmontaremos los latiguillos de presión con cuidado de que el aceite no llegue a la corona YAW.

Soltar los 4 tornillos de M20 mediante el atornillador eléctrico. Levantamos la pinza con la palanca, y la retiramos en el caso de empujador y pastilla en pieza única, quitamos el anti giro y con la ayuda de dos cáncamos de M8 sacamos el conjunto empujador + pastilla. En el caso de que empujador y pastilla sean dos piezas separadas sacamos el empujador con dos tornillos de M8.

Podemos ver en el fondo del alojamiento un orificio roscado de M8. Para la extracción de la pastilla actuamos del siguiente modo: Roscamos la varilla M8 a la pastilla de freno y con una tuerca de M8 la bloqueamos a continuación introducimos el útil por la varilla y lo apoyamos sobre la camisa metemos una arandela de 8 y roscamos una tuerca M8 hasta la parte superior del útil. Con una llave de 13 roscamos la tuerca y a pastilla saldrá lentamente.





**Fig. 3.64** Extracción de pastillas del YAW.

A) Para sacar la camisa, utilizamos el siguiente útil. Ayudados por los centradores del útil introducimos el utillaje hasta el fondo. Una vez que nos hemos asegurado de que el utillaje ha tocado fondo, mediante dos llaves inglesas sacamos el espárrago del interior hasta que las garras se abran progresivamente y se introduzcan entre el hueco que queda entre el final de la camisa y la fundición.





**Fig. 3.65** Extracción de las pastillas del YAW.

Una vez expulsada la camisa dañada limpiamos cuidadosamente los restos de aceite en el bastidor y corona y soplamos con aire por los diferentes orificios. Para introducir la camisa nos ayudamos de una pequeña mazo para introducirla poco a poco. Introducir la pastilla en las camisas.- Para facilitar la introducción de las pastillas se puede engrasar ligeramente la camisa, pero no la pared de la pastilla.



**Fig. 3.66** Extracción de la camisa del YAW.

El aceite no debe llegar a la corona. Se coloca un segmento de fibra en el alojamiento inferior del empujador y se introduce en la camisa. Una vez que el segmento ha entrado completamente en la camisa, se coloca el superior y se procede de igual forma. Para su manipulación durante el montaje se puede roscar un tornillo de M8 en uno de los agujeros de la parte superior. Colocar el disco anti-giro sobre el empujador y colocar el bloque en el alojamiento del disco.



**Fig. 3.67** Incrustación de la camisa.

Una vez colocada la pinza en su posición, la giraremos un poco para comprobar que está correctamente colocada y pondremos los tornillos nuevos atornillándolos a mano hasta que hagan contacto con la pinza. A continuación daremos un pequeño apriete en diagonal a los 4 tornillos con la llave de carraca, y daremos el par primero con 240 Nm, y a continuación, daremos el par definitivo de 490Nm siempre en diagonal.



*Fig. 3.68 Frenos antec.*

### 3.11 Análisis de las fallas registradas en los aerogeneradores del parque eólico.

En este apartado se informará sobre las fallas registradas en los aerogeneradores AW1500 del parque eólico eurus, se detallan las actividades programadas para resolver dichas fallas. El personal encargado deberá llevar consigo el correspondiente equipo de protección individual para evitar cualquier percance dentro del parque eólico.

**Cambio de multiplicadora por desgaste en sistema de engranes.-** Para sustituir la multiplicadora primero desmontaremos todo lo que nos vaya a molestar o necesitemos soltar porque de una u otra manera esté relacionado con la multiplicadora. Desconectar el cableado del polipasto, tierras y los demás cables que van al bornero que hay en la carcasa superior.

Si es de bajas temperaturas el cable del sónico hay que des cablearlo en el KBT Tapar las puntas de los cables con cinta aislante. Hay que soltar también las lonas para la extracción de calor que unen el generador y el intercooler de la multiplicadora con la carcasa. Quitar la cadena del polipasto, lo primero que haremos será quitar el tubo para poder soltar el soporte y el gancho de la cadena.

Con todo quitado pasar la cadena para atrás impidiendo que el último eslabón de la cadena caiga por el tubo. Para pasar la cadena otra vez hay que colocar una brida larga. Pasarla por donde va la cadena, el eslabón que va primero se coloca en su posición y se le da avance desde el mando. Una vez pasada hay que volver a montar todo (gancho, muelle).

A continuación, alguien deberá subirse a la parte superior, estará siempre amarrado de dos puntos a las barras de sujeción. Descolgará dos cuerdas para poder controlar la bajada de la capota y colocará un grillete enganchado a una cincha en cada vértice de los amarres de la capota, para luego amarrar las cinchas al gancho de la grúa (ver fig. 3.69)





**Fig. 3.69** Amarres en la capota.

Des cablear la caja de la multiplicadora y los frenos del disco. En caso de que el motor de la recirculación sea externo al conjunto de la multiplicadora soltar los latiguillos hidráulicos. Si la multiplicadora es para bajas temperaturas soltar los latiguillos que unen la multiplicadora con la bomba y las resistencias (ver fig. 3.70). Estando sueltos soltar el soporte del bastidor y dejarlo apoyado en la carcasa. Habrá que engancharlo de un polipasto ya que su peso es considerable.



**Fig. 3.70** Conjunto de bajas temperaturas de la multiplicadora.

Enganchar la multiplicadora a la grúa. Destraccionar los pernos de los silent-block y sacar los bulones de los silent-block, para sacar los bulones la cadena de la grúa tendrá que estar tensa. Los bulones se sacan utilizando un útil de extracción. Se coloca el tubo contra el silent-block al que previamente le hemos quitado el casquillo que esta atornillado al bulón.

Se rosca una varilla roscada de métrica 30 y 1 metro de largo al bulón, poner el casquillo que antes hemos quitado al silent-block contra el tubo. Apoyar el gato hidráulico contra el casquillo, llevar la tuerca de la varilla hasta el gato y comenzar a meter presión. Con el bulón sacado quitar los silent-blocs más próximos al generador. Para bajarlos habrá una barra colgando de un lado al otro de la fibra, de esta barra colgaremos un polipasto.



Soltar el collarín. Para ello aplicaremos presión al collarín. Para cerrar el collarín utilizaremos el siguiente conjunto formado por: hembra enchufe rápido, arandela con junta, macho-macho G $\frac{1}{4}$ ", arandela con junta, "T", Manómetro, arandela con junta, macho-macho G $\frac{1}{4}$ ", arandela con junta y macho enchufe rápido. A ese enchufe rápido le conectaremos el latiguillo que viene de la bomba.

Para la presión cerrar la válvula de la bomba y comenzar a meterle aceite al collarín, cuando llegue a 170 bares podremos comenzar a soltar los tornillos del collarín. Los tornillos aflojarlos poco a poco (1/4 de vuelta) y de forma secuencial, así conseguiremos soltar todos sin que haya uno que se nos quede realmente duro. Si el collarín es de SKF hay que colocar la bomba de alta presión, la hidráulica y el tapón.

Purgar metiéndole aceite a la bomba de alta presión. Meterle aceite con la bomba al collarín habiéndole quitado antes el tapón, hasta que por el lugar donde va el tapón sale aceite. Colocar el tapón y meter aceite hasta que el collarín tenga tanta presión como para liberar el chapón de la ranura. Sacar el chapón y retornar el aceite del collarín a la bomba para que el collarín libere el eje.

La bomba de alta presión deberá estar todo el proceso en funcionamiento para no gripar el collarín. Estando el collarín suelto hay que apretar los tres tornillos que lleva por la parte de atrás para que el collarín no se nos cierre. Una vez todo suelto ya se puede sacar la multiplicadora. Para ello pondremos dos gatos con sus suplementos, los suplementos los iremos sustituyendo por otros más largos según lo necesitemos.

Los gatos se colocan apoyados en el eje lento uno a cada lado (los movimientos los harán a la vez para no cruzar la multiplicadora). Además, una tercera persona estará en continua comunicación con el gruista para decirle los movimientos a hacer. Con la multiplicadora fuera del eje bajarla para sustituirla por la nueva. Para montar la nueva limpiar con disolvente tanto el eje como el alojamiento de la multiplicadora, en caso de haber rebabas las quitaremos con una lija.

Cuando se amarre la nueva multiplicadora a las cadenas para su izado, se verificará que el eje de la misma mantiene una inclinación respecto a la horizontal de 5°, para lo que se recogerán las cadenas el número necesario de eslabones. Meter la multiplicadora ayudándonos de dos cinchas de carroceros, tener sumo cuidado de no cruzar la multiplicadora ya que sino corremos riesgo de griparla.

Se pasa la cincha por la orejeta del bastidor y se amarra un perno para que al tirar de la cincha el perno empuje la multiplicadora hacia delante. El gruista hará los movimientos necesarios y las cinchas simplemente serán de ayuda. En caso de ir dura no tirar fuerte con las cinchas ya que, si no es fácil de que se gripe, es mejor sacar y volver a meterla.

## Roturas en uniones

**atornilladas.-** De cara a unificar y clarificar las actuaciones ante la aparición de uniones atornilladas rotas en los diferentes aerogeneradores (a través de tornillos o pernos), se establecerán unos criterios de actuación. De esta manera: En caso de aparecer tornillos o pernos dañados, estos se sustituirán por nuevos, siendo necesaria la sustitución de todos los de la unión si aparecen con daño un 5% o más.

En caso de aparecer dañados menos de un 5% de la unión, se sustituirán los dañados, además de los 4 elementos adyacentes, dos a cada lado de los dañados. A partir de aquí, se comprobará el par de los 4 elementos adyacentes a los últimos sustituidos (2 a cada lado). Una vez comprobados y sustituidos los elementos, se marcarán de cara a facilitar la verificación de su apriete en posteriores mantenimientos.

**Cambio de generador AW1500.-** Tirar el interruptor automático Q5 situado en la puerta del armario Ground. Aislaremos el generador para poder soltar sus conexiones, para ello seguiremos la instrucción de “Protocolo de Maniobra de Celda”, ubicadas en el manual de Instrucciones de Mantenimiento de la máquina. Con el generador ya sin tensión subiremos a la nacelle para subir la herramienta e iniciar las tareas de preparación.

Bloquearemos el rotor colocando la T en el disco de freno, para realizar esta operación nos ayudaremos de la bomba manual, hasta que podamos meter la T y roscarla hasta el fondo. Desmontaremos el cardan. Si no hay colocado un cáncamo encima del cardan tendremos que colocarlo. Con un taladro haremos un agujero en la capota en la vertical del cardan y colocaremos el cáncamo con una chapa de refuerzo en la parte superior de la capota.

Colgaremos el polipasto en el cáncamo del techo. Amarraremos la parte central del acoplamiento con una eslinga al polipasto manual. Soltaremos las tuercas y los tornillos que unen el collarín con las bielas y las bielas con la parte central. Para aflojarlos utilizaremos la llave dinamométrica de 600 y el vaso de 41, para soltarlos del todo utilizaremos la carraca de  $\frac{3}{4}$ ” para mayor facilidad.

Una vez suelta bajarla al suelo y la dejaremos a un lado. Desmontaremos las bielas del lado del generador y las guardaremos junto con los tornillos y las tuercas. Para esta operación se pueden dejar sin desmontar las bielas que van sujetas al disco de freno. Soltar el collarín del generador. Aflojar todos los tornillos con el vaso de 24 hasta que despegue el cono del collarín. Si al aflojar todos los tornillos este no despegue, utilizaremos los tornillos de extractor.

Tirar del collarín hacia la multiplicadora y a la vez girar el mismo. Desconectar y encintar los cables de la caja de conexiones auxiliares (ver fig. 3.71) apuntando las conexiones en un papel. Si la numeración de regletas y mangueras está muy deteriorada, identificar las mangueras mirando continuidad con el armario del top y ayudándose de la ingeniería volver a colocar la numeración en las mangueras.



**Fig. 3.71** *Caja de conexiones auxiliares.*

Desconectar los cables del rotor apuntando las conexiones en un papel. Guardar la tornillería para colocarla en el generador nuevo. Desconectar los cables del estator apuntando las conexiones en un papel. Guardar el cable de tierra y la pletina para colocarlos en el generador nuevo. Desmontar el encóder del generador. No descablearlo ya que se volverá a colocar al nuevo generador.

Llegado a este punto el generador está listo para sacarlo. Quitar la capota de la nacelle para poder acceder a él con la grúa. Para quitar la capota seguir los siguientes pasos: Quitar la cadena del polipasto. Para ello primero desmontar el gancho, soltar el tornillo Allen con el que se une a la cadena y sacarla accionando el motor con el mando. Soltar también los cables de la caja de conexión y los encintarlos (el polipasto se queda en la capota).

Soltar los 2 tornillos de la chapa en la que va el cáncamo de descenso de emergencia. Soltar las bridas de las lonas de los conductos de extracción del aire de la multiplicadora y del generador. Soltar todos los tornillos de la unión de la capota y la base de la nacelle, a mano o con pistola. Dejar uno de cada esquina y soltarlos cuando la capota ya esté enganchada a la grúa.

Soltar y encintar los cables de las lámparas fluorescentes que están en la misma caja de conexiones que la veleta y el anemómetro, apuntando las conexiones en un papel. Soltar y encintar los cables de veleta y anemómetro apuntando las conexiones. Con la ayuda de un cincel, ir abriendo un pequeño hueco en la unión de la capota con el lateral de la fibra y con un cúter cortar el Sikaflex.

**Conexión del generador, alineamiento y montaje del resto de elementos.-**

Conectar los cables de veleta y anemómetro igual que estaban colocados al principio del cambio. Conectar los cables de las lámparas fluorescentes. Conectar el polipasto, volver a meter la cadena y poner el gancho. Para meter la cadena

ayudarse de una brida grande enganchada en el primer eslabón de la cadena que servirá de guía a la hora de pasar la cadena por el piñón de arrastre del polipasto.

Colocar el encóder del generador viejo. Conectar los cables del rotor y del estator poniendo especial atención ya que los cables deben quedar conectados igual que estaban. En el estator aplicar un par de 78 Nm a las tuercas M16 y en el rotor 98 Nm a los tornillos M16x40. Conectar los cables de la caja de conexiones auxiliares, pt's, ventiladores, calefacción, etc. (tener en cuenta conectarlos de la misma forma que estaban anteriormente).

Montar, con ayuda del polipasto manual, el collarín del generador dejando una distancia hasta el disco de freno de 578 mm. Ir dando par poco a poco a los tornillos de M16 hasta 190 Nm. Seguidamente, con ayuda del polipasto manual, colocar la parte central de acoplamiento así como sus correspondientes bielas. Dar un par de 650 Nm a los tornillos de las bielas y 450 Nm a las tuercas de las mismas.

Alinear el generador con el alineador láser OPTALING PLUS. Una vez alineado apretar los cuatro tornillos M24 que sujetan el generador a los Silentblocks con un par de apriete de 200 Nm. A continuación comprobar el correcto funcionamiento de los motores de los ventiladores, así como el de las pt's, veleta, anemómetro, etc. Desbloquear el rotor quitándole la "T".

**Cambio de reductoras de YAW en aerogenerador AW1500.-** Desde la pantalla táctil del GROUND, llevar la máquina a al estado de PAUSA. Esperar a que las palas alcancen la posición de seguridad y, para evitar que desde el TELEMANDO se pueda manipular el aerogenerador mientras se realizan las tareas, pulsar una SETA DE EMERGENCIA y llevar la máquina a MODO MANUAL.

Quitar la tensión que alimenta los motores de las reductoras del YAW. Para ello, tirar el contactor Q100 que se encuentra en el módulo A del armario Top. (Ver Fig. 3.72), Soltar los tornillos M10 que unen el motor con la reductora, con una llave de 17. Extraer el motor y dejarlo bien apoyado para evitar riesgos. Colocar el útil de extracción de la reductora.



**Fig. 3.72** Armario “Top” modulo A.

Para extraer la reductora de su alojamiento, una vez quitados todos los tornillos, buscar un punto de apoyo para colgar el polipasto. Con la ayuda de una cuerda y una plomada en un extremo, buscar el punto en el que el peso caiga en el centro de la reductora. Sacar la reductora de su alojamiento con el polipasto (Foto 10), colocar una bolsa de basura para evitar manchar de grasa y bajarla a la plataforma de la corona.

Buscar un punto de amarre en el entre tramo para colocar el polipasto y poder bajar la reductora al elevador. Este punto puede ser la viga que atraviesa el entre tramo, haciendo girar la nacelle hasta que coincida con el hueco del elevador. Es muy importante que quede perfectamente centrado para así evitar golpes contra el ascensor.

Apoyar con cuidado la reductora en el suelo del ascensor y soltar el gancho del polipasto. Bajar la reductora en el ascensor hasta el Ground. La reductora debe bajar sin personal que lo acompañe, por lo que deberá haber alguien abajo para que descargue la reductora estropeada y cargue la nueva. Cuando el elevador esté abajo, tanto para sacar como para introducir la reductora en el ascensor, se utilizará un polipasto y un tráctel.

La subiremos y la asentaremos. Ayudándose de un útil, que permite a partir del eje de entrada de la reductora girar los engranajes de la misma, centrar los agujeros de los tornillos de amarre de la reductora al bastidor. Colocar de nuevo el motor, cerrar Q100 y comprobar en el armario del TOP, mediante el amperímetro, que los consumos de los cuatro motores de YAW sean los adecuados.



### 3.12 Revisión e inspección de material para trabajo en turbina

**Polipastos manuales de cadena.-** Fabricados de conformidad con estrictas normas de calidad. Cuerpo de acero, liviano y súper compacto, los engranajes son mecanizados de acero templado y las cadenas de acero aleado garantizan mayor resistencia además los ganchos cuentan con un pestillo de carga de seguridad. (Ver fig. 3.73). La capacidad de estos polipastos va desde los 0.5 toneladas hasta 5 toneladas.



*Fig. 3.73 Gancho con pestillo de carga de seguridad y polipasto de 1 tonelada.*

**Eslinga de posicionamiento.-** La eslinga de posicionamiento es fabricada sin amortiguadores, lo cual la vuelve ideal al momento de realizar trabajos de posicionamiento o retención. Sus ganchos de seguridad con auto bloqueo están específicamente diseñados para permitir abrir y cerrar el gancho sin que el pulgar ni los dedos se interpongan en el camino, incluso con los guantes puestos (ver fig. 3.74).



*Fig. 3.74 Eslinga de posicionamiento.*

**Llaves Allen.-** Las llaves Allen se fabrican en acero galvanizado con o sin aleación de cromo-vanadio niquelada, están disponibles en varios tamaños (tanto en medidas métricas como imperiales) determinados por las normas DIN 911, ISO

2936 y ANSI B18.3.2M, y sus dimensiones entre caras opuestas van de los 0,9 mm a los 36 mm. Los tamaños más grandes abarcan llaves cuya longitud total oscila entre 20 y 35 cm, y su peso entre 1 y 5 kg. (Ver fig. 3.75).



**Fig. 3.75** Juego de llaves Allen.

**Llaves fijas.-** Las llaves de boca fija son herramientas manuales destinadas a ejercer el esfuerzo de torsión necesario para apretar o aflojar tornillos que posean la cabeza que corresponde con la boca de la llave. Las llaves fijas tienen formas muy diversas y tienen una o dos cabezas con una medida diferente para que pueda servir para apretar dos tornillos diferentes las medidas van desde los 6 mm hasta los 32 mm (Ver fig. 3.76).



**Fig. 3.76** Juego de llaves Allen.

**Juego de dados mecánicos.-** Es una pieza metálica de acero en forma cilíndrica, que en un extremo tiene una hendidura en forma de prisma cuadrado en el que entra otra pieza que es con la que se hace palanca para girarlo; en el otro extremo tiene una hendidura que puede ser de forma de prisma hexagonal o prisma de estrella de 12 puntas, que es la parte que se coloca sobre una tuerca o tornillo para girarlo y de esta forma apretarlo o aflojarlo.

Los dados se complementan con una matraca, que es una especie de maneral que puede trabarse para que girando a un lado resbale y hacia el otro trabase,

pudiendo girar y regresar sin sacarlo del tornillo o tuerca para aflojarlo o apretarlo. También existen los manerales fijos o articulados, un berbiquí, una unión articulada y extensiones de diferentes tamaños (Ver fig. 3.77).



**Fig. 3.77** Juego de dados con matraca.

**Dinamométrica.-** Reciben nombre variados según el lugar a saber: Llave de par, torquímetros, llaves de torque, llaves dinamométricas y llaves de torsión entre otros, Con estas llaves se cuenta la fuerza de apriete del par de torsión de la llave, o sea, que consiste en un brazo palanca largo entre el mango y la cabeza de la llave, fabricado de un material elástico que se dobla en respuesta al par aplicado, lo cual queda indicado en una escala.

Con la llave de torsión o dinamométrica se aplica la fuerza exacta de apriete a una pieza. Normalmente se utilizan con llaves de vaso, aunque pueden utilizarse con Allen, planas, de estrella y otras. Las escalas de apriete suelen estar marcadas en Kilogramos de fuerza/metro (Kgf m) o bien en Newtons/metro (Nm), Onzas (Oz) o Libras de fuerza (Lb).

Los tipos de llaves dinamométricas que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes: Llaves dinamométricas de salto, disparo o click: Cuando se alcanza la torsión deseada emite el sonido de un click y libera la tensión de la llave para no pasarse en el apriete. Llaves dinamométricas de reloj: El puntero se mueve dentro de una carcasa graduada en forma de reloj.

Llaves dinamométricas con dial, visor o escala graduada: Con puntero paralelo al mango, que marca la torsión aplicada. Llaves dinamométricas digitales: Las más modernas y precisas, utilizan una pantalla LCD para mostrar la torsión aplicada. Emiten sonido y vibración al alcanzar el par de apriete preseleccionado son las más costosas y precisas.

**Fig. 3.78** *Dinamométrica calibrada.*

**Llave de golpe.-** Son aquellas que están diseñadas para generar una presión de torque excesiva al ser golpeada, y así poder remover o aflojar una tuerca o tornillo que este muy apretado. Las llaves de golpe planas constan de una boca de estrías y una zona de golpe. A diferencia de una llave de estrías, de obstrucción o combinadas, esta llave está diseñada para ser golpeada.

Sus aplicaciones son operaciones de mantenimiento donde se involucra maquinaria pesada y ambientes altamente corrosivos que afectan las roscas de tuercas y tornillos. El mango cuenta con un conveniente radio que mantiene la zona de golpe en un plano superior al plano de la estría haciendo más cómodo y seguro el golpe de la llave. Su acabado las protege de la corrosión y evita el eventual desprendimiento de partículas de cromo al estar sujetas a los golpes continuos.



**Fig. 3.79** *Llave de golpe.*

#### 4. conclusiones

## Conclusión

La generación de energía eléctrica a base de viento es un método muy eficaz, de gran ayuda al medio ambiente, es un método de generación libre de ruidos. Los lugares donde se instalan los aerogeneradores son utilizables, dependiendo el tipo de terreno se puede seguir con su funcionamiento cotidiano, puede ser siembra, ganadería u otros usos que se lo deseen dar, esta forma de generación puede frenar la contaminación, destrucción de bosques y alteraciones al ecosistema.

Las turbinas AW 1500 cuentan con sistema muy avanzados, desde la captación de energía, que utilizan sistemas de control para posicionar las palas a un ángulo que optimice la captación del viento. La transformación de la energía se realiza mediante el tren de potencia, el cual en su salida va hacia el transformador. Para que el rotor del generador trabaje a una potencia adecuada la maquina cuenta con un sistema de convertidor de frecuencia.

El cual controla el desfase de la tensión y corriente del estator y por lo tanto controla el factor de potencia, así no hay ninguna inconveniencia de que el estator este conectado directamente a la red, la captación y transformación de energía se realiza de manera correcta y óptima. La máquina cuenta con un sistema de orientación denominado YAW.

Este sistema es el que hace girar a la góndola con respecto a la dirección que se encuentre el viento, así como también cumple con mantener los cabales de potencia desenrollados y evitar el efecto estela. Este sistema monitorea constantemente distintas variables para que tenga un correcto funcionamiento y así los equipos que mueven y frenan a la góndola, hagan un correcto funcionamiento cuando se requiera

La realización de esta práctica profesional se trató a explicar de como es el funcionamiento del sistema de frenado YAW en un aerogenerador AW 1500 y lo que se debe de realizar durante un mantenimiento preventivo en estas máquinas. Durante esta práctica lo aprendido fue de gran importancia ya que apoya mucho al desempeño de mi carrera.

En el transcurso de esta aprendí como es el funcionamiento de un aerogenerador y su sistema de frenado, en cómo cambiar partes del sistema de frenado, así como en algunas otras partes del generador. Como es el mantenimiento ha cilindro de pitch, cambio de generadores, eje lento, multiplicadora y rodamientos de palas. Esta práctica me ayudo a solidificar los conocimientos teóricos obtenidos durante la carrera y a fomentar el cuidado del medio ambiente.

## Referencias bibliográficas



[1] Power and Energy Society “Characteristics of wind turbine generators for wind power plant”. Universidad de Wisconsin-Madison, IEEE PES General meeting Calgary Alberta, 2009.

[2] Wayne Dilling., Travis Smith, “Wind Power Plant Collector system”. Canada, IEEE PES GM Calgary, 2009.

[3] Hamidreza Jafarnejadsani, Dr. Jeff Pieper , and Julian Ehlers, “Adaptive Control of Variable-Speed Variable-Pitch Wind Turbines Using RBF Neural Network”, Universidad de Calgary, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering 2012.

Manual de mantenimiento del aerogenerador AW 1500.

Manuales de mantenimiento de las reductoras.

Manual de instrucciones del generador Indar.

## Anexos

**Anexo A.-** Tabla de datos de la multiplicadora.

Tipo de multiplicadora	Planetaria helicoidal
Potencia mecánica [KW]	1650
Potencia eléctrica [KW]	1500
Par nominal [KNm]	942
Par máximo [KNm]	2600
Velocidad de entrada [rpm]	16.737
Velocidad de salida [rpm]	1100(50Hz) // 1320(60Hz)
Relación de transmisión	65.7217(50Hz) // 78.6(60Hz)
Capacidad de aceite [L]	210

**Anexo B** Tablas de los compartimientos del Ground: se encuentran los nombres de los componentes de los sistemas de control de cada compartimiento.

#### Compartimiento B

Ventilador 230 V, 80 W (-V11)	Interruptor automático compacto NS400N+STR23SV (-Q5)
Filtro EMC 690 Vac, 60Hz (EMC)	
Interruptor automático compact NS250N+STR22SE (-Q4)	Interruptor automático compacto NS250N+STR22SE 4P (-Q2)

#### Compartimiento D

Condensador 3x33.2µF 800Vca 50/60Hz (-CC1)	Resistencia 0.05 Ω 400w (-RCCC)
Resistencia 0.05 Ω 400w (-RCCA)	Bornero conexión condensadores (-XCC)
Resistencia 0.05 Ω 400w (-RCCB)	Contacto 3P 690V/92kVAR (-KM7)

#### Compartimiento E

Ventilador RD25S-4EW.4N.1L 0.93kW	Ventilador RD25S-4EW.4N.1L 0.93kW
-----------------------------------	-----------------------------------

(U3M1) Ventilador RD25S-4EW.4N.1L 0.93kW (U3M2)	(U3M3)
---	--------

Compartimiento F y G

Driver rectificador fase R (-DR1) Driver rectificador fase S (-DR2) Driver rectificador fase T (-DR3) Bus bar 6600 uF 1350 Vdc fase R (-CCBUS1) Bus bar 6600 uF 1350 Vdc fase S (-CCBUS2) Bus bar 6600 uF 1350 Vdc Ffase T (-CSBUS3) Driver inversor fase R (-DR4)	Driver inversor fase S (-DR5) Driver inversor fase T (-DR6) LEM inversor fase R (-RINV) LEM rectificador fase R (-RREC) LEM inversor fase S (-SINV) LEM rectificador fase S (-SREC) LEM inversor fase T (-TINV) LEM rectificador fase T (-TREC) Ventilador 230V 80W (-V7) Ventilador 230V 80W (-V8)
--	--

Compartimiento K

Guarda-motor 0,1-0,16A (-Q1) Guarda-motor 0,1-0,16A (-Q3) Guarda-motor 0,1-0,16A (-QN) Interruptor diferencial C16A 30mA (-F40) Interruptor diferencial 2P 16A 30mA (-F20)	Interruptor diferencial 2P 16A 30MA (-F8) Interruptor automático D16A (-F7) Interruptor automático C16A (-F4) Termostato 0 °C (-BT1) Resistencia de caldeo 400W 230V (-R11)
--	---

Compartimiento L

CCU AK9497 (-U1) Luminaria 20W (-H1)	Termostato 0 °C (-BT1) Resistencia de caldeo 400W 230V (-R11)
---	--

Interruptor automático 2P D10 C60N (-F1) Interruptor automático 2P D6 C60N (-F3) Interruptor automático 2P C2 C60N (-F5) Interruptor diferencial C16A 30MA (-F6) Fuente alimentación 230-115V/24V 2.1A (-G2) Fuente alimentación SLIM 230-115V/24V 5A (-G1) Contactor 3P 18A (-KR3B)	Relé auxiliar 2 cont. 10A 24Vcc (-K1) Relé auxiliar 2 cont. 10A 24Vcc (-K2) Relé auxiliar 1 cont. 10A 24Vcc (-K3) Relé auxiliar 1 cont. 10A 24Vcc (-K4) Relé auxiliar 1 cont. 10A 24Vcc (-K6) Relé auxiliar 2 cont. .10A 24Vcc (-D41) Relé auxiliar 2 cont. .10A 24Vcc (-KN1) Relé auxiliar 1 cont. 230Vac (-DRA1) Relé auxiliar 2 cont. 230Vac (-KR51) Relé de seguridad (-K10B) Relé temp. Multifunción (-KR3A) Relé temp. Multifunción (-K50) Relé defecto neutro (-KDN)
--	---

Bornero placa control 10 posiciones (-XVF)	
--	--

Filtro RC para cargas inductivas AK9097 (-U10) Filtro RC para cargas inductivas AK9097 (-U11) Termostato 15°C (-BT10) Interruptor aut. 3P C10 C60N (-QRA1) Interruptor aut. 2P C2 C60N (-FRA1) Interruptor aut. 2P C6 C60N (-FBT1) Soporte para 4 modulos con backplane TMX BH2854 (-U0) Fuente alimentación 220Vca/24Vcc BH2002 (-G4)	CPU SISTEAM-A BH2111 (-U2) Tarjeta Comunicación F.O. BH2502 (-U3) Ventilador Sisteam-A (Fuente y CPU) BH2903 (-U8) Fuente Alimentacion CCU AK9765 (-G3) Convertidor FO.2xRS232 24Vcc AK9077 (-U5) Multiplexor 8 PT100 AK9985 (-U4) Ethernet/fibra Optica -40°C/80°C (-U50) Base Arrancador Directo 32A (-Q20)
---	--

Pantalla táctil color (-U7) Ventilador 250V 15W (-V3) Ventilador 250V 15W (-V4)	Seta emergencia (-S1) Interruptor desconexión pantalla táctil (-S2) Pulsador rearme (-S20)
---	--

Compartimiento M

<b>-UPS</b> UPS POWER RACK 3000VA 10 min. <b>-XUPS</b> Bornero	<b>-F112</b> Rele protección sobretensión fase + neutro
---	---

**Anexo C** tabla de datos de las reductoras.

Modelos	709 T4 M	PG 1605
Numero de reductoras	4	4
Par nominal [daNm]	1250	1570
Máximo par nominal [daNm]	2622	3140
Ratio	1:1451	1:1452
Máxima velocidad de entrada [rpm]	1500	1452
Peso (sin grasa) [kg.]	165	250

**Anexo D.-** Condiciones de temperatura para acceso y trabajos en máquina.

Si  $T < -30^{\circ}\text{C}$  ( $-22^{\circ}\text{F}$ ) se interrumpirán los trabajos.

Si  $T < -20^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$ ) y velocidad de aire  $> 8\text{m/s}$  (18 mph), se interrumpirán los trabajos.

Si  $T < -20^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$ ) y velocidad de aire  $> 5.4\text{m/s}$  (12 mph), no se estará expuesto más de 48 min de forma continuada.

Si  $T < -20^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$ ) y velocidad de aire  $< 5.4\text{m/s}$  (12 mph), no se estará expuesto más de 1h de forma continuada.

Si  $T < -10^{\circ}\text{C}$  (14 F) y velocidad de aire  $> 8\text{m/s}$  (18 mph), no se estará expuesto más de 1h de forma continuada.

Si  $T < -10^{\circ}\text{C}$  (14 F) y velocidad de aire  $> 5.4\text{m/s}$  (12 mph), no se estará expuesto más de 1h 42min de forma continuada.

Si  $T < -10^{\circ}\text{C}$  (14 F) y velocidad de aire  $< 5.4\text{m/s}$  (12 mph), no se estará expuesto más de 3h de forma continuada.

#### **Anexo E.- Condiciones de viento para trabajos en máquina.**

##### **Velocidades de viento límite:**

$< 25\text{ m/s}$  (55.9mph) para acceso a máquina.

$< 25\text{ m/s}$  (55.9mph) para actividades generales de puesta en marcha, salvo bloqueo de rotor.

$< 12\text{ m/s}$  (26.8mph) trabajos en el exterior de la nacelle.

$< 12\text{ m/s}$  (26.8mph) para trabajos con plataformas elevadoras.

$< 12\text{ m/s}$  (26.8mph) para trabajos verticales en el exterior.

$< 20\text{ m/s}$  (44.74mph) para trabajos verticales en el interior.

$< 25\text{ m/s}$  (55.9mph) para uso del elevador "GOIAN".

$< 15\text{ m/s}$  para uso de Polipasto.

##### **Operaciones de montaje:**

$< 12\text{ m/s}$  (26.8mph) para descarga de tramos con 1 grúa.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para descarga de tramos con 2 grúa.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para descarga de palas.

$< 12\text{ m/s}$  (26.8mph) para descarga de nacelle.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para montaje de tramos.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para montaje de nacelle.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para volteo de buje.

$< 15\text{ m/s}$  (33.6mph) para montaje de palas en suelo.



< 12 m/s (26.8mph) para montaje de rotor.

**Operaciones de mantenimiento:**

- < 8 m/s (17.9mph) para cambio de palas.
- < 12 m/s (26.8mph) para manipulación de capota de nacelle.
- < 15 m/s (33.6mph) para desmontaje de multiplicadora.
- < 15 m/s (33.6mph) para desmontaje de generador.
- < 12 m/s (26.8mph) para reparación, mantenimiento o limpieza de palas.
- < 25 m/s para bloqueo de rotor.