

# INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ



## INGENIERÍA ELECTRICA

RESIDENCIA PROFESIONAL

**“PROTECCIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS DE UN  
AEROGENERADOR DE 850 KW”**

**RESIDENTE: ESPINOSA ARRAZOLA JOSÉ ADALBERTO**

**No. CONTROL “05270338”**

**ASESOR INTERNO: ING. ARIOSTO MANDUJANO CABRERA**

**ASESOR EXTERNO: ING. CARLOS GARCIA AGUILAR**

**TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS, 01 DE DICIEMBRE DEL 2009**



Subdirección de Generación  
Gerencia Regional de Producción Sureste  
Subgerencia Regional de Generación Hidro-Grijalva  
Central Eoloeléctrica La Venta Oaxaca

“2009, AÑO DE LA REFORMA LIBERAL”

LVO 157/2009

27 NOVIEMBRE 2009



ASUNTO: Constancia de Terminación  
de Residencia Profesional

**ING. DANIEL SAMAYOA PENAGON**  
**JEFE DEPTO. DE GESTION TECNOLOGICA Y VINCULACION**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**P R E S E N T E**

Por medio del presente me permito informarle que el C. **José Adalberto Espinosa Arrazola** alumno de ese instituto en la carrera de **Ingeniería Eléctrica** con número de control **05270338**, realizó su Residencia Profesional en el área de **Superintendencia** desarrollando el proyecto: **“Protecciones Eléctricas y Mecánicas para un Aerogeneradores 850 kw”**, una calificación de **90 %** durante el periodo comprendido del **17 de Agosto al 30 de Noviembre del 2009** cubriendo un total de **640 hrs.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE



**ING. CARLOS GARCÍA AGUILAR**  
**SUPTE. DE CENTRAL EOLOELÉCTRICA**  
**LA VENTA, OAXACA.**

C.c.p. Exp./min.  
CGA\*mdca.

Km 821 Carr. Panam. Col. Felipe Pescador CP 70050 Juchitán de Zaragoza, Oaxaca Tel/Fax (01971) 7113993

## Índice

<b>Introducción</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1: Generalidades</b>	
<b>1.1 Generalidades de la empresa:</b>	<b>7</b>
❖ Misión	
❖ Visión	
❖ Objetivos	
❖ Política	
<b>1.2 Generalidades de la Residencia:</b>	<b>9</b>
❖ Objetivo	
❖ Justificación	
❖ Alcance y limitación	
❖ Caracterización en el área que se participa	
<b>Capítulo 2: Memoria descriptiva de la Central</b>	
<b>2.1 Antecedentes</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Ubicación geográfica</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Hidrografía</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Climatología</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Geología del parque eólico</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Descripción general</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Ingeniería Eléctrica</b>	<b>20</b>

### **Capitulo 3: Memoria descriptiva de los aerogeneradores**

<b>3.1</b>	<b>Descripción general</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Condiciones climáticas del aerogenerador G52-850kw</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Elementos del aerogenerador</b>	<b>27</b>
<b>3.4</b>	<b>Rotor de la maquina</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Tren de potencia</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Multiplicadora</b>	<b>35</b>
<b>3.7</b>	<b>Generador</b>	<b>42</b>
<b>3.8</b>	<b>Transformador</b>	<b>48</b>
<b>3.9</b>	<b>Sistema de freno de la maquina</b>	<b>49</b>
<b>3.10</b>	<b>Sistema de giro y orientación de la maquina</b>	<b>51</b>
<b>3.11</b>	<b>Sistema hidráulico</b>	<b>58</b>

### **Capitulo 4: Operación y Control del aerogenerador**

<b>4.1</b>	<b>Estados de operación</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Descripción del sistema de Control</b>	<b>67</b>
<b>4.3</b>	<b>Control del aerogenerador</b>	<b>68</b>
<b>4.4</b>	<b>Top control</b>	<b>73</b>
<b>4.5</b>	<b>Ground control</b>	<b>75</b>
<b>4.6</b>	<b>Sistema de control Ingecon</b>	<b>76</b>
<b>4.7</b>	<b>Sistema de control de potencia</b>	<b>77</b>
<b>4.8</b>	<b>Secuencia de operación y mecánica del aerogenerador</b>	<b>80</b>
<b>4.9</b>	<b>Ensayo de polos</b>	<b>82</b>
<b>4.10</b>	<b>Secuencia de acoplamiento a la red</b>	<b>84</b>
<b>4.11</b>	<b>Cambio de conexión estrella a delta (Y - <math>\Delta</math>)</b>	<b>86</b>
<b>4.12</b>	<b>Condiciones de desconexión de la red</b>	<b>88</b>

## **Capítulo 5: Protección del Aerogenerador**

<b>5.1 Protecciones del sistema de control de potencia</b>	<b>89</b>
<b>5.2 Protecciones termomagnéticas del top control</b>	<b>91</b>
<b>5.3 Celda MT</b>	<b>94</b>
<b>5.4 Descripción de sensores</b>	<b>96</b>
<b>5.5 Lista y Parámetros de sensores</b>	<b>104</b>
<b>5.6 Diagrama de operación y control</b>	<b>108</b>
<b>Conclusión y sugerencias</b>	<b>111</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>112</b>

## INTRODUCCION

De acuerdo a los recientes cambios de las políticas gubernamentales en cuanto a generación eléctrica, al control de contaminación ambiental y al comercio con el exterior, se esta despertando en los diferentes sectores un firme interés por los métodos alternativos de generación de energía eléctrica; uno de los campos mas sólidos es el de los aerogeneradores o generadores silenciosos, de no contaminación y al uso del viento como una fuente gratuita y renovable de energía.

La competencia entre empresas y organizaciones a nivel global no se hace esperar es por ello que se necesitan servicios de calidad y actualización tecnológica para obtener un alto nivel de productividad. Esta es la clave para competir y permanecer en el mercado, lo cual solo puede ocurrir realizando acciones enfocadas a erradicar las causas y deficiencias que afectan a la central. Para que el panorama de protección sea comprendido correctamente este proyecto describe las características y funcionamiento general de los aerogeneradores modelo G52 de 850kw, ya que seria imposible comprender el sistema de protecciones con los que cuenta la maquina si no se conocen las características, funcionamiento general y partes principales que componen estos aerogeneradores, de los cuales se hacen mención en este proyecto. También se describe la secuencia de operación y mecánica de los aerogeneradores G52 de 850 kW que permite que la central obtenga un máximo nivel de producción y calidad. Estos aerogeneradores son el pilar de la central eoloeléctrica La Venta, Oaxaca, dichos aerogeneradores son los que producen la energía eléctrica para brindar servicios de calidad al cliente.

Todo esto se logra con el apoyo del equipo de trabajo con los que cuenta la central ya que son los guardianes de estas maquinas generadoras que permiten estar a la vanguardia.

## Capítulo 1: Generalidades

### 1.1 Generalidades de la empresa

#### ➤ **MISION:**

- Asegurar, dentro de un marco de competencias y actualizado tecnológicamente, el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio la adecuada diversificación de fuentes de energía
- Optimizar la utilización de su infraestructura física, comercial y de recursos humanos.
- Proporcionar una atención de excelencia a nuestros clientes.
- Proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social presentar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

#### ➤ **VISION:**

Una empresa de clase mundial que participa competitivamente en la satisfacción de la demanda de la energía eléctrica nacional e internacional, que optimiza el uso de su estructura física y comercial, a la vanguardia en tecnología, rentable, con imagen de excelencia, industrial limpia y recursos humanos altamente calificados.

### ➤ **OBJETIVOS**

- Mantenernos como la más importante empresa de energía eléctrica nacional.
- Operar sobre las bases de indicadores internacionales en materia de productividad, competitividad y tecnología.
- Ser reconocida por nuestros usuarios como una empresa de excelencia que se preocupa por el medio ambiente y esta orientada al servicio del cliente.
- Promover la alta calificación y desarrollo profesional de trabajadores y directivos de comisión federal de electricidad (cfe).

### ➤ **POLITICA**

Satisfacer las necesidades de energía eléctrica de la sociedad, mejorando la competitividad asegurando la eficacia de los procesos de la dirección, sustentados en la autonomía de gestión de sus áreas y con el compromiso de:

- Desarrollar el capital humano
- Prevenir y controlar los riesgos que afectan la integridad de los trabajadores e instalaciones.
- Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.
- Prevenir la contaminación.



## 1.2 Generalidades de la Residencia

### ➤ Objetivo

Tener conocimiento del sistema de protección de un aerogenerador y participación en el sistema de operación y control, así como conocer la lógica de operación y control de un aerogenerador.

### ➤ Justificación

La residencia profesional es aquella actividad realizada durante el desarrollo de un proyecto con el fin de que el estudiante de la carrera, tenga la oportunidad de realizar su residencia profesional, y le permitan tener ese vínculo de la teoría con la práctica a través del cual se construya un espacio de aplicación de conocimientos y nuevo aprendizaje.

Es por ello el desarrollo del proyecto de protecciones eléctricas y mecánicas de un aerogenerador G52 de 850kw.

Por ultimo cabe mencionar que la inquietud de conocer un poco más de cerca lo que implica la generación en las centrales de producción de electricidad no convencional, fue la principal razón para inclinarse al desarrollo de este trabajo y al mismo tiempo optar por desarrollarlo en la Central Eoloeléctrica La Venta Oaxaca ya que es pionera en esta nueva fuente de energía en nuestro país, y así permitir conocer el funcionamiento general de los aerogeneradores G52-850 kW.

➤ **Alcances**

- Identificar componentes del aerogenerador.
- Conocer el funcionamiento del aerogenerador.
- Conocer el sistema de control de la maquina.
- Conocer las protecciones con las que cuenta el aerogenerador.
- Conocer el mantenimiento preventivo del aerogenerador.

➤ **Limitación**

El proyecto es un método de aprendizaje de fuentes alternas de energía como lo es el recurso eoloeléctrico y las características de esta así como el conocimiento de los sensores de con los que cuenta el aerogenerador ya que son la principal defensa de la maquina y actúan como protecciones.

➤ **Caracterización en le área que se participa**

Generación eléctrica a través de generadores eoloeléctricos en la Central eoloeléctrica La Venta con el fin de obtener mayor conocimiento sobre esta nueva fuente de energía alterna.

## Capítulo 2: Memoria descriptiva de la Central

### 2.1 Antecedentes

En el istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, específicamente al norte de la población de La Venta, la CFE a través de la gerencia de proyectos Geotérmicos construyó como programa piloto o demostrativo, la CENTRAL EOLOELECTRICA LA VENTA, la cual es operada por la Subgerencia Regional de Generación Hidroeléctrica Grijalva con sede en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Su entrada en operación comercial fue a partir del 10 de noviembre de 1994. Consta de 7 (siete) Aerogeneradores de 225 KW cada uno, que generan una energía de 480 Volts de corriente alterna, con turbinas de viento de 3 alabes de giro y diámetro de giro de 27 metros, su diseño permite aprovechar vientos en el rango de 5 a 25 m/s. Las unidades cuentan con un sistema de control automático que permite ajustar la orientación del Aerogenerador y de los alabes, con la finalidad de aprovechar en forma óptima los vientos en la velocidad y dirección en que se presenten.

Los aerogeneradores eléctricos son del tipo asíncrono con dos bobinas en el estator, de 50 KW y 225 KW, la primera opera con vientos entre 4 y 7 m/s y la segunda con vientos mayores a 7M/s. También cuenta un banco de capacitores para mantener el factor de potencia en un valor de 0.95.

El voltaje de generación de 480 VCA se eleva a 13,800 VCA por medio de tres transformadores con capacidades de 500 KVA dos de ellos, y uno de 750 KVA, conectándose a la red de distribución a través de un interruptor restaurador y de cuchillas succionadoras.

## 2.2 Ubicación geográfica

La Central Eoloeléctrica se encuentra localizado al norte del Ejido La Venta, en el Municipio de Juchitán de Zaragoza, aproximadamente a 310 km al Este-Sureste de la Ciudad de Oaxaca, capital del Estado de Oaxaca.

Entre las ciudades de importancia cercanas al sitio, se encuentra el puerto de Salina Cruz localizado al Suroeste a 70 km aproximadamente y la ciudad de Juchitán localizada al Suroeste a 25 km aproximadamente. Al sur del sitio, aproximadamente a 12 km, se encuentra la comunidad de Unión Hidalgo, en donde se cuenta con servicio de ferrocarril que comunica al oriente con Arriaga y al poniente con Juchitán. Al norte de la central, aproximadamente a 10 km, se encuentra la comunidad de El Porvenir.

El acceso al Sitio de la Central se logra a través del camino pavimentado que conduce precisamente a El Porvenir, mismo que entronca con la Carretera Federal No. 190, el Sitio de la Central se encuentra aproximadamente a 300 m del entronque.



## 2.3 Hidrografía

Dentro del perímetro del parque Eólico La Venta II, cruzan cuatro corrientes principales; El canal principal del Distrito de riego # 19, el río Chicapa, el arroyo Tunita y el arroyo Chilar.

Sobre el río Tehuantepec, a unos 5 km de la población Santa María Jalapa del Marqués, se encuentra la presa de almacenamiento Presidente Benito Juárez. Río abajo, a unos 7 km al norte de la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec, se encuentra la presa derivadora “Las Pilas”, que por la margen izquierda del río Tehuantepec, alimenta al canal principal, el cual recorre aproximadamente 68 km para cruzar bajo la carretera panamericana a la altura del Parque Eólico la Venta II.

Al adentrarse en el Parque Eólico por la esquina Suroeste, el canal Principal cruzará el extremo Oeste de la hilera “A” de aerogeneradores. Por su parte, el río Chicapa nace en las inmediaciones de la montaña Picacho Prieto, a unos 2000 msnm, corre hacia el oeste pasando por las poblaciones Cuauhtémoc Guadalupe y San Miguel Chimalapa, donde se le une el arroyo Aguascalientes procedente del oeste; dobla hacia el Sur para pasar por las poblaciones de Vistahermosa, El Chilar y Santo Domingo Ingenio.

Un poco más adelante, cruza marginalmente el vértice SE de la poligonal del Parque Eólico para luego cruzar la carretera Panamericana y el poblado de La Venta. Su paso por los terrenos del Parque Eólico se presenta aguas abajo de las cuatro hileras de aerogeneradores.

Tanto el Canal Principal como el río Chicapa cruzan marginalmente por el Parque Eólico, por lo que prácticamente se puede considerar que las 1309 has del Parque Eólico La Venta II, son drenadas por 2 arroyos principales (Tunita y Chilar). En ese sentido, en el presente estudio las cuencas de interés son: las de los arroyos Tunita y Chilar, los cuales cruzarán los caminos de acceso que se construirán.

Los arroyos Tunita y Chilar, que drenan los terrenos del Parque Eólico, nacen pocos kilómetros al norte del mismo, cruzándolo totalmente de norte a Sur e intersectando las 4 hileras de aerogeneradores. El arroyo Tunita nace en la Sierra Tolistoque. Por su parte, el arroyo Chilar tiene dos afluentes pequeños que prácticamente nacen dentro de los terrenos del Parque Eólico. El arroyo Chapulines y un Arroyuelo que corre casi paralelo a la carretera La Venta.

## 2.4 Climatología

La región tiene un régimen de lluvias de verano, característico de las costas occidentales de los continentes ubicados entre los 10 ° y 25 ° de latitud. El inicio de la temporada de lluvias en la región, se asocia con la llegada de vientos del sur, los cuales de mayo a octubre transportan aire húmedo que al ascender se enfría y se condensa

En cambio durante los meses de noviembre, diciembre y enero, se presentan fenómenos meteorológicos invernales que pueden originar lluvias por pocos días. En esta época, la llegada de remolinos fríos que se desprenden del vórtice circumpolar, puede originar precipitación por unos cuantos días.

La zona de la costa oaxaquense del Golfo de Tehuantepec, y particularmente las cuencas de interés, tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1970), en la zona costera sur del Istmo de Tehuantepec se presentan los siguientes subtipos de climas cálidos y semicálidos:

*Awo (w) ig*: Calido húmedo el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias de verano, con un cociente  $P/T$  (precipitación total anual en *mm* sobre temperatura media anual en °C) menor de 43.2, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual, isotermal (en cuanto a la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales), oscilación menor de 5°C con el mes más caliente antes de junio.

*Aw1 (w) (i) g*: Intermedio en cuanto a grado de humedad entre el más seco de los cálidos subhúmedos, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual, con poca oscilación (entre 5° y 7°C) en cuanto a la oscilación

anual de las temperaturas medias mensuales, pero en partes esta zona es isotermal, con el mes más caliente antes de junio.

*Aw2 (w) ig*: El más húmedo de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano, cociente  $P/T$  mayor de 55.3, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual, isotermal, con el mes más caliente antes de junio.

*(A)C (w2) (w) ig*: Semicálido, el más cálido de los templados húmedos, con temperatura media anual mayor de  $18^{\circ}C$  y la del mes más frío menor de  $18^{\circ}C$ , porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual, con verano fresco largo, temperatura media del mes más caliente entre  $6.5^{\circ}C$  y  $22^{\circ}C$ , isotermal, con el mes mas caliente antes de junio.

Un fenómeno climático relevante de la zona, es el régimen de vientos reinantes que se deben principalmente a que en el Golfo de México existe una presión barométrica mayor que en el Golfo de Tehuantepec, lo que genera vientos del norte al sur que se encañonan en el Portillo Istmico y llegan a la llanura costera.

La evaporación media anual es de 2340.9 mm, lo cual es un valor muy alto, influenciado por los constantes vientos en el sitio.



## 2.5 Geología del parque eólico

El sitio donde se localiza el Parque Eólico ocupa el tercer lugar en superficie dentro del territorio oaxaqueño, se distribuyen en todos los puntos cardinales, pero sobre todo al Suroeste y Este del estado. Los suelos aluviales son los que dominan ampliamente aunque también los hay litorales, eólicos, lacustres y residuales.

La gran unidad cartografiada en el lugar donde se asientan Juchitán de Zaragoza, La Venta, Ciudad de Ixtepec, Santo Domingo, Unión Hidalgo, es principalmente un depósito de origen aluvial originado por la erosión de las rocas preexistentes de la región.

En las laderas de Cerros y Serranías predominan los sedimentos arenogravosos; los depósitos en los valles son sobre todo arcillosarenosos, constituidos por fragmentos de roca ígnea y cuarzo, con algunas micas; en los márgenes de las corrientes de agua se forman terrazas en las que se observan gradaciones y estratificaciones. En las planicies costeras y en algunos valles intermontanos, los depósitos son de arcillo-limosos con granos de cuarzo, feldespatos y mica.

## 2.6 Descripción General

La Central Eólica La Venta II entrega al Sistema Interconectado Nacional a través de la Subestación Juchitán II, que se encuentra aproximadamente a 16 km al suroeste del sitio de la Central.

La Central cuenta con una subestación principal que eleva la tensión de la energía de 34,5 kV a 230 kV, para su transmisión a la Subestación Juchitán II por medio de una línea de 230 kV de aproximadamente 16 km. Esta línea de transmisión de 230 kV no forma parte de la subestación. Dentro de la Central, cada aerogenerador cuenta con un banco de transformación, para elevar a 34,5 kv el voltaje de la energía producida y mediante buses colectores subterráneos se conduce hasta la subestación principal.

La Central Eólica La Venta II está conformada por aerogeneradores del mismo modelo y de la misma capacidad individual, la cual es de 850 kW y con certificación IEC Clase 1. Los aerogeneradores están distribuidos en cuatro filas, teniendo una separación aproximada de 600 metros entre líneas contiguas. A lo largo de cada línea, los aerogeneradores tienen una separación de 2,5 veces el diámetro del rotor del aerogenerador.

Por el alto grado de automatismo con el que cuentan los aerogeneradores actuales, la operación, supervisión y control de los aerogeneradores se lleva a cabo desde un edificio de control localizado en el área del predio de la Central; sin embargo, para los arranques manuales, se cuenta con personal necesario para llevar a cabo la secuencia correspondiente desde los tableros de control que tiene cada aerogenerador, tanto en su base como en el nacelle.

Asimismo, la Central cuenta con un sistema remoto de control y supervisión en las oficinas de operación de Comisión situadas en la Ciudad

de Juchitán, municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, situadas aproximadamente a 27 km de la ubicación de la central.

El diseño de la Central ha tomado en cuenta en forma importante el aspecto ecológico, evitando en lo posible afectaciones al medio. Entre otros aspectos, se utilizan los caminos existentes, a efecto de interferir lo menos posible con las áreas de mayor vegetación.

Todas las actividades de la central están subordinadas al cumplimiento de las normas, códigos, legislación y recomendaciones en materia de protección ambiental y equilibrio ecológico.

## 2.7 Ingeniería Eléctrica.

La central se conforma de aerogeneradores de las mismas características técnicas para dar el total de la capacidad de la central, cada uno acoplado con un transformador de distribución, que es llamado subestación aerogenerador que forma parte de los buses colectores, cuya trayectoria es subterránea mediante ductos directamente enterrados en arena, hasta llegar a la Subestación Principal en el lado de baja tensión (34.5 kV).

Los cables subterráneos son para interconectar a los diferentes grupos de las subestaciones de aerogenerador hasta la conexión de cada circuito con el tablero blindado de media tensión (Metal-Clad) de 34,5 kV de la subestación principal cuenta con la protección de sobrecorriente adecuada además en cada uno de los circuitos de los aerogeneradores y la subestación principal los cables subterráneos cuenta con detectores de falla.

El punto de interconexión de la Central Eólica La Venta II es la Subestación de 230 kV denominada “La Venta” localizada en la misma central. Esta subestación es de tipo convencional la cual es un arreglo de “barra principal + barra auxiliar” con interruptor de amarre o transferencia. Se considera el suministro del banco de transformación principal de 230-34,5 kV y el equipo de 34,5 kV. Así como la interconexión entre el transformador principal de la Central y la Subestación de 230 kV mediante cable aéreo ACSR/AS 1113 kCM incluyendo, los apartarrayos, las estructuras metálicas y de concreto, aisladores y los materiales necesarios para dicha interconexión.

Las conexiones entre el transformador principal, y apartarrayos del transformador principal, se realizarán con cable aéreo. El cable aéreo es de

un conductor por fase, calibre 1113 kCM tipo ACSR/AS, incluyendo, las estructuras y materiales necesarios para esa interconexión.

También considera los siguientes conceptos:

- Registros, banco de ductos directamente enterrados en arena, trincheras y charolas necesarios para el cableado entre la Central y la Subestación de 230 kV.
  
- Interconexión de los esquemas 50 FI de la(s) unidad(es) con el esquema de 50 FI (falla de Interruptor) de la Subestación de 230 kV.
  
- Cableado y conexiones de fuerza, control protección e instrumentación entre la Central y la Subestación de 230 kV, así como al cuarto de control de la Subestación de 230 kV y el edificio de control de la Central.
  
- Equipos y dispositivos electrónicos para el intercambio de información entre la Central y la Subestación de 230 kV, así como al cuarto de control de la Subestación de 230 kV, las señales a intercambiar de la subestación de 230 kV hacia el lado de 34,5 kV es 24 analógicas y 48 digitales.
  
- Protección contra descargas atmosféricas en la zona del transformador principal y enlace con la Subestación de 230 kV, por medio de hilos de guarda y bayonetas conectados al sistema de tierra.
  
- Interconexión con los tableros de la Subestación de 230 kV con los tableros de la subestación principal de la Central (34,5 kV).

### **Corrientes de corto circuito:**

Falla Trifásica (amperes): 2680

Falla Monofásica (amperes): 1830

Características aplicables a todos los equipos y materiales para la interfase con la Subestación de 230 kV, incluyendo el banco de transformación principal:

- a) Tensión nominal de operación de la Subestación 230 kV rcm
- b) Nivel de aislamiento al impulso por rayo a tierra (1,2x50 microsegundos) 1050 kV (cresta)
- c) Tensión máxima de diseño 245 kV rcm
- d) Frecuencia 60 Hz
- f) Corriente de corto circuito 31.5 kA

Conductor para conectar el banco de transformación principal con la Subestación de 230 kV “La Venta”.

Cable aéreo tipo:

Nº Cond/ fase-Calibre

ACSR

1c/fase-1 113 KCM

Tensiones de la Central

Los voltajes para esta Central deben ser:

- Voltaje de de interconexión con CFE 230 kV C.A.
- Los voltajes de generación 690 V.
- Los voltajes de distribución de 34,5 kV C.A.
- Voltaje de auxiliares de la subestación principal 220/127 V C. A. y 125 V C. D.

El diseño eléctrico considera la altura y condiciones climatológicas del sitio

## Capítulo 3: Memoria descriptiva de los aerogeneradores.

### 3.1 Descripción general.

Los aerogeneradores G52 – 850 kW de Gamesa son aerogeneradores de rotor tripala a barlovento, regulado por sistema de cambio de paso y con sistema de orientación activo.

La gama G52-850kW está especialmente adaptada para emplazamientos de mayor potencial eólico (vientos medios anuales de 10 m/s), y soporta condiciones de viento de clase Ia y IIa.

Los aerogeneradores G52 – 850 kW tienen un rotor de 52 m. de diámetro respectivamente y utilizan el sistema de control capaz de adaptar el aerogenerador para operar en **velocidad de rotor variable**. El rotor consiste en tres palas con **pitch variable** en la envergadura completa de la pala, rodamiento de cambio de paso y un buje en fundición dúctil de hierro.

Las palas son de 25.3 m de longitud y están realizadas en fibra de vidrio utilizando tecnología prepreg. Cada pala consiste en dos conchas, pegadas a una viga soporte, unos insertos especiales de acero conectan la pala al rodamiento de la misma. El rodamiento de la pala es de bolas, 4 – puntos, atornillado al buje de la pala. Las variaciones del ángulo de paso de las palas son activadas desde la góndola por un sistema hidráulico que permite una rotación de  $-5^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ . Este sistema también provee presión al sistema de frenado mecánico.

El sistema de cambio de paso del rotor está controlado por el **Optitip en producción parcial**. Este sistema provee un ajuste muy fino en el ángulo

de operación de la pala en todo momento con respecto a la producción de potencia y emisión de ruido.

A altas velocidades de viento, el sistema Ingecon y el sistema de cambio de paso mantienen la potencia en su valor nominal, independientemente de la temperatura del aire y su densidad. En vientos de velocidades bajas el sistema Optitip y el control Ingecon optimizan la producción de energía seleccionando la combinación óptima de r.p.m. y ángulo de paso.

El eje principal transmite la potencia al generador a través de la multiplicadora. La multiplicadora se compone de 4 etapas combinadas: una etapa planetaria y tres de ejes paralelos. Desde la multiplicadora la potencia se transmite al generador vía junta cardan.

El generador eléctrico es asíncrono doblemente alimentado con rotor devanado por medio de anillos deslizantes. El generador tiene 2 pares de polos, por lo que la velocidad síncrona de giro es 1500 rpm, pero es operado a velocidad variable desde 900 rpm hasta 1950 rpm gracias al control de las corrientes retóricas.

El freno primario del aerogenerador es aerodinámico por puesta en bandera de las palas. El freno mecánico redundante es un freno de disco, activado hidráulicamente, que se monta en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora.

Todas las funciones del aerogenerador son monitorizadas y gestionadas por el controlador, basado en un PLC. El sistema de control del aerogenerador va instalado en la góndola.



El sistema de orientación consiste en dos motoredutores que son operados por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo a la información recibida de la veleta colocada en la parte superior de la góndola. El motor del sistema de orientación hace girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre y mediante fricción se hace girar a la góndola.

La cubierta de la góndola es de fibra de vidrio con poliéster, la cual protege todos los componentes de la góndola frente a lluvias, nieve, polvo, rayos solares, ect. El acceso a la góndola desde la torre se realiza a través de la abertura central. La góndola contiene en su interior una grúa de servicio de 125 kg. La torre del aerogenerador es de 44 m y es de forma tronco-cónica tubular de hierro construida en tres secciones. La torre va pintada con una pintura de protección especial anticorrosión.

### 3.2 Condiciones climáticas del aerogenerador G52-850 kw

El aerogenerador está diseñado para temperaturas ambientes entre  $-20^{\circ}$  C y  $+40^{\circ}$  C. Se deberán tomar precauciones especiales fuera de estas temperaturas (ver sección 1.5 restricciones generales).

En algunas combinaciones de vientos altos, altas temperaturas, temperatura baja del viento, baja densidad y/o bajo voltaje, puede disminuir la potencia nominal para asegurar que las condiciones térmicas de algunos componentes principales como la multiplicadora, generador, etc. se mantengan dentro de los límites.

El aerogenerador se puede colocar en parques con una distancia de al menos 5 diámetros de rotor (260 m) entre aerogeneradores en la dirección predominante del viento. Si los aerogeneradores se sitúan en fila, perpendicularmente a la dirección predominante del viento, la distancia entre los mismos deberá ser de al menos 3 diámetros de rotor (156 m).

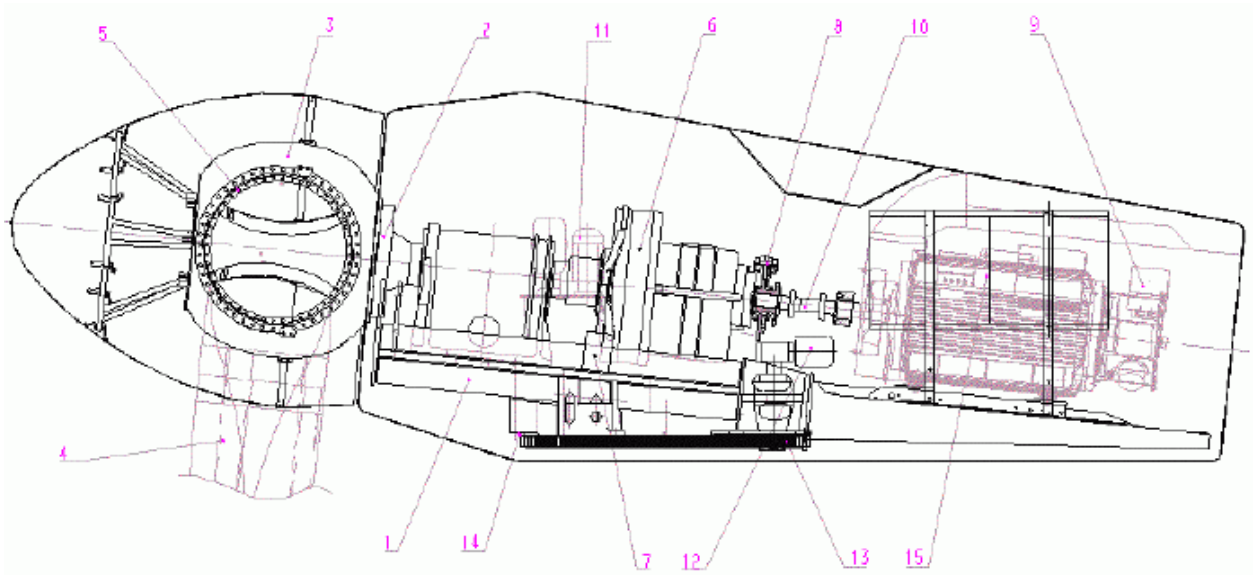
La humedad relativa puede ser de 100% (máximo el 10% del tiempo), ya que cuenta con una protección contra corrosión conforme a ISO 12944-2 para corrosión de tipo C5-M (fuera) y C2 a C3 (dentro).

### 3.3 Elementos del aerogenerador

Los aerogeneradores que integran la Central están certificados como aerogeneradores IEC Clase 1, de eje horizontal, de paso variable, de velocidad constante o variable, montados en torres tubulares.

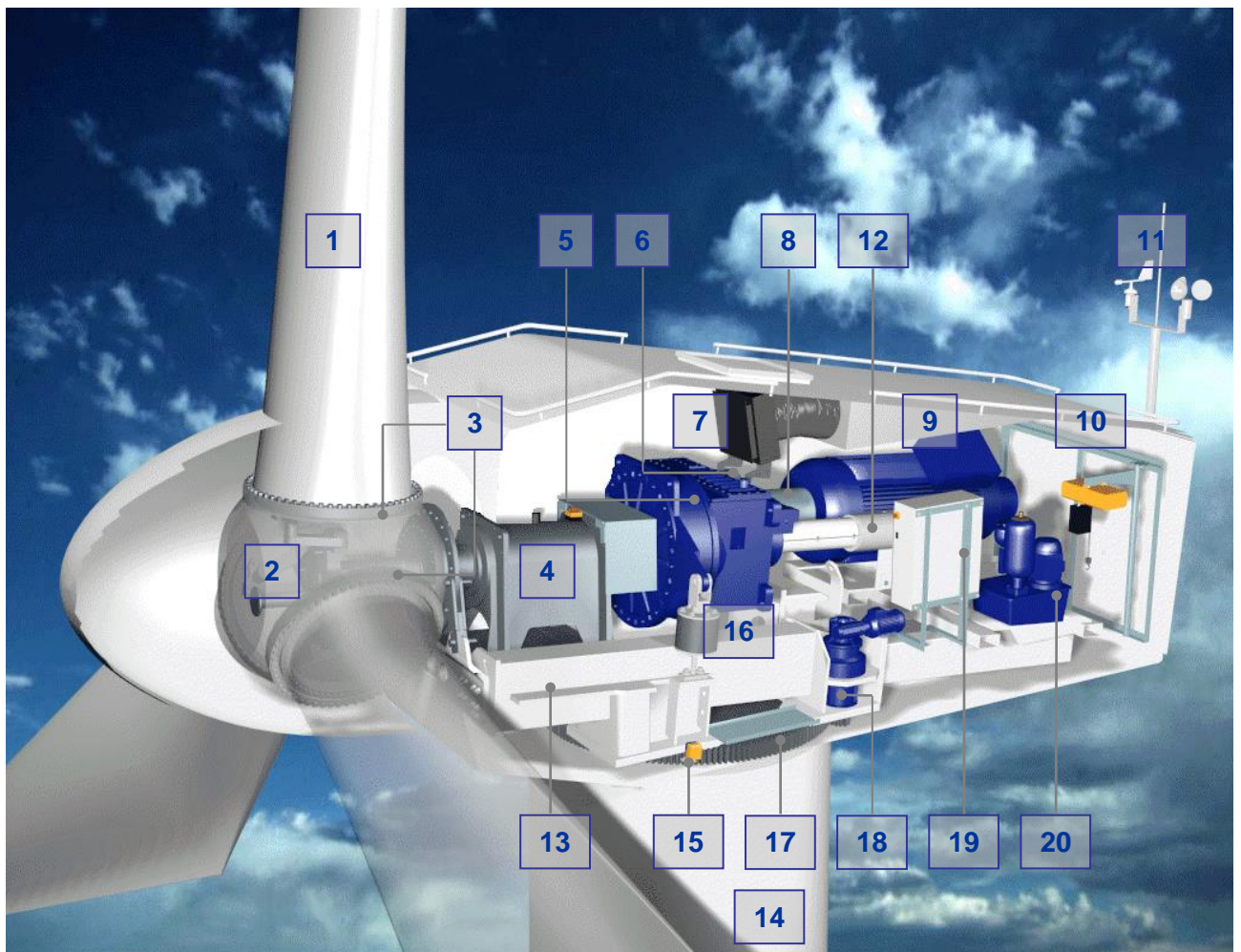
Los aerogeneradores tienen se componen de las siguientes partes:

- Rotor con álabes de paso fijo o variable, o una combinación de ambos.
- Cubo de álabes.
- Cono del buje.
- Rodamientos de los álabes.
- Flecha principal de baja velocidad.
- Caja de engranes.
- Flecha de alta velocidad.
- Sistema hidráulico.
- Sistema de frenado mecánico y aerodinámico.
- Sistema de orientación del aerogenerador (yaw system).
- Sistema activo de orientación de los álabes (variable pitch).
- Sistema de enfriamiento.
- Torre tubular.
- Cubierta del aerogenerador (nacelle).
- Polipasto instalado en el nacelle.
- Soporte estructural de generador y reductor de engranes.
- Anemómetro, veleta y sensores para control y protección del equipo.



1. Bastidor
2. Eje principal
3. Buje
4. Pala
5. Rodamiento de pala
6. Multiplicadora
7. Amortiguadores
8. Freno de disco
9. Generador
10. Cardan
11. Grupo hidráulico
12. Motor de orientación
13. Corona de orientación
14. Cuentavueltas
15. Armario de control (top)

1. Pala	11. Anemómetro / Veleta
2. Buje	12. Cilindro variación del ángulo de pala
3. Rodamiento pala	13. Bastidor
4. Eje principal	14. Torre
5. Multiplicadora	15. Cuentavueeltas
6. Disco de freno	16. Amortiguadores
7. Refrigerador	17. Corona de giro
8. Eje cardan	18. Moto-Reductora de giro
9. Generador	19. Armario de Control TOP
10. Polipasto	20. Grupo Hidráulico



### **3.4 Rotor de la maquina**

El rotor del aerogenerador G52-850 kw es un rotor de tres palas unidas a un buje esférico mediante los rodamientos de pala el cual esta protegido por el cono. El rotor está dotado de un ángulo de conicidad de 3°, que aleja la punta de las palas de la torre.

Las palas del aerogenerador G52 son de 25.3 m de longitud y tienen un sistema pararrayos que recoge las descargas eléctricas y las transmite, vía un cable de acero que recorre la pala longitudinalmente, hasta el buje. La distancia de la raíz de las palas hasta el centro del buje es de 0.7 m, con lo que se alcanzan los 52 m de diámetro del rotor.

Las palas del aerogenerador G52 están fabricadas en material compuesto, con resina epoxy y fibra de vidrio. En su fabricación se emplea la tecnología de los preimpregnados (“prepreg”), que permiten controlar de un modo muy preciso el volumen de fibra del material y, con él, las propiedades mecánicas de las palas.

La estructura de las palas del aerogenerador G52 está formada por un larguero interior alrededor del cual va pegado el revestimiento, formado por dos conchas fabricadas por separado. La misión del larguero es aportar resistencia estructural al conjunto, resistir las cargas propias de la pala y transmitir esfuerzos al buje. El revestimiento no posee misión estructural, sino que tiene la forma aerodinámica adecuada para convertir la energía cinética del viento en par motor (energía mecánica) para la generación de electricidad. El larguero es en sí mismo una viga de sección tubular cerrada con una geometría adaptada a la forma aerodinámica de los perfiles de la pala.

El revestimiento es una estructura sándwich con núcleo de PVC y laminados de fibra de vidrio en resina epoxy. La unión de la pala al rodamiento de pala es atornillada. Se practican 52 agujeros en la sección de raíz del larguero en los que se introducen insertos metálicos roscados, para facilitar la unión atornillada.

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

**Sistema de cambio de paso:** El sistema de cambio de paso actúa durante todo el tiempo de funcionamiento del aerogenerador:

- Cuando la velocidad del viento es inferior a la nominal el ángulo de paso seleccionado es aquél que maximiza la potencia eléctrica obtenida para cada velocidad del viento (sistema Optitip)
- Cuando la velocidad del viento es superior a la nominal el ángulo de paso es aquél que proporciona la potencia nominal de la máquina.

El movimiento de cambio de paso de la pala es un giro alrededor de su eje longitudinal. Para conseguir este movimiento en el aerogenerador G52 se utiliza un mecanismo de bielas y manivelas que colocan las tres palas al mismo ángulo de paso en cada instante.

### Mecanismo bielas y manivelas:



Un cilindro hidráulico con un émbolo mueve longitudinalmente una varilla actuadora que atraviesa la multiplicadora y el eje principal y termina en una pieza plana triangular montada perpendicularmente. En los vértices del triangulo se colocan las bielas que dan el movimiento de rotación a las palas.

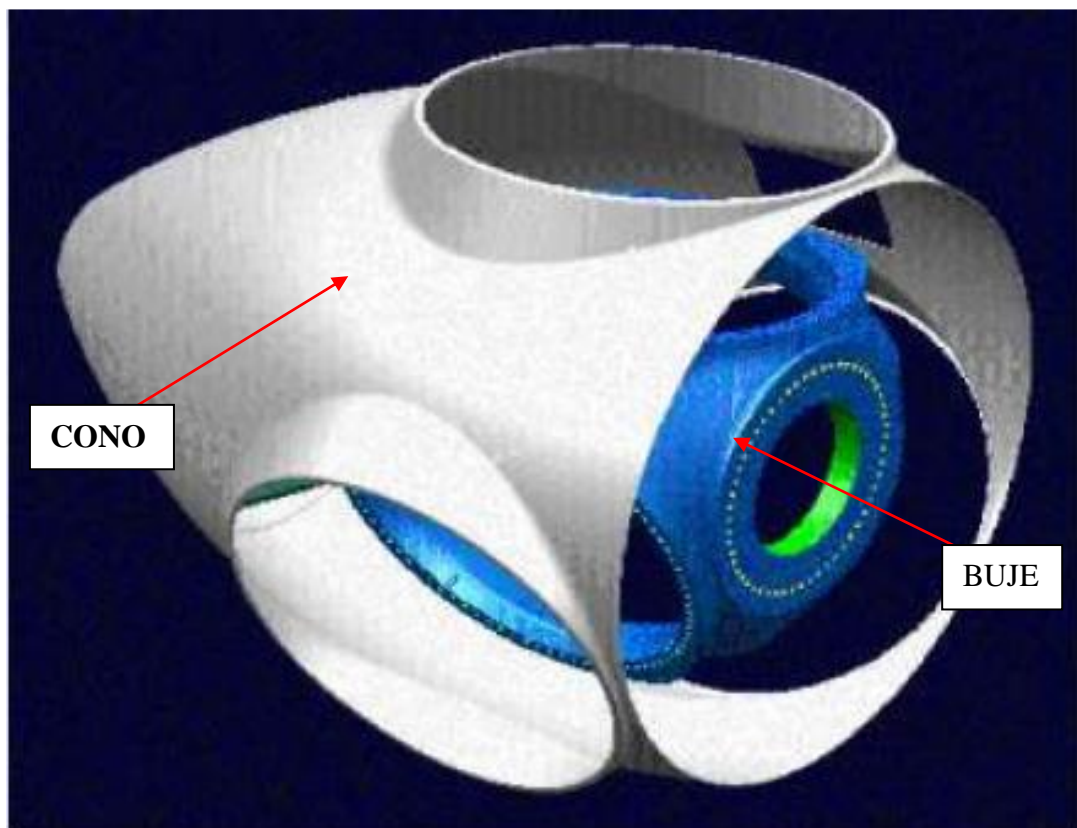


CILINDRO  
HIDRAULICO



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

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

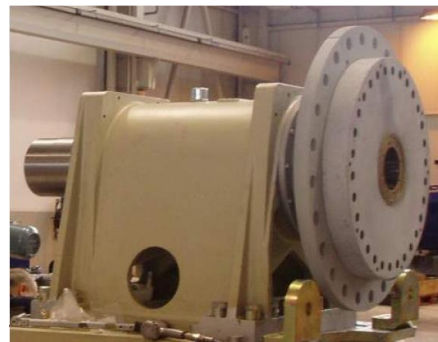


### 3.5 Tren de potencia

Es el encargado de transmitir la potencia que ejerce el viento sobre las palas al generador a través del eje de baja, multiplicadora y eje de alta.

El eje se une al buje mediante una brida atornillada y esta conectado a la multiplicadora mediante un disco cónico de apriete. Esta Apoyado en un caballete con dos rodamientos esféricos de doble hilera que absorben las cargas transversales del rotor.

El caballete o caja del eje transmite las cargas al bastidor a través de cuatro patas atornilladas a éste.



El sistema eléctrico del tren de potencia se compone de:

- Caja de conexiones A4
- Sensor de R.P.M. del Rotor B400
- Sensor del BOGA. B430
- Sensor Azimut S404
- Sensor R.P.M. del Generador B401

Caja de conexiones A4: Está situada en el caballete. En ella se conectan los cables de los sensores de RPM del rotor, VOG y Acimut con un cable general (WS486), que viene directamente del armario TOP y alimenta a los tres sensores. La alimentación de 24v se coge de la fuente de alimentación de 10 A, (VF+).

### 3.6 Multiplicadora

Multiplica la velocidad del tren de baja (tren de potencia) por 74.5 formando así el tren de alta el cual esta acoplado al generador.

Su función es transmitir el par al generador y adaptar la velocidad del rotor a una velocidad de rotación adecuada para la producción de electricidad.



El radio de multiplicación de la multiplicadora es el parámetro fundamental de la multiplicadora, relación entre la velocidad de rotor y la velocidad del generador.

Esto quiere decir que por cada giro completo del rotor la multiplicadora lo eleva a 74.5 revoluciones.

La multiplicadora esta soportada por dos brazos de par (amortiguadores) que absorben las vibraciones. Los amortiguadores transmiten las vibraciones de la multiplicadora al bastidor.

El sistema eléctrico de la multiplicadora se compone de:

- Sensores de temperatura PT100
- Motor bomba de aceite M342
- Resistencias calefactoras E415 y E416
- Presostato de aceite S412
- Sensor filtro aceite S419
- Sensor nivel aceite S420
- Motor filtro auxiliar aceite M343
- Sensor filtro auxiliar aceite D343

**MOTOR BOMBA DE ACEITE M342:** Motor trifásico a 690 v y de 1.5 KW de potencia. Su misión es bombear aceite desde la multiplicadora hasta el intercambiador de calor situado en el techo de la góndola. Está instalada junto al amortiguador derecho.

Cuando la temperatura del aceite supera un valor predeterminado por programa, (59°C), el PLC activa el motor (tarjeta U16 S015), parándolo cuando la temperatura cae por debajo de otro valor predeterminado por programa (55°C).

Si falla la realimentación del motor (tarjeta U15 EO 8), o se dispara el térmico del mismo (tarjeta U15 E09), se producen las alarmas 419 y 421 respectivamente y la máquina pasa al estado de STOP.



RESISTENCIAS CALEFACTORAS E415 Y E416: Resistencias monofásicas a 220v y 980W de potencia. Su misión es la de calentar el aceite cuando éste esté por debajo de un valor predeterminado por programa, (10°C), desconectándose cuando la temperatura supere otro valor predeterminado por programa, (15°C), (tarjeta U16 S07).

Ambas resistencias están situadas en la base de la multiplicadora en el interior de unas camisas con el fin de evitar el contacto directo con el aceite.

Resistencia calefactora



**MOTOR FILTRO AUXILIAR ACEITE M343:** Motor trifásico a 690 volts y de 0.18 KW de potencia. Su misión es circular el aceite a través de un filtro auxiliar. Está instalado junto al amortiguador izquierdo.

Cuando la temperatura del aceite llega a un **valor** predeterminado por programa, (40°C) el PLC activa el motor, (tarjeta U16 SD13), parándolo cuando la temperatura cae por debajo de otro valor predeterminado por programa, (35°C).

Si falla la realimentación del motor (tarjeta U15 ED7), o se dispara el térmico del mismo (tarjeta U15 ED10), se producen las alarmas 420 y 422 respectivamente y la máquina pasa al estado de STOP.



**SISTEMA DE REFRIGERACION DE LA MULTIPLICADORA:** La finalidad del sistema de refrigeración es la de enfriar el aceite de la multiplicadora. Para ello, y dependiendo de la temperatura del aceite, el aceite es elevado hasta unos intercambiadores situados en el techo de la góndola por su parte exterior.

Existen dos intercambiadores, dos para el aceite de la multiplicadora; Los dos intercambiadores para el aceite, uno se emplea con el circuito de la bomba mecánica de la multiplicadora y el otro con el circuito de la bomba eléctrica.

**MOTOR DE REFRIGERACIÓN M340:** Motor trifásico a 690v y de 0.75Kw. Es el encargado de enfriar el intercambiador del circuito de aceite de la bomba mecánica; ocupa la posición izquierda de los tres intercambiadores.

Cuando la temperatura del aceite supera un valor predeterminado por programa, (55°C), el PLC activa el motor a través de la tarjeta U 16 S03, parándolo cuando la temperatura cae por debajo de otro valor predeterminado por programa, (50°C).

Al activarse el motor se produce un flujo de aire. El aire entra en el habitáculo de los motores a través del intercambiador saliendo por la parte trasera de los motores. Los motores deben extraer el aire.

Si falla la realimentación del motor, (tarjeta U 14 E03), o se dispara el térmico del mismo, (tarjeta U14 E08), se producen las alarmas 413 y 412 respectivamente y la máquina pasa al estado de STOP.



**MOTOR DE REFRIGERACIÓN M341:** Motor trifásico a 690v y de 0.75Kw. Es el encargado de enfriar el intercambiador del circuito de aceite de la bomba eléctrica; ocupa la posición derecha de los tres intercambiadores.

Cuando la temperatura del aceite supera un valor predeterminado por programa, (61°C), el PLC activa el motor a través de la tarjeta U16 SD4, parándolo cuando la temperatura cae por debajo de otro valor predeterminado por programa, (55°C).



Al activarse el motor se produce un flujo de aire. El aire entra en el habitáculo de los motores a través del intercambiador saliendo por la parte trasera de los motores. Los motores deben extraer el aire.

Si falla la realimentación del motor, (tarjeta U14 ED4), o se dispara el térmico del mismo, (tarjeta U 14 ED9), se producen las alarmas 413 y 412 respectivamente y la máquina pasa al estado de STOP.

Nota: en ambos motores se producen las mismas alarmas. Se prevé independizar las alarmas de ambos motores.

**CAJA DE CONEXIÓN A3:** Debido a que los motores se encuentran en el techo de la góndola y con el fin de evitar el descableado de los mismos cuando se necesite quitar la capota de la góndola, se ha previsto una caja de conexión en la pared, a la altura del cardan, donde se conectan los cables que proceden de los motores y los cables que proceden del armario Top y alimentan a los motores.

### 3.7 Generador

El generador es asíncrono trifásico doblemente alimentado, con el rotor alimentado mediante anillos rozantes.



- Tipo(modelo): Indar NCR-450-L/4
- Potencia nominal: 850 Kw
- Tamaño constructivo: 450
- Servicio: S1
- Voltaje: 690 V
- Conexión estator: Estrella/Triangulo
- Frecuencia: 60 Hz
- Protección: Generador IP 55  
Resistencias IP23
- Refrigeración: IC 411
- Temperatura ambiente:  $-20^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}$

La conexión de los bobinados del rotor con la caja de bornas del rotor se realiza mediante anillos rozantes y escobillas. Existen 4 anillos rozantes, 1 para cada fase más 1 extra para la conexión de la masa del rotor a tierra. Sobre cada uno de los anillos se colocan una serie de escobillas, a las que se conectan los cables eléctricos que llegan hasta la caja de conexiones del rotor.

Cuando el eje gira, los anillos rozantes (fijos al rotor) y las escobillas (fijas a la carcasa) están en contacto de forma continua, con lo que se asegura el paso de la corriente eléctrica entre la parte giratoria y la parte fija.



La refrigeración es realizada mediante un ventilador mecánico acoplado al eje del generador en el extremo LA. La entrada del aire de refrigeración se realiza por el extremo LOA del generador. El aire rodea la carcasa del generador recogiendo el calor desprendido por éste y llega al ventilador, que lo expulsa al exterior de la góndola a través del conducto previsto para ello.

**Salida de aire del generador:**



En la caja de conexiones del estator se conectan 4 cables de sección 3x70 mm<sup>2</sup> en tornillos m16. Estos cables se conectan a la parte de contactores del armario eléctrico top.



En la caja de bornas del rotor se conectan 2 cables de sección 3x70mm<sup>2</sup>. Ambos cables van conectados a la inductancia del rotor en el armario del convertidor de potencia.



#### DATOS CON ROTOR CORTOCIRCUITADO:

- Conexión estator: D
- Voltaje: 690 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Par nominal (Tn): 4244 Nm
- Tensión a rotor bloqueado (fase-fase): 1852 V
- Datos en vacío:

Potencia consumida 17.8 kW

Potencia reactiva consumida 260 kVAr

Corriente 216 A

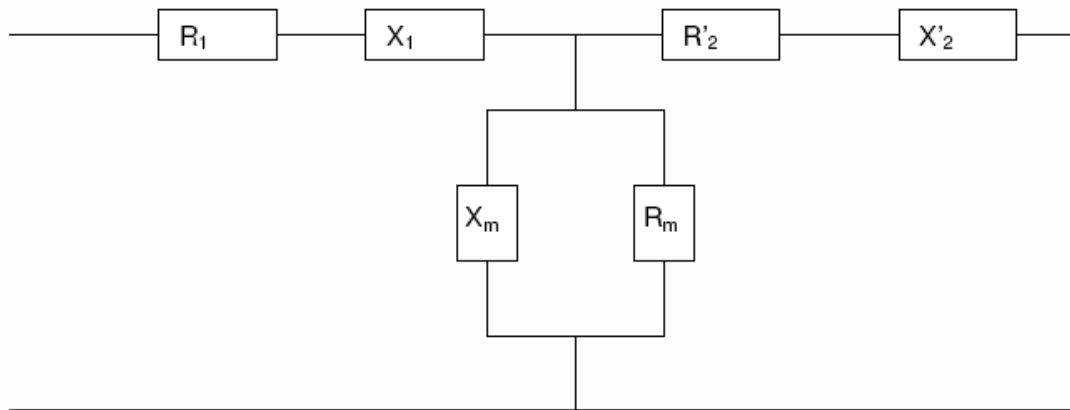
- Pesos:
  - Estator 2750 kg
  - Rotor 1750 kg
  - Total 4500 kg
- Momento de inercia: 54 kg.m<sup>2</sup>
- Nivel de ruido (en vacío a 1800 rpm):90 dB(A)
- Rodamientos:
  - Lado acoplamiento SKF-6326-M/C3
  - Lado opuesto acoplamiento SKF-6326-M/C3
- Nivel de vibración: < 1.8 mm/s
- Curva de magnetización:
  - Equivalencias de tensión con intensidad

Tensión (V)	172.5	345	517.5	621	690	759
Intensidad (A)	36	70	107	130	150	175

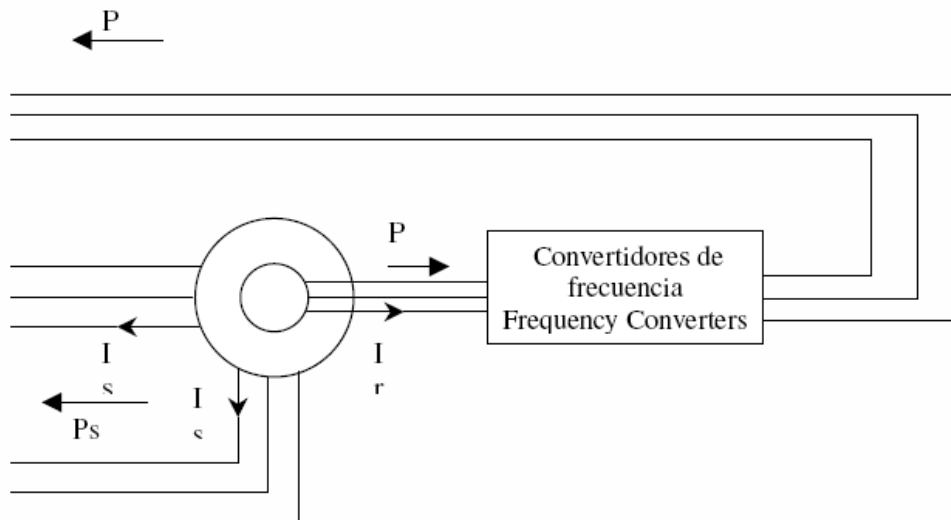
- Circuito equivalente:
  - Valores referidos al estator.
  - Voltaje nominal (690 V por fase) y frecuencia nominal.
  - Máquina caliente.
  - Datos válidos para velocidades próximas a la de sincronismo.
  - Las pérdidas mecánicas debidas a la rotación no aparecen incluidas en las perdidas del hierro
  - Estator conectado en triángulo.
- Resistencia del estator
  - $R1 = 0.0159 \Omega/\text{fase}$
- Reactancia del estator
  - $X1 = 0.0922 \Omega /\text{fase}$

- Resistencia del rotor  
 $R'2 = 0.0112 \Omega$  /fase
- Reactancia del rotor  
 $X'2 = 0.130 \Omega$  /fase
- Resistencia de magnetización  
 $R_m = 231 \Omega$  / fase
- Reactancia de magnetización  
 $X_m = 7.99 \Omega$  /fase

Circuito equivalente del generador:



Datos con el generador conectado al sistema ingecon wind



Datos en régimen nominal (estator conectado en D, factor de potencia 1):

- Velocidad: 1944 rpm
- Potencia total: 864 kW
- Potencia del estator: 800 kW
- Potencia del rotor: 64 kW
- Tensión del estator: 690 V
- Intensidad del estator: 669 A
- Tensión a rotor bloqueado: 150 V
- Intensidad rotor: 277 A

Incremento de temperatura en régimen nominal (estator conectado en D, factor de potencia 1):

- Incremento temperatura estator (por resistencia) < 110°C
- Incremento temperatura rotor (por resistencia) < 110°C
- Incremento temperatura rodamiento LA (por Pt100) < 50°C
- Incremento temperatura rodamiento LOA (por Pt100) < 50°C

### 3.8 Transformador

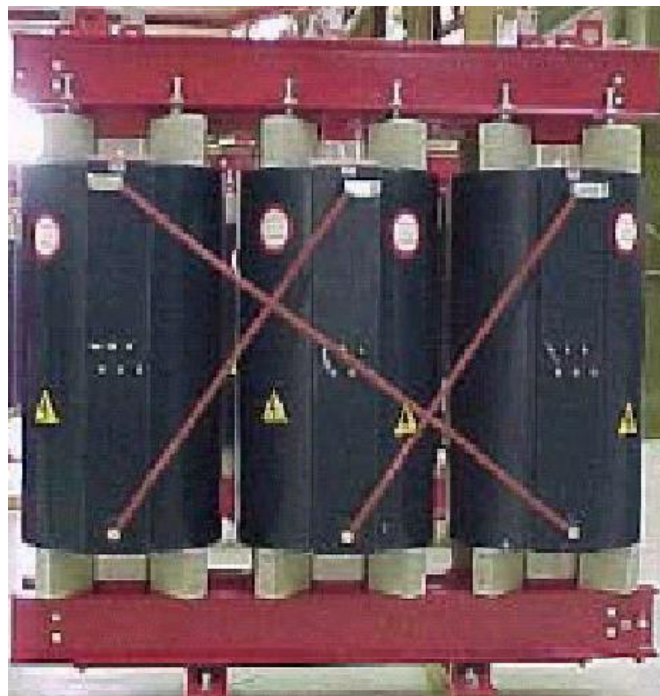
El transformador está situado en la torre del aerogenerador, en una celda cerrada por razones de seguridad. Está atornillado a una plataforma intermedia de la torre.

Es un transformador de tipo seco encapsulado, autoextinguible, para servicio interno exclusivamente. Tiene una conexión delta-estrella (con el neutro BT conectado a tierra). Transformador 900 kVA, 34.5 kV / 690 V para el aerogenerador G52 de 850 kW.

Este transformador dispone de sensores para el control de temperatura (Pt100) conectados al sistema de control del aerogenerador. Si la temperatura del transformador es demasiado alta el sistema de control para el aerogenerador puede llegar a desconectar la Celda MT si es necesario para la protección del aerogenerador.

#### Datos del transformador

- Potencia nominal 900 kVA
- Tensión primario 34.5 kV
- Tensión secundario 690V
- Frecuencia 60 Hz
- Alto (aprox) 1650 mm
- Largo (aprox) 1700 mm
- Ancho (aprox) 680 mm
- Peso (aprox) 2900 kg



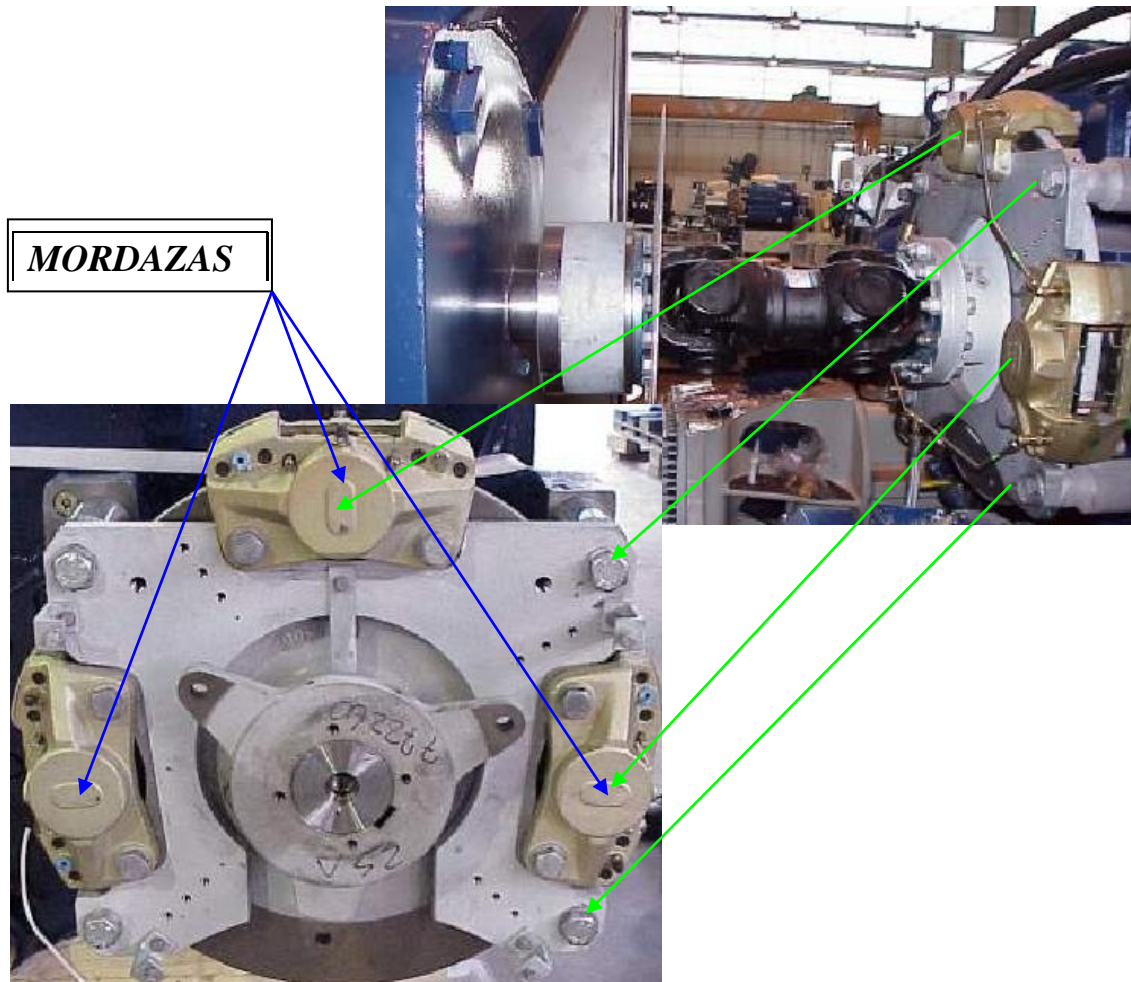


### 3.9 Sistema de freno de la maquina

El freno primario del aerogenerador es aerodinámico por puesta en bandera de las palas aun ángulo de 90° con le fin de tener la menor oposición al viento.

El freno mecánico redundante es un freno de disco, activado hidráulicamente, que se monta en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora.

El freno de mecánico consta 3 mordazas y 6 pastillas de freno



El sistema de freno tiene como misiones:

- Impedir el giro de la góndola cuando no está orientándose.
- Durante el giro de la góndola, generar un rozamiento opuesto a la acción de los accionamientos que evite la aparición de efectos giroscópicos.

El frenado se realiza mediante pastillas de fricción. Atendiendo al modo de accionamiento, se distinguen:

**Frenado activo:** mediante accionamiento del grupo hidráulico a través de las mordazas.

Ventajas: mayor capacidad de retención, posibilidad de retención variable y controlada, al controlarse la presión.

Desventajas: mayor complejidad, riesgo de fugas, riesgo de pérdida de retención en caso de fallo de la red.

### 3.10 Sistema de giro y orientación de la maquina

La función del sistema de giro es orientar la góndola de tal forma que el viento incida sobre el rotor de la forma más favorable posible, esto es en dirección perpendicular al plano del rotor, cuando el estado de operación es MARCHA o PAUSA.

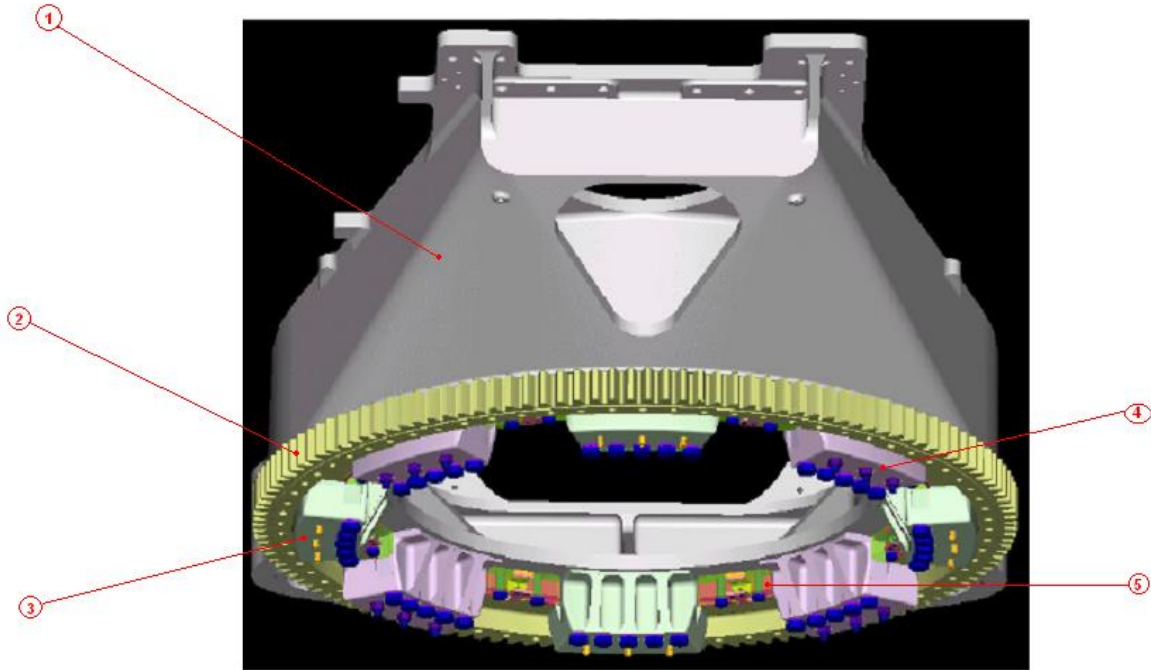
De esta forma se consigue:

- Mayor aprovechamiento energético al verse afectada una mayor superficie de barrido de rotor.
- En casos de vientos extremos, menor resistencia ofrecida por la máquina y menores cargas.
- El sistema de giro está situado entre la góndola y la torre por lo que transmite las cargas desde góndola a torre.
- Controlar el enrollamiento de cables y desenrollarlos cuando es necesario.
- Medir la posición de la nacelle.

La orientación se consigue a través de motores eléctricos, este sistema también se denomina forzado.

En operación el autómata de la máquina detecta la desorientación de la góndola con respecto a la dirección del viento por medio de la veleta, y actúa sobre los accionamientos, de acuerdo a una estrategia de control definida. Además el sistema es capaz de actuar para evitar un enrollamiento excesivo de los cables de potencia de la máquina.

El sistema permite también el accionamiento manual, necesario durante la puesta en marcha y las operaciones de mantenimiento.



### Componentes principales del sistema de giro

1. Bastidor principal
2. Corona de giro
3. Mordazas activas (4 a 90°)
4. Mordazas pasivas (4 a 90°)
5. Pieza intermedia entre mordazas (empujador, engrasador y rascador)

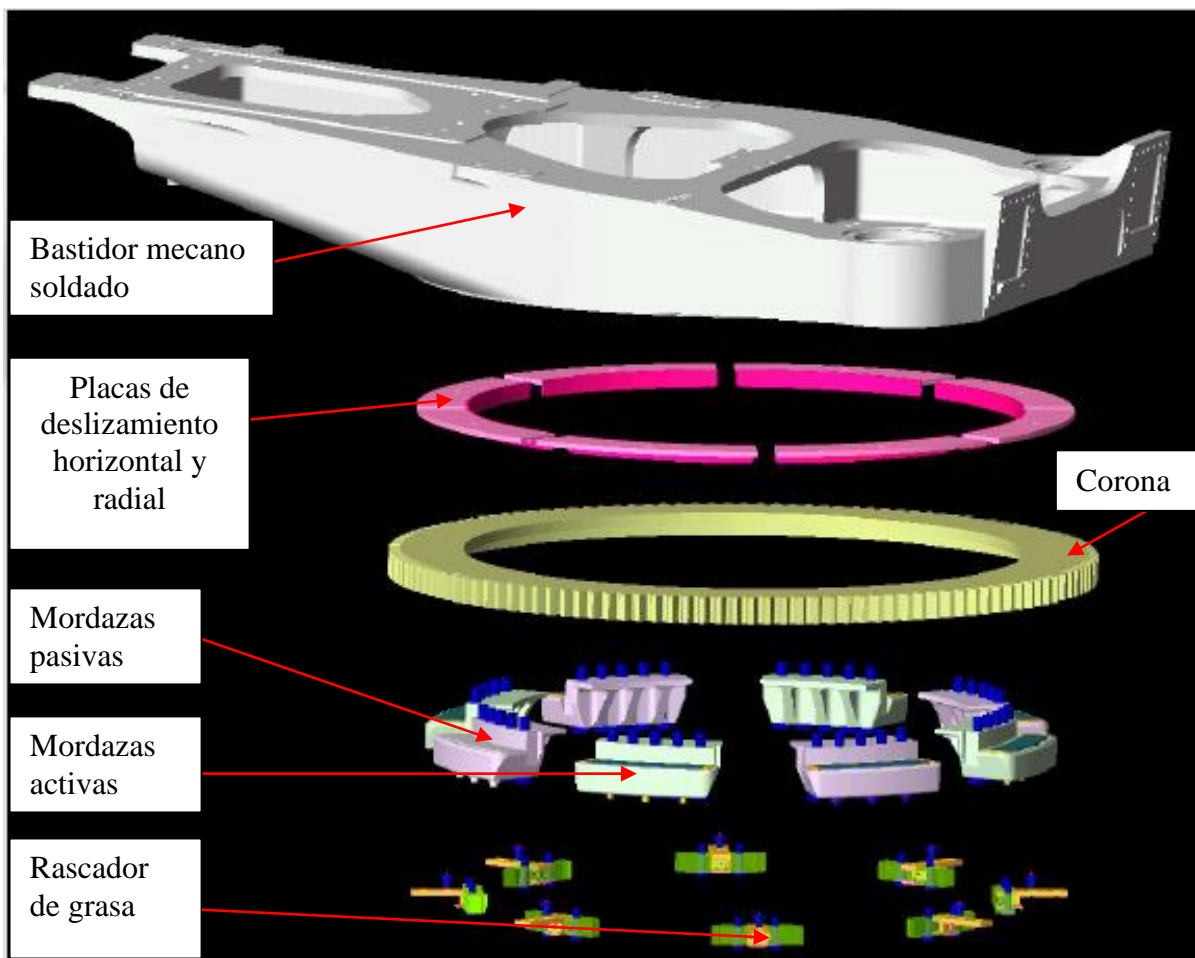
El sistema de giro se divide en 3 partes diferenciadas:

- Sistema de activación: 2 moto reductoras con motor- freno eléctrico para accionamiento del giro y aporte extra de par de retención.

- Cojinete de giro y frenado: 4 mordazas-freno pasivas, activadas cada una con 3 apilados mecánicos; 4 mordazas activas equipadas cada una con 3 pozos hidráulicos, elementos de deslizamiento de material PETP auto lubricado, 8 horizontales y 8 radiales, comprendidos en cada una de las mordazas. Permiten y guían el giro relativo del bastidor principal respecto de la corona, limitando los desplazamientos en dirección radial.

- **Corona dentada:**

Descripción de los componentes:



**SISTEMA DE ACTIVACION:** El sistema de activación consta de 2 motoredutoras que permiten el giro y orientación de la góndola a través de un piñón corona.

Por medio del freno de fricción las motoredutoras aportan un par de retención extra al proporcionado por las mordazas. Dicha capacidad de retención adicional permite retener la maquina ante cargas exteriores de viento elevadas.

Vista del piñón de la motoredutora y motorreductora:



**COJINETE DE GIRO Y FRENADO:** El cojinete de giro esta formada por 4 mordazas pasivas y 4 activas. Las mordazas pasivas y activas tienen mismas dimensiones externas pero tienen un funcionamiento interno distinto.

La góndola se encuentra impedida al giro mediante la acción combinada de las mordazas activas y pasivas, Bajo condiciones de viento normales no se transmite carga a través del engrane corona / reductores de giro, Ante picos de viento extremo, bajo los cuales el par de guiñada externo es superior al par de retención de las mordazas, los reductores de giro proporcionan el par de frenado adicional

El sistema de giro puede adoptar las siguientes condiciones de trabajo:

**Aerogenerador en estado de orientación:** Las mordazas activas mantienen una presión remanente de 30 bar y los dos reductores accionan el giro de la góndola, las mordazas pasivas actúan de manera continua.

- **Aerogenerador en estado de retención** (orientado respecto a viento predominante): En esta condición la máquina tiene una capacidad máxima de frenado, es decir, el máximo par de retención se alcanza cuando las mordazas hidráulicas se encuentran activas a la presión de trabajo de 180-200 bar, el efecto de las mordazas activas se suma al efecto de las mordazas pasivas y peso propio, cuando se dan cargas extremas, se suma la capacidad de retención aportada por los motor-frenos adosados a las reductoras de giro,

**Mordazas pasivas:** Las mordazas pasivas hacen la función de cojinete de giro. Están separadas 90° trabajan con una precarga de 55 KN aplicada a un paquete apilado de 6 arandelas muelle aplicando presión sobre la pista inferior de la corona de giro en todo momento.



Placas de deslizamiento horizontal y radial: El bastidor de la góndola desliza sobre la corona de giro que es solidaria a la torre. Entre los dos elementos existen unas placas de bajo coeficiente de fricción denominadas placas de deslizamiento; Son 16 placas horizontales y 8 radiales con lubricante sólido dispuestas en los 360° que permiten el deslizamiento relativo entre las mordazas y la corona

Entre placas de deslizamiento hay unos topes de placas deslizantes. Además poseen un rascador de grasa para mantener la pista inferior de la corona seca y exenta de suciedades y grasa.

Corona: La corona está formada por 5 sectores dentados de acero aleado que se montan sobre el núcleo de fundición de la corona mediante chavetas y tornillos.

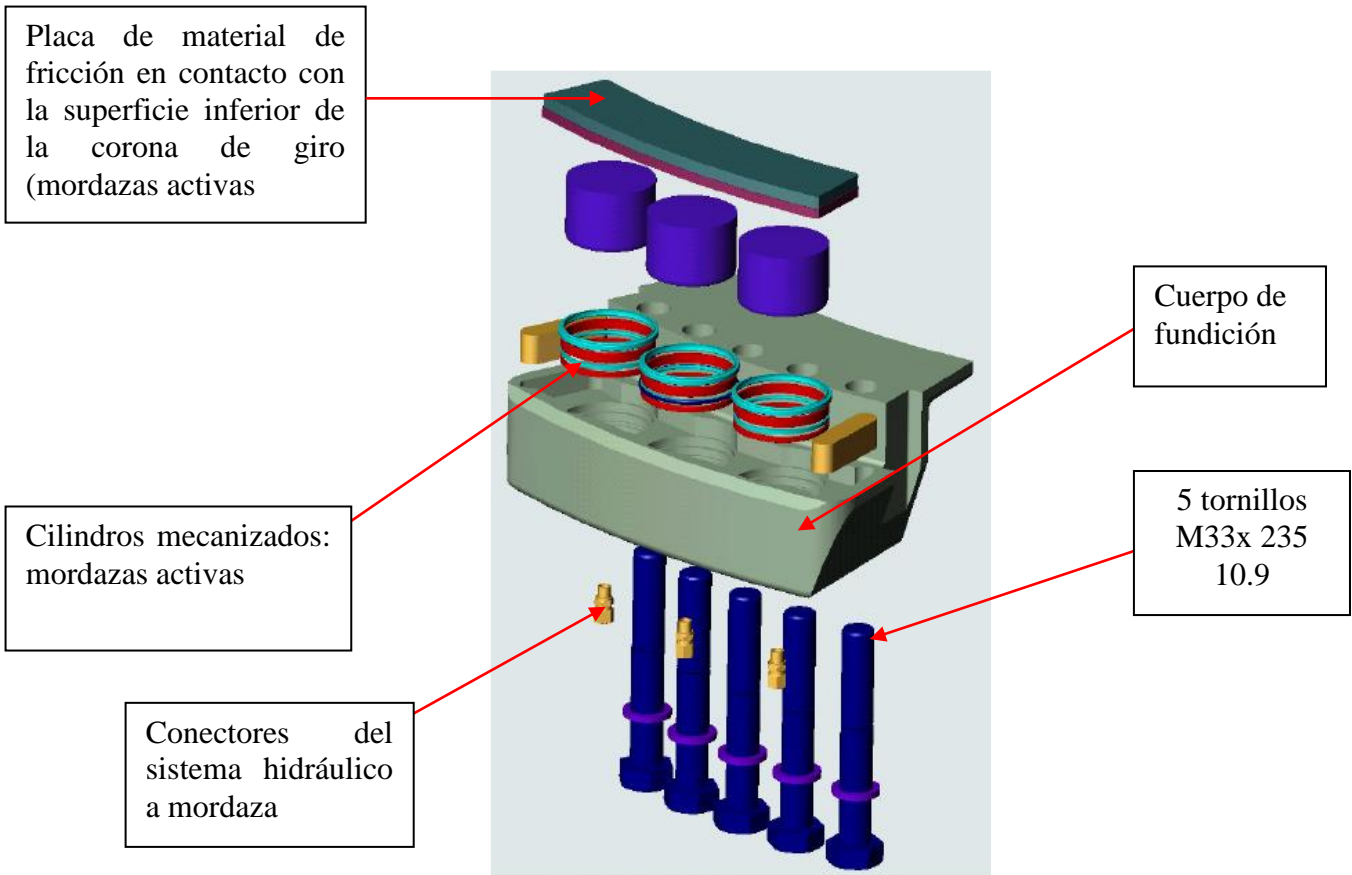
Cuando la góndola se encuentra orientada, su posición se mantiene fija gracias a las mordazas activas y pasivas.

Mordazas activas: Las mordazas activas hacen la función de sistema de frenado. Están, separadas 90° una de otra. Se conectan al grupo hidráulico principal trabajan con una presión entre 180/200 bar en estado de retención y con 30 bar en estado de conducción.



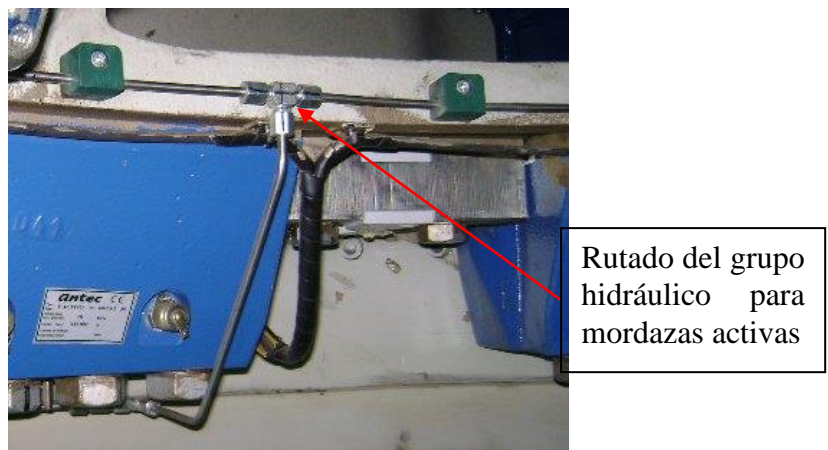


**Interior de mordaza:**



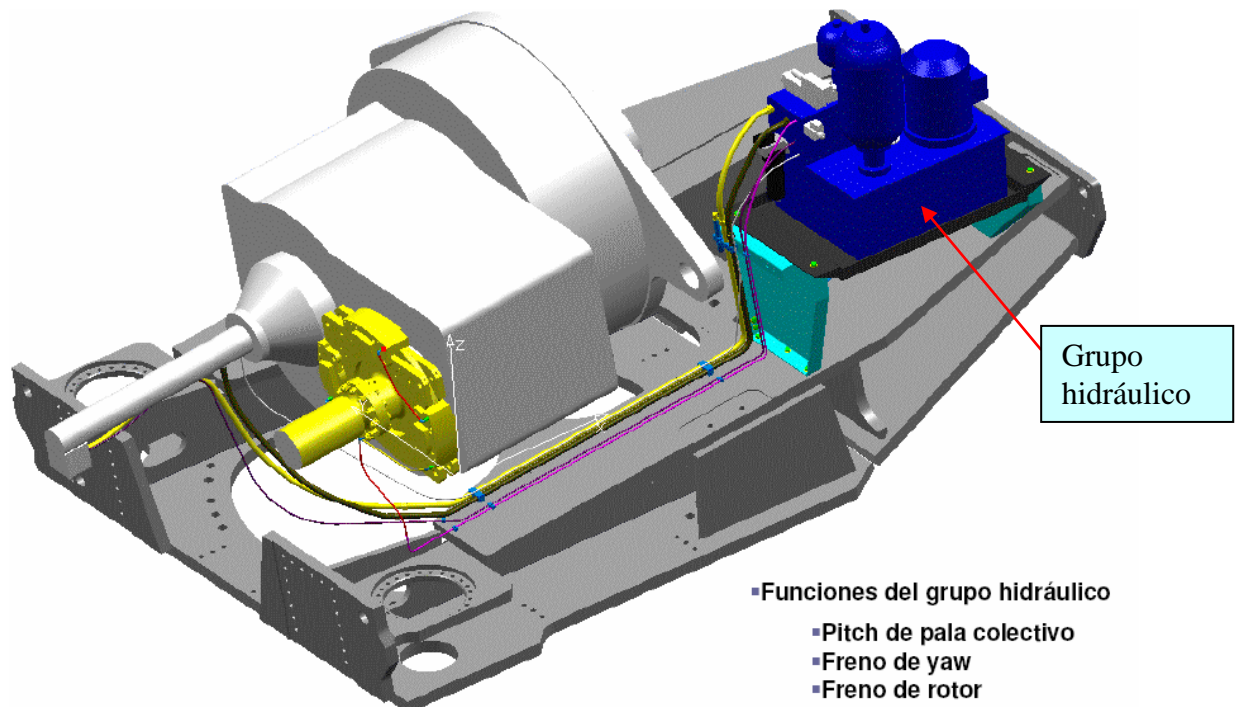
Su objetivo es bloquear la góndola cuando no esta orientando aplicando presión sobre la pista inferior de la corona de giro.

El sistema hidráulico alimenta a los pistones de las mordazas de aceite. El rutado es alimentado por un grupo hidráulico a una presión de 180/200 bar en un estado de retención de la maquina y 30bar en orientación.



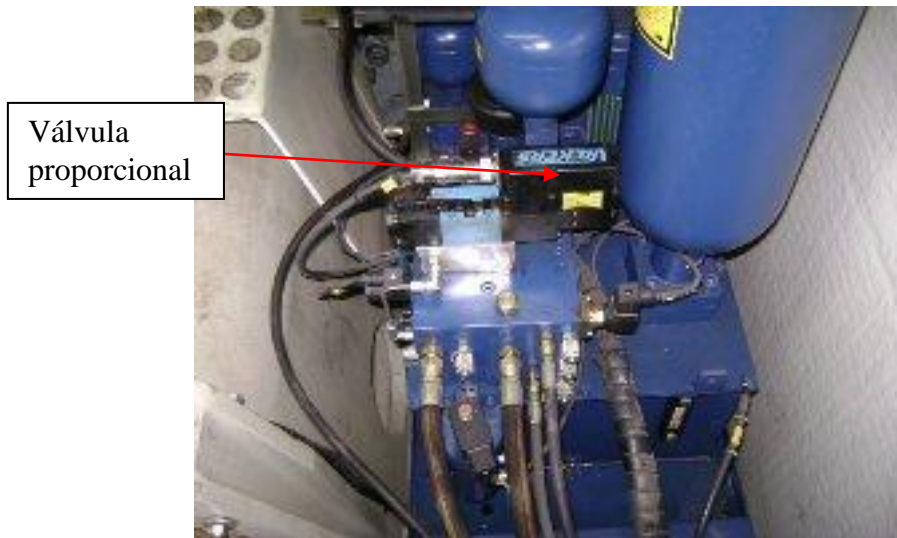
### 3.11 Sistema hidráulico

El Grupo Hidráulico es el elemento encargado de mantener y regular, (por mediación del PLC), la presión de aceite de los sistemas del Pitch y del freno.



Válvula proporcional Y800: Es la encargada de la regulación del Pitch. Se alimenta con 24 Vcc y se le aplica una tensión entre + 10 Y -10 Vcc a través de la salida analógica o del módulo contador U18 BH2412. Según sea esta tensión aplicada la corredera de la válvula se moverá en uno u otro sentido. Si la tensión aplicada es 0 v la corredera se posiciona en el punto 0.

Esta válvula, como tal, no genera ninguna alarma.



Motor bomba de aceite M240 (Motor trifásico a 690 v y 4 Kw): Es el encargado de bombear aceite desde el depósito del grupo hidráulico hasta los acumuladores del Pitch y del freno. Cuando la presión que nos marca el pretostato del acumulador del Pitch A203 cae por debajo de un valor predeterminado por programa, (180bares), el PLC manda arrancar el motor de bombeo (tarjeta U16 SD2), parándolo cuando dicha presión supera otro valor también determinado por programa, (200 bares).

Si falla la realimentación del motor (tarjeta U14 ED2), o se dispara el térmico del mismo (tarjeta U14 ED7), se producen las alarmas 208 y 206 respectivamente y la máquina pasa al estado de EMERGENCIA.

Si el motor está en funcionamiento más tiempo del que marca un valor predeterminado por programa, (60 sg), el PLC manda la máquina al estado de EMERGENCIA.

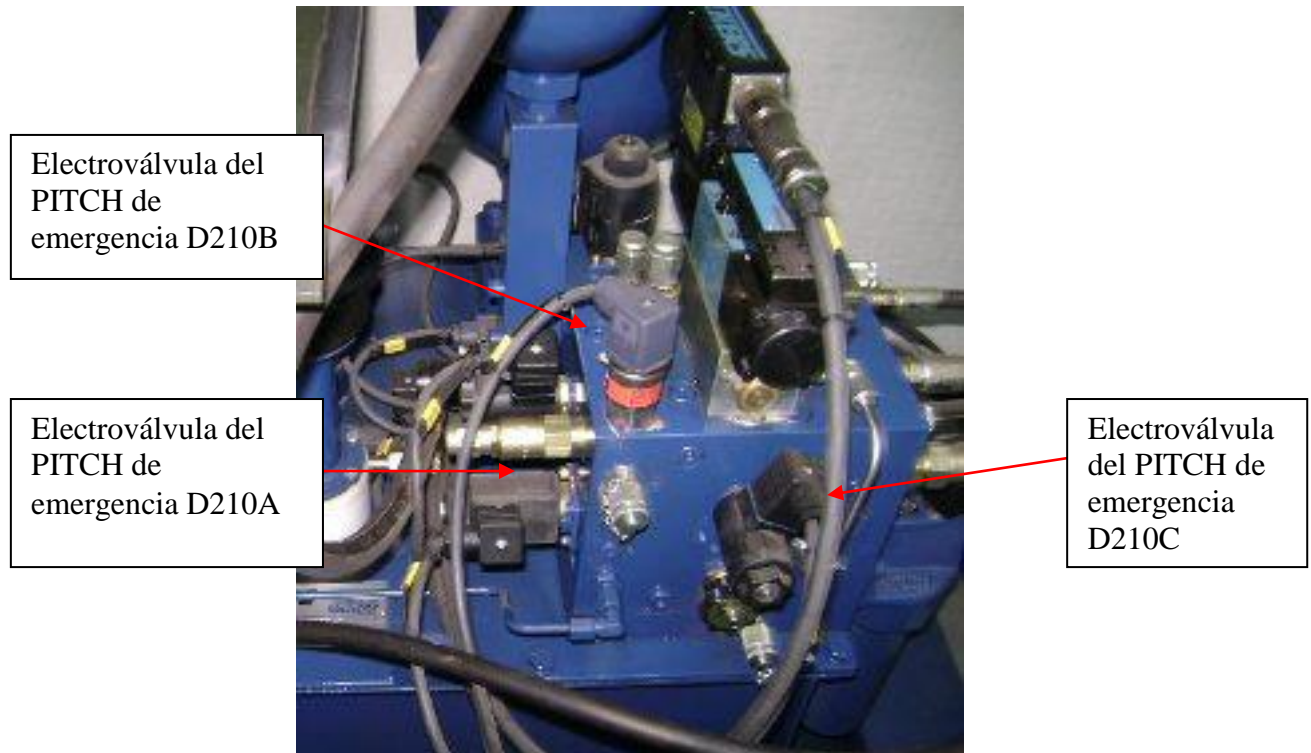


MOTOR BOMBA  
DE ACEITE  
M240

Electroválvulas de emergencia del PITCH D210A, D210B, D210C:  
Válvulas solenoidales que al aplicarles una tensión de 24 Vcc se activan abriéndose o cerrándose según su posición inicial. Una prueba común para comprobar si la electroválvula está activada es acercarle un objeto metálico, si el objeto es atraído por la electroválvula ésta está activada.

En los estados de PAUSA y MARCHA el PLC, (tarjeta U16 S06), activa el relé KR210, que a su vez activa las electroválvulas.

Estas válvulas, como tales, no generan ninguna alarma.



Electroválvulas de emergencia del freno D211: Válvula solenoidal que al aplicarle una tensión de 24 Vcc se activa abriéndose o cerrándose según su posición inicial. Una prueba común para comprobar si la electroválvula está activada es acercarle un objeto metálico, si el objeto es atraído por la electroválvula ésta está activada.

En los estados de STOP, PAUSA Y MARCHA el PLC, (tarjeta U16 SD5), activa el relé KR211, que a su vez activa la electroválvula. Esta válvula, como tal, no genera ninguna alarma. Electroválvula del freno del YAW: Válvula solenoidal que al aplicarle una tensión de 24 Vcc se activa abriéndose o cerrándose según su posición inicial. Una prueba común para comprobar si la electroválvula está activada es acercarle un objeto metálico, si el objeto es atraído por la electroválvula ésta está activada. En el momento previo al giro de la Nacelle el PLC, (tarjeta U18, SA3), activa el optoacoplador KR132, que a su vez activa la electroválvula. Esta válvula, como tal, no genera ninguna alarma.

## Capítulo 4: Operación y Control del aerogenerador

### 4.1 Estados de operación

El aerogenerador G52 de 850 kw tiene tres modos de funcionamiento:

Funcionamiento en modo normal

Funcionamiento en modo servicio

Test menú (modo manual).

Dentro de los dos primeros (normal y servicio) el funcionamiento de la máquina se clasifica en estados. En cada estado están predefinidas las funciones de la máquina que están activas. Así en cada momento se puede saber qué sistemas de la máquina se encuentran activos o no.

Test menú es un modo de funcionamiento solo válido para puestas en marcha, chequeo y solución de averías, así como mantenimiento.

En ambos menús, normal y servicio los estados son exactamente iguales, con la salvedad que dentro de menú servicio la orientación está deshabilitada. La máquina en cada momento se encuentra en uno de estos cinco estados definidos. El cambio de un estado a otro se realiza tras una petición de cambio de estado o cuando se produce una alarma.

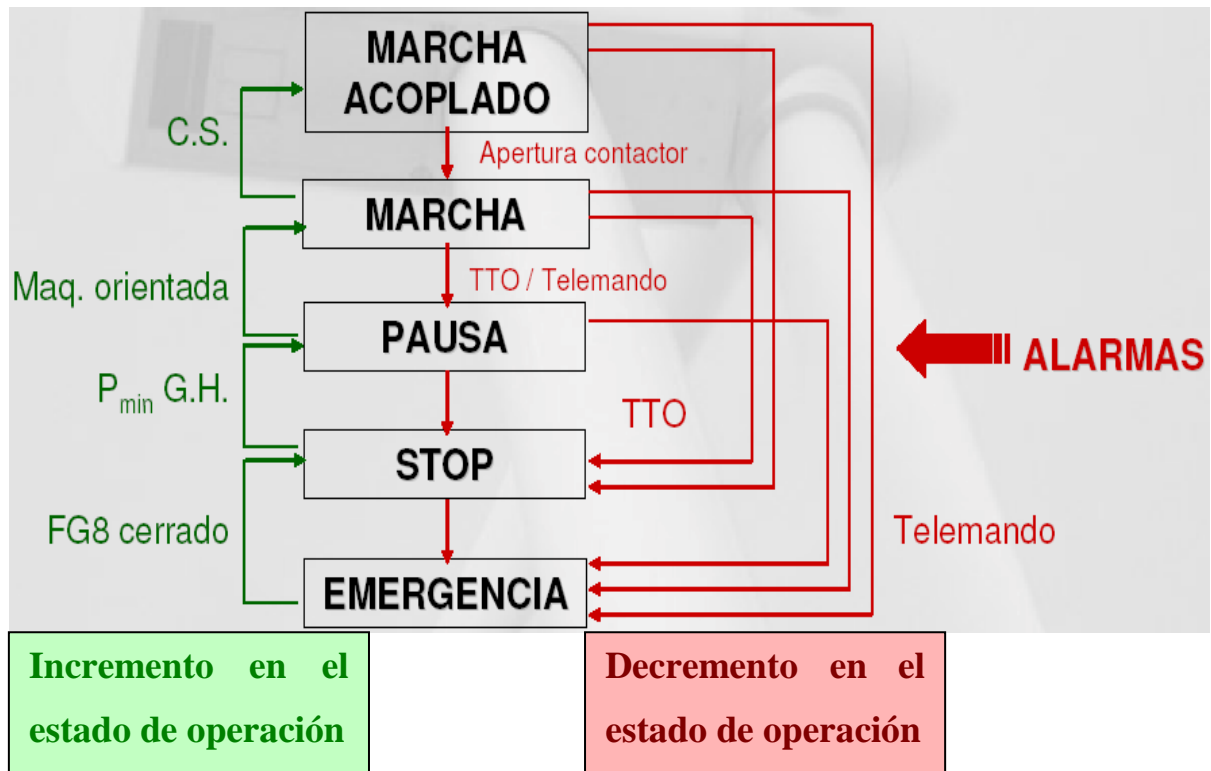
Los estados de operación son visibles desde el TTO (Terminal Táctil de Operación), en cualquiera de las diferentes pantallas que componen la aplicación y desde el telemando.

Tanto en menú normal como en menú servicio la máquina se encuentra en uno de los siguientes estados:

- **EMERGENCIA.**
- **STOP.**
- **PAUSA.**
- **MARCHA.**
- **MARCHA ACOPLADO.**

El estado más restrictivo es emergencia y el más operativo es marcha acoplado.

	<b>EMERGENCIA</b>	<b>STOP</b>	<b>PAUSA</b>	<b>MARCHA</b>	<b>MARCHA ACOPLADA</b>
<b>OGS</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Freno aplicado</b>	<b>Activo</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>Grupo hidráulico</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Ventiladores y bomba de refrigeración de aceite</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Sistema de orientación</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Sistema pitch</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Regulación de velocidad</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>	<b>Activo</b>
<b>Regulación de potencia</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>Activo</b>



**Incremento en el estado de operación.** Para que el sistema sufra un incremento del estado de operación el operario deberá requerirlo, bien sea desde el telemando o con el TTO (Terminal Táctil de Operación) de la máquina.

Las condiciones que se deben cumplir en cada cambio de estado son:

### 1. Paso: Emergencia a Stop

- Serie de Emergencia cerrada.
- No existen alarmas activas que manden a emergencia.
- FG8 cerrado.

### 2. Paso: Stop a Pausa

- El estado anterior sea Stop.



- No existen alarmas activas que manden a stop.
- Presión grupo hidráulico alcanza el límite inferior.

### **3. Paso: Pausa a Marcha**

- El estado anterior sea Pausa.
- No existen alarmas activas que manden a pausa.
- Máquina Orientada.

### **4. Paso: Marcha a Marcha Acoplada**

- El estado anterior sea Marcha.
- Se cumple la condición de sincronismo (velocidad de generador suficiente).

**Decremento en el estado de operación:** Para que el sistema sufra un decremento en el estado de operación, éste debe ser requerido por el Telemando, por la TTO o por la activación de alguna alarma.

Las condiciones que se deben cumplir en cada cambio de estado son:

#### **➤ Paso de cualquier estado a Emergencia**

- Apertura de serie de Emergencia (directa o controlada).
- Activación de por lo menos una alarmas que lleve a emergencia.
- Solicitud desde el telemando.

#### **➤ Paso de cualquier estado a Stop**

- Activación de por lo menos una de las alarmas que lleva a Stop.

- Solicitud desde la pantalla principal.

### **1. Paso : Marcha Acoplado a Marcha**

- Apertura contactor del estator.

### **2. Paso Marcha a Pausa**

- Activación alarma que lleva al sistema a Pausa.
- Solicitud desde la pantalla principal.
- Solicitud desde el telemando.

### **3. Paso Pausa a Stop**

- Activación alarma que lleva al sistema a Stop.
- Solicitud desde la pantalla principal.

## 4.2 Descripción del sistema de Control

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

Existe una pantalla táctil en la que se presentan datos de la operación del aerogenerador, y el sistema de control está preparado para la monitorización y el control remoto si es necesario. También está supervisado por el sistema de vigilancia, de manera que se garantice permanentemente su correcto funcionamiento.

El soporte físico del sistema de control se reparte en dos armarios, uno en la base de la torre “ground” y otro en la góndola “top”. La conexión entre ambos es a través de un cable de alimentación y de fibra óptica para las comunicaciones.

El ground está dividido en tres secciones:

- Sección de procesado
- Convertidor de frecuencias
- Sección de embarrados y protecciones.

Los procesadores del top y del ground tienen distintas misiones:

- El top se encarga de las tareas propias de la góndola, monitorización de los datos del viento cambio de paso, orientación, control de la temperatura interior y control remoto.
- El ground se encarga de la conexión y desconexión del generador, de la medida de la tensión y de la intensidad y del control de potencia.

### 4.3 Control del aerogenerador

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

La velocidad de viento se puede establecer en fases:

Viento bajo: Con el generador desconectado de la red.

Viento medio: Con el generador conectado, pero sin llegar a generar potencia nominal.

Viento alto: El generador produce potencia nominal.

Viento muy alto: El generador está desconectado y la turbina parada.

#### *Viento bajo*

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

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

#### *Viento medio*

Una vez que el sistema de Control Ingecon-W detecta que el viento tiene energía suficiente, conectará el generador a la red. También ajustará la velocidad más apropiada del rotor (dentro del rango de velocidades disponible) para una velocidad de viento dada y controlará la turbina para que la energía producida sea la óptima.

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

#### *Viento alto*

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

#### *Viento muy alto*

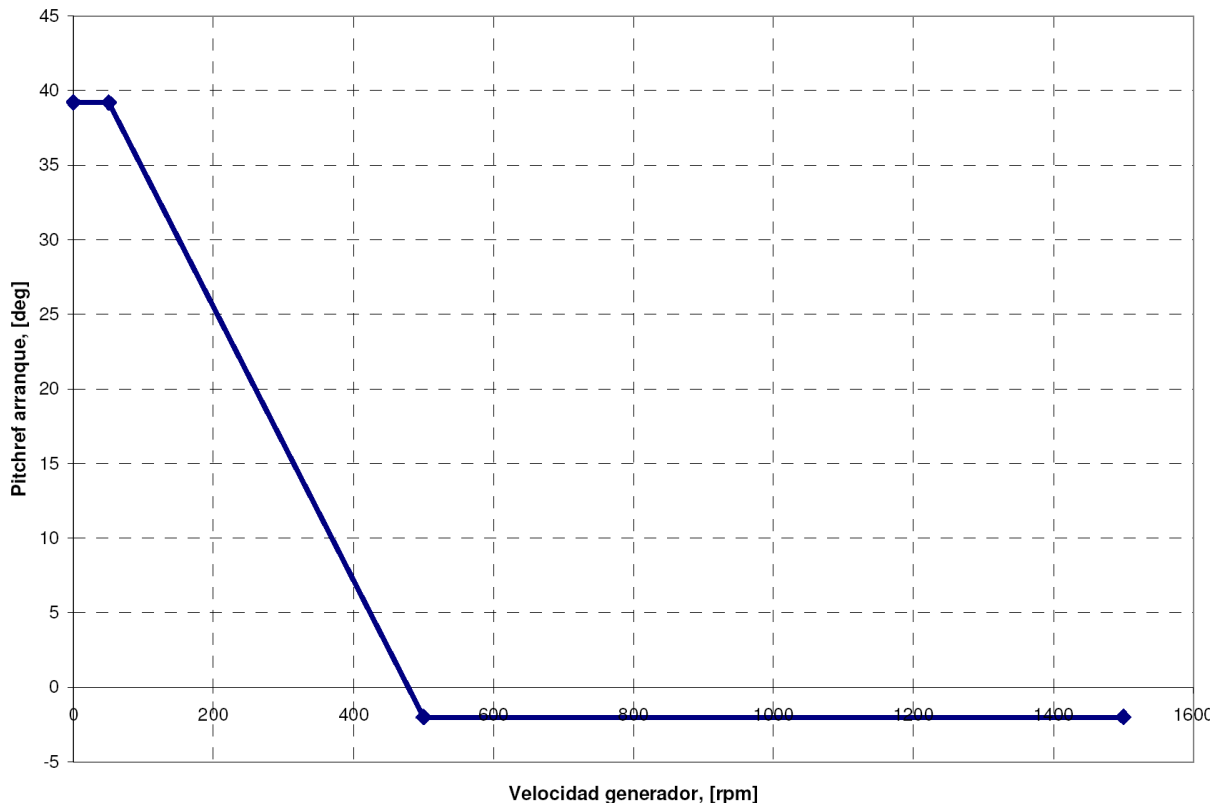
Si la velocidad del viento es superior a la velocidad de parada, el generador se desconecta y el sistema de control lleva las palas a la posición de bandera (cerca a 90°) hasta que la velocidad de viento desciende por debajo de la velocidad de re-arranque y la máquina reanuda la generación de potencia.

**Arranque de la maquina a bajos vientos:** En el arranque de la máquina, para las velocidades bajas de giro, se utiliza una rampa lineal de referencia de pitch en función de la velocidad. Con velocidad nula, el pitch se fija en 39.2 grados y con velocidad de 500 rpm el pitch llega al mínimo marcado por el optitip, en torno a pitch referencia 0 grados.

Esta característica se utiliza en los primeros momentos del arranque, y también a muy bajos vientos como estrategia de obtención de pitch previo al optitip.

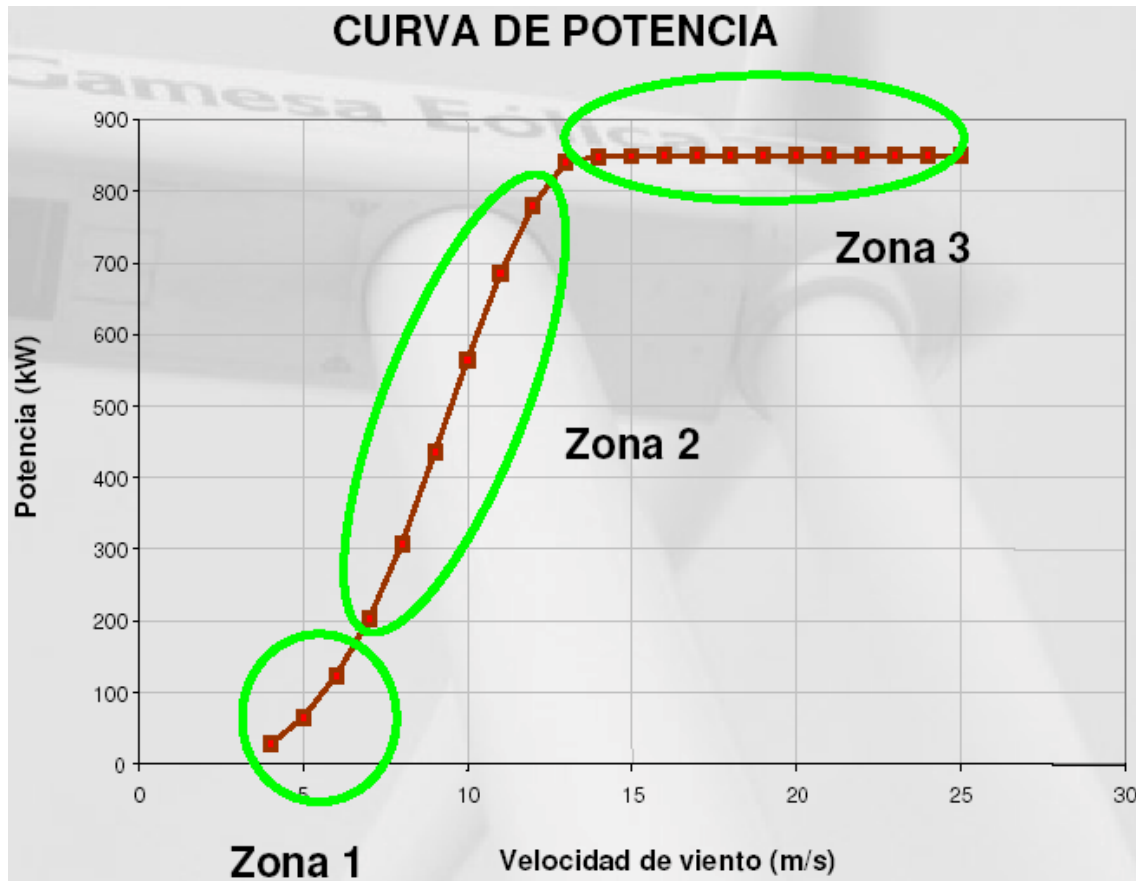
## Arranque de la maquina a bajos vientos

Rampa arranque baja velocidad



**Variaciones:** Las variaciones de pitch con vientos muy altos (cercanos a 25 m/s) producen variaciones en la potencia aerodinámica captada mucho mayores que en el caso de variaciones equivalentes de pitch con vientos cercanos al nominal (en torno a 16 m/s). Para compensar este efecto no lineal hay que aplicar un coeficiente reductor cuando se opera en vientos altos. Como la medida del pitch medio a potencia nominal está muy relacionada con la medida del viento, y la medida del pitch es mucho más precisa y menos incierta que la del viento, se aplica el coeficiente reductor en función del pitch medido.

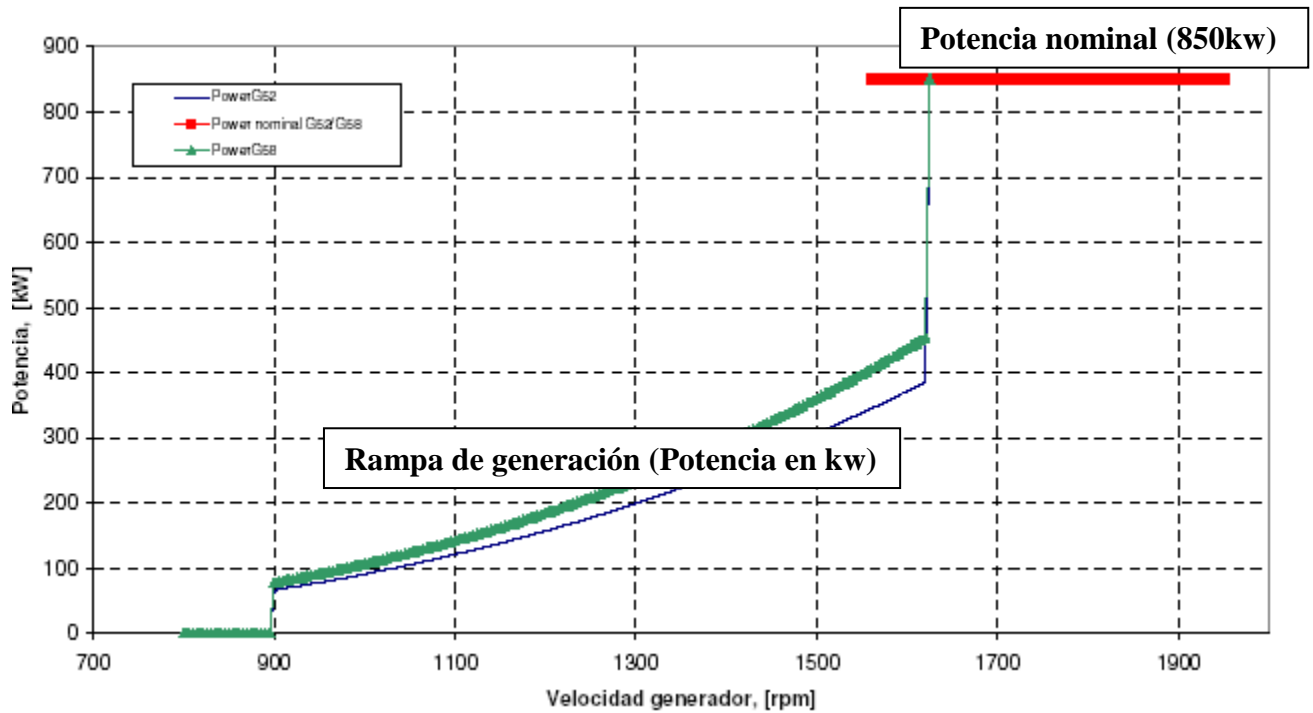
**Regulación de potencia:** Por medio del conjunto convertidor-generador es posible controlar la potencia instantánea obtenida por el sistema de generación, tanto de potencia activa como reactiva, gracias al control interno de las corrientes del rotor.



La potencia activa demandada sigue una ley cúbica con la velocidad de giro del rotor, lo que permite seguir un óptimo aerodinámico que consigue ajustar el valor adimensional lambda a su punto óptimo. Los límites inferior y superior de esta ley cúbica están impuestos por las limitaciones del sistema eléctrico en el rango de variación de velocidad pudieran originarse fuera del rango normal de operación.

Si en el caso de potencia nominal, la velocidad del generador disminuye por debajo de un cierto valor, se considera que no hay potencia aerodinámica suficiente, se volverá a la ley cúbica.

Esto evita caídas de potencia transitorias debidas a las ráfagas del viento.

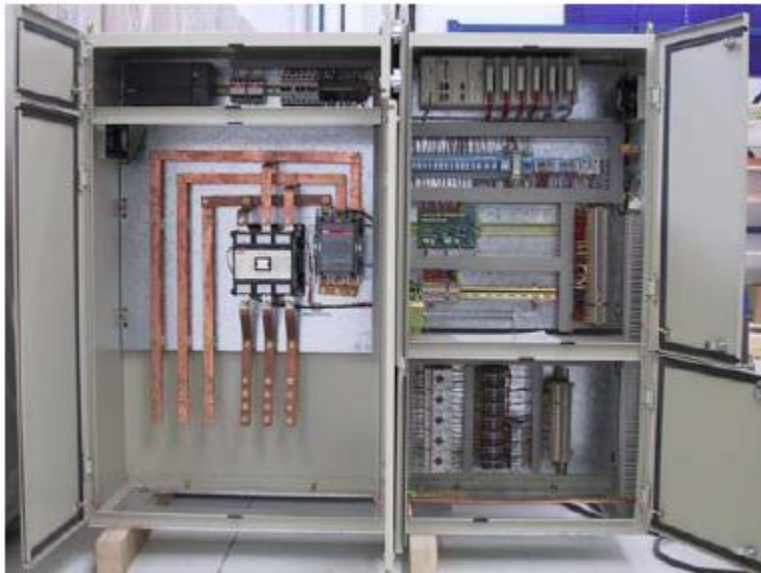


La potencia reactiva demandada por el estátor se calcula a partir de la potencia activa demandada, y del parámetro de factor de potencia. Normalmente este factor de potencia es uno, con lo que la potencia reactiva aportada es nula.



#### 4.4 Top control.

El controlador del aerogenerador se encuentra situado en un armario eléctrico en el interior de la góndola.



El procesador y sus tarjetas de entradas/salidas captan las señales de las diversas funciones del aerogenerador, calculan las acciones de control óptimas y dan las órdenes a los actuadores (motores, electroválvulas, relés) para conseguir el funcionamiento seguro y la mejor captación de la energía disponible en el emplazamiento.

Funciones que desarrolla el control:

- Orientación de la góndola respecto al viento predominante.
- Supervisión y corrección del estado de torsión de los cables de la torre.
- Hidráulico: gestión del grupo hidráulico que proporciona energía mecánica al actuador del pitch y al freno de emergencia.
- Supervisión de los sensores ambiente: viento, temperaturas.

- Supervisión del estado de giro de los componentes mecánicos
- Grupo hidráulico de la multiplicadora
- Monitorización del estado de vibraciones en la torre.
- Supervisión de las funciones del generador, del convertidor.
- Conexiones y desconexiones a la red.
- Generación de la consigna de potencia reactiva.
- Regulación de la velocidad y de las consignas de potencia activa a generar.
- Posicionamiento y supervisión del ángulo de pitch de las palas.
- Generación y gestión de alarmas y estado operativo.
- Intercambio de datos con el telemando.
- Generación de los contadores de energía, horas y disponibilidades.
- Intercambio de datos con el panel de control de operación local en la base del aerogenerador “ground control” y opcional para mantenimiento en la góndola.
- Gestión y salvaguarda de parámetros de la maquina.

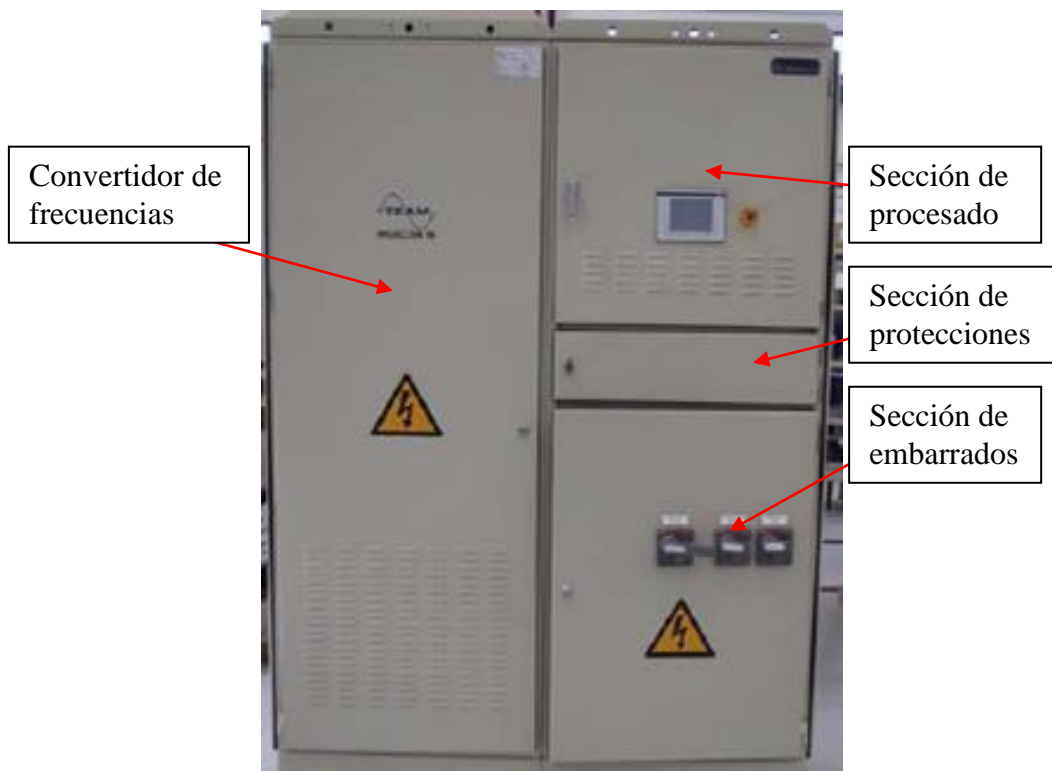
## 4.5 Ground control

El controlador ground es el equipo eléctrico que controla la transmisión de potencia entre el generador y la red. El controlador del ground trabaja a BT (690 y 480v)

El convertidor de frecuencia(ground control) consta de dos inversores de 4- cuadrantes de IGBTs, una etapa de continua basada en condensadores DC, contactores, protecciones eléctricas y el control asociado a las funciones de conexión y generación.

Un convertidor se encarga de la inyección de corrientes al rotor del generador eléctrico a través de los anillos deslizantes (caja bornas rotor), y el otro se encarga de inyectar a la red la energía intercambiada con el rotor, a partir de una reserva de energía almacenada en forma de tensión continua por medio de una batería de condensadores.

El convertidor incorpora el control de los dispositivos de IGBTs y la gestión de medidas eléctricas y protecciones. Este control está implementado por dos microprocesadores orientados al procesamiento de señales trabajando en paralelo sobre cada puente inversor.



## 4.6 Sistema de control ingecon

El sistema Ingecon o de velocidad variable es el equipo que regula y protege la generación de energía eléctrica del aerogenerador.

Debido a las condiciones de funcionamiento del aerogenerador, donde la fuerza incidente (el viento) es turbulento y variable, el sistema Ingecon posee los grados de libertad necesarios para asegurar la integridad del equipo y la calidad de la energía producida. Con este sistema el aerogenerador asegura una potencia eléctrica constante y estable, así como secuencias de conexión con acoplamientos suaves para no alterar la estabilidad de la red eléctrica.

Debido a las variaciones en la velocidad del rotor producidas por variaciones en la velocidad de viento y permitidas para reducir cargas y vibraciones en el aerogenerador, el sistema de generación de energía es capaz de trabajar con una velocidad de generador sobre la velocidad de sincronismo en torno al 30%. Así mismo, para optimizar la producción de energía con bajos vientos, el sistema es capaz de producir energía con una velocidad de generador por debajo de la velocidad de sincronismo en torno al 50% de ella.

El sistema Ingecon está formado por un generador asíncrono doblemente alimentado con acceso al bobinado del rotor con anillos rozantes. El estator (en estrella o en triángulo) se conecta directamente a red y el rotor se conecta a un convertidor de frecuencia denominado CCU (Converter Control Unit). A su vez este convertidor está conectado a red. Este esquema consigue que para la red de distribución eléctrica el aerogenerador se comporta como un generador síncrono, lo cual estabiliza la red, facilita la conexión de muchos aerogeneradores, elimina bancos de condensadores para compensar potencia reactiva y problemas de resonancias.

## 4.7 Sistema de control de potencia.

El CCU es un equipo de control de potencia que gobierna directamente el generador. Inyecta o extrae corriente en el rotor para cumplir las referencias de potencia. Uno de los requerimientos del control vectorial es conocer con exactitud la posición del rotor frente al estator en cada instante.

Para ello la CCU necesita dos datos:

- Posición del rotor del generador respecto al estator antes de comenzar a girar (Ensayo de polo)
- Valor de encoder incremental, el cual permite calcular la posición del rotor girando en cualquier instante

El sistema de control de potencia (CCU) controla la potencia activa y reactiva con el convertidor de frecuencia conectado al rotor del generador, es decir, permite al usuario elegir el factor de potencia deseado.

Ante fallos, malfuncionamiento o mantenimiento del aerogenerador el sistema Ingecon sigue la siguiente estrategia de seguridad:

1. Integridad y seguridad de las personas.
2. Integridad del equipo.
3. Producción de energía.

La CCU se encuentra conectada a un generador doblemente alimentado, donde tanto el estator como el rotor se encuentran bobinados. El acceso a los bobinados del rotor (parte rotatoria) se realiza a través de anillos rozantes situados en el lado opuesto al acoplamiento.

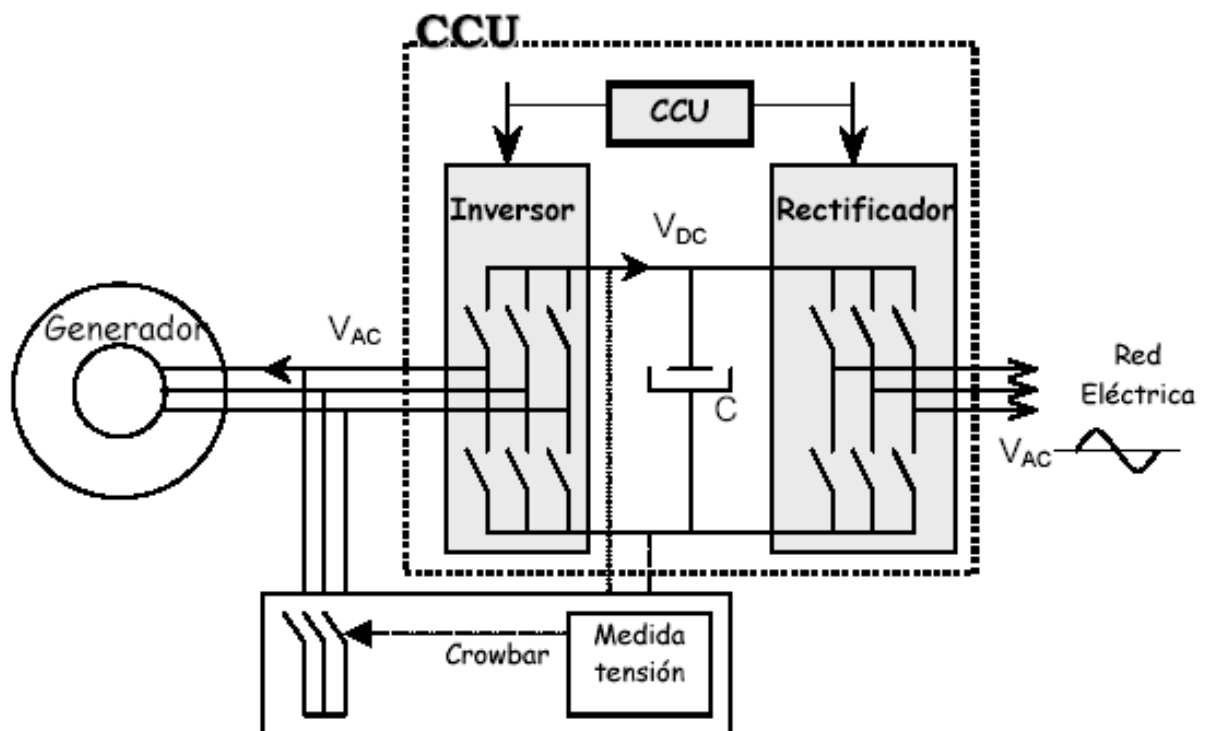
El estator se conecta al secundario del transformador a través de un contactor (KM52e) y de un interruptor automático (FG8) conectados en serie. La conexión de los bobinados del estator del generador se puede realizar en estrella o en triángulo.

Esta posibilidad de dos tipos de conexión otorga las siguientes ventajas:

- La conexión del estator en estrella permite al generador mantenerse acoplado con un mayor deslizamiento, y se reducen las pérdidas eléctricas con baja potencia. La potencia máxima que puede ofrecer está limitada.
- La conexión en triángulo permite producir más potencia pero con menor deslizamiento.

Para que el aerogenerador pueda mantenerse acoplado a red dando una frecuencia constante a 60 Hz (comportamiento como generador síncrono), es necesario inyectar o extraer del rotor una corriente de frecuencia variable. La CCU es el equipo que se encarga de controlarlo.

El esquema hardware del sistema es:



La CCU se compone de dos convertidores de frecuencia:

- *Convertidor Inversor (conectado al rotor)*. Este convertidor inyecta o extrae corriente en el rotor con frecuencia variable. Esta frecuencia es la necesaria para que en el estator se obtenga una tensión generada a 60 Hz independiente de la velocidad de giro del rotor. Las consignas de corriente están gobernadas por la tarjeta de control propia de la CCU, y que se encuentra comunicada con el procesador de góndola.

- *Convertidor rectificador (conectado a red)*. Este convertidor regula la tensión del bus de continua que es la entrada de tensión al inversor. Así mismo, cuando el inversor devuelve tensión hacia red, es el convertidor que obtiene la frecuencia de 60 Hz para poder inyectar en la red esa potencia.

## **4.8 Secuencia de operación y mecánica del aerogenerador**

El funcionamiento del aerogenerador inicia con la conexión a la red que se realiza mediante un circuito de media tensión (MT) de 34.5 kv la cual esta alimentada por la línea de transmisión de 230 kv proveniente de la subestación Juchitán II, el circuito MT esta encargado de la distribución de alimentación de todo el parque eólico.

El circuito MT alimenta la celda MT que a su vez energiza al transformador encapsulado ubicado en la parte intermedia de la torre para reducir la tensión a 690 volts y es el encargado alimentar a todo el aerogenerador mediante el sistema de control top y ground, el cual realiza el ensayo de polos mediante el equipo de control “CCU” (ground) y un escaneo de los sistemas operativos para corregirlos y pasar al estado de listo.

Realizada esta acción el sistema de control verifica el sistema de orientación de la maquina mediante el sensor de ambiente “veleta” y se orienta en dirección a las ráfagas de viento mas intensas a través del sistema de orientación yaw que es activado por el sistema de control top y consiste en dos motorreductoras que giran sobre la corona la cual se encuentra en la parte superior de la torre para orientar el nacelle.

Al mismo tiempo se calcula la velocidad de viento a través del anemómetro el cual indica la velocidad exacta del viento y la manda al top para verificar si se encuentra en el rango de operación y así solicitar la petición de marcha al procesador ground, una ves confirmado se activa el sistema hidráulico para accionar el cilindro del eje del pitch que es el encargo de mover el rodamiento de palas para la obtención de la energía del viento, el pitch baja su consigna y se ubica a 39.5° en los primeros



segundos con el fin de darle un par de arranque suave y eficiente a la maquina e inicie así el giro del tren de potencia el cual esta conformado por el eje de baja velocidad que se acopla a la multiplicadora y eleva la velocidad con un factor de 74.5 y posteriormente acoplarse al rotor del generador mediante el eje de alta velocidad a través del cardan (jaure ixiflex).

Después por medio del sistema de regulación de paso lo lleva aun ángulo optimo de generación, una ves que el generador a alcanzado las 900 rpm se conecta el rectificador y después de superar esta velocidad se conecta el contactor estrella (KY701) o el de triangulo (KD702), el criterio de decisión se gobierna por la velocidad de viento filtrada (filtrada a 2seg.).

Si supera los 9 m/s será en delta y para emplazamientos menores será en estrella, una ves que el generador alcanza 1680 rpm en delta o menor de 1400rpm en triangulo; se conecta el inversor y el delay empieza a regular; 2 segundos después de haberse conectado el inversor el GTC solicita acoplar, si se cumplen las condiciones de sincronización el sistema se acopla a la red y pasa al estado de operación marcha acoplada.

Una vez acoplado a la red la referencia de velocidad se situara en 1944 rpm, y durante los 12 primeros segundos acoplados la potencia se limita a una rampa de 75 kw/s y después alcanza su potencia nominal si hay condiciones de climáticas favorables.

En este estado de operación la maquina es gobernada por el sistema de control y potencia la cual esta encargada de la obtención óptima del potencial del aerogenerador y evitar así variaciones o pérdidas de potencias transitorias por ráfagas de viento.

## 4.9 Ensayo de polos

Se parte de que la máquina se encuentra en emergencia con la serie de emergencia abierta. El ensayo del polo anterior se ha borrado automáticamente. Para cambiar de estado de operación es necesario resetear las alarmas. Como consecuencia se cierra la serie de emergencia y se da alimentación 690 volts a la góndola.

El estado de contactores en EMERGENCIA es:

- Contactor del rotor. KM52R / OFF
- Contactor de precarga de bus. KM52BUS / OFF
- Contactor del estator. KM52E / OFF
- Contactor estator en estrella (Y). KY701 / OFF
- Contactor estator en triángulo (D). KD702 / OFF
- Contactor ventiladores del CCU / OFF
- Solicitud conexión del rectificador. / OFF
- Solicitud conexión del inversor. / OFF
- Solicitud de realización del ensayo del polo inicial. / OFF

Una vez solicitado un estado de operación superior a emergencia, la máquina ha de realizar el ensayo del polo.

Los pasos que realiza son los siguientes:

1. Conexión del circuito del rotor. La secuencia que sucede es:
  - Activa el contactor de precarga (KM52bus).
  - Cuando el bus está cargado la CCU conecta el KM52R.
  - Una vez confirmado que ha entrado el contactor del rotor quita el contactor de precarga.
2. A la vez que la CCU hace la secuencia de precarga se activa el contactor de estrella.

3. Una vez confirmado que está metido el contactor del rotor se pone a regular el rectificador.
4. Si se confirma que el rectificador regula OK, se pide realizar el ensayo del polo. Se conecta el inversor unas décimas de segundo (el tiempo que cuesta realizar el ensayo). A la vez que se activa el rectificador se activan los ventiladores del CCU.
5. Tras pasar 30 segundos de detener el rectificador se desconectan los ventiladores.

Cuando el sistema confirma que se ha terminado el ensayo del polo se pasa a STOP, se desconecta el contactor en estrella y se desactivan todos los permisos excepto el contactor del rotor.

Así, tanto en STOP como en PAUSA las solicitudes son las siguientes:

- Contactor del rotor. KM52R / ON
- Contactor de precarga de bus. KM52BUS / OFF
- Contactor del estator. KM52E / OFF
- Contactor estator en estrella (Y). KY701 / OFF
- Contactor estator en triángulo (D). KD702 / OFF
- Contactor ventiladores del CCU / OFF
- Solicitud conexión del rectificador. / OFF
- Solicitud conexión del inversor. / OFF
- Solicitud de realización del ensayo del polo inicial. / OFF

Para este ensayo es necesario que el freno esté aplicado con suficiente presión. En caso contrario el rotor se puede mover durante el ensayo, fallando este y originando una alarma.

## 4.10 Secuencia de acoplamiento a la red

El aerogenerador tiene de dos formas de conectarse a red. Esta conexión se puede realizar con las bobinas del estator conectadas en estrella o en triángulo. Así la máquina puede trabajar con un deslizamiento mayor y se reducen las pérdidas eléctricas, optimizando así la generación de potencia.

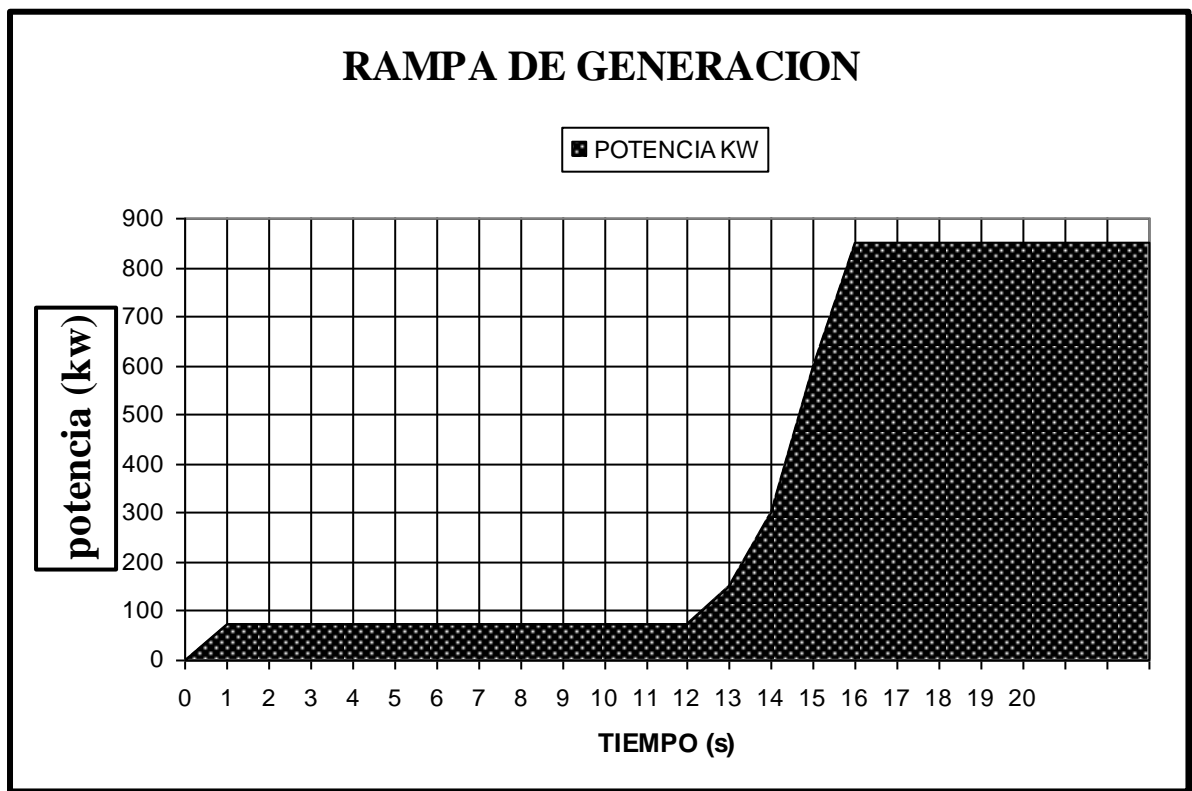
Supongamos que la máquina se encuentra en pausa, y se solicita Marcha. El pitch baja su consigna y la máquina aumenta su velocidad.

La secuencia que va a gobernar el GTC para conectar el aerogenerador a red es la siguiente:

1. Cuando la máquina alcanza las 900 rpm se conecta el rectificador.
2. También cuando supera los 900 rpm se conecta el contactor de estrella (KY701) o el contactor de triángulo (KD702). El criterio de decisión es la velocidad de viento (filtrada a 2 segundos) que la máquina observa en ese instante. Si supera los 9 m/s conectará en triángulo, mientras que a velocidades de viento menores lo hará en estrella.
3. Cuando la máquina alcanza 1200 rpm en estrella o 1680 rpm en triángulo se conecta el inversor. A partir de ese momento el delay comienza a regular. A los 2 segundos de que esté conectado el inversor el GTC solicita acoplar.
4. Cuando se cumplen las siguientes condiciones eléctricas (denominadas condiciones de sincronización) la máquina acoplará:
  - Las tensiones de estator y de red sean similares.

- La frecuencia de estator y red sean similares.
- El desfase entre red y estator sea mínimo.
- El GTC solicite acoplamiento.

5. Una vez acoplado la referencia de velocidad se situará en 1944 rpm, y durante los 12 primeros segundos acoplados la potencia se limita con una rampa de 75 KW/s.



#### 4.11 Cambio de conexión estrella - delta (Y - $\Delta$ ).

La conexión del generador en estrella se da cuando la máquina produce menos de 467 KW por el estator. Para situaciones donde la máquina puede producir más potencia, el estator ha de estar conectado en triángulo. El cambio de conexión del estator lo realiza el GTC automáticamente siguiendo las siguientes pautas:

- Si la máquina se encuentra conectada en estrella, pasará a triángulo cuando la potencia filtrada a 20 segundos supere los 400 KW. Este cambio no depende de la velocidad de giro del generador, pero la potencia máxima demandada por el estator está limitada a 467 KW.
  
- Si la máquina se encuentra conectada en delta, son dos las condiciones (chequeadas de un modo independiente) que determinan la necesidad de un paso a estrella:
  1. La velocidad del generador cae por debajo de 1422 rpm.
  2. La potencia filtrada a 20 segundos se sitúa por debajo de 200 KW.

#### Secuencias de cambio Y - $\Delta$ :

En el momento que la vigilancia del GTC dicta la necesidad de un cambio de estrella a triángulo (o viceversa), los pasos que sigue la máquina son los siguientes:

1. La potencia se baja en rampa (100 KW/s) hasta cero.

2. Una vez medida que la potencia es 0 KW, se desconecta el generador de red desactivando el contactor del estator (KM52E).
3. Tras quitar el contactor del estator se deja de regular con el inversor.
4. 200 ms después de quitar el inversor se cambian los contactores de estrella a triángulo (o viceversa).
5. Se conecta el inversor y se regula para acoplar con el mismo criterio que un arranque normal.

En cualquiera de los dos casos se intenta mantener la velocidad del generador para conseguir que la máquina realice el cambio rápidamente. En un paso de estrella a delta, la referencia de velocidad del GTC se mantiene a 1944 rpm. En caso de que el cambio se realice de triángulo a estrella la referencia de velocidad del GTC es 1440 rpm.

## 4.12 Condiciones de desconexión de la red

La máquina se desconecta cuando:

- Se solicita un estado de operación menor. La potencia se calcula en función de la velocidad y el pitch crece en rampa ( $2^\circ/s$ ). La velocidad desciende. Cuando la velocidad del generador es menor 960 rpm en estrella o 1422 rpm en triángulo se quita el contactor del estator.
- Una vez confirmado que se ha quitado el contactor del estator, se quita el inversor.
- Cuando la velocidad baja por debajo de 840 rpm se quita el rectificador. Así mismo se desactiva el contactor de estrella o de triángulo.

En el caso de que la máquina se quede sin viento, el proceso de desconexión sigue los mismos pasos descritos anteriormente.

En el caso de que se produzca una alarma que mande a stop, se quitará instantáneamente todos los contactores y permisos excepto el rectificador que se mantiene activo por encima de 840 rpm. La máquina desacopla instantáneamente.

En el caso de que se produzca una alarma que mande a emergencia, se quitará instantáneamente todos los contactores y permisos. La máquina desacopla instantáneamente.



## Capítulo 5: Protección del Aerogenerador

### 5.1 Protecciones del sistema de control de potencia

*Protección del CCU ante fallos en el aerogenerador:* Ante fallos que provocan el paso a emergencia, la CCU abre todos los contactores que conectan el convertidor con la red. Si el sistema estaba generando, este corte provocaría que la energía que se encuentra en el rotor del generador quede acumulada en el convertidor, y provocaría una brusca subida y destruyendo los condensadores que estabilizan la tensión del bus de continua. Para evitar este problema la CCU dispone de un equipo denominado Crowbar. Este sistema, ante una brusca subida de tensión en el bus de continua, cortocircuita los devanados del rotor para que la energía sobrante se extinga en ellos.

Esta estructura permite que el aerogenerador gobierne la potencia activa y reactiva que precise el controlador del aerogenerador. Es decir, se gobierna la potencia activa deseada y el factor de potencia. Con este sistema quedan eliminados los bancos de condensadores para compensar de energía reactiva.

*Protección del CCU ante fallos de temperaturas:*

Las sobrecargas durante la generación de potencia provocan aumento de temperatura en los distintos componentes. El sistema Ingecon mide temperaturas en los devanados y anillos rozantes del generador, en los radiadores de los IGBTs, en el embarrado, en el transformador y en la tarjeta de control de los convertidores. Cuando la temperatura supera los parámetros preestablecidos, el aerogenerador pasará a un estado de operación que salvaguarde la integridad de éste.

*Protección ante cortocircuitos:* La CCU está protegida ante cortocircuitos, fallos de red y otros con interruptores automáticos y térmicos, tanto para el estator como para el rotor.

*Generación de armónicos.* La CCU utiliza IGBTs para gobernar las corrientes y frecuencias que se inyectan al rotor para conseguir un comportamiento global del sistema síncrono. Para ello, con velocidades de generador superiores a la nominal, extrae potencia del rotor para inyectarla a red. Al ser una corriente que ha pasado por un convertidor formado por IGBTs (semiconductores), y por tanto con contenido armónico, se ha instalado un filtro para reducirlos. Así la potencia que se vierte a red tiene un contenido armónico que cumple la normativa

## 5.2 Protecciones termomagnéticas en el top control

En el top se localizan algunas de las protecciones termomagnéticas que actúan por sobretensiones con el fin de evitar daños a los equipos que se encuentran en operación.

### *El termomagnético FM010:*

1. Sensor de temperatura
  - BT010 esta tarado 0° y es el encargado activar al KR332
  
2. Relevadores:
  - KR330 alimenta a los convertidores TA010,TA011,TA012
  - KR332 este activa la resistencia de calefacción del top.
  
3. Fuente de alimentación conversor de 220 Vca / 24 Vcd
  - TA010 alimentación analógica
  - TA011 alimentación de la cabecera del PLC
  - TA012 alimentación analógica

Este elemento también resguarda a la protección FG8 cual está ubicada en el ground y es el encargo de alimentar al estator del generador

### *El termomagnético FM011:*

Este térmico gobierna al relevador KR919 que controla a los siguientes relevadores, que a su vez activa a los contactores correspondientes:

- KR387 ⇨ KM387 Este contador activa la bomba de de aceite de la multiplicadora M342.
- KR384 ⇨ KM384 Este contactor activa a la bomba auxiliar de aceite M343.
- KR180 ⇨ KM180 Este es el encargo de activar a la motorreductora del lado izquierdo del sistema de orientación yaw (CW)
- KR181 ⇨ KM181 Este es el encargo de activar a la motorreductora del lado derecho del sistema de orientación yaw (CWW)
- KR280 ⇨ KM280 Este es el encargo de activar al motor bomba de aceite (M240) del sistema hidráulico
- KR385 ⇨ KM385 Este activa al ventilador 1 encargado de la refrigeración de la góndola.
- KR386 ⇨ KM386 Este activa al ventilador 2 encargado de la refrigeración de la góndola.
- KR281 ⇨ KM281 Este activa el motor auxiliar de refrigeración del grupo hidráulico.

### ***El termomagnético FM012:***

Esta protección es para el bornero repartidor de 220 Vca el cual alimenta:

1. Al sistema de calefacción:
  - Sistema de calefacción del generador
  - Sistema de calefacción del top
  - Sistema de calefacción de la multiplicadora
  - La calefacción del NRG (anemómetro).
  
2. El sensor de temperatura el cual desactiva los ventiladores del sistema de ventilación del top a bajas temperaturas.
  
3. El kit baja temperatura (KBT)
  
4. El termomagnético FM010 encargado del sistema de comunicación.

### 5.3 Celda MT.

La celda MT es el equipo situado en la base de la torre que permite la conexión / desconexión individual de la turbina con respecto a la red eléctrica. Además, la celda MT incluye una protección de la aeroturbina ante cortocircuitos.

La aeroturbina puede ser conectada a la red únicamente de forma manual, y puede ser desconectada manualmente o automáticamente, todo ello por razones de seguridad.

La celda consta de tres secciones:

- Remonte (entrada de cables): conexión de los cables MT que conectan la aeroturbina con la subestación (pasando por otros aerogeneradores). Esta línea no puede ser interrumpida desde la propia aeroturbina, por que **estos cables siempre están bajo tensión.**
  
- Línea (salida de cables): conexión de los cables MT que conectan la aeroturbina con otras aeroturbinas situadas más lejos de la subestación. Esta parte dispone de un interruptor-seccionador que permite dejar fuera de servicio las máquinas situadas más lejos de la subestación.
  
- Protección (conexión del transformador): en esta parte se conectan los cables provenientes del transformador de la propia aeroturbina. Esta parte contiene una protección contra cortocircuitos realizada

mediante fusibles, y también un interruptor de conexión que permite conectar/desconectar únicamente la propia aeroturbina. Este interruptor de conexión puede ser accionado manualmente, por el disparo de alguno de los fusibles de protección o por el sistema de control del aerogenerador. Existe un segundo interruptor de puesta a tierra que permite poner a tierra el transformador. Este interruptor de puesta a tierra sólo puede ser activado y desactivado manualmente.

Los 2 interruptores existentes en la sección de protección hacen posible que existan 3 posiciones para la celda MT:

- Conectado: el interruptor de conexión está cerrado y el de puesta a tierra está abierto. El transformador se encuentra bajo tensión.
- Desconectado: el interruptor de conexión está abierto y el interruptor de puesta a tierra también está abierto. La tensión en el transformador es flotante, no está definida.
- Puesto a tierra: el interruptor de conexión está abierto y el de puesta a tierra cerrado. La tensión en el transformador es nula. Esta situación permite trabajar en la instalación MT con seguridad.

Existe un enclavamiento mecánico por razones de seguridad entre el interruptor de conexión y el de puesta a tierra, de forma que es imposible el cierre de ambos interruptores al mismo tiempo.

## 5.4 Descripción de sensores

### Sensor de temperatura PT100 R206

Las PT100 son resistencias variables en función de la temperatura. El multiplexor de temperaturas situado en el armario Top recibe los datos de estas resistencias y los convierte en tensión. El PLC interpreta esta tensión de forma lineal; los límites son: 10 v = 200 °C y -10 v = -200 °C.

Si la PT se estropea el multiplexor manda al PLC la tensión máxima, (10v), y éste nos indica una temperatura de 200°C.

Si la temperatura del aceite supera un valor predeterminado por programa, (65 °C), se produce la alarma 207 pasando la máquina al estado de STOP. Si la temperatura del aceite es inferior un valor predeterminado por programa, (-20°C), se produce la alarma 200 pasando la máquina al estado de STOP.



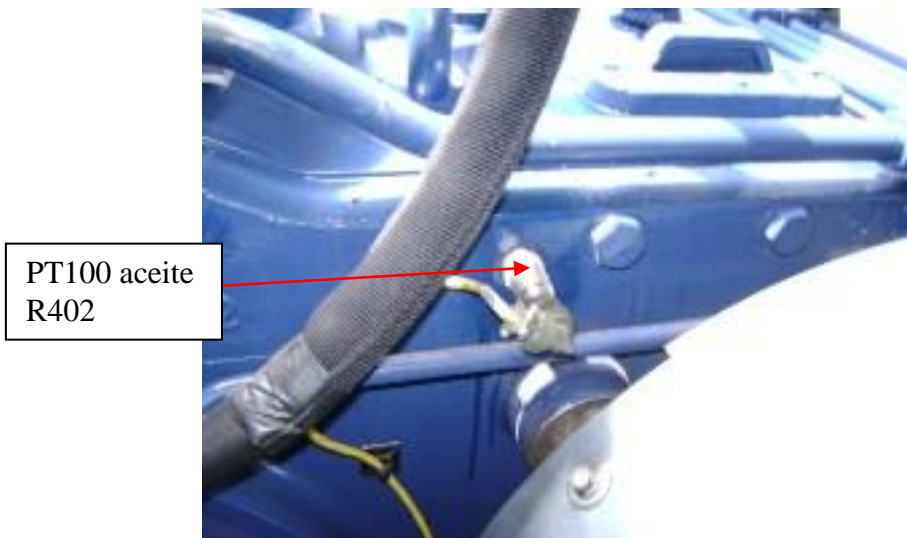


## SENSOR DE TEMPERATURA PT100

Las PT100 son resistencias variables en función de la temperatura. El multiplexor de temperaturas situado en el armario Top recibe los datos de estas resistencias y los convierte en tensión. El PLC interpreta esta tensión de forma lineal; los límites son: 10 v = 200°C y -10 v = -200°C.

Si la PT se estropea el multiplexor manda al PLC la tensión máxima, (10 v), y éste nos indica una temperatura de 200°C.

El sensor de temperatura del rodamiento de la multiplicadora, R406, está situado en el rodamiento trasero del eje rápido. Si la temperatura supera los 90°C se produce la alarma 404 pasando la máquina al estado de PAUSA.



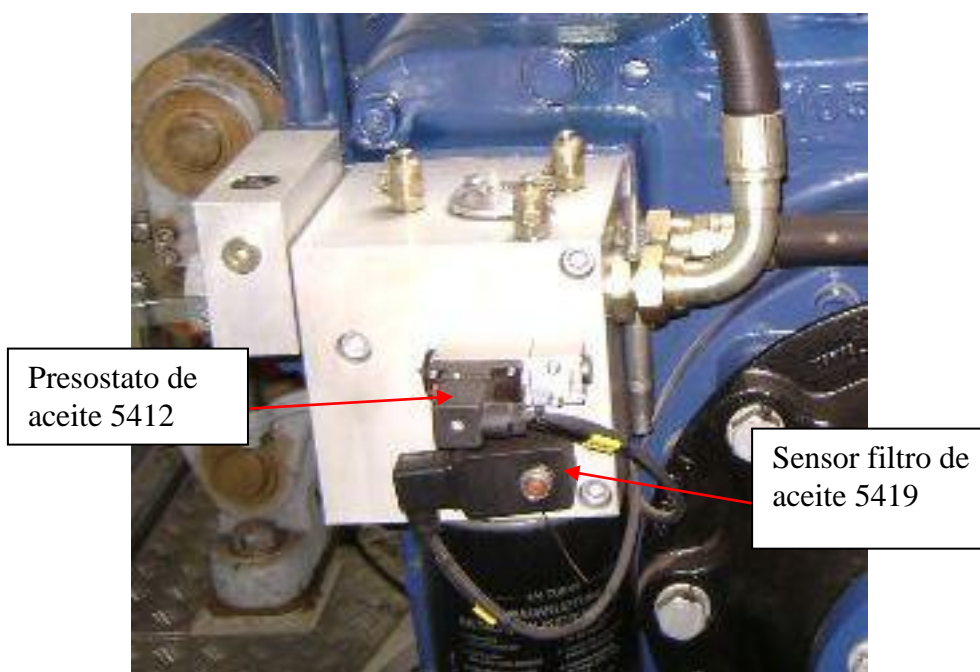
El sensor de temperatura del aceite, R402, está situado en la base de la multiplicadora.

Si la temperatura supera los 80°C se produce la alarma 403 pasando la máquina al estado de PAUSA. Esta alarma se autoresetea cuando la temperatura del aceite baja. Si la temperatura baja de -5°C se produce la alarma 415 pasando la máquina al estado de STOP.

## PRESOSTATO DE ACEITE 5412

Contacto mecánico normalmente abierto situado a la salida del filtro mecánico de aceite. Cuando la máquina coge revoluciones este contacto se cierra, tarjeta U13 E010.

Si en estado de PAUSA o MARCHA la máquina gira cerca de las rpm nominal y el contacto sigue abierto se *activa* la alarma 401 de baja presión, pasando al estado de STOP.



## SENSOR FILTRO ACEITE 5419

Contacto mecánico normalmente cerrado alimentado a 24 Vcc. Cuando la presión del aceite a la entrada del filtro difiere en un valor determinado de la presión de salida el contacto se abre cortando la alimentación de 24 Vcc de tarjeta U15 ED5. Si esto ocurre el PLC genera el mensaje de aviso 417. Si pasadas 72 horas no se corrige el error el PLC envía la máquina al estado de STOP.

## **SENSOR NIVEL ACEITE 5420**



Contacto mecánico normalmente abierto alimentado a +24 vcc. Cuando el nivel de aceite es óptimo se cierra el contacto alimentando 24 Vcc a la tarjeta U15 ED4. Si está abierto el PLC genera la alarma 402 de bajo nivel de aceite. La máquina pasa al estado de STOP.

## **SENSOR FILTRO AUXILIAR ACEITE 5343**

Contacto mecánico normalmente cerrado alimentado a 24 Vcc. Cuando la presión del aceite a la entrada del filtro difiere en un valor determinado de la presión de salida el contacto se abre cortando la alimentación de 24 Vcc de tarjeta U15 ED6.



## **Presostato del acumulador del PITCH A203**

Es una membrana que, según la presión que ejerza el aceite sobre ella, envía una señal entre 4 y 20 mA al PLC. A la entrada del PLC, tarjeta U17 EA1, se pone una resistencia de 475 ohm para convertir la señal de mA a Vcc; El PLC convierte la tensión recogida en la entrada analógica a valores de presión en bares.

Si en estado de PAUSA o MARCHA la presión es inferior a un valor predeterminado por parámetro, (160 bares), el PLC genera la alarma 203 de baja presión de grupo hidráulico, pasando la máquina al estado de EMERGENCIA.



### Sensor del filtro de aceite S201

Contacto mecánico normalmente cerrado alimentado a 24 Vcc. Cuando la presión del aceite a la entrada del filtro difiere en un valor determinado, (5 bares), de la presión de salida el contacto se abre cortando la alimentación de 24 Vcc a la tarjeta U13 ED5; si esto ocurre el PLC genera la



Sensor Filtro de aceite S201

alarma 204 de filtro del hidráulico sucio pasando la máquina al estado de PAUSA.

### Presostato del acumulador del freno S202

Contacto mecánico normalmente abierto alimentado a +24 vcc. Cuando la presión del acumulador del freno es óptima se cierra el contacto alimentando 24 Vcc a la tarjeta U13 ED6. Si el contacto está abierto el PLC genera la alarma 202 de baja presión de circuito de freno. La máquina pasa al estado de EMERGENCIA.



Presostato acumulador del freno S202

## Presostato del circuito de freno S208

Es una membrana que, según la presión que ejerza el aceite sobre ella, envía una señal entre 4 y 20 mA al PLC. A la entrada del PLC, tarjeta U17 EA7, se pone una resistencia de 470 ohm para convertir la señal de mA a Vcc; El PLC convierte la tensión recogida en la entrada analógica a valores de presión en bares.

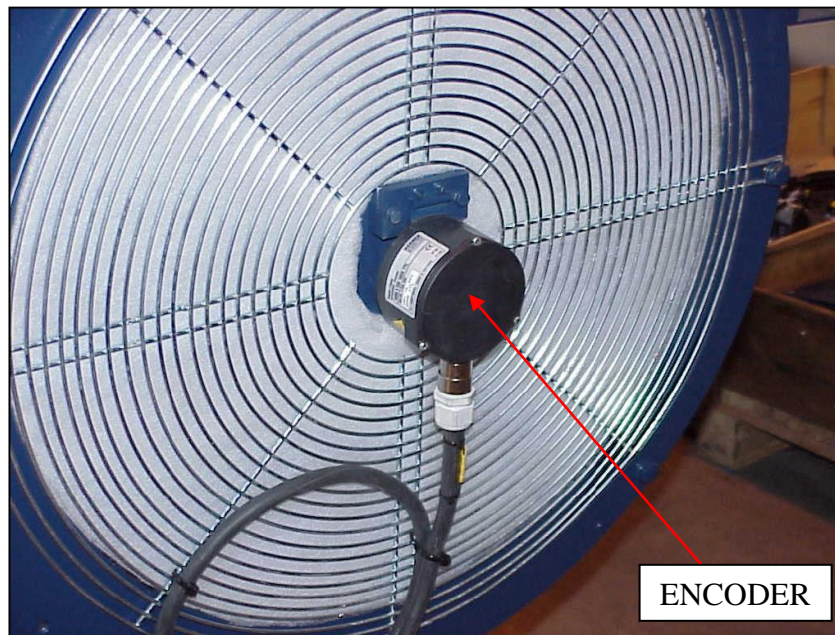
Si en estado de ORIENTACIÓN la presión es superior a un valor predeterminado por parámetro, (50 bares durante 2 seg.) el PLC genera la alarma 116 de "orientando y presión alta freno yaw", pasando la máquina a STOP.

Si en estado de NO ORIENTACIÓN la presión es inferior a un valor predeterminado por parámetro, (160 bares durante 5 seg.) el PLC genera la alarma 117 de "no orientando y presión baja freno yaw", pasando la máquina a STOP.



## ENCODER

El generador dispone de un encoder situado en su extremo LOA, capaz de indicar la velocidad de forma muy precisa, lo que es necesario para el control de velocidad y de las corrientes retóricas del generador por parte del convertidor.



## 5.5 LISTA DE SENSORES Y PARAMETROS

### Sensores de Ambiente:

#### 1.- Veleta.

Se compone de 2 optoacopladores:

B302 este indica 0°

B303 este indica 90°

#### 2.- Anemómetro

Está compuesto de un optoacoplador B301

#### 3.- Termostatos (BT1, BT2 y BT3)

Cada termostato está conectado a una resistencia de 400watts a una tensión de 220 volts

#### 4.- PT100

Este consiste en una resistencia variable.

#### 5. R306

Sensor de temperatura interior de la góndola.

#### 6. R300

Sensor de temperatura exterior de la góndola.

### Sensores del Grupo Hidráulico

#### 1.- R206 (PT100) (2.2)

Sensor de temperatura de aceite

#### 2.- Presostato 108

Sensor del freno del yaw.

#### 3.-S200 (2.1)

Sensor de nivel de aceite

#### 4.- S201 (10)

Sensor de contacto de filtro del aceite



**5.-S202 (26.1)**

Sensor acumulador de presión del freno

**6.-S208 (26.2)**

Sensor de circuito de freno

**7.- A203 (12)**

Sensor del acumulador de presión del Pitch (transductor).

**Sensores del tren de potencia**

**1.- Sensor de R.P.M. del Rotor B400.**

Sensor inductivo M30 PNP 24v.

**2.- Sensor del V.O.G. B430**

**3.- Sensor Azimut S404**

Sensor inductivo M18 PNP 24 v.

**4.- Sensor R.P.M. del Generador B401.**

Sensor inductivo en forma de U, PNP 24 v.

**Sensores de la multiplicadora**

**1.- Sensores de temperatura PT100**

Este consiste en una resistencia variable.

**2.- Presostato de aceite S412**

Contacto mecánico normalmente abierto situado a la salida del filtro mecánico de aceite.

**3.-Sensor filtro aceite S419**

Contacto mecánico normalmente cerrado alimentado a 24 Vcc.

**4.- Sensor nivel aceite S420**

Contacto mecánico normalmente abierto alimentado a +24 vcc.

**5.- Sensor filtro auxiliar aceite S343**

Contacto mecánico normalmente cerrado alimentado a 24 Vcc.

**6.- Sensor de temperatura de rodamiento R406.**

Situado en el rodamiento trasero del eje rápido.

**7.- Sensor de temperatura de aceite R402.**

Situado en la base de la multiplicadora

**Sensores del generador**

**1.- Pt100 (41U-42U).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase U.

**2.- Pt100 (43U-44U).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase U.

**3.- Pt100 (41V-42V).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase V.

**4.- Pt100 (43V-44V).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase V.

**5.- Pt100 (41W-42W).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase W.

**6.- Pt100 (43W-44W).** Se encuentra embebida en el bobinado de la fase W

**7.- Pt100 (41R-42R).** Mide la temperatura del rodamiento LA

**8.- Pt100 (43R-44R).** Mide la temperatura del rodamiento LOA

**9.- Pt100 (41A-42A).** Mide la temperatura de los anillos rozantes para mantener su calefacción.

**10.- Sensor inductivo.** Situado dentro del propio generador está conectado a las bornas BN+, BK y BU- de la caja de conexiones auxiliares.

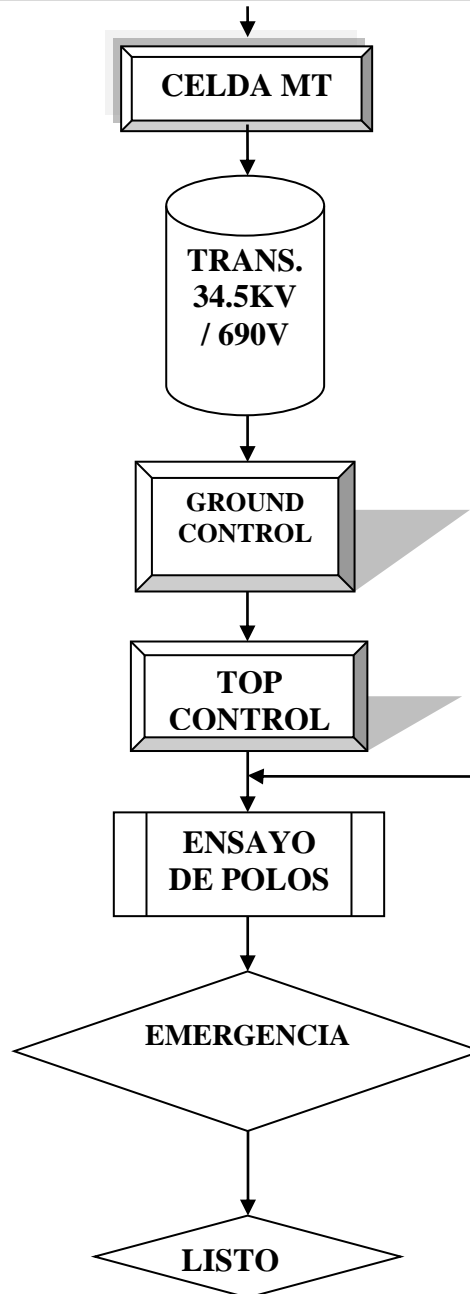
**11.- Encoder.** Situado en el lado LOA del generador.

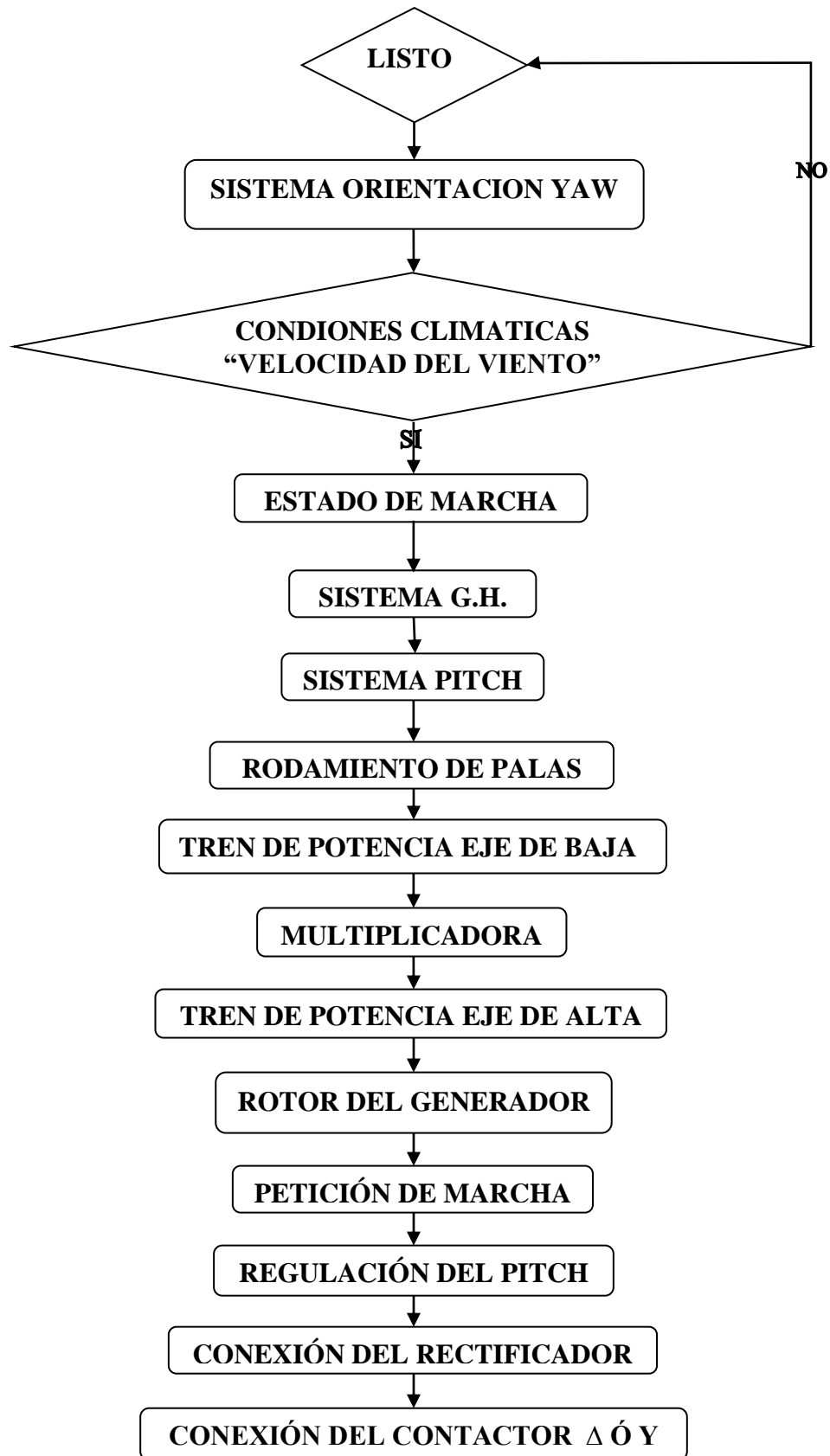
<b>PARÁMETROS</b>				
<b><i>SENSORES DEL GRUPO HIDRÁULICO</i></b>				
<b><i>SENSOR</i></b>	<b><i>valor mínimo</i></b>	<b><i>valor de detección</i></b>	<b><i>valor máximo</i></b>	<b><i>unidad</i></b>
Pret.108	0	5	300	bar.
Pret.108	0	240	300	bar.
S208	0	30	300	bar.
S208	0	170	300	bar.

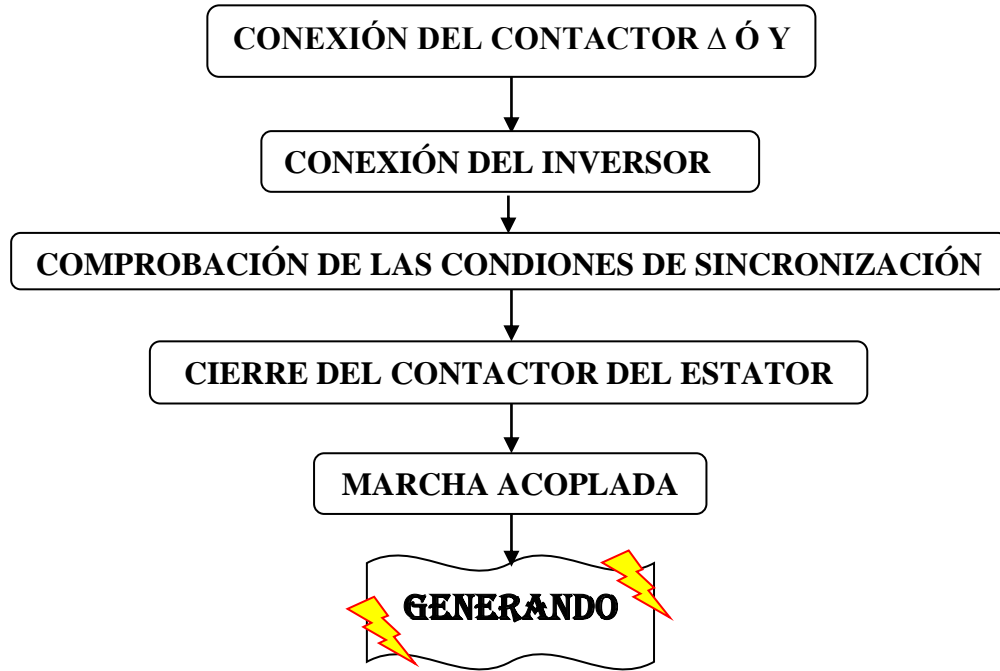
R206	40	65	80	°C.
R206	-100	0	200	°C.
S200	0	1	1	
S201	dif. de 5	diferencial de 5	dif. de 20	bar.
S202	0	5	300	bar.
S202	0	240	300	bar.
S202	140	160	180	bar.
A203	150	180	200	bar.
A203	150	200	215	bar.
<b><i>SENSORES DE AMBIENTE</i></b>				
R300	35	40	60	°C
R300	-25	-20	0	°C
R306		4		°C.
KB2		5		°C.
KB1		0		°C.
KB3		0		°C.
PT100	2	10	10	°C.
<b><i>SENSORES DEL TREN DE POTENCIA.</i></b>				
B400	0	1980	2007	RPM
B430	1620	1900	1950	RPM
<b><i>SENSORES DE LA MULTIPLICADORA</i></b>				
PT100	-200	55	200	°C.
R406		91		°C.
R402	35	40	40	°C.
R402	55	49	49	°C.
R402		80		°C.
R402		-4		°C.
S412	0	0	1	D/A
S412	0	1	1	D/A
S419				bar.
S420	0	0	1	D/A
<b><i>SENSORES DEL GENERADOR</i></b>				
41U-42U	100	165	165	C°
43U-44U	100	165	165	C°
41V-42V	100	165	165	C°
43V-44V	100	165	165	C°
41W-42W	100	165	165	C°
43W-44W	100	165	165	C°
41R-42R	80	100	165	C°
43R-44R	80	100	155	C°

## DIAGRAMA LÓGICO DE OPERACIÓN Y CONTROL

# CIRCUITO DE MEDIA TENSION 34.5 KV







## **Conclusión y sugerencias**

Se concluye que durante el proceso de desarrollo de la residencia profesional en la central eoloeléctrica la venta con el proyecto protecciones eléctricas y mecánicas de un aerogenerador de 850 kw los sensores forman parte del sistema de protecciones mecánicas del aerogenerador y que sus parámetros están un poco desfasados, ya que en la práctica, estos tienen un comportamiento diferente a lo discernido en el análisis de control que el fabricante da para su operación, es por eso que se sugiere rectificar los parámetros de cada uno de los aerogeneradores de 850 kw para el aprovechamiento óptimo de la capacidad nominal. En la parte de protecciones eléctricas los termomagnéticos son los elementos de mayor importancia para el sistema de control y potencia así como del circuito eléctrico del aerogenerador además se cuenta con fusibles para el sistema de acoplamiento a la red.

## **Bibliografía**

- Manual de mantenimiento GAMESA EOLICA.
- Aerogeneradores de eje horizontal para operación independiente o interconectados aun sistema de distribución IIE-NAG-1 “instituto de investigaciones eléctricas”
- <http://www.danish.wind.industry.association.com>
- Página electrónica de Estadísticas Mundiales de la Energía Eólica, 8-nov-2007, Holanda, <http://home.wxs.nl/~windsh/stats.html>