



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AEROGENERADORES PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN ÁREAS MARINAS

Autor: Beatriz Mercedes De Beruete Gutiérrez

Director: Juan Antonio Talavera Martín

Madrid

Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

La autora Dña. Beatriz Mercedes de Beruete Gutiérrez DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AEROGENERADORES PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN ÁREAS MARINAS, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

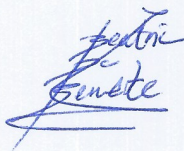
- Madrid, a 02 de Julio de 2019

Fdo.....

[illegible]

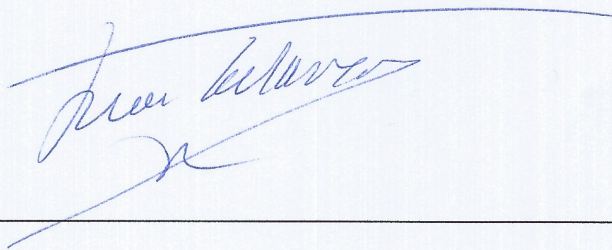
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AEROGENERADORES
PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN ÁREAS MARINAS**
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Beatriz Mercedes De Beruete Gutiérrez Fecha: 02 / 07 / 19



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Antonio Talavera Martín Fecha: 2 / 7 / 2019





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AEROGENERADORES PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN ÁREAS MARINAS

Autor: Beatriz Mercedes De Beruete Gutiérrez

Director: Juan Antonio Talavera Martín

Madrid

Julio de 2019

DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AEROGENERADORES PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN ÁREAS MARINAS

Autor: Beruete Gutiérrez, Beatriz Mercedes de.

Director: Talavera Martín, Juan Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto a desarrollar se centra en el diseño de los sistemas eléctricos de un aerogenerador de clase *off-shore*, en un parque eólico marino situado en la costa africana, en el que sólo se considera la presencia de la turbina en cuestión, y cuya potencia de generación nominal es de 5 MW.

El objetivo principal de este proyecto consiste por lo tanto en dar con las alternativas de diseño más acertadas para asegurar, a partir de la incorporación de los equipos eléctricos oportunos, una extracción y transmisión eficaces de la energía eléctrica, además de la continuidad de operación del aerogenerador, cuyos sistemas de protección deben ser capaces de despejar incidentes eléctricos sin pararse cuándo la situación no lo requiera, y detener la producción de energía inmediatamente en caso de incidencias más severas que puedan dar lugar a daños graves.

La metodología seguida para cumplir con dicho objetivo principal se divide en tres pasos fundamentales, los que corresponden al diseño de las dos áreas principales del sistema eléctrico del aerogenerador, y al trato con el programa de trabajo común a todos los proyectos involucrados en el diseño de la totalidad de la máquina, respectivamente. Todos los equipos y cables incluidos en el proyecto habrán sido diseñados y definidos a partir del contacto con diferentes fabricantes, entre los que se habrán comparado modelos disponibles y ofertas.

En primer lugar, es necesario realizar el diseño de los circuitos eléctricos de potencia, compuestos de tres elementos principales: el convertidor, responsable del control de diferentes parámetros del lado del generador y de la red, el transformador de potencia, cuyo papel consiste en elevar la tensión de generación, de 690V, a un nivel de media tensión de 20 kV adaptado para el transporte de la energía hasta la subestación, y la celda de media tensión, principal elemento de seguridad contra fallos eléctricos.

Una vez estudiadas las diferentes soluciones tecnológicas y alternativas de mercado ofertadas para cada uno de los componentes del tren de potencia eléctrico, se escogieron

los modelos que se consideraron más adecuados a las aplicaciones y prestaciones requeridas.

En el caso del convertidor, se determinó que este tendría que estar constituido de dos puentes cuyos elementos de conmutación, también denominados semiconductores, fueran transistores bipolares de puerta aislada, conocidos como IGBT (del inglés *Insulated Gate Bipolar Transistor*), cuyos momentos de encendido y apagado fueran completamente controlados por modulación por ancho de pulsos o PWM (del inglés *Pulse Width Modulation*), estando uno de los puentes conectado al estator del generador funcionando como módulo rectificador y otro conectado a la red funcionando como módulo inversor. Esta configuración, que permite el flujo de potencia en ambos sentidos, es la que se conoce como *Full Converter, Back to Back*, y el modelo escogido fue el ACS880-87LC, del fabricante ABB.

Para el transformador de potencia, se determinó la conexión de los arrollamientos de alta y baja, los que se conectarían en triángulo y estrella a tierra mediante resistencia respectivamente, de manera a incrementar el nivel de protección de los aislamientos ante sobretensiones. El modelo elegido fue entonces el de aislamiento seco propuesto por el fabricante ABB, de manera que sus dimensiones reducidas y peso inferior permitiesen su instalación en la parte trasera de la góndola.

La celda de media tensión se diseñó de manera a contar con las funciones de remonte de cables a barras y de protección de transformador mediante interruptor automático, dada la situación del aerogenerador, único en el parque, y el que se podría considerar como de final de línea, por lo que no requeriría de la función de línea, es decir, de maniobra mediante interruptor-seccionador de tres posiciones. Se determinaron entonces los ajustes de las tres protecciones principales de transformador que se incluirían en el módulo de protección de transformador, para después escoger la oferta del fabricante Ormazabal de celda modular CGMCOSMOS.

En segundo lugar, entra en juego el diseño de los circuitos eléctricos auxiliares, cuyas funciones y equipos implicados no son escasos. A partir de un transformador de servicios auxiliares que baje el nivel de tensión a unos 400 V, se alimentarán equipos como son el sistema de alimentación ininterrumpida, esencial para asegurar el funcionamiento continuado del aerogenerador, y los motores y variadores electrónicos de los sistemas de control de paso de las palas y de orientación de la góndola del aerogenerador, ambos responsables de extraer la máxima potencia posible del viento.

Se analizaron entonces en un primer lugar los sistemas de control de potencia, de paso y orientación, de manera a dar con un valor aproximado de potencia de consumo total de cargas auxiliares con el que determinar las potencias nominales de los sistemas de alimentación ininterrumpida y de transformador auxiliar.

Dadas las potencias nominales de trabajo de cada uno de los tres motores de paso, de 37 kW, y de los ocho motores de orientación, de 5,5 kW, se dio paso a la obtención de unos motores adecuados, con sus respectivos convertidores de frecuencia que permitiesen realizar un control de velocidad V/f de dichos motores. Se escogieron

entonces los motores de aplicación general, de 6 polos y eficiencia IE3, del fabricante ABB, junto con los variadores electrónicos ACS850 del mismo.

A continuación hubo que dimensionar el sistema de alimentación ininterrumpida. Abreviado como SAI en español, y conocido comúnmente como UPS, del inglés *Uninterruptible Power Supply*, este es un módulo cuya función consigue en asegurar que ciertas cargas del aerogenerador, cuya continuidad de funcionamiento sea esencial, permanezcan alimentadas bajo problemas que puedan provocar que la red no proporcione la alimentación requerida. Se seleccionó entonces el modelo PowerWave33 que propuso el fabricante ABB. Sin embargo, se llegó también a la conclusión de que sería necesario realizar un bypass de dicha UPS una vez instalada, que entrase en juego en el momento de reenergizar la máquina tras parada de esta, dado que si en el momento de cierre de celda llegase a ocurrir alguna incidencia eléctrica, de no alimentar a partir de un bypass los circuitos que cuelgan de la UPS, entre los que figuran ciertos sensores de protección, estos podrían no detectar la falta, dados los segundos que tarda la UPS en cargarse.

Por último, se decidió conectar el lado de alta del transformador de servicios auxiliares al lado de media tensión, de manera a asegurar la alimentación de los circuitos auxiliares en caso de suspensión del servicio prolongado del tren de potencia eléctrico por incidencia en alguno de los equipos de 690 V. El modelo escogido fue el mismo que para el transformador de potencia, de aislamiento seco de ABB, para una potencia algo mayor a la de máximo consumo de las cargas auxiliares.

En último lugar, es necesario proporcionar un dimensionamiento adecuado del cableado tanto de baja como de media tensión, que soporte las intensidades esperadas y cuente con un nivel de aislamiento adaptado a cada sección del sistema. Una vez realizada dicha tarea, y de manera a poner a prueba el correcto funcionamiento del aerogenerador, se requiere el aporte de ciertos datos eléctricos al modelo de simulación de la turbina, obtenido a partir del programa de simulación específica a aerogeneradores BLADED, sobre el cual otros proyectos destinados al diseño de otros aspectos del aerogenerador trabajan en más profundidad, y en el cual se habrá realizado previamente un análisis de los parámetros eléctricos a determinar.

Se calcularon entonces las intensidades nominales de cada zona del sistema eléctrico del aerogenerador, las que fue necesario escalar mediante un coeficiente de corrección de temperatura dependiente de la temperatura máxima de régimen permanente del cable, función del tipo de aislamiento utilizado, y de las temperaturas estimada de operación del cable en el aero y de normativa. Los cables seleccionados fueron todos del fabricante General Cable, de la gama Exzhellent.

En cuanto al programa de simulación de operación de aerogeneradores conocido como Bladed, el trabajo sobre este fue realizado en segundo plano. El software en cuestión permite realizar simulaciones del funcionamiento de la turbina objeto de diseño bajo diferentes condiciones ambientales, de manera a observar el comportamiento de la máquina en cuanto a extracción de potencia o cargas soportadas, para dar así con los valores de diseño que aseguren la óptima actividad de la máquina. Las aplicaciones principales de Bladed no son entonces de ayuda al desarrollo del proyecto destinado al diseño de los sistemas eléctricos, pero pese a esto, era necesario analizar el número de

parámetros eléctricos involucrados en dicho programa, de forma a proporcionar aquellos valores que fueran requeridos para simulaciones completas del aerogenerador en marcha. Entre los datos que fueron determinados, se encuentra la totalidad de parámetros de red, junto con algunos valores de tensión, intensidad y rendimiento propios al convertidor de red.

DESIGN OF THE ELECTRIC SYSTEMS OF WIND TURBINES FOR ENERGY PRODUCTION IN MARINE AREAS

Author: Beruete Gutiérrez, Beatriz Mercedes de.

Director: Talavera Martín, Juan Antonio.

Collaboring Institution: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

The project to be developed focuses on the design of the electrical systems of an offshore wind turbine, in a marine wind farm located on the African coast, where only the presence of the turbine in question is considered, and which power of nominal generation is 5 MW.

The main objective of this project is therefore to find the most appropriate design alternatives to ensure, through the incorporation of the appropriate electrical equipment, an efficient extraction and transmission of the electrical energy, in addition to the continuity of operation of the wind turbine, whose protection systems must be capable of clearing electrical incidents without stopping when the situation does not require it, and halting the production of energy immediately in case of more severe incidents that may lead to serious damage.

The methodology followed to fulfill this main objective is divided into three fundamental steps, which correspond to the design of the two main areas of the wind turbine's electrical system, and the treatment with the work program common to all the projects involved in the design of the entire machine, respectively. All the equipment and cables included in the project will have been designed and defined based on contact with different manufacturers, among which available models and offers will have been compared.

In the first place, it is necessary to design the electrical power circuits, composed of three main elements: the converter, responsible for the control of different parameters on the generator and network side, the power transformer, whose role is to raise the generation voltage, of 690V, to a medium voltage level of 20 kV adapted for the transport of energy to the substation, and the switchgear module, the main safety element against electrical faults.

Once the different technological solutions and market alternatives offered for each of the components of the electric power train were studied, the models that were considered most suitable for the applications and required services were chosen.

In the case of the converter, it was determined that the switching elements, also called semiconductors, would have to be isolated gate bipolar transistors, known as IGBT (from the English Insulated Gate Bipolar Transistor), whose ignition and shutdown had to be completely controlled by pulse width modulation or PWM (of the English Pulse Width Modulation), one of the modules being connected to the stator of the generator functioning as a rectifier module and another connected to the network functioning as an inverter module. This configuration, which allows the flow of power in both directions, is what is known as Full Converter, Back to Back, and the model chosen was the ACS880-87LC, from the manufacturer ABB.

For the power transformer, the connection of the high and low windings was determined so that these would be connected in triangle and resistance grounded star respectively, in order to increase the level of protection of the equipment's insulation against overvoltages. The chosen model was then that of dry insulation proposed by the manufacturer ABB, so that its reduced dimensions and lower weight allowed its installation in the back of the nacelle, known as the vacuum cast coil dry transformer.

The medium voltage cell was designed to have the functions of cable lift to bars and transformer protection by automatic switch, given the situation of the wind turbine, unique in the park, and which could be considered as end of line, so it would not require the line function, also known as the maneuver by means of three-position switch-disconnector function. The adjustments of the three main transformer protections that would be included in the transformer protection module were then determined, and so finally the offer of the modular switchgear from the manufacturer Ormazabal CGMCOSMOS was selected.

In second place, the design of the auxiliary electric circuits comes into play, whose functions and equipment involved are not scarce. Through an auxiliary service transformer that lowers the voltage level to about 400 V, the electrical feeding of equipment such as the Uninterruptible Power Supply, essential to ensure the continued operation of the wind turbine, and the electronic motors and variators of the control systems known as pitch and yaw control, both responsible for extracting the maximum possible power from the wind.

The pitch and yaw control systems were then analyzed in order to give an approximate value of total power consumption of auxiliary loads with which defining the nominal powers of the uninterrupted power supply and the auxiliary transformer.

Given the nominal operation powers of each one of the three motors of the pitch control, of 37 kW, and of the eight motors of the yaw control, of 5,5 kW, it was possible to obtain said needed motors, with their respective converters of frequency that would allow to realize a V/f speed control of said motors. The ABB general application motors, of 6 poles and efficiency IE3, were then chosen, along with the electronic frequency converters ACS850 of the same manufacturer.

Next, the Uninterruptible Power Supply had to be dimensioned. This module's function is to ensure that certain loads of the wind turbine, whose continuity of operation may be essential, remain powered even under electrical fails that may lead to the network's collapse. The PowerWave33 model proposed by the manufacturer ABB was then selected. However, it was also concluded that it would be necessary to perform

a bypass of said UPS once installed, which would come into play at the time of re-energizing the machine after stopping it, given that, if at the time of closure of the switchgear, an electrical incident occurred, the circuits hanging from the UPS, which include certain protection sensors, may not detect the fault, given the few seconds the UPS takes to fully charge.

Finally, it was decided to connect the high voltage side of the auxiliary service transformer to the medium voltage level, in order to ensure the power supply of the auxiliary circuits in case of prolonged suspension of the electric power train due to an incident in one of the equipments of 690 V. The model chosen was the same as for the power transformer, for a slightly greater power level than the maximum consumption of the auxiliary loads.

Lastly, it is necessary to provide adequate sizing of both low and medium voltage wiring, so that the wires support the expected currents and the insulation level adapts to each section of the system. Once this task has been carried out, and in order to test the correct functioning of the wind turbine, it is necessary to provide certain electrical data to the turbine simulation model, built through the wind turbine simulation program known as BLADED, on which other projects focused on the design of other aspects of the wind turbine, worked more in depth, and in which an analysis of the electrical parameters to be determined will have been previously carried out.

The nominal currents of each area of the wind turbine's electrical system were then calculated, which had to be scaled through a temperature correction coefficient, dependent on the maximum temperature of the cable's permanent regime, function of the type of insulation used, and the estimated temperatures of operation of the cable in the turbine and specified by regulation. The cables selected were all from the manufacturer General Cable, of the "Exzhellent" kind.

As for the wind turbine operation simulation program known as Bladed, the work done over it was not considered a main task. The software in question allows to simulate the operation of the turbine object of design under different environmental conditions, in order to observe the behavior of the machine in terms of power extraction or loads supported, to find then the design values that ensure the optimal activity of the machine. The main applications of Bladed do then not ensure the development of the project of design of the electrical systems, but despite this, it was necessary to analyze the number of electrical parameters involved in this program, in order to provide those values that were required for complete simulations of the wind turbine running. Among the parameters that were determined, some of the data implemented were the totality of network parameters, together with some voltage, current and efficiency values proper to the network.

Índice de la memoria

DOCUMENTO Nº1, MEMORIA	1
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 ASPECTOS GENERALES	3
1.2 DISEÑO DEL CONJUNTO DEL AEROGENERADOR	5
1.3 ENERGÍA EÓLICA Y LEY DE BETZ	5
1.4 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
Capítulo 2 CIRCUITO DE POTENCIA.....	9
2.1 GENERADOR	9
2.2 CONVERTIDOR	10
2.2.1 SISTEMA DE CONMUTACIÓN	11
2.2.2 COMPONENTES PRINCIPALES	14
2.2.2.1 CONVERTIDOR DEL LADO DEL GENERADOR	15
2.2.2.2 CONVERTIDOR DEL LADO DE LA RED	16
2.2.2.3 BUS DE CONTINUA.....	19
2.2.2.4 FILTRO DE RED.....	21
2.2.3 DATOS TÉCNICOS	21
2.3 TRANSFORMADOR.....	22
2.3.1 CONEXIÓN	22
2.3.2 EMPLAZAMIENTO E INSTALACIÓN.....	23
2.3.3 FABRICANTE, MODELO Y DATOS TÉCNICOS	25
2.4 CELDA DE MEDIA TENSIÓN.....	25
2.4.1 EMPLAZAMIENTO.....	26
2.4.2 MÓDULOS	26
2.4.3 PROTECCIONES ELÉCTRICAS	27
2.4.3.1 Protección diferencial de transformador (87T).....	27
2.4.3.2 Protección de sobreintensidad instantánea o de tiempo definido (50).....	30

2.4.3.3	<i>Protección de sobreintensidad de tiempo inverso (51)</i>	32
2.4.4	DATOS TÉCNICOS	35
Capítulo 3	CIRCUITO AUXILIAR	37
3.1	SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA	37
3.1.1	CONTROL DE ORIENTACIÓN.....	37
3.1.2	CONTROL DE PASO.....	39
3.2	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA.....	41
3.2.1	DIMENSIONAMIENTO	41
3.2.2	DATOS TÉCNICOS	42
3.2.3	INSTALACIÓN	42
3.3	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	43
Capítulo 4	CABLEADO	45
4.1	CABLEADO DE BAJA TENSIÓN.....	45
4.2	CABLEADO DE MEDIA TENSIÓN.....	47
4.3	CABLEADO DE AUXILIARES	48
4.4	CABLEADO DE SISTEMAS DE CONTROL.....	50
4.4.1	SISTEMA DE CONTROL DE PASO	50
4.4.2	SISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN	51
Capítulo 5	BLADED, PROGRAMA DE SIMULACIÓN	53
5.1	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN ..	53
5.2	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	DOCUMENTO N°2, PLANOS	63
	LISTADO DE PLANOS	65
	Plano 1: Esquema unifilar general de los circuitos eléctricos de potencia y auxiliares.	65
	Plano 2: Alzado, planta y esquema eléctrico de la celda de media tensión de Ormazabal.....	65

Plano 3: Planta de la góndola del aerogenerador y disposición de los equipos del tren de potencia eléctrico.	65
<i>DOCUMENTO N°3, PRESUPUESTO</i>	<i>73</i>
1. SUMAS PARCIALES	75
2. PRESUPUESTO GENERAL.....	76
<i>ANEXO I, CATÁLOGOS</i>	<i>77</i>
1. CONVERTIDOR	79
2. TRANSFORMADORES	84
3. DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS AL TRANSFORMADOR DE POTENCIA 87	
4. CELDA DE MEDIA TENSIÓN	89
5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA	97
6. MOTORES DE SISTEMAS DE PASO Y ORIENTACIÓN	99
7. VARIADORES DE FRECUENCIA DE SISTEMAS DE PASO Y ORIENTACIÓN.....	103
8. CABLEADO	109

Índice de figuras

<i>Figura 1: Viñeta ilustradora de la Ley de Betz. [FERN19]</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2: Esquema explicativo de las funciones y control del convertidor. [FERN19].....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3: Emplazamiento de los distintos sistemas de conmutación en función de su rango de potencias y de frecuencias de operación. [FERN19]</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4: Puente rectificador de tiristores SCR. [GARC18]</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5: Rectificación de onda alterna a continua de un puente rectificador de tiristores con ángulo de disparo α. [GARC18]</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6: Diagrama unifilar del convertidor de potencia FULL CONVERTER LV 100-10000 de Ingeteam Power Technology.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7: Respuesta del control de seguimiento óptimo del convertidor ante una repentina disminución de la velocidad de viento. [FERN19]</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8: Control vectorial del convertidor del lado del generador. [FERN19].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9: Inversor trifásico. [GARC18].....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 10: Control de onda cuadrada de un inversor trifásico. [GARC18]</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11: Ondas de tensión y corriente de una fase a la salida del inversor trifásico de onda cuadrada. [GARC18]</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12: Funcionamiento del PWM. [GARC18]</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13: Tensión fase-neutro e intensidad de fase a la salida del PWM. [GARC18].....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14: Condensador y chopper de frenado del bus de continua.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15: Control de histéresis del chopper de frenado [FERN19]</i>	<i>21</i>
<i>Figura 16: Filtro LCL.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 17: Conexión de los arrollamientos de alta y baja del transformador de potencia.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 18: Esquema de las barras del triángulo de alta tensión del transformador. [BERU18]</i>	<i>24</i>
<i>Figura 19: Vista lateral del transformador amarrado al bastidor [BERU18].....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 20: Módulos de remonte de cables a barras, de maniobra mediante interruptor-seccionador de tres posiciones, y de protección mediante interruptor automático de Ormazabal, de izquierda a derecha.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 21: Esquema de funcionamiento de la protección diferencial de transformador. [ROUC19].</i>	<i>28</i>
<i>Figura 22: Característica de actuación y bloqueo de la protección diferencial de transformador. [ROUC19]</i>	<i>29</i>

<i>Figura 23: Característica de la protección de sobreintensidad de tiempo definido. [ROUC19]</i>	<i>30</i>
<i>Figura 24: Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar en caso de falta trifásica al principio de la línea.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 25: Circuito de falta trifásica.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 26: Características inversa, muy inversa y extremadamente inversa de la protección de sobreintensidad de tiempo inverso. [ROUC19]</i>	<i>33</i>
<i>Figura 27: Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar en caso de falta bifásica al final de la línea.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 28: Circuito de falta bifásica.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 29: Control tensión-frecuencia. [FERN19]</i>	<i>39</i>
<i>Figura 30: Sistema de control de Pitch del fabricante MOOG.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 31: Pestaña “Electrical” de la ventana de “Power Train” del programa BLADED.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 32: Pestaña “Network” de la ventana de “Power Train” del programa BLADED.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 33: Menús desplegados del apartado de dinámicas eléctricas de velocidad variable.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 34: Ventana de datos eléctricos preliminares.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 35: Pestañas “Basic” y de convertidor del lado del generador.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 36: Pestañas de convertidor del lado de la red y de protección de control de par y de chopper de bus de continua.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 37: Implementación de los parámetros de línea.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38: Determinación de los parámetros eléctricos preliminares disponibles de línea y de convertidor.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 39: Determinación de los parámetros básicos del convertidor.</i>	<i>59</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Especificaciones preliminares del generador eléctrico.</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Datos técnicos del convertidor de potencia del fabricante ABB.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3: Datos técnicos del transformador de potencia del fabricante ABB.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4: Datos técnicos generales del conjunto de módulos de la celda de MT de Ormazabal.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5: Datos técnicos del módulo de remonte de cables a barras de la celda de MT.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6: Datos técnicos del módulo de protección de transformador mediante interruptor automático de la celda de MT.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7: Datos técnicos de los motores del sistema de orientación de ABB.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8: Datos técnicos de los convertidores del sistema de orientación de ABB.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 9: Datos técnicos de los motores del sistema de paso de ABB.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10: Datos técnicos de los variadores del sistema de paso de ABB.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 11: Datos técnicos del Sistema de Alimentación Ininterrumpida de ABB.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12: Datos técnicos del transformador de servicios auxiliares de ABB.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 13: Datos técnicos del cable de 690V del fabricante General Cable.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 14: Datos técnicos del cable de 20 kV del fabricante General Cable.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 15: Datos técnicos del cable para auxiliares del fabricante General Cable.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 16: Datos técnicos del cable del sistema de paso del fabricante General Cable.</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 17: Datos técnicos del cable del sistema de orientación del fabricante General Cable.</i>	<i>51</i>

DOCUMENTO N°1, MEMORIA

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ASPECTOS GENERALES

En la búsqueda por contribuir a la creación de un mix energético en el cual el protagonismo de las tecnologías de generación menos sustentables se vea disminuido, las numerosas ventajas que la tecnología eólica presenta en el ámbito de las energías renovables respaldan un auge sin precedentes de dicho sector, cuyo desarrollo es continuo y la innovación está a la orden del día.

En la actualidad, el campo de la generación eólica se encuentra en un periodo de transformación que se caracteriza por el crecimiento de la potencia instalada en parques tanto *on-shore* (es decir, parques terrestres) como *off-shore* (parques marítimos), siendo estos últimos constituidos de aerogeneradores cuyos tamaños y respectivas potencias de generación buscan superar todos los récords. En este contexto de aerogeneradores en continuo desarrollo, la turbina objeto de este proyecto, de 5 MW de potencia activa nominal de generación, se podría considerar de algún modo “límitrofe” entre terrestre y marítima, al poder resultar pequeña en el ámbito de los parques *off-shore*, cuyos aerogeneradores ya alcanzan los 8 MW de potencia, pero seguir siendo demasiado grande en el ámbito *on-shore*, cuyas turbinas alcanzan los 4 MW de potencia.

Sin embargo, a pesar de estar en el límite inferior de tamaño, el aerogenerador a diseñar será de tipo *off-shore*, al ser ideado de manera a soportar unas condiciones ambientales determinadas, características de un emplazamiento marino, constituidas por severas rachas de viento y turbulencias medias. Dichas condiciones, ventajosas respecto a las terrestres, en las que las velocidades de viento son inferiores pero las turbulencias resultan ser mayores, son las que constituyen el atractivo de la construcción de parques marinos, a pesar de los elevados costes que esto conlleva.

Entre las especificaciones preliminares más generales del aerogenerador se destacan las siguientes, que hacen alusión a la naturaleza *off-shore* de este:

- Clase IEC: I

Según la norma IEC 61400 – 1 de la Comisión Electrotécnica Internacional, los aerogeneradores responden a una clasificación que depende de su seguridad por diseño, es decir, a la fuerza de los vientos característicos del emplazamiento elegido. El aerogenerador a diseñar es de clase I, lo que se refiere a que la velocidad promedio anual del viento a la altura del centro del rotor es especialmente elevada, de alrededor de 10 m/s, lo que se explica dado

que es en áreas marinas en donde se dan los vientos más fuertes. A los aerogeneradores de clase I a IV, pertenecientes a la clase estándar, se les aplica la función de densidad de probabilidad de Rayleigh, como se muestra a continuación:

$$P(v_{hub}) = \frac{\pi}{2} \frac{v_{hub}}{(V_{ave})^2} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v_{hub}}{V_{ave}} \right)^2 \right]$$

Ecuación 1: Función de densidad de probabilidad de Rayleigh.

Siendo:

- $P(v_{hub})$: Probabilidad de ocurrencia de un valor de velocidad del viento a la altura del centro del rotor del aerogenerador
- V_{ave} : Velocidad promedio anual del viento a la altura del centro del rotor
- v_{hub} : Valor promedio en 10 minutos de la velocidad del viento a la altura del centro del rotor.

[BORJ09]

Dicha función es un caso especial de la función de distribución de probabilidad de Weibull con $k=2$, teniendo esta función la forma siguiente:

$$P(v_{hub}) = \frac{\pi}{4} \frac{k}{V_{ave}} \left(\frac{v_{hub}}{V_{ave}} \right)^{k-1} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v_{hub}}{V_{ave}} \right)^k \right]$$

Ecuación 2: Función de distribución de probabilidad de Weibull

[GARC16]

En nuestro caso, dado el emplazamiento elegido, que se encuentra en la costa africana, trabajaremos con $k = 1.979$, siendo la velocidad promedio anual del viento de 10.6 m/s, y con una profundidad del suelo bajo el nivel del mar de 40m.

- Turbulencia del aire: B

Existen, según *Germanischer Lloyd Renewables Certification*, tres categorías para características de turbulencia, alta, media y baja, que se denominan A, B y C respectivamente. En nuestro caso, la turbulencia característica del emplazamiento elegido será de intensidad media (B).

[GLRC12]

Dichos aspectos de clase y condiciones ambientales del aerogenerador afectan a todas las áreas de diseño de la turbina, por lo que es necesario contar con un entendimiento general de estos de manera a realizar un diseño robusto y seguro.

1.2 DISEÑO DEL CONJUNTO DEL AEROGENERADOR

El diseño de la totalidad de un aerogenerador off-shore entra en materia multidisciplinar, ya que implica la aportación de todo tipo de aplicaciones de la ingeniería, desde la mecánica, pasando por la eléctrica, y hasta la electrónica. La turbina se divide entonces en un conjunto de sistemas a dimensionar y determinar, pertenecientes a diferentes especialidades, los que conforman los seis proyectos involucrados en la integridad del diseño, enunciados a continuación.

El sistema de anclaje, responsable de asegurar que la turbina permanezca correctamente amarrada al suelo marino ante todo tipo de adversidades ambientales.

El sistema de orientación, cuya misión consiste en asegurar que el plano de giro de las palas permanezca siempre perpendicular a la dirección del viento, de manera a producir el máximo de energía posible en todo momento, a partir de un mecanismo de acoplamiento de la torre y la góndola que permita el giro de esta última.

El tren de potencia, también llamado “Drive Train” en inglés, cuya función reside en garantizar una correcta transmisión de la energía mecánica de giro del eje del buje de unión de las palas hasta el generador.

El generador eléctrico, encargado de transformar la energía mecánica de entrada en energía eléctrica de la manera más eficiente posible.

Los sistemas eléctricos, objeto de este proyecto, y cuya finalidad se describe en el cuarto apartado de este capítulo introductorio.

El diseño aerodinámico de las palas, y optimización de funcionamiento de la turbina, realizados a partir del estudio del comportamiento del aerogenerador mediante el uso de un programa de simulación.

1.3 ENERGÍA EÓLICA Y LEY DE BETZ

El objetivo del conjunto de proyectos de diseño del aerogenerador es común, y consiste en asegurar la máxima producción de energía posible.

Sin embargo, el principal obstáculo a dicho objetivo se encuentra en el límite natural de extracción de energía cinética del viento, denominado “Límite de Betz”, el que establece un rendimiento máximo del 59,3%. La explicación física a este fenómeno reside en el mero hecho de que, de conseguir extraer el 100% de la energía cinética del viento, este perdería su velocidad a la salida del plano de giro de las palas, deteniéndose así la circulación de aire, y con ella, el giro de las palas.

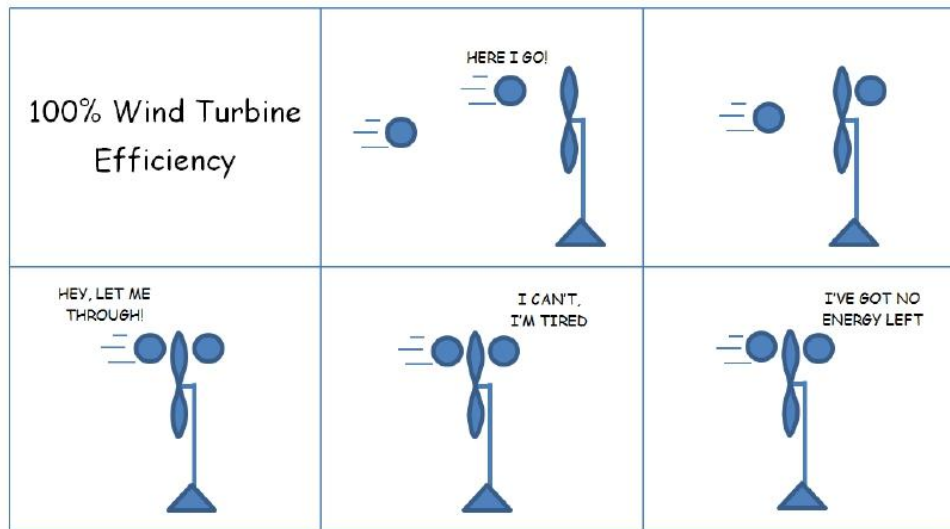


Figura 1: Viñeta ilustradora de la Ley de Betz. [FERN19]

Nos encontramos entonces con que la potencia extraída del viento se por la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (\pi r^2) \cdot v^3$$

Ecuación 3: Potencia mecánica extraída del viento por un aerogenerador. [FERN19]

Siendo:

- P_m la potencia mecánica aprovechada,
- ρ la densidad del aire,
- C_p el coeficiente de potencia de Betz, de 0.593,
- πr^2 la superficie barrida por las aspas,
- v la velocidad de viento incidente.

Sin embargo, los valores usuales de rendimiento máximo de aprovechamiento de la energía cinética del viento suelen encontrarse por debajo del límite teórico definido por la ley de Betz, rondado un valor del 47%. Esto se debe a que, mientras que el perfil de las palas del aerogenerador se diseña de manera que estas se muevan a causa del efecto de sustentación que el aire en movimiento inflige sobre ellas, existe también un fenómeno de arrastre aerodinámico, el que es necesario superar para asegurar el movimiento de las palas, lo que se traduce en ciertas pérdidas a nivel energético.

1.4 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto consiste por lo tanto en dar con las alternativas de diseño más acertadas para asegurar, a partir de la incorporación de los equipos eléctricos oportunos, una extracción y transmisión eficaces de la energía eléctrica, además de la continuidad de operación del aerogenerador, cuyos sistemas de protección deben ser capaces de despejar incidentes eléctricos sin pararse cuándo la situación no lo requiera, y detener la producción de energía inmediatamente en caso de incidencias más severas que puedan dar lugar a daños graves.

La metodología seguida para cumplir con dicho objetivo principal se divide en tres pasos fundamentales, los que corresponden al diseño de las dos áreas principales del sistema eléctrico del aerogenerador, y al trato con el programa de trabajo común a todos los proyectos involucrados en el diseño de la totalidad de la máquina, respectivamente. Todos los equipos y componentes a incluir en el proyecto serán diseñados y definidos a partir del contacto con diferentes fabricantes, entre los que habrá que comparar ofertas y modelos.

En primer lugar, es necesario realizar el diseño de los circuitos eléctricos de potencia, compuestos de tres elementos principales: el convertidor, responsable del control de diferentes parámetros del lado del generador y de la red, el transformador de potencia, cuyo papel consiste en elevar la tensión de generación, de 690V, a un nivel adaptado para el transporte de la energía hasta la subestación, y la celda de media tensión, principal elemento de seguridad contra fallos eléctricos.

En segundo lugar, entra en juego el diseño de los circuitos eléctricos auxiliares, cuyas funciones y equipos implicados no son escasos. A partir de un transformador de servicios auxiliares que baje el nivel de tensión a unos 400 V, se alimentarán equipos como son el sistema de alimentación ininterrumpida, esencial para asegurar el funcionamiento continuado del aerogenerador, y los motores y variadores electrónicos de los sistemas de control de paso de las palas y de orientación de la góndola del aerogenerador, ambos responsables de extraer la máxima potencia posible del viento.

En último lugar, es necesario proporcionar un dimensionamiento adecuado del cableado tanto de baja como de media tensión, que soporte las intensidades esperadas y cuente con un nivel de aislamiento adaptado a cada sección del sistema. Una vez realizada dicha tarea, y de manera a poner a prueba el correcto funcionamiento del aerogenerador, se requiere el aporte de ciertos datos eléctricos al modelo de simulación de la turbina, obtenido a partir del programa de simulación específica a aerogeneradores BLADED, sobre el cual otros proyectos destinados al diseño de otros aspectos del aerogenerador trabajan en más profundidad, y en el cual se habrá realizado previamente un análisis de los parámetros eléctricos a determinar.

Capítulo 2 CIRCUITO DE POTENCIA

El tren de potencia de un aerogenerador no termina en el generador eléctrico, dado que la importancia de la correcta transmisión de la energía una vez transformada a eléctrica es la misma que cuando ésta sigue siendo mecánica. En este capítulo se explican las principales tareas y funcionamiento de los componentes del circuito de potencia, de manera a dar con el diseño más adaptado a las condiciones de trabajo del aerogenerador, dando así con los equipos más adecuados al caso de estudio.

2.1 GENERADOR

A pesar de que el generador no figura en el conjunto de sistemas eléctricos a diseñar, ya que este compone otro de los cinco proyectos enunciados anteriormente en la introducción, la naturaleza de este influye en otros aspectos del resto de componentes del tren de potencia eléctrico, por lo que es necesario especificar con qué tipo trabajaremos, junto con algunos parámetros básicos del último.

Cabe entonces destacar que el generador es síncrono de imanes permanentes, también denominado “Permanent Magnet Synchronous Generator” en inglés, abreviado como PMSG, el cual se diferencia de la máquina síncrona de excitación independiente en que el campo magnético del rotor lo generan imanes permanentes en lugar de un electroimán.

A diferencia de otras máquinas de rotor liso, como pueden ser el generador síncrono clásico o la máquina de inducción, los que cuentan con unas velocidades de giro elevadas, rondando el valor de 1500 rpm en el caso de máquinas de un par de polos, el generador síncrono de imanes permanentes gira a muy baja velocidad, dado que el número de polos es mucho mayor.

Esto supone una gran ventaja en el contexto del tren de potencia mecánico, ya que se puede prescindir de una caja multiplicadora que aumente la velocidad de giro de las palas, de manera que la transmisión de potencia sea directa, acoplando directamente el eje del buje al rotor del generador eléctrico. Esto se traduce en un importante ahorro a nivel de presupuesto, dadas la alta precisión y ajustadas tolerancias de los engranajes que constituyen la multiplicadora y el ahorro en pérdidas mecánicas de transmisión, además de conseguir evitar una zona crítica del aerogenerador, ya que desaparecen las causas de fallo a raíz de problemas al interior de esta.

Sin embargo, existen también algunos inconvenientes propios a este tipo de generador. Entre estos, figuran factores como su gran diámetro y elevado peso, que dificultan la función del sistema de orientación, o la necesidad de utilizar un convertidor de mayor tamaño que en el caso de la elección de un generador asíncrono doblemente alimentado o DFIG (Doubly-Fed

Induction Generator), en el que se conecta el estator de la máquina directamente al transformador de potencia, y el rotor, en vez de encontrarse en cortocircuito, se conecta a un convertidor de dimensiones reducidas.

[FERN19]

Se enuncian a continuación, en forma de tabla, los datos preliminares sobre dicho generador.

Generador síncrono de imanes permanentes	
Potencia nominal	5000 kW
Tensión nominal	690 V
Velocidad mínima / nominal / máxima de giro	6 rpm / 12 rpm / 20 rpm
Rendimiento	95%
Factor de potencia	0,9
Número de polos	360
Diámetro	7000 mm
Longitud	1300 mm
Impedancia síncrona	0,035 Ω

Tabla 1: Especificaciones preliminares del generador eléctrico.

2.2 CONVERTIDOR

En los aerogeneradores de velocidad variable, como es el caso de la turbina objeto del proyecto, resulta indispensable la presencia de un convertidor de potencia a la salida del generador, cuyas principales funciones consisten en realizar el control vectorial del generador de manera a asegurar el máximo aprovechamiento de la energía del viento, y controlar la potencia reactiva inyectada a la red. Dicho convertidor se compone de dos módulos que se encargan de las dos tareas anteriormente enunciadas de forma respectiva, rectificador e inversor, que transforman la energía de alterna a continua y viceversa, y entre los cuales se encuentra un bus de continua en el que se puede almacenar la energía de manera temporal, cuya tensión es controlada por el inversor.

En la figura 2, se representan en rojo y verde los puentes rectificador e inversor, respectivamente. Las funciones de control vectorial de ambos módulos del convertidor se explicarán con más detalle en los apartados destinados a cada uno de los componentes del convertidor,

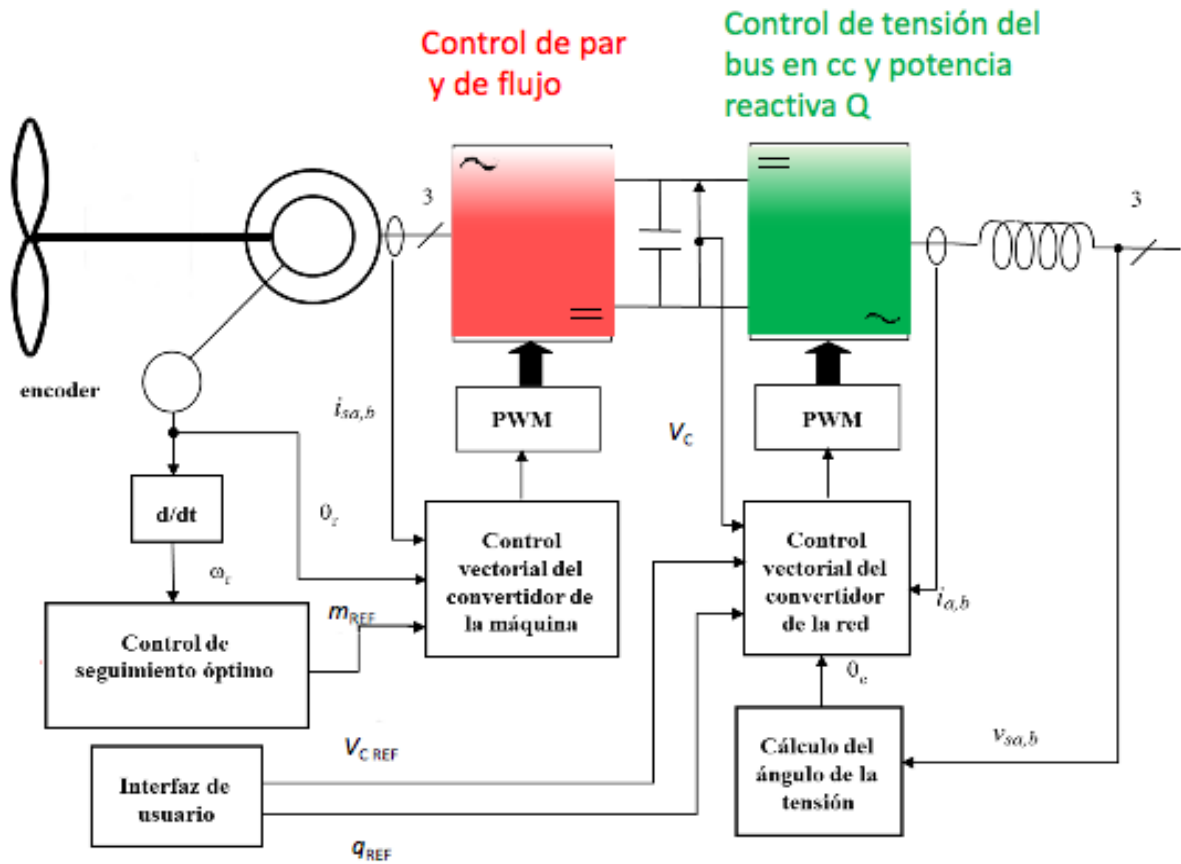


Figura 2: Esquema explicativo de las funciones y control del convertidor. [FERN19]

2.2.1 SISTEMA DE CONMUTACIÓN

El funcionamiento de los módulos rectificador e inversor se basa en el uso de algún tipo de sistema de conmutación que permita modificar la onda de entrada para crear una onda de salida distinta, a partir del encendido y apagado de estos en intervalos complementarios.

Dependiendo del tipo de aerogenerador y del uso que se le quiera dar al convertidor, el sistema de conmutación a elegir puede variar. A continuación se adjunta un esquema de todos los sistemas de conmutación disponibles en función de las potencias de trabajo de éstos.

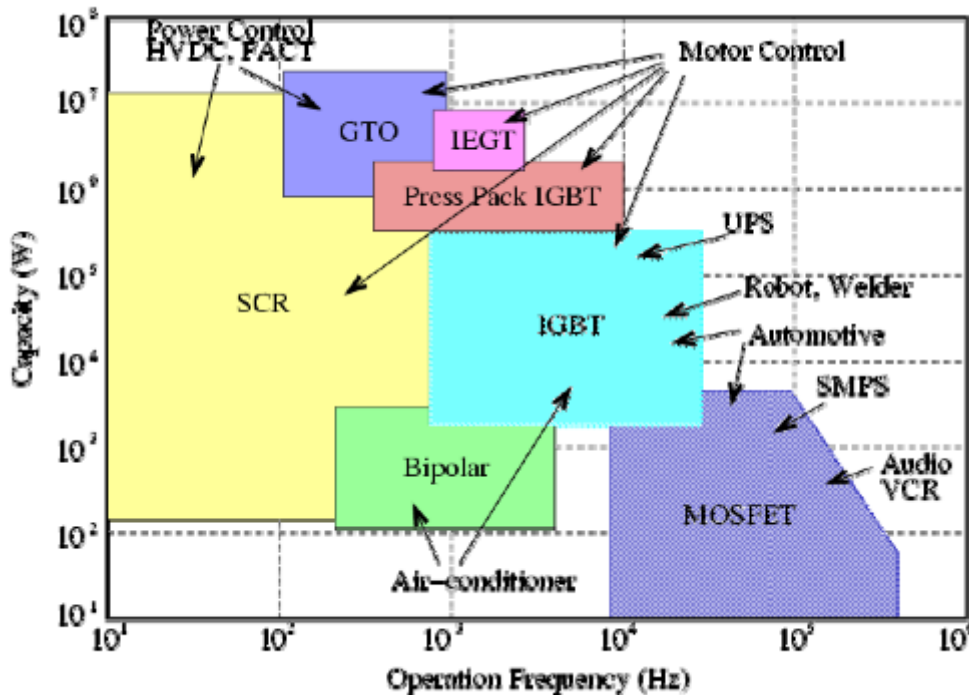


Figura 3: Emplazamiento de los distintos sistemas de conmutación en función de su rango de potencias y de frecuencias de operación. [FERN19]

Entre los elementos de conmutación más populares, destacan por su simplicidad y bajo coste los puentes de diodos (a veces conocidos como DSU, del inglés Diode Supply Unit) y de tiristores (los que se denominan como “rectificador controlado de silicio” o SCR del inglés *Silicon Controlled Rectifier*, o de tipo GTO, del inglés *Gate Turn-Off Thyristor*). Por mayor versatilidad, los sistemas de transistores bipolares de puerta aislada IGBT.

Aunque en el módulo inversor del convertidor el sistema empleado suele ser el de IGBT, dado que se requieren altas prestaciones de dicho lado del convertidor, para el módulo rectificador se suelen barajar las tres opciones anteriormente enunciadas.

La ventaja del uso de un puente rectificador de diodos o de tiristores SCR reside en que el sistema resulta más robusto y barato, sin embargo, el principal inconveniente consiste en que la potencia sólo puede circular en un sentido, debido a poderse controlar sólo el encendido y no el apagado, por lo que resulta imposible que un convertidor con tal módulo rectificador permita realizar ninguna acción de control hacia el generador. A partir de esta configuración, se consigue gobernar el par de la máquina e impedir que se supere la máxima tensión de bus de continua. Esta puede ser entonces una solución aceptable para el caso de un generador síncrono de excitación, ya que el control de flujo se podría realizar mediante el devanado de excitación de la generación, pero para el caso de un generador síncrono de imanes permanentes o de inducción, esta opción resulta inviable.

[SAEN13]

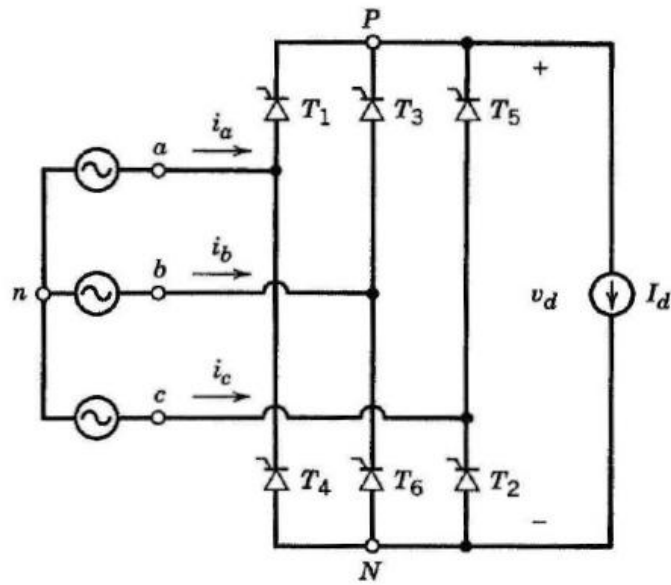


Figura 4: Puente rectificador de tiristores SCR. [GARC18]

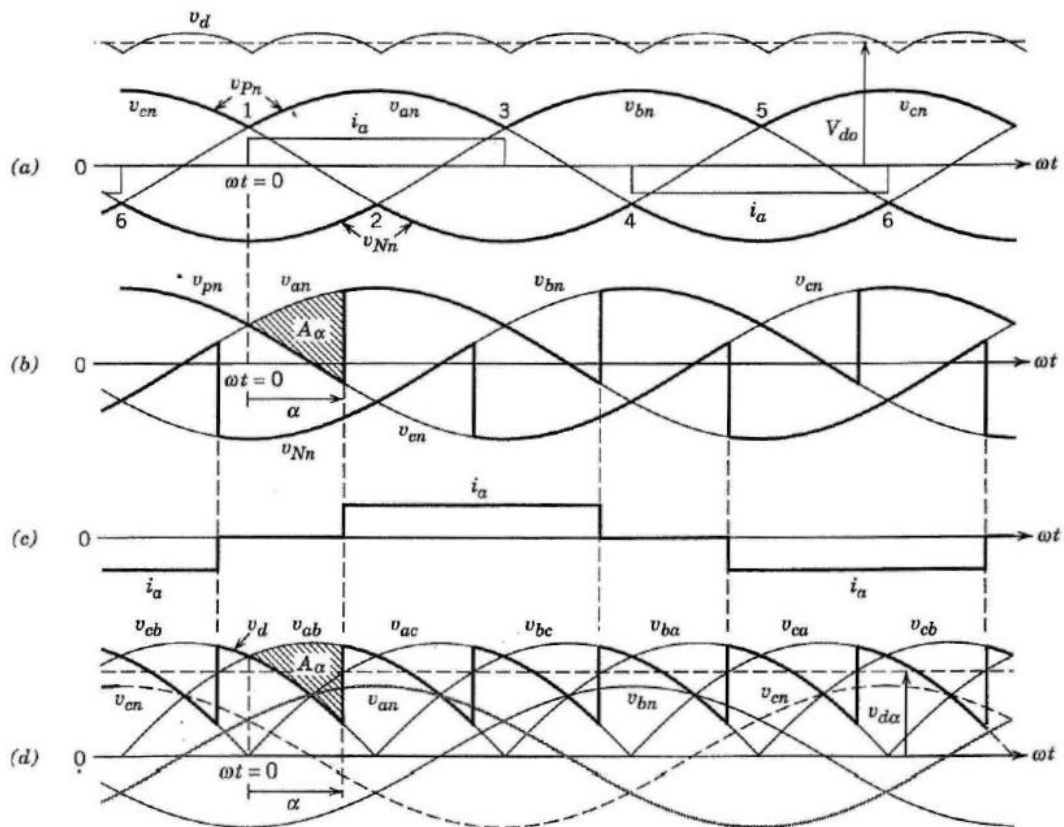


Figura 5: Rectificación de onda alterna a continua de un puente rectificador de tiristores con ángulo de disparo α . [GARC18]

Un puente rectificador de tiristores GTO sí que permite el flujo de potencia hacia el generador, dado que se puede controlar tanto el encendido como el apagado mediante la corriente de puerta o terminal, manteniendo además constante el factor de potencia. Sin embargo, para asegurar una relación lineal entre tensión y velocidad de giro de manera a mantener el flujo constante, sigue siendo necesario recurrir al devanado de excitación de un generador síncrono, por lo que esta solución sigue sin ser aplicable a las máquinas de inducción o síncronas de imanes permanentes.

[SAEN13]

Es por esto que lo más común es que el convertidor se constituya de dos puentes de transistores bipolares de puerta aislada, conocidos como IGBT (del inglés *Insulated Gate Bipolar Transistor*), cuyos momentos de encendido y apagado son completamente controlados por modulación por ancho de pulsos o PWM (del inglés *Pulse Width Modulation*), estando uno de los puentes conectado al estator del generador funcionando como rectificador y otro conectado a la red funcionando como inversor. Los elementos de conmutación IGBT cuentan con un transistor en paralelo con un diodo, que funcionan como interruptores que se cierran y abren simultáneamente de dos en dos de forma a crear la onda deseada.

2.2.2 COMPONENTES PRINCIPALES

Como ya se ha especificado en el apartado anterior, el convertidor en cuestión estará constituido de módulos rectificador e inversor autoconmutados IGBT. En el esquema siguiente, realizado por el fabricante Ingeteam, se aprecia el aspecto de la totalidad del convertidor.

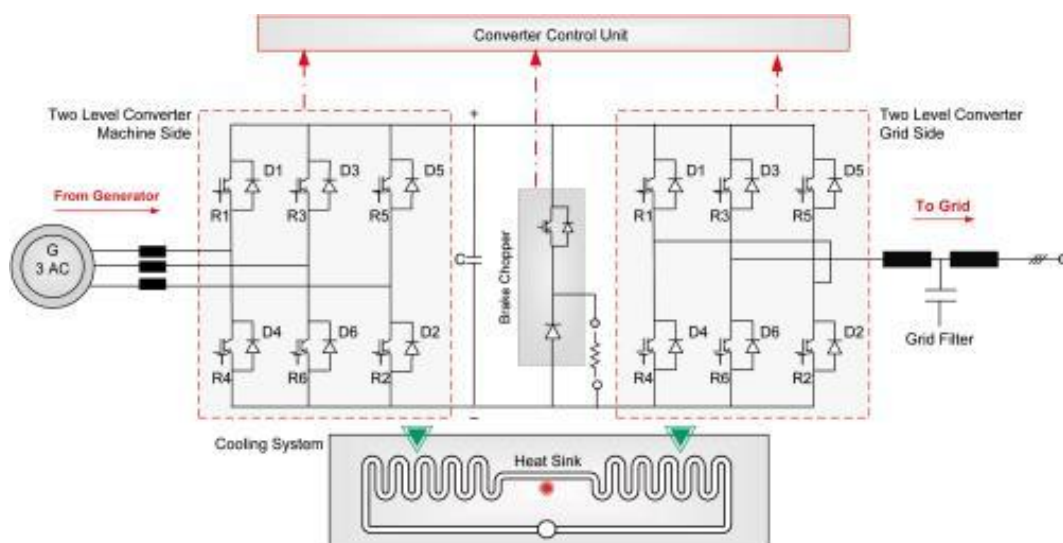


Figura 6: Diagrama unifilar del convertidor de potencia FULL CONVERTER LV 100-10000 de Ingeteam Power Technology.

Es por lo tanto preciso analizar la función de cada sección del convertidor.

2.2.2.1 CONVERTIDOR DEL LADO DEL GENERADOR

El módulo rectificador, también conocido, en caso de estar compuesto de elementos de conmutación IGBT, como ISU (IGBT supply unit), es responsable de rectificar la tensión de alterna, que obtiene a la salida del generador, en tensión de continua, mediante la acción del PWM anteriormente mencionado, y cuyo funcionamiento se explicará más en detalle en el apartado destinado al convertidor del lado de la red.

El puente rectificador del convertidor carga sin embargo también con la función de monitorizar el comportamiento del generador, tanto de parámetros eléctricos a la salida del estator como mecánicos del roto, para implementarlos en el control vectorial del generador, realizando un seguimiento óptimo de manera a asegurar, dado un valor de velocidad de viento, la mayor extracción de potencia posible para la curva de potencia en función de la velocidad de rotor correspondiente a dicho valor de velocidad de viento. Esto se puede observar de manera más gráfica en la figura 2 de introducción al funcionamiento del convertidor.

A continuación se presentan, en las figuras 7 y 8 respectivamente, la base del funcionamiento del control de seguimiento óptimo, y del funcionamiento interno del control vectorial del convertidor sobre el generador.

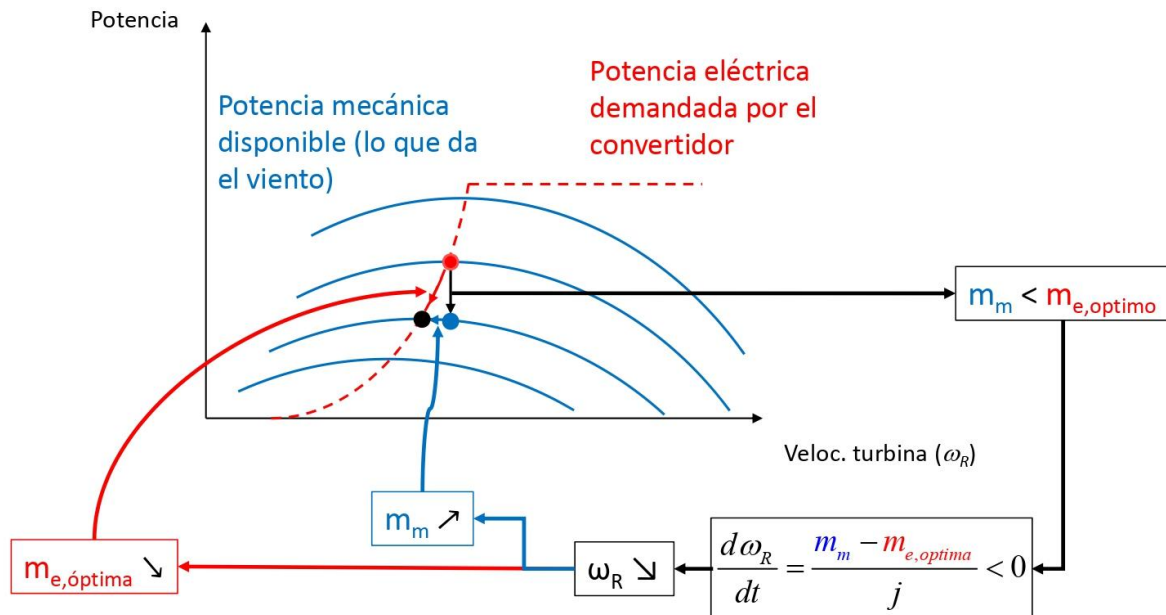


Figura 7: Respuesta del control de seguimiento óptimo del convertidor ante una repentina disminución de la velocidad de viento. [FERN19]

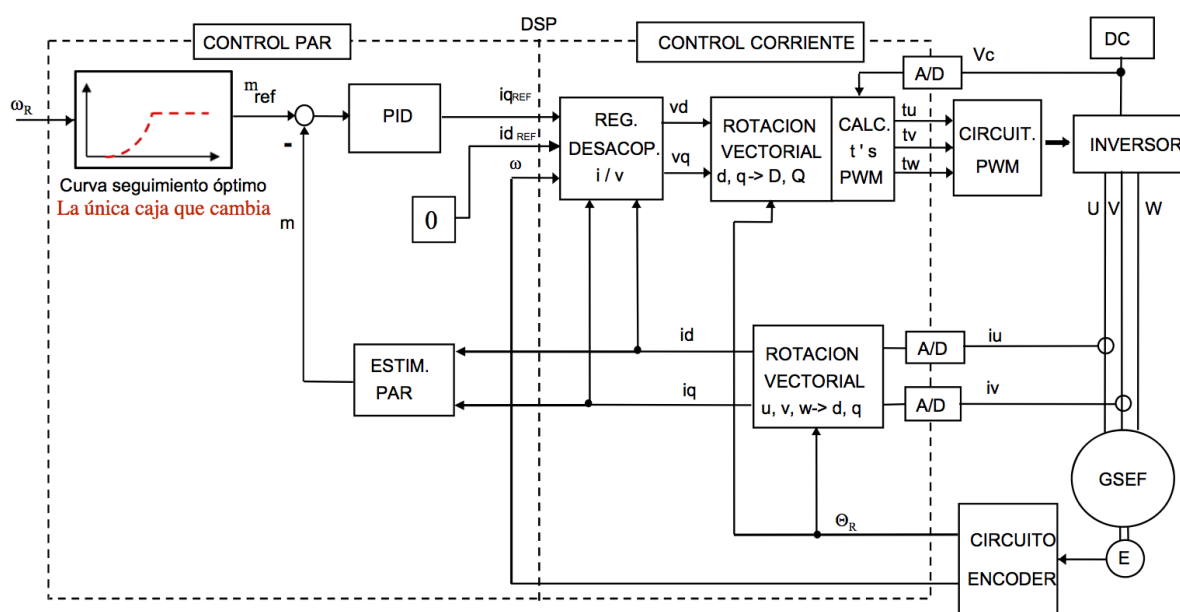


Figura 8: Control vectorial del convertidor del lado del generador. [FERN19]

Cabe precisar que los símbolos “d” y “q” del esquema de control vectorial hacen alusión al sistema de referencia de ejes dq móvil girando a la velocidad de sincronismo, lo que permite convertir un sistema trifásico en bifásico, y simplifica las tareas de control, y el módulo denominado como “inversor” en el esquema es en realidad el módulo rectificador del convertidor, es decir, el del lado del generador.

2.2.2.2 CONVERTIDOR DEL LADO DE LA RED

El módulo inversor, también denominado INU (Inverter unit), es el encargado de realizar la tarea contraria a la del módulo rectificador, creando una onda lo más parecida posible a una senoide a partir de la tensión de continua. Dicha tarea es llevada a cabo a partir de la modulación de ancho de pulsos o PWM, el que controla las aperturas y cierres de los interruptores IGBT.

Para entender el funcionamiento del PWM, es interesante estudiar en primer lugar el funcionamiento de un inversor trifásico de onda cuadrada, en donde los seis interruptores se agrupan en tres pares cuyo funcionamiento simultáneo es incompatible (los de una misma rama, es decir S1 con S4, S3 con S6 y S5 con S2, como se aprecia en la figura 9), de manera que en todo momento, cada interruptor se encuentre bien a tensión del bus de continua bien a 0 V, y así dar, complementando sus instantes de encendido y apagado, con la senoide de corriente alterna deseada. La explicación gráfica de dicho funcionamiento se presenta en las figuras 10 y 11.

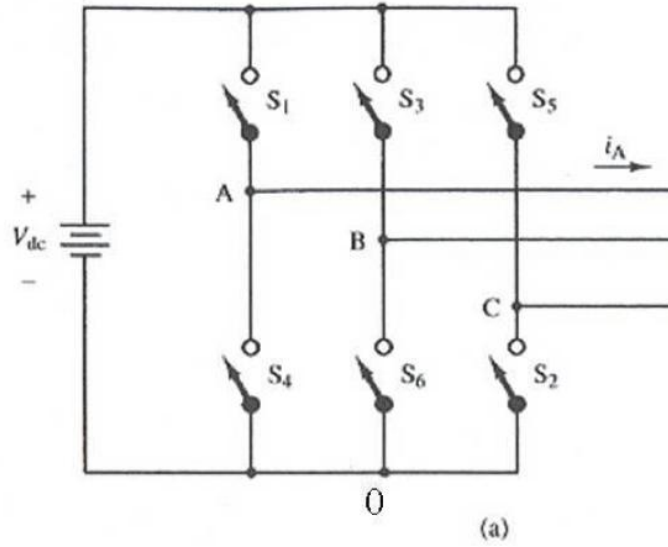
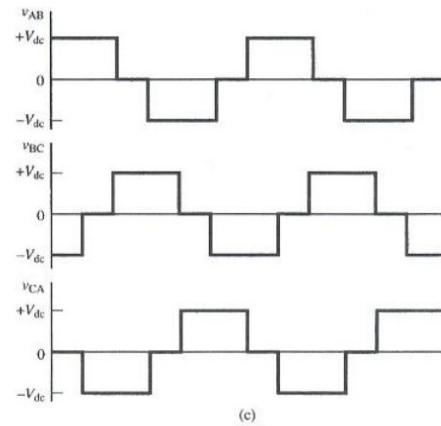
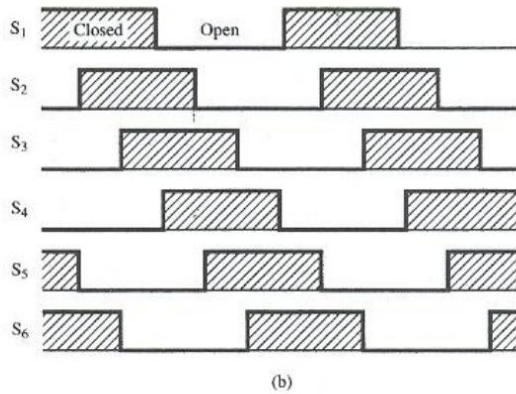


Figura 9: Inversor trifásico. [GARC18]

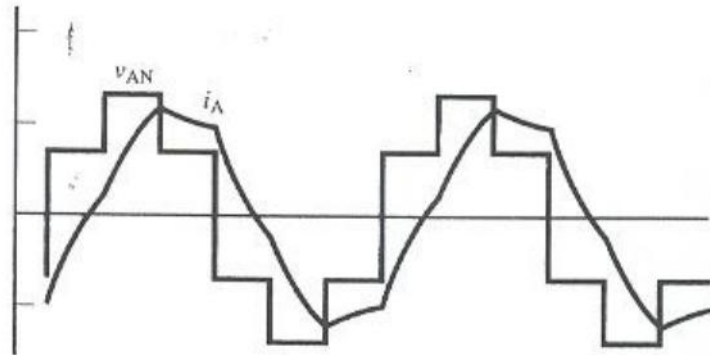
- $0 < t < T/2 \Rightarrow \mathbf{S1=1; S4=0}$ $T/2 < t < T \Rightarrow \mathbf{S1=0; S4=1}$
- $T/3 < t < T/2 + T/3 \Rightarrow \mathbf{S3=1; S6=0}$ $T/2 + T/3 < t < T + T/3 \Rightarrow \mathbf{S3=0; S6=1}$
- $2T/3 < t < T/2 + 2T/3 \Rightarrow \mathbf{S5=1; S2=0}$ $T/2 + 2T/3 < t < T + 2T/3 \Rightarrow \mathbf{S5=0; S2=1}$



$$(v_{A0} = S1 \cdot V_{dc}; v_{B0} = S3 \cdot V_{dc}; v_{C0} = S5 \cdot V_{dc})$$

$$(v_{AB} = v_{A0} - v_{B0})$$

Figura 10: Control de onda cuadrada de un inversor trifásico. [GARC18]



$$\left(v_{AN} = \frac{2v_{A0} - v_{B0} - v_{C0}}{3} \right)$$

Figura 11: Ondas de tensión y corriente de una fase a la salida del inversor trifásico de onda cuadrada. [GARC18]

El funcionamiento del PWM se basa entonces en lo anteriormente explicado para el inversor de onda cuadrada, con la excepción de que los instantes de apertura y cierre de los seis semiconductores no se reparten equitativamente a lo largo de un periodo T como sucedía en el caso anterior, si no que esto es definido por las intersecciones entre las tres ondas “moduladoras”, de forma sinusoidal y desfasadas 120° entre ellas, y la única onda “portadora”, de forma triangular. Para cada fase, cuando su respectiva onda moduladora se encuentre por encima de la onda portadora, la salida será un pulso de tensión de continua, y en el caso contrario, la tensión será nula. Dicho funcionamiento es observable en las figuras 12 y 13 a continuación.

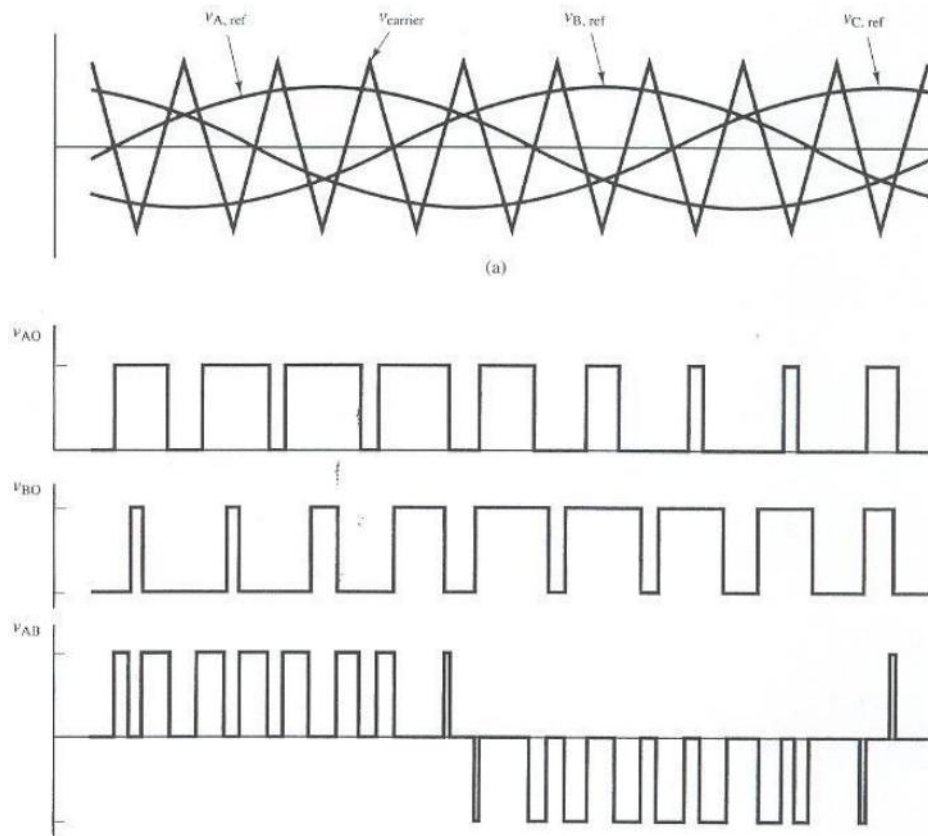


Figura 12: Funcionamiento del PWM. [GARC18]



Figura 13: Tensión fase-neutro e intensidad de fase a la salida del PWM. [GARC18]

2.2.2.3 BUS DE CONTINUA

El bus de continua es la zona intermedia entre los módulos rectificador e inversor, y su principal característica consiste en contar con un condensador capaz de almacenar energía, sabiendo que:

$$\varepsilon_{COND} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

Ecuación 4: Energía de almacenamiento de un condensador.

En dónde C es la capacidad del condensador y V la tensión del bus de continua.

Dicha tensión del bus de continua coincide, por la forma en la que se obtiene, con la tensión de pico de la tensión compuesta de alterna, por lo que nos encontramos con una tensión de continua de 976 V:

$$V_{CC} = \sqrt{2} \cdot V_{RED} = \sqrt{2} \cdot 690 = 976 \text{ V}$$

De colocar tan sólo el condensador en el bus de continua, cualquier fallo en el inversor que bloquee el flujo de potencia hacia la red podría dar lugar a una sobretensión de continua que conllevaría una saturación del condensador. Por lo tanto, es necesario colocar una resistencia de frenado que se conecte cuando sea necesario, mediante un control de histéresis, de manera a descargar el condensador de manera progresiva. Este sistema se denomina chopper de frenado, y su función es la de mantener la tensión en el condensador constante.

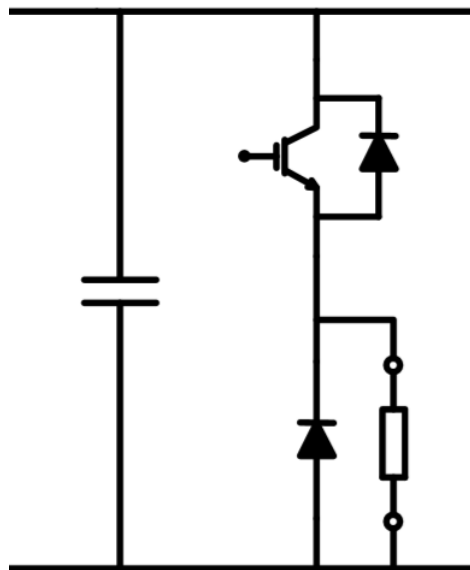


Figura 14: Condensador y chopper de frenado del bus de continua.

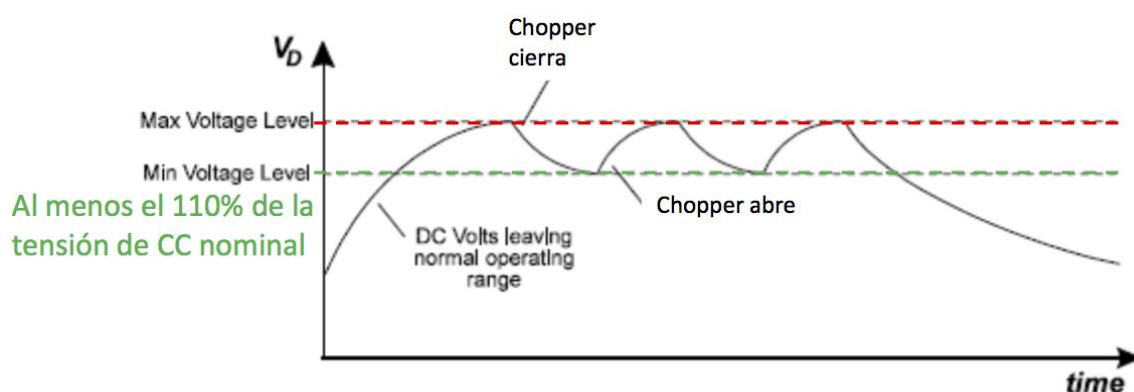


Figura 15: Control de histéresis del chopper de frenado [FERN19]

2.2.2.4 FILTRO DE RED

Por último, es necesario colocar un filtro LCL a la salida del inversor, dado que la onda de salida del PWM no es sinusoidal, como se observa en la anterior figura 13, y por lo tanto no es inyectable a red. El filtro se encarga entonces de eliminar todos los armónicos, de frecuencias muy altas, correspondientes a las frecuencias de conmutación de los semiconductores IGBT, de manera a eliminar rizados problemáticos.

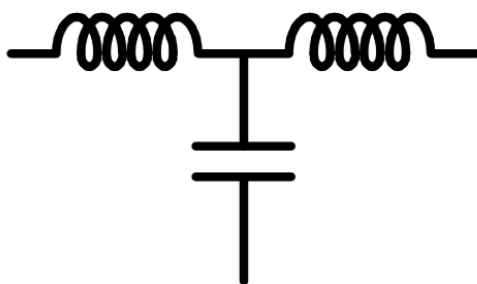


Figura 16: Filtro LCL

2.2.3 DATOS TÉCNICOS

Una vez decidido que el convertidor sería de IGBT para permitir el flujo de potencia hacia ambos lados, lo que se conoce como un *Full Converter* de configuración *Back to Back*, se contactó con los fabricantes Ingeteam y ABB, optando finalmente por la oferta de este último ya que su configuración modular resultaba más versátil. La potencia nominal de dicho convertidor es de 6000 kW, lo que puede resultar excesivo, pero esto es debido a que esta era la potencia más baja disponible por encima de los 4600 kW. El modelo en cuestión es el ACS880-87LC.

ABB ACS880 back-to-back configuration (ACS880-87LC)	
Potencia de generación	6000 kW
Potencia aparente de generación	7893 kVA
Potencia aparente de red	7343 kVA
Tensión de generación	0 a 750 V CA
Tensión de red	525 a 690 V CA, trifásica, $\pm 10\%$
Eficiencia	$\geq 96.5\%$
Grado de protección	IP 54 / UL type 12
Refrigeración	470 L/min
Ancho de cabina	4600 mm
Profundidad de cabina	2400 mm
Altura de cabina	2000 mm
Peso total	5600 kg

Tabla 2: Datos técnicos del convertidor de potencia del fabricante ABB.

Este convertidor cuenta con un sistema de protecciones frente a fallos eléctricos internos a este o del generador.

2.3 TRANSFORMADOR

Ante la necesidad de transportar la energía producida hasta la subestación más cercana, es preciso elevar la tensión de generación, de manera a disminuir la intensidad de corriente y así poder recurrir a un cableado de menor diámetro, y por lo tanto de menor coste, factor de gran interés, dado que la distancia del aerogenerador a tierra es de varios kilómetros. La tensión se elevará de los 690 V de generación a un nivel medio de tensión de 20 kV, que permitirá el transporte de la energía hasta una subestación en la que se elevará la tensión hasta un nivel de 132 kV adaptado para la distribución.

2.3.1 CONEXIÓN

Sabiendo que el estado del neutro de la red de media tensión es, por normativa, aislado de tierra, el lado de alta del transformador se conecta en triángulo.

En cuanto al lado de baja tensión, se conecta el neutro a tierra a través de resistencia, dada la necesidad de proteger el aislamiento de los equipos a 690 V. En caso de falta monofásica, las sobretensiones en las fases sanas pueden llegar a exceder los 1000 V, cosa que puede

conllevar daños importantes en el aislamiento de los equipos de baja tensión, los cuales, por normativa, deben soportar un nivel de tensión mínimo de 1000 V a pesar de estar diseñados para trabajar a niveles nominales inferiores a dicho valor. La conexión de una resistencia en la puesta a tierra del neutro del lado de baja del transformador evita que la intensidad de fuga por el neutro sea excesivamente grande y, consecuentemente, las sobretensiones en las fases sanas son menos severas.

[ROUC19]

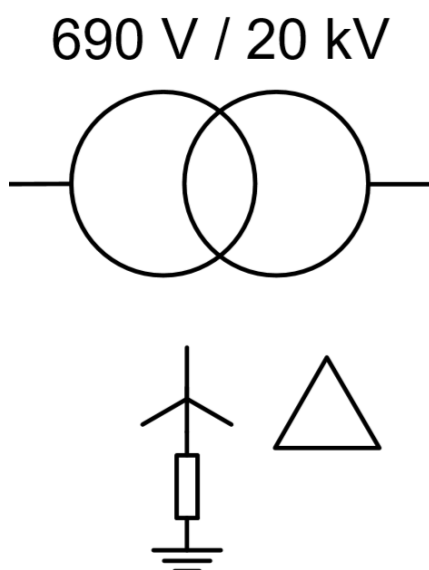


Figura 17: Conexión de los arrollamientos de alta y baja del transformador de potencia.

2.3.2 EMPLAZAMIENTO E INSTALACIÓN

A la hora de elegir el emplazamiento del transformador, entre los factores a tener en cuenta figura en primer lugar la rotación de la góndola sobre el eje de la torre, derivada del funcionamiento del sistema de orientación, la que provoca que los cables que se encuentran en la torre se vean sometidos a ciertos esfuerzos de torsión, los que son monitorizados por dicho mecanismo de orientación. De esta manera, si la turbina se ha estado orientando en el mismo sentido durante un largo periodo de tiempo y los cables se acercan a alcanzar cierto límite de torsión, se dará la señal a la góndola de que comience a girar en el sentido contrario para “desenrollar” los cables. Es por lo tanto recomendable situar el transformador, en caso de que sus dimensiones y peso lo permitan, en la parte trasera de la góndola, de manera que los cables de bajada por la torre sean de menor sección y por lo tanto más flexibles, y con mayor capacidad de torsión.

[DWIA03]

La decisión de colocar el transformador en lo alto de la torre implica sin embargo algunos inconvenientes a tener en cuenta a la hora de la instalación.

Entre estos, figura la presencia de vibraciones que pueden facilitar un desgaste prematuro de ciertos componentes que conlleven la eventual rotura y fallo eléctrico. El transformador debe estar entonces habilitado para soportar los esfuerzos mecánicos propios a dichas vibraciones, contando con un diseño robusto de los puentes de media tensión, susceptibles a sufrir daños, y con una correcta disposición de los brazos de amarre al bastidor, los que deben estar dispuestos de manera a poder asegurar una sujeción eficaz sin contactos e interferencias.

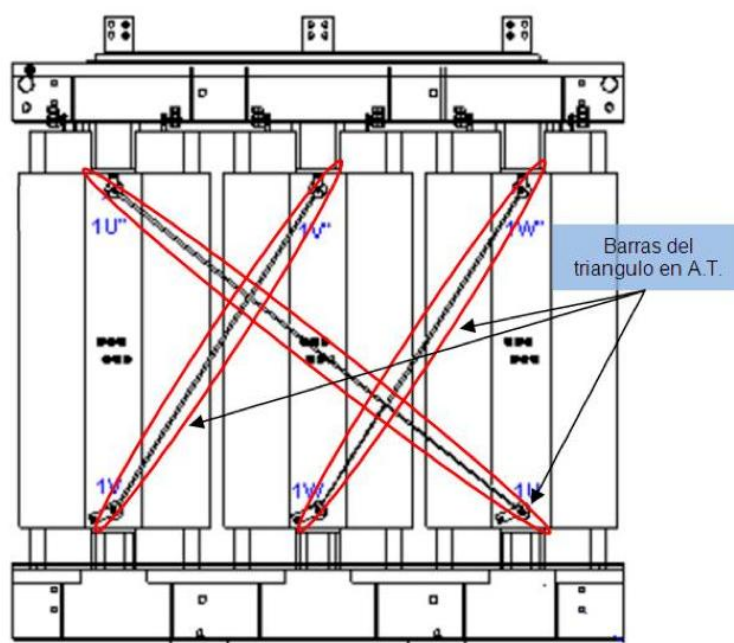


Figura 18: Esquema de las barras del triángulo de alta tensión del transformador.
[BERU18]

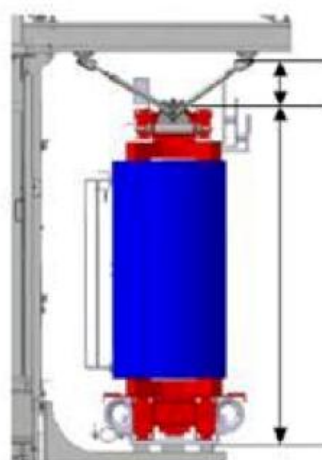


Figura 19: Vista lateral del transformador amarrado al bastidor [BERU18]

2.3.3 FABRICANTE, MODELO Y DATOS TÉCNICOS

Entre las opciones de tipo de transformador a barajar, figuraban los transformadores clásico de aislamiento seco del fabricante ABB, y hermético de llenado integral en aceite vegetal que proponía Ormazabal. Se optó por el de aislamiento seco de ABB, dado que tanto sus dimensiones como peso eran inferiores a los del transformador que ofertaba Ormazabal.

La potencia nominal del transformador se eligió de 6000 kVA dado que, la potencia aparente de producción nominal del generador es de 5556 kVA:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{5 \cdot 10^6}{0,9} = 5556 \text{ kVA}$$

ABB Vacuum cast coil dry type transformer	
Potencia	6000 kVA
Nivel de aislamiento	24 kV
Tensión de alta	20 kV
Tensión de baja	690 V
Grupo de conexión	Dyn11
Tensión de cortocircuito	8%
Clase de protección	IP00
Pérdidas en vacío	10800 W
Pérdidas en carga a 120°C	34200 W
Ancho de cabina	2670 mm
Profundidad de cabina	1230 mm
Altura de cabina	2500 mm
Peso total	9500 kg

Tabla 3: Datos técnicos del transformador de potencia del fabricante ABB.

2.4 CELDA DE MEDIA TENSIÓN

La celda de media tensión, conocida como *Switchgear* en inglés, lo que se traduciría como “mecanismo de interruptores”, constituye el principal elemento de protección eléctrica y seguridad ante incidencias eléctricas del aerogenerador. Se trata de una cabina que se sitúa

pasado el transformador de potencia, y por lo tanto al nivel de media tensión, dotada de diferentes un número de protecciones eléctricas que varía en función del nivel de seguridad que se busque garantizar, el presupuesto disponible, y el espacio que se espera que ocupe la celda.

2.4.1 EMPLAZAMIENTO

En este caso, la celda de media tensión irá ubicada en la torre, a la altura de la entrada de acoplamiento de cables, que se encuentra a 55m sobre el mar. La elección de este emplazamiento se justifica por la falta de espacio en la góndola, en la que es necesario reservar algo de espacio para facilitar las tareas de mantenimiento realizadas por operarios cuya seguridad es un factor de extrema importancia.

2.4.2 MÓDULOS

A dicha problemática, la solución consiste en barajar entre diferentes configuraciones determinadas de las protecciones, las que se basan en la combinación de los tres módulos principales de la celda de media tensión, entre las que figuran las funciones de remonte rígido de cables a barras, de maniobra mediante interruptor-seccionador de tres posiciones, y de protección de transformador mediante interruptor automático, las que el fabricante MESA denomina como 0L, 1L y 1A, respectivamente. Para los casos de aerogeneradores de final de línea de parque, intermedio, y de confluencia, son recomendadas las configuraciones 0L+1A, 0L+1L+1A y 0A+2L+1A, respectivamente. Al no considerarse en el parque la presencia de ninguna otra turbina a parte de la de diseño, se puede considerar el caso de aerogenerador de final de línea de parque, por lo que sólo serían necesarios los módulos de remonte de cables a barras y de protección de transformador mediante interruptor automático.

[MESA13]

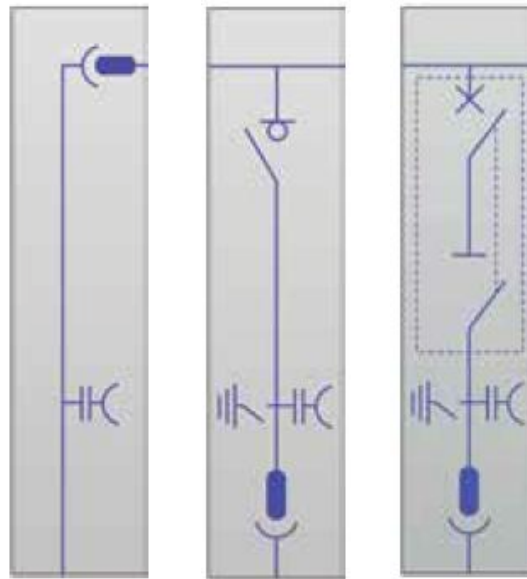


Figura 20: Módulos de remonte de cables a barras, de maniobra mediante interruptor-seccionador de tres posiciones, y de protección mediante interruptor automático de Ormazabal, de izquierda a derecha.

2.4.3 PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Dado que el convertidor de ABB cuenta con un sistema de protecciones de fábrica que protege frente a faltas tanto de este como del generador, bastará con que el módulo de protección mediante interruptor automático de la celda de MT cuente con los relés protección de transformador necesarios. Se determinan entonces a continuación los ajustes de las protecciones diferencial de transformador (87T), de sobreintensidad instantánea (50) y de sobreintensidad de tiempo inverso (51).

2.4.3.1 Protección diferencial de transformador (87T)

La protección diferencial es la protección principal del transformador, y su función es la de vigilar la corriente diferencial, la que sólo es elevada para faltas internas al transformador, dado que la intensidad diferencial se calcula de la manera siguiente:

$$I_{DIF} = I'_1 - I_2'$$

Ecuación 5: Corriente diferencial de un transformador. [ROUC19]

Siendo I'_1 e I'_2 las intensidades que pasan por las bobinas adyacentes a la bobina diferencial, como se aprecia en la figura 21. Cuando la falta externa, la intensidad diferencial es nula y la protección no actúa, mientras que cuando la falta es interna, ambas intensidades se suman, dado que sus sentidos son contrarios, por lo que la intensidad diferencial deja de ser nula, y la protección actúa.

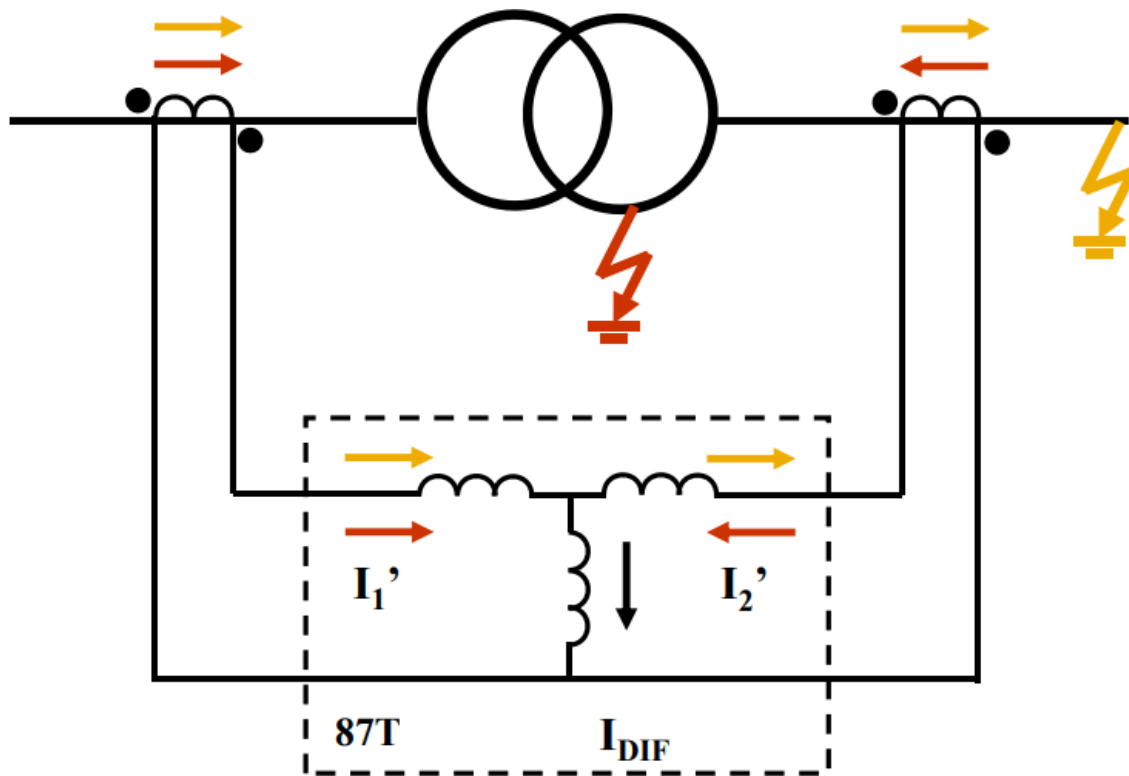


Figura 21: Esquema de funcionamiento de la protección diferencial de transformador. [ROUC19]

Sin embargo, la protección diferencial no actúa inmediatamente una vez que detecta que la corriente diferencial es diferente de 0, si no que depende de en qué punto de la característica intensidad diferencial en función de la intensidad de frenado nos encontremos, siendo dicha intensidad de frenado la que se calcula como:

$$I_{FRENADO} = \frac{I'_1 + I'_2}{2}$$

Ecuación 6: Intensidad de frenado de la protección diferencial de transformador. [ROUC19]

La curva que representa el límite entre las zona de actuación y de bloqueo presenta tres pendientes, cuyos valores usuales suelen ser de pendiente nula a una ordenada de 0,3 hasta que la corriente de frenado corresponde con la intensidad nominal del secundario de los

transformadores intensidad, una pendiente de 0,4 hasta 3 veces dicha intensidad nominal, y una pendiente de 0,6 hasta 3,5 veces la intensidad nominal. Esto se presenta en la figura 22 a continuación.

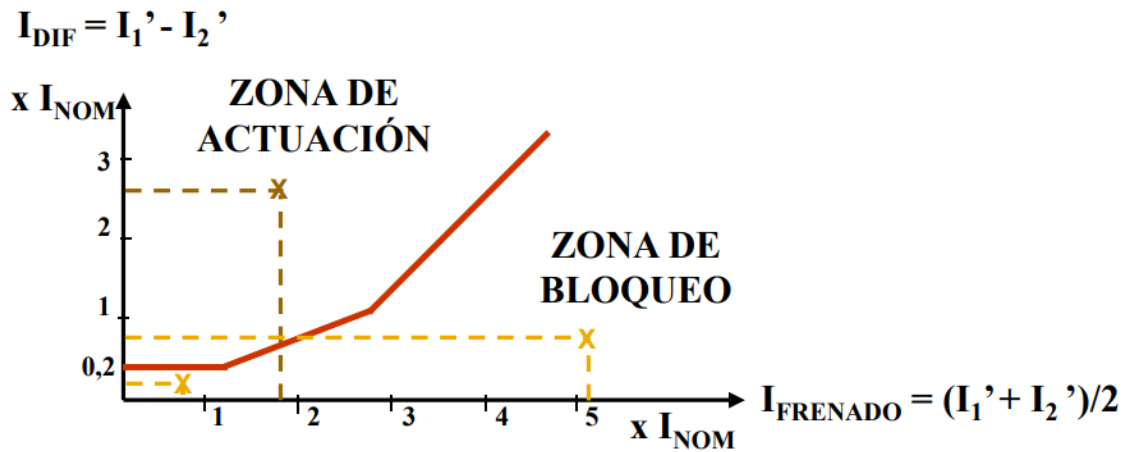


Figura 22: Característica de actuación y bloqueo de la protección diferencial de transformador. [ROUC19]

Para calcular el ajuste de la protección diferencial, calculamos en primer lugar las intensidades máximas de operación del transformador en los lados de alta y baja:

$$I_A = \frac{\frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3}}}{20 \cdot 10^3} = 173,205 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{\frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3}}}{690} = 5020,437 \text{ A}$$

Vistas las intensidades obtenidas, los trafos de intensidad a usar de cada lado del transformador serían, respectivamente, de relación 200/5 y 6000/5. De esta manera, nos encontramos con unas intensidades de alta y de baja de secundarios tales que:

$$I_A^{2^\circ} = \frac{173,205}{\frac{200}{5}} = 4,330 \text{ A} = I_1'$$

$$I_B^{2^\circ} = \frac{5020,437}{\frac{6000}{5}} = 4,184 \text{ A} = I_2'$$

Luego,

$$I_{DIF} = 4,330 - 4,184 = 0,146 \text{ A}$$

$$I_{FRENADO} = \frac{4,330 + 4,184}{2} = 4,257 \text{ A}$$

Así, obtenemos los siguientes ajustes de corriente de arranque y de corriente de frenado máxima correspondiente a dicha corriente de arranque:

$$I_{ARR}(xI_N) = \frac{I_{DIF}}{I_N} = \frac{0,146}{5} = 0,03 I_N$$

$$I_{FRENADO}(xI_N) = \frac{I_{FRENADO}}{I_N} = \frac{4,257}{5} = 0,851 I_N$$

2.4.3.2 Protección de sobreintensidad instantánea o de tiempo definido (50)

En una protección de sobreintensidad de tiempo definido, la temporización de actuación del relé no depende de la magnitud de la corriente vigilada, de manera que una vez que se alcanza cierto valor de intensidad, la protección dispara siempre con la misma temporización, como se observa en la figura siguiente:

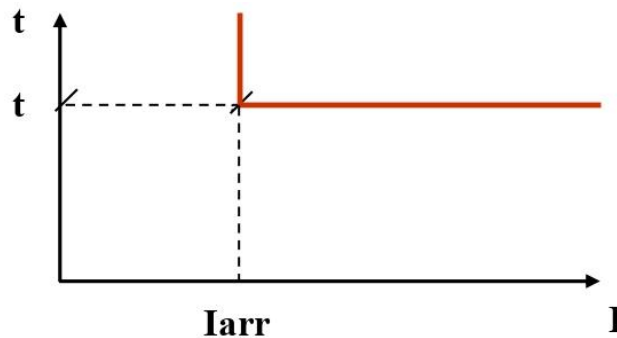


Figura 23: Característica de la protección de sobreintensidad de tiempo definido.
[ROUC19]

Esta protección se ajusta de manera a proteger el transformador frente a faltas trifásicas al principio de la línea del parque a subestación, como se muestra a continuación.

Entre los datos que se saben de antemano, tenemos la tensión de cortocircuito del transformador $u_{CC} = 8\%$, y la potencia de cortocircuito de la red de 20 kV, tanto trifásica como monofásica, que es de $S_{CC} = 500 \text{ MVA}$.

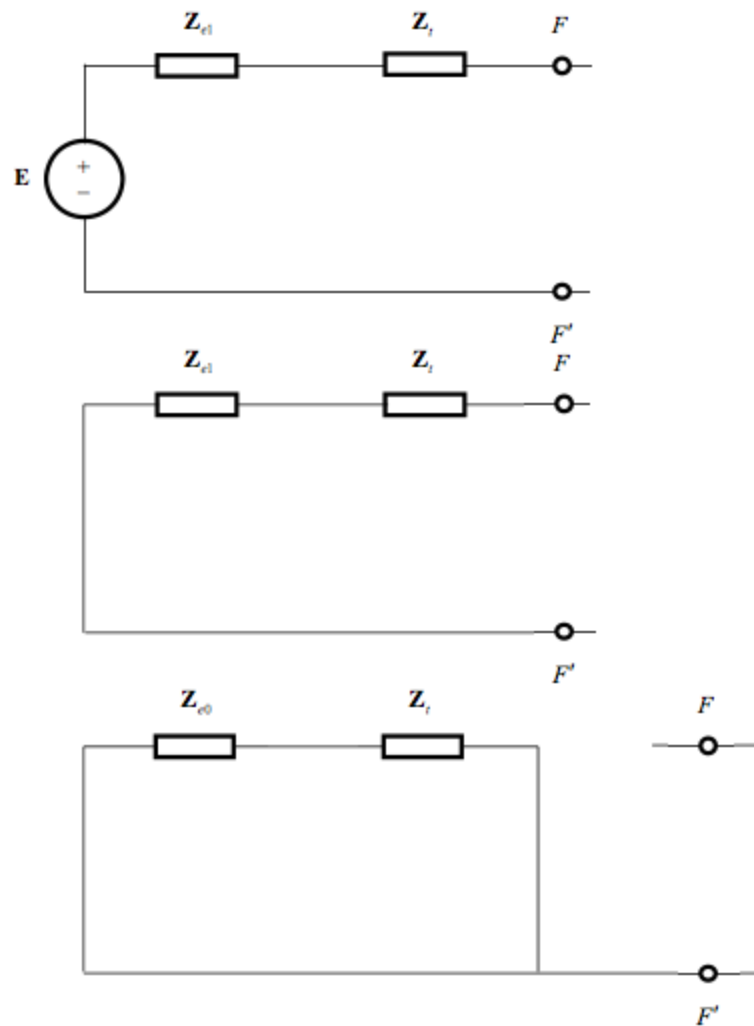


Figura 24: Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar en caso de falta trifásica al principio de la línea.

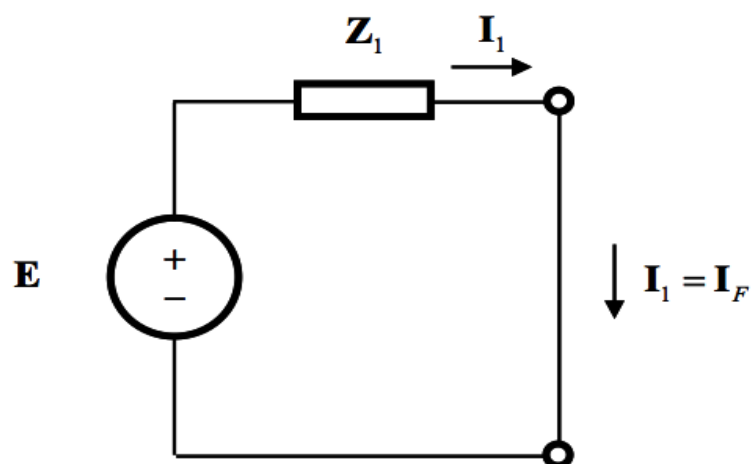


Figura 25: Circuito de falta trifásica.

$$Z_t = Z_{CC} \cdot \frac{U_A^2}{S_t} = 0,08 \cdot \frac{20000^2}{6 \cdot 10^6} = j5,333 \Omega$$

$$Z_{e0} = Z_{e1} = \frac{U}{S_{CC}} = \frac{20000^2}{500 \cdot 10^6} = j0,8 \Omega$$

La corriente de falta trifásica al principio de línea se calcula como:

$$I_{F,3\phi} = \frac{E}{Z_1} = \frac{E}{Z_{e1} + Z_t} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{j5,333 + j0,8} = 1882,664 \angle -90^\circ A$$

$$I_{F,3\phi}^{2^\circ} = \frac{1882,664}{\frac{200}{5}} = 47,067 A$$

El ajuste del relé es entonces de

$$(I >>) = 47 A$$

2.4.3.3 Protección de sobreintensidad de tiempo inverso (51)

En una protección de sobreintensidad de tiempo inverso, la temporización de actuación del relé depende de la magnitud de intensidad de acuerdo con una curva característica de tipo inverso, de forma que a mayor valor de intensidad, menor es el tiempo de actuación.

Existen diferentes pendientes de tipo inverso, las que se denominan característica inversa (*Standard Inverse*, IEC SI), muy inversa (*Very inverse*, IEC VI), y extremadamente inversa (*Extremely Inverse*, IEC EI).

Dichas características se rigen por la fórmula siguiente, en las que los valores a y b dependen de la curva elegida:

$$t = \frac{a \cdot T}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^b - 1}$$

Ecuación 7: Fórmula de la característica inversa de la protección de sobreintensidad de tiempo inverso. [ROUC19]

En este caso, se tratará con la curva SI, de valores a y b de 0.14 y 0.02 respectivamente.

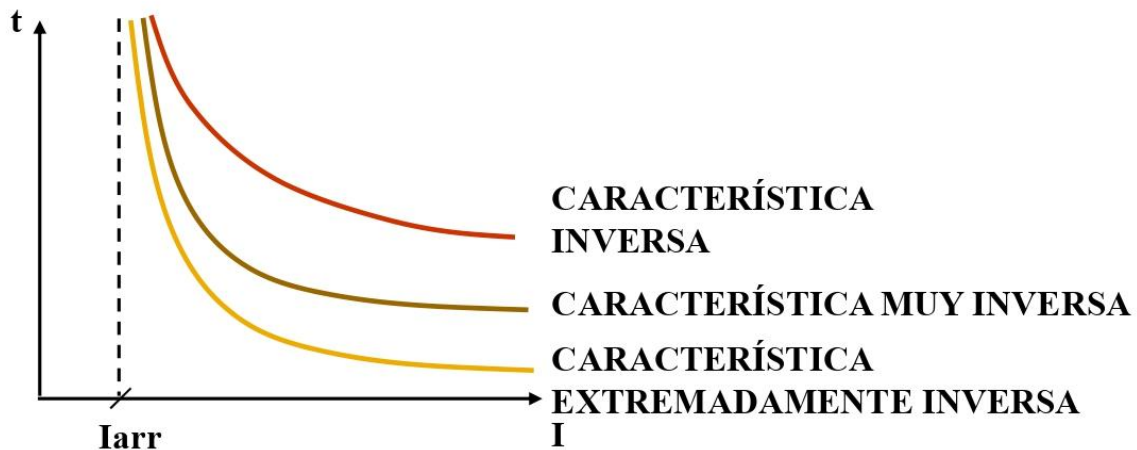


Figura 26: Características inversa, muy inversa y extremadamente inversa de la protección de sobreintensidad de tiempo inverso. [ROUC19]

Esta protección se ajusta de manera a proteger el transformador frente a faltas bifásicas al final de la línea, como se muestra a continuación.

Entre los datos que se saben de antemano, figura la reactancia por kilómetro de la línea de 4km, que es de $X = 0,136 \, \Omega/km$, por lo que $Z_l = X \cdot L = 0,136 \cdot 4 = j0,544 \, \Omega$. Este dato se obtiene a partir de la información sobre el utilizado, cuyo dimensionamiento y elección se explican más adelante en el capítulo 4 de cableado.

Se supone en primer lugar que la corriente primaria máxima es la corriente primaria nominal del transformador:

$$I_A = \frac{\frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3}}}{20 \cdot 10^3} = 173,205 \, A$$

$$I_A^{2^\circ} = \frac{173,205}{\frac{200}{5}} = 4,330 \, A$$

Así, tenemos que la corriente de arranque de la unidad temporizada de la protección de sobreintensidad de fase 51 es de:

$$(I >) = 4,33 \, A$$

La corriente de falta bifásica se calcula teniendo en cuenta que el circuito homopolar no entra en juego, de la manera siguiente:

$$I_{F,2\phi} = -j\sqrt{3} \frac{E}{2Z_1} = -j\sqrt{3} \frac{E}{2(Z_{e1} + Z_t + Z_L)} = -j\sqrt{3} \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{2(j0,8 + j5,333 + j0,544)}$$

$$I_{F,2\phi} = -1497,604 \text{ A}$$

Luego,

$$I_{F,2\phi}^{2^\circ} = \frac{1497,604}{\frac{200}{5}} = 37,4401 \text{ A}$$

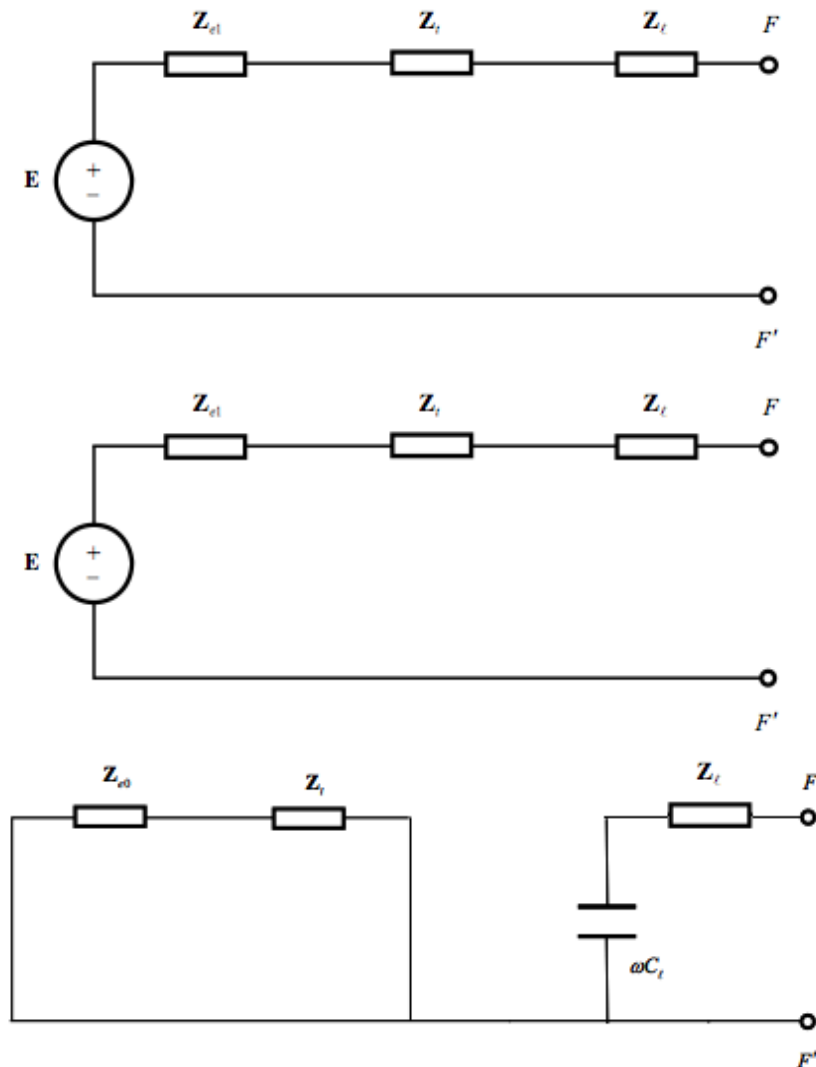


Figura 27: Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar en caso de falta bifásica al final de la línea.

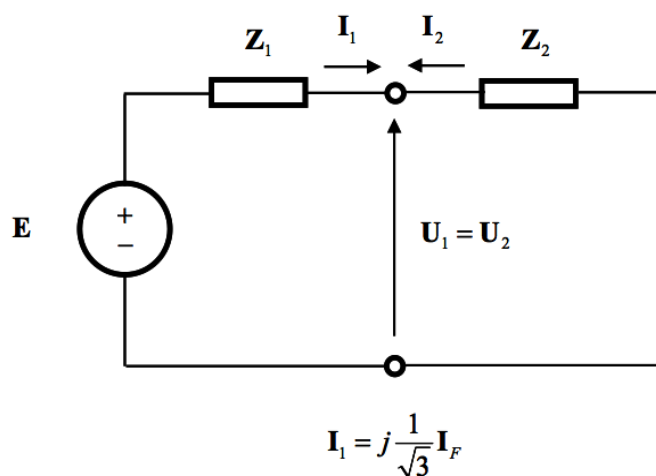


Figura 28: Circuito de falta bifásica.

El dil de la unidad temporizada, a 200 ms, de la protección de sobreintensidad de fase 51 se calcula entonces a partir de la siguiente expresión:

$$T = \frac{t}{a} \cdot \left[\left(\frac{I}{I_{>}} \right)^b - 1 \right] = \frac{0,200}{0,14} \cdot \left[\left(\frac{37,4401}{4,33} \right)^{0,02} - 1 \right] = 0,063 \text{ s}$$

El ajuste del dial es entonces de **$T = 0,06$** para un paso de 0.01.

2.4.4 DATOS TÉCNICOS

Finalmente, se optó por el fabricante Ormazabal, al que se recurre mucho en España para el ámbito de celdas de media tensión, el que propuso la configuración anteriormente mencionada de funciones de remonte de cables y de protección de transformador.

Conjunto modular de celdas de MT CGMCOSMOS	
Esquema	0L1V
Ancho de cabina	845 mm
Profundidad de cabina	850 mm
Altura de cabina	1740 mm

Tabla 4: Datos técnicos generales del conjunto de módulos de la celda de MT de Ormazabal.

Celda modular CGMCOSMOS RCd para remonte de cables	
Tensión captadores capacitivos	24 kV
Ancho de cabina	365 mm
Profundidad de cabina	735 mm
Altura de cabina	1740 mm

Tabla 5: Datos técnicos del módulo de remonte de cables a barras de la celda de MT.

Celda modular CGMCOSMOS VI de interruptor automático	
Tipo de aislamiento	SF6
Tensión nominal	24 kV
Intensidad nominal	630 A
Intensidad de cortocircuito IAC AFL (1s)	20 kA
Capacidad de cierre sobre cortocircuito del seccionador	50 kA (cresta)
Relé de protección	3F+N (50-51/50N-51N)
Ancho de cabina	480 mm
Profundidad de cabina	850 mm
Altura de cabina	1740 mm

Tabla 6: Datos técnicos del módulo de protección de transformador mediante interruptor automático de la celda de MT.

Capítulo 3 CIRCUITO AUXILIAR

Una vez aseguradas la conversión y transmisión eficaces de la energía eléctrica generada a partir del correcto diseño de los circuitos de potencia, entra en juego la segunda pero no menos importante tarea de los sistemas eléctricos del aerogenerador; optimizar la operación de la máquina y asegurar el funcionamiento ininterrumpido de esta en caso de fallo eléctrico temporal. Dicho sistema de auxiliares se encuentra a un nivel de tensión inferior, de 400 V, por lo que será necesario un transformador reductor de servicios auxiliares.

3.1 SISTEMAS DE CONTROL DE POTENCIA

Como se vio anteriormente en la introducción, según la Ley de Betz, el máximo rendimiento de aprovechamiento de la energía cinética del viento para convertir en energía mecánica de rotación de las palas ronda el 50%. Sin embargo, dicho aprovechamiento máximo de la potencia del viento sólo es alcanzable mediante ciertos sistemas de control que aseguren las condiciones que la ley de Betz tiene en cuenta. La primera, es que el plano de rotación de las palas sea siempre perpendicular al de la dirección del viento, estando el rotor de cara al viento, lo que se conoce como “barlovento”, o “corriente arriba”, cosa que se consigue mediante el control de orientación, cuyo diseño constituye otro proyecto sobre el aerogenerador. La segunda, que la superficie de contacto del viento incidente con las palas sea la mayor posible, de manera a conseguir un mayor empuje o sustentación, fenómeno responsable del movimiento de las palas, función que el sistema de control de paso cumple.

3.1.1 CONTROL DE ORIENTACIÓN

El sistema de control de orientación, también conocido como Yaw (movimiento de “guiñada” en inglés), es el encargado de orientar la góndola de frente al viento, actuando sobre un rodamiento de bolas que une la torre al chasis, lo que se conoce como “corona de orientación”. La parte externa del rodamiento, cuenta con un dentado sobre el que actúan los motores de orientación.

La góndola cuenta con unos sensores de viento que informa al control de la posición de la góndola respecto al viento incidente. De no estar esta correctamente orientada, las pinzas del disco de freno situado en el interior de la torre reducen liberan presión, aunque solo parcialmente, de su circuito hidráulico de manera a dar pie a que los ocho motores eléctricos apliquen el par de giro necesario sobre el rodamiento corona, pero de manera que el movimiento sea más suave y seguro.

[LEAL]

Cada motor requiere entonces estar conectado al circuito auxiliar mediante un variador electrónico, o convertidor de frecuencia, que controle la velocidad de giro de este. Dicho convertidor de frecuencia es una versión simplificada del control de potencia anteriormente estudiado, y al estar trabajando con motores, el flujo de potencia se invierte, y los módulos que antes eran rectificador e inversor, ahora son inversor y rectificador, respectivamente.

Los ocho motores a usar serán de inducción de jaula de ardilla, de 5,5 kW cada uno, y deben llegar a alcanzar una velocidad nominal mínima de 940 rpm, por lo que serán de 3 pares de polos.

$$\omega = \frac{\omega_{elec}}{P} = \frac{50 \text{ Hz} \cdot 60s}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

Dados los datos anteriores, se han seleccionado los motores y variadores del fabricante ABB, y sus correspondientes datos técnicos se adjuntan en las tablas siguientes.

ABB M2BAX 132MLA 6	
Potencia nominal	5,5 kW
Tensión nominal	400 V
Velocidad nominal	974 rpm
Eficiencia a plena carga	88 %
Factor de potencia	0,67
Intensidad nominal	13,5 A
Par nominal	54,2 Nm
Peso	97 kg
Grado de protección	IP 55

Tabla 7: Datos técnicos de los motores del sistema de orientación de ABB.

ABB ACS580-01-12A7-4	
Potencia nominal	5,5 kW
Tensión nominal	400 V
Intensidad nominal	12,6 A
Frecuencia máxima	63 Hz
Anchura	128 mm
Profundidad	233 mm
Altura	403 mm
Peso	4,8 kg
Grado de protección	IP 55

Tabla 8: Datos técnicos de los convertidores del sistema de orientación de ABB.

El control de velocidad de los motores se realiza mediante un control tensión-frecuencia de parte del variador electrónico, el que implica que, cuanto mayor velocidad se requiere del motor, mayor será la tensión de alterna que el inversor le proporcione. La forma de dicho control se adjunta en la figura 29 a continuación:

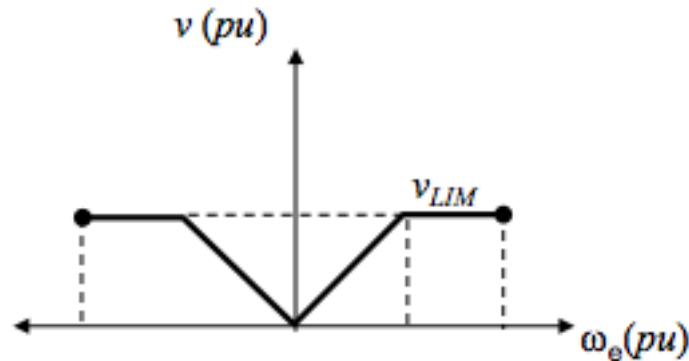


Figura 29: Control tensión-frecuencia. [FERN19]

La tensión límite es de 1 pu dado que $v_{lim} = \frac{V_{MI}}{V_{RED}} = \frac{400}{400} = 1 \text{ pu}$, mientras que la frecuencia límite será determinada por la máxima frecuencia del convertidor, tal que $\omega_{lim} = \frac{f_{lim}}{f_{RED}} = \frac{63}{50} = 1,26 \text{ pu}$.

3.1.2 CONTROL DE PASO

El sistema de control de paso, también conocido como *Pitch*, es el encargado de hacer rotar cada pala sobre su propio eje, de forma simultánea, de manera a seleccionar el ángulo de paso óptimo para cada velocidad de rotación. Cuando se busca conseguir una velocidad de rotación máxima de las palas dada una velocidad de viento baja, se posicionan las palas de manera que el ángulo del pitch sea de 0° , pero cuando las velocidades de viento empiezan a alcanzar niveles peligrosos, el ángulo de paso debe de ser lo más próximo a posible, de manera que la superficie de contacto del viento con estas sea mínima, y se evite una aceleración indeseada de la turbina. Es la posición que se denomina como “bandera”.

La rotación de cada pala se conseguirá mediante el accionamiento de un motor y su respectivo variador electrónico, los cuales serán de una potencia de 37 kW. Se necesitarán por lo tanto tres motores y variadores de la dicha potencia. Al igual que para el caso del sistema de orientación, se han elegido los motores y convertidores de ABB.

ABB M2BAX 250SMA 6	
Potencia nominal	37 kW
Tensión nominal	400 V
Velocidad nominal	986 rpm
Eficiencia a plena carga	93,3 %
Factor de potencia	0,79
Intensidad nominal	72,4 A
Par nominal	353,33 Nm
Peso	360 kg
Grado de protección	IP 55

Tabla 9: Datos técnicos de los motores del sistema de paso de ABB.

ABB ACS580-01-073A-4	
Potencia nominal	37 kW
Tensión nominal	400 V
Intensidad nominal	73 A
Frecuencia máxima	63 Hz
Anchura	203 mm
Profundidad	265 mm
Altura	600 mm
Peso	20 kg
Grado de protección	IP 55

Tabla 10: Datos técnicos de los variadores del sistema de paso de ABB.

Algo a tener en cuenta es que en este caso, la velocidad de rotación de las palas es muy lenta, de 8 grados por segundo, lo que supone una velocidad de 1,333 rpm, por lo que será necesario una reductora a la salida de cada motor, dadas sus velocidades de trabajo mucho mayores.

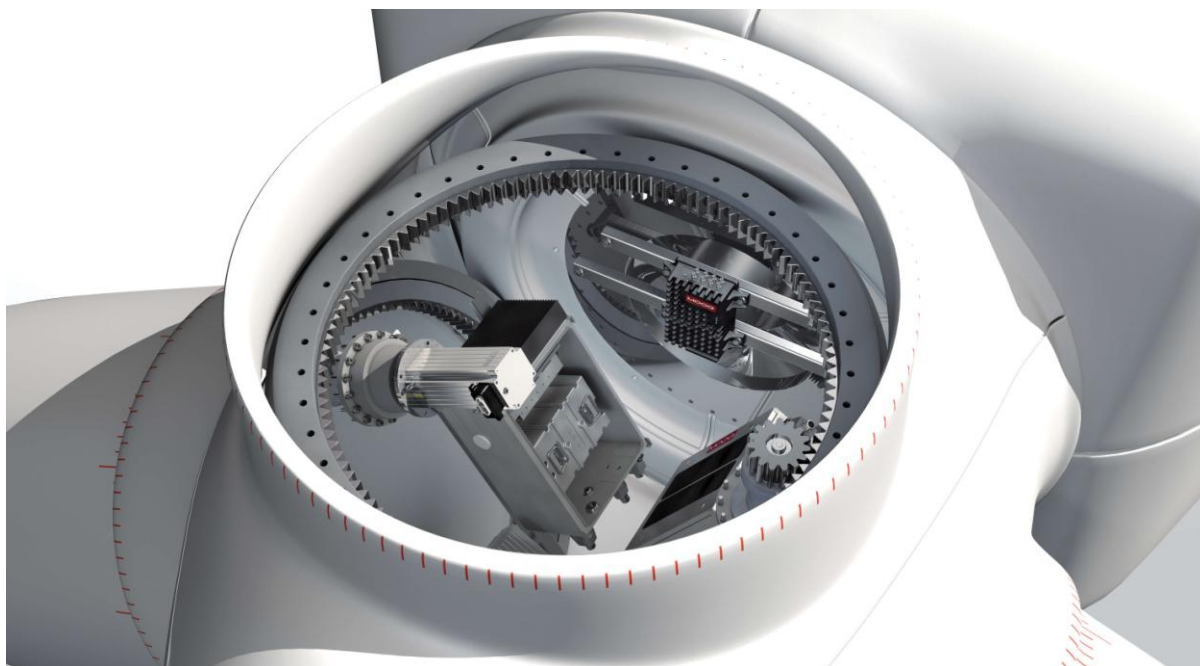


Figura 30: Sistema de control de Pitch del fabricante MOOG.

3.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA

El sistema de alimentación ininterrumpida, abreviado como SAI en español, y conocido comúnmente como UPS, del inglés *Uninterruptible Power Supply*, es un módulo cuya función consigue en asegurar que ciertas cargas del aerogenerador, cuya continuidad de funcionamiento sea esencial, permanezcan alimentadas bajo problemas que puedan provocar que la red no proporcione la alimentación requerida.

Su estructura interna es la de un convertidor, siendo su funcionamiento basado en el almacenamiento de energía en las baterías del bus de continua. Mientras no haya problemas en la red, esta suministra la energía necesaria para mantener la tensión en las baterías y la que consume la carga, y en caso de haber algún tipo de incidencia que implique la necesidad de trabajar sin la alimentación proporcionada por la red, es la batería del SAI la que suministra a energía que consume la carga.

[GARC19]

3.2.1 DIMENSIONAMIENTO

La UPS debe por lo tanto ser capaz de alimentar los circuitos de control y los motores y variadores de los sistemas de paso y orientación, por lo que la potencia mínima de operación del modelo a elegir será de 165 kW, considerando una potencia de consumo de alumbrado de la torre, ventilación de los equipos y resto de cargas de 10 kW.

$$S = P = 5,5 \cdot 10^3 \cdot 8 + 37 \cdot 10^3 \cdot 3 + 10 \cdot 10^3 = \mathbf{165 \text{ kW}}$$

3.2.2 DATOS TÉCNICOS

Se ha optado entonces por el modelo PowerWave33 del fabricante ABB, de potencia nominal de 200 kW.

ABB PowerWave33	
Potencia nominal	200 kW
Tensión nominal	3x400 V / 230 V + N
Tiempo de autonomía	1 min al 135% de la carga / 10 min al 110% de la carga
Rendimiento nominal	96 %
Factor de potencia	0,99
Altura	1820 mm
Anchura	850 mm
Profundidad	750 mm
Peso total	310 kg

Tabla 11: Datos técnicos del Sistema de Alimentación Ininterrumpida de ABB.

3.2.3 INSTALACIÓN

Algo a tener en cuenta a la hora de instalar la UPS es que será necesario realizar un bypass que funcione durante unos segundos cuando la máquina es energizada, cableando un relé en paralelo con esta de manera a energizar los circuitos de protección que realizan el disparo externo de la celda. Esto se debe a que, tras reenergizar la celda después de una parada, si en el momento de cierre de la celda de MT llegase a aparecer algún tipo de cortocircuito, los circuitos de protección no actúan por no estar energizados, dado que la UPS que les alimenta tarda unos segundos en cargarse desde el momento de cierre de celda. Bypaseando durante esos segundos la UPS, los sensores de protección que cuelgan de ella se energizan automáticamente, para reconectarse a la UPS una vez esta vuelve a estar cargada.

3.3 TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES

Dado que los equipos de los circuitos auxiliares están todos diseñados para un nivel de tensión de 400 V, es necesario el emplazamiento de un transformador que reduzca el nivel de tensión, cuya potencia sea superior a los 183 kVA, dado que el menor factor de potencia a asegurar es de 0,9:

$$S = \frac{P}{0,9} = \frac{5,5 \cdot 10^3 \cdot 8 + 37 \cdot 10^3 \cdot 3 + 10 \cdot 10^3}{0,9} = \mathbf{183,333 \text{ kW}}$$

Sin embargo, es necesario decidir a qué lado del transformador principal de potencia colocar el lado de alta del transformador auxiliar. Dicha decisión se basará entonces en asegurar la menor probabilidad posible de que el servicio de auxiliares se quede sin alimentación por un largo periodo de tiempo, ya que las baterías de la UPS están pensadas para lidiar con fallos de aspecto temporal, del orden de minutos.

La mejor opción es entonces conectar el lado de alta del transformador de auxiliares al lado de media tensión de 20 kV, a pesar de que esto suponga que los costes se eleven considerablemente, dado que de esta manera, en caso de aparecer una falta importante en el transformador de potencia de 690 V / 20 kV o en el generador que dejen fuera de servicio de forma permanente al circuito de potencia, los circuitos de control de paso y orientación permanezcan conectados a la red.

Dado que los parques *off-shore* pueden ser difíciles de acceder por barco por mala climatología, el aerogenerador puede permanecer parado durante periodos de hasta un mes, lo que implicaría, en caso de no estar los circuitos auxiliares conectados a la red por el transformador auxiliar de baja a media tensión, que la turbina permanezca a la deriva, pudiendo darse que la góndola rotase en la misma dirección hasta que los cables ascendientes por la torre rompieran por excesivos esfuerzos de torsión, o las palas girasen hasta velocidades que provocaran la ruptura de algún componentes mecánico. Ambas situaciones pondrían en peligro la integridad del aero, que podría terminar completamente destruido.

Se ha optado entonces por un transformador de 20 kV / 400 V de 250 kVA del fabricante ABB, del mismo tipo que el transformador de potencia, de aislamiento seco y con un nivel de aislamiento de 24 kV.

ABB Vacuum cast coil dry type transformer	
Potencia	250 kVA
Nivel de aislamiento	24 kV
Tensión de alta	20 kV
Tensión de baja	400 V
Grupo de conexión	Dyn11
Tensión de cortocircuito	6%
Clase de protección	IP00
Pérdidas en vacío	520 W
Pérdidas en carga a 120°C	3800 W
Ancho de cabina	1390 mm
Profundidad de cabina	745 mm
Altura de cabina	1530 mm
Peso total	1250 kg

Tabla 12: Datos técnicos del transformador de servicios auxiliares de ABB.

Capítulo 4 CABLEADO

Antes de dar por concluido el diseño de la totalidad de los sistemas eléctricos, es necesario dimensionar los cables correspondientes a cada sección del aerogenerador, cuyos valores de tensión e intensidad tolerados son diversos en el interior de la turbina.

4.1 CABLEADO DE BAJA TENSIÓN

En primer lugar, se procede por dimensionar el cableado a usar en los circuitos de potencia, en la zona de 690 V de tensión. Dada que la potencia nominal de generación es elevada, pero el nivel de tensión bajo, nos encontramos con intensidades de fase muy elevadas en esta zona del aerogenerador.

$$I_{690} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{P}{\cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{5 \cdot 10^6}{0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 690} = 4648,553 \text{ A}$$

Algo a tener en cuenta a la hora de seleccionar la sección adecuada de cable, es que la temperatura de trabajo estimada en el interior del aerogenerador es de 50°C, mientras que las intensidades de fábrica de los cables están pensadas para una temperatura de 40°C. Por lo tanto, es necesario realizar una conversión mediante un factor de corrección de temperatura, el que se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$k = \sqrt{\frac{\theta_C - \theta_A'}{\theta_C - \theta_A}}$$

Ecuación 8: Coeficiente de corrección de la intensidad de un cable. [RECI15]

Siendo:

- θ_C la temperatura máxima admisible por el cable en régimen permanente
- θ_A' la temperatura a la cual se desea corregir la intensidad
- θ_A la temperatura para la cual se tiene calculada la intensidad

Por lo tanto, sabiendo que la temperatura ambiente estándar en España para instalaciones al aire es de 40°C, y que el material de aislamiento del cable de 690 V de tensión es polietileno reticulado (XLPE), material termoestable para el cual $\theta_C = 90^\circ$, tenemos que:

$$I_{690}(40^\circ) = 4648,553 \cdot \sqrt{\frac{90 - 40}{90 - 50}} = 5197,24 \text{ A}$$

Esta intensidad excede todas las disponibles para el cable de 690V, por lo que será necesario utilizar varios conductores. El mínimo número de conductores a usar de manera a dar con una intensidad que entre en tablas es de 6, para el que se obtiene una intensidad por conductor de:

$$I_{COND} = \frac{5197,24}{6} = 866,207 \text{ A}$$

De manera que se puede seleccionar una sección de 1x630 mm², para la cual la intensidad admisible a 40° es de 890 A, la que queda por encima de la nominal por conductor calculada.

Los datos técnicos del cable de 690 V del fabricante General Cable y de la gama EXZHELLENT son entonces los siguientes:

General Cable EXZHELLENT-M RZ1MAZ1-K (AS)	
Tensión	0,6/1 kV
Sección	1x630 mm²
Diámetro exterior	50,5 mm
Intensidad admisible al aire a 40°C	890 A
Conductor	Cobre
Aislamiento	Polietileno reticulado (XLPE)
Máxima temperatura en régimen permanente	90°C
Radio de curvatura	505 mm
Peso	7460 kg/km
Caída de tensión (cos φ=0,8)	0,138 V/A.km
Caída de tensión (cos φ=1)	0,063 V/A.km
Código	1967124

Tabla 13: Datos técnicos del cable de 690V del fabricante General Cable.

Se estima que la distancia de cable necesitada será de unos 15 metros, y dado que se necesitarán 3 de cada por ser el sistema trifásico, y que se usará un total de 6 conductores por fase, la distancia total de cable requerida es de 270 m.

4.2 CABLEADO DE MEDIA TENSIÓN

En la zona de media tensión, la intensidad nominal se ve muy reducida con respecto a la calculada anteriormente. Sabiendo que la relación de transformación del trafo de potencia es la siguiente:

$$\tau = \frac{I_{ALTA}}{I_{BAJA}} = \frac{20000}{690} = 28,986$$

$$I_{20000} = \frac{I_{690}}{\tau} = \frac{4648,553}{28,986} = 160,375 \text{ A}$$

Utilizando el factor de corrección de la misma manera que para el cableado de 690V, y teniendo en cuenta que en las tablas de este modelo la intensidad admisible al aire se considera a una temperatura de 45° en vez de 40°, se obtiene lo siguiente:

$$I_{20000}(45^{\circ}) = 160,375 \cdot \sqrt{\frac{90 - 45}{90 - 50}} = 170,104 \text{ A}$$

Para este caso ya se encuentran temperaturas mayores a la calculada, por lo que no es necesario recurrir al uso de varios conductores. La sección seleccionada es entonces de 1x70 mm², para la cual la intensidad admisible es de 221 A.

Los datos técnicos del cable de 20 kV del fabricante General Cable y de la gama EXZHELLENT son entonces los siguientes:

General Cable EXZHELLENT-MAR Type P19/P21 RFOU	
Tensión	12/20 kV
Sección	1x70 mm²
Diámetro exterior	32 mm
Intensidad admisible al aire a 45°C	221 A
Conductor	Cobre
Aislamiento	Etileno Propileno LSF (EPR)
Máxima temperatura en régimen permanente	90°C
Peso	1865 kg/km
Reactancia inductiva	0,136 Ω/km
Capacidad	0,201 μF/km
Código	7487115

Tabla 14: Datos técnicos del cable de 20 kV del fabricante General Cable.

La distancia estimada de longitud del cable de media tensión en la zona del aerogenerador será de 200 m, visto que la altura total de la torre es de 133 m, y hay que tener en cuenta la torsión del cableado que sube por la torre. Visto que este cable se utilizará también para el transporte hasta subestación, se suman 4 km a dicha distancia. De esta manera, visto que se necesitará 1 cable por fase, de 4200 m cada una, la distancia total requerida de cable es de 12600 m.

4.3 CABLEADO DE AUXILIARES

Para el cableado de baja tensión del transformador de servicios auxiliares, la intensidad nominal queda determinada por la máxima potencia del trafo:

$$I_{400} = \frac{S_{TRAFO}}{\sqrt{3} \cdot U} = 360,844 \text{ A}$$

Vuelve a ser necesario corregir la intensidad calculada para obtener el valor correspondiente a una temperatura de 40°C, teniendo en cuenta que el cable de baja tensión no es de aislamiento termoestable, si no termoplástico, por lo que la máxima temperatura de régimen permanente es esta vez de $\theta_c = 70^\circ\text{C}$.

$$I_{400}(40^{\circ}) = 360,844 \cdot \sqrt{\frac{70 - 40}{70 - 50}} = 441,942 \text{ A}$$

En este caso, vuelve a ser necesario usar más de un conductor por cable. El número de conductores necesitado es de 2, de manera que se obtiene una intensidad de 220, 971 A.

$$I_{COND} = \frac{441,942}{2} = 220,971 \text{ A}$$

Se escoge por tanto una sección de $1 \times 95 \text{ mm}^2$, para la cual la intensidad admisible a 40°C es de 225 A.

Los datos técnicos del cable usado en la sección de 400 V del fabricante General Cable y de la gama EXZHELLENT son entonces los siguientes:

General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS)	
Tensión	450/750 V
Sección	$1 \times 95 \text{ mm}^2$
Diámetro exterior	15,4 mm
Intensidad admisible al aire a 40°C	225 A
Conductor	Cobre
Aislamiento	Poliolefina termoplástica ignífuga, libre de halógenos (Z1)
Máxima temperatura en régimen permanente	70°C
Radio de curvatura	95 mm
Peso	875 kg/km
Caída de tensión ($\cos \varphi=0,8$)	0,419 V/A.km
Caída de tensión ($\cos \varphi=1$)	0,427 V/A.km
Código	1657116

Tabla 15: Datos técnicos del cable para auxiliares del fabricante General Cable.

La distancia de cable estimada para esta sección del aerogenerador es de 30 m, por lo que se necesitarán, visto que se van a usar dos conductores por fase, 180 m de este cable.

4.4 CABLEADO DE SISTEMAS DE CONTROL

4.4.1 SISTEMA DE CONTROL DE PASO

Para dimensionar el cableado del sistema de control de paso, se tiene en cuenta la intensidad nominal de los motores de 37 kW de ABB elegidos anteriormente, que es de 72,4 A.

De la misma manera que en el caso anterior, se realiza la corrección de intensidad por temperatura:

$$I_{PITCH}(40^{\circ}) = 72,4 \cdot \sqrt{\frac{70 - 40}{70 - 50}} = 88,672 \text{ A}$$

Se selecciona entonces una sección de cable de 1x25 mm² para la cual la intensidad admisible a 40°C es de 97 A. Los datos técnicos son los adjuntos a continuación:

General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS)	
Tensión	450/750 kV
Sección	1x25 mm²
Diámetro exterior	8,6 mm
Intensidad admisible al aire a 40°C	97 A
Conductor	Cobre
Aislamiento	Poliolefina termoplástica ignífuga, libre de halógenos (Z1)
Máxima temperatura en régimen permanente	70°C
Radio de curvatura	55 mm
Peso	245 kg/km
Caída de tensión (cos φ=0,8)	1,377 V/A.km
Caída de tensión (cos φ=1)	1,616 V/A.km
Código	1656112

Tabla 16: Datos técnicos del cable del sistema de paso del fabricante General Cable.

En este caso, la distancia de cable estimada es de 30 metros, y se necesitan 3 fases por conjunto motor-variador. Por lo tanto, la distancia total de cable requerida será de 270 m.

4.4.2 SISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN

Para dimensionar el cableado del sistema de control de orientación, se tiene en cuenta la intensidad nominal de los motores de 5,5 kW de ABB elegidos anteriormente, que es de 13,5 A.

Se realiza la corrección de intensidad por temperatura de la misma manera que en el caso anterior:

$$I_{YAW}(40^{\circ}) = 13,5 \cdot \sqrt{\frac{70 - 40}{70 - 50}} = 16,534 \text{ A}$$

Se selecciona entonces una sección de cable de 1x1,5 mm² para la cual la intensidad admisible a 40°C es de 17 A. Los datos técnicos son los adjuntos a continuación:

General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS)	
Tensión	450/750 kV
Sección	1x1,5 mm²
Diámetro exterior	2,9 mm
Intensidad admisible al aire a 40°C	17 A
Conductor	Cobre
Aislamiento	Poliolefina termoplástica ignífuga, libre de halógenos (Z1)
Máxima temperatura en régimen permanente	70°C
Radio de curvatura	20 mm
Peso	20 kg/km
Caída de tensión (cos φ=0,8)	22,156 V/A.km
Caída de tensión (cos φ=1)	27,563 V/A.km
Código	1656106

Tabla 17: Datos técnicos del cable del sistema de orientación del fabricante General Cable.

Para el sistema de control de orientación, la distancia de cable estimada es de 20 metros, y al necesitar 3 cables por conjunto motor-variador, la distancia total calculada es de 480 m.

Capítulo 5 BLADED, PROGRAMA DE SIMULACIÓN



El programa de simulación de operación de aerogeneradores conocido como Bladed permite realizar simulaciones del funcionamiento de la turbina objeto de diseño bajo diferentes condiciones ambientales, de manera a observar el comportamiento de la máquina en cuanto a extracción de potencia o cargas soportadas, para dar así con los valores de diseño que aseguren la óptima actividad de la máquina. A pesar de que el proyecto de diseño de los sistemas eléctricos no se apoya demasiado en el uso de dicho programa, ha sido necesario analizar el número de parámetros eléctricos involucrados en dicho programa, de forma a proporcionar aquellos valores que fueran requeridos para simulaciones completas del aerogenerador en marcha.

5.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN

Una vez estudiado el programa, se determinó que los parámetros eléctricos involucrados en el modelo de simulación se encontraban en el apartado destinado al tren de potencia, denominado como *Power Train*. Entre las cinco pestañas de este apartado, aquellas en las que influían ciertos parámetros de carácter eléctrico eran las correspondientes a *Electrical* y *Network*, que se presentaban como se aprecia en las figuras 31 y 32.

Una vez seleccionadas las correctas características del tipo de aerogenerador, de velocidad variable, y de generador síncrono con convertidor de módulos rectificador e inversor IGBT, como se aprecia en la esquina superior izquierda de la figura 33, aparecen un número de menús desplegables con dos o tres opciones entre las que elegir. Los ajustes que vienen predeterminados son los que aparecen en dicha figura.

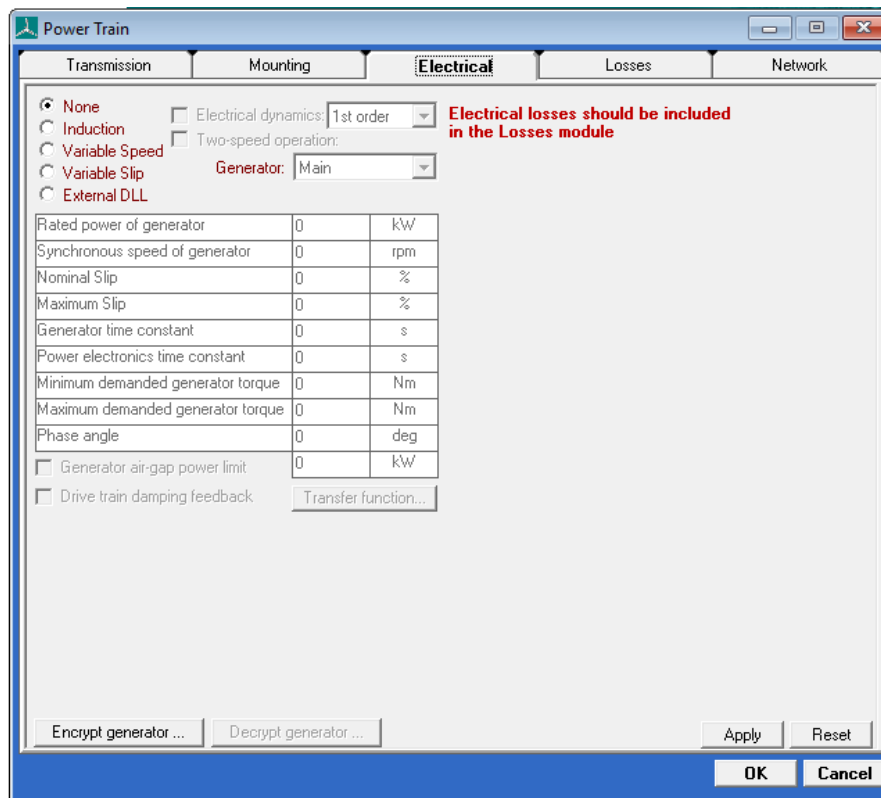


Figura 31: Pestaña “Electrical” de la ventana de “Power Train” del programa BLADED.

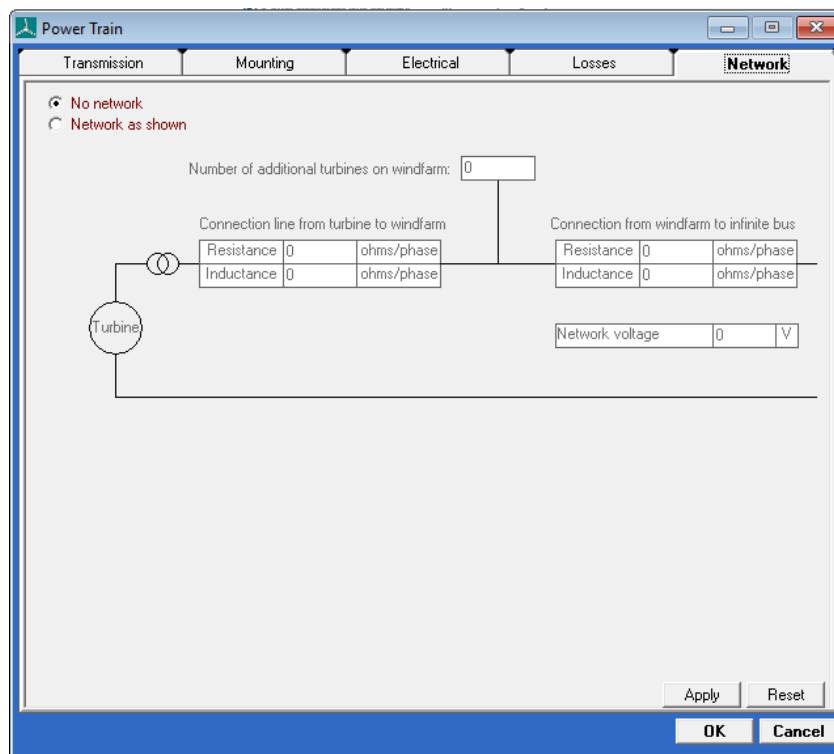


Figura 32: Pestaña “Network” de la ventana de “Power Train” del programa BLADED.

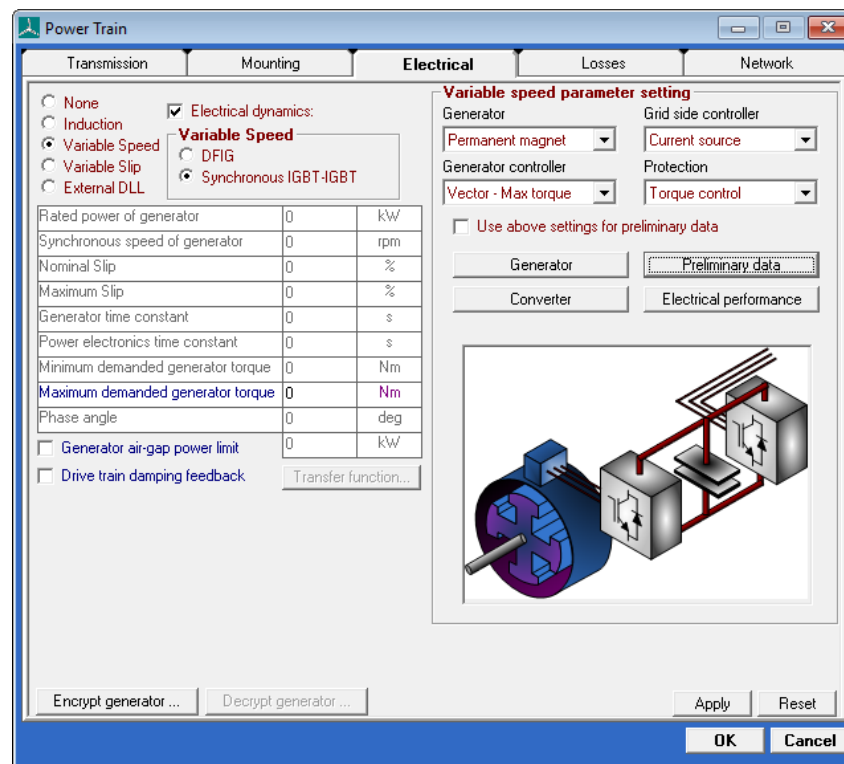


Figura 33: Menús desplegables del apartado de dinámicas eléctricas de velocidad variable.

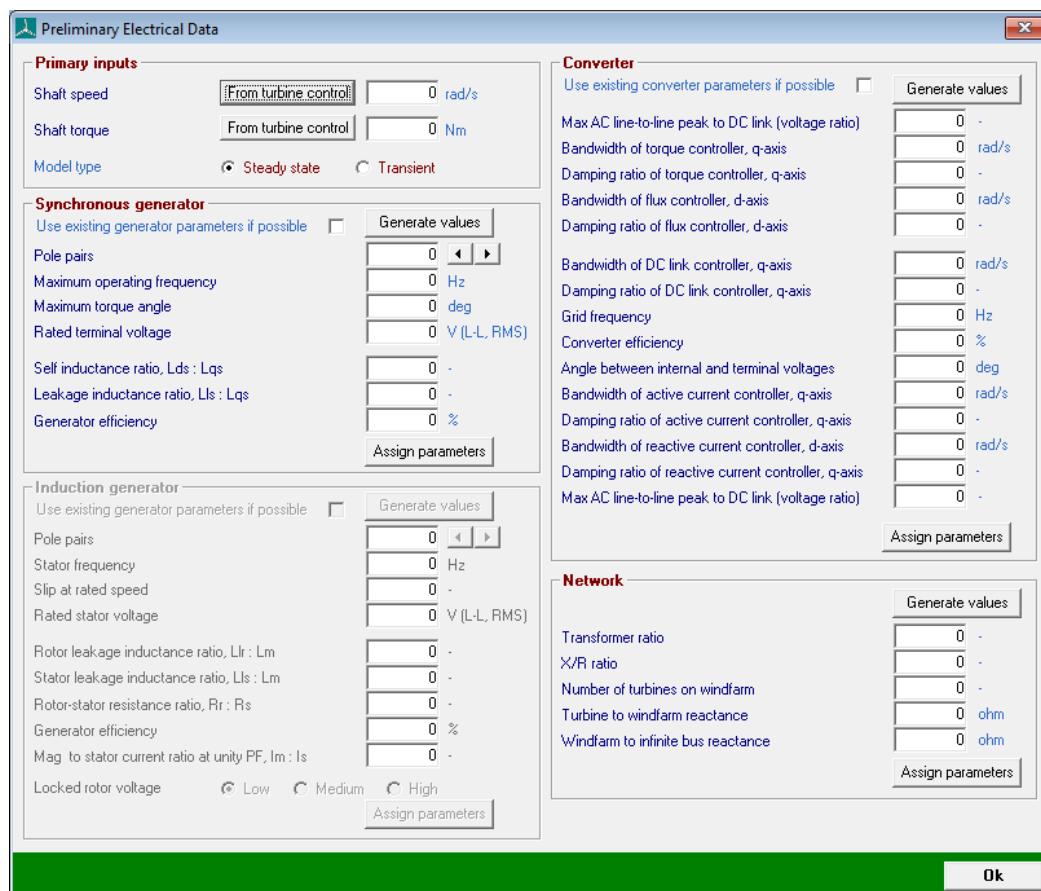


Figura 34: Ventana de datos eléctricos preliminares.

Una vez examinada la ventana correspondiente a los datos eléctricos preliminares, que aparece presentada en la figura 34, se encontraron más parámetros en la ventana dedicada exclusivamente al convertidor, como se presenta en la figura 35. Esta ventana se divide en cuatro pestañas, cuyos contenidos se adjuntan en las figuras 35 a 38 a continuación.

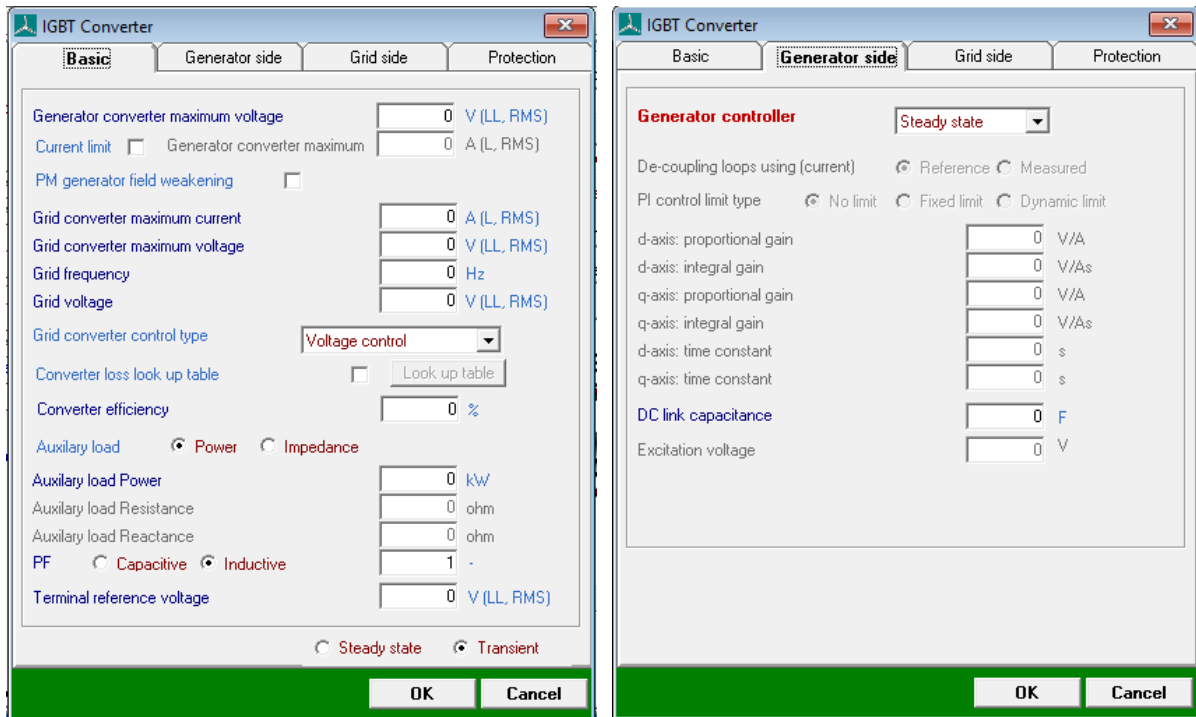


Figura 35: Pestañas “Basic” y de convertidor del lado del generador.

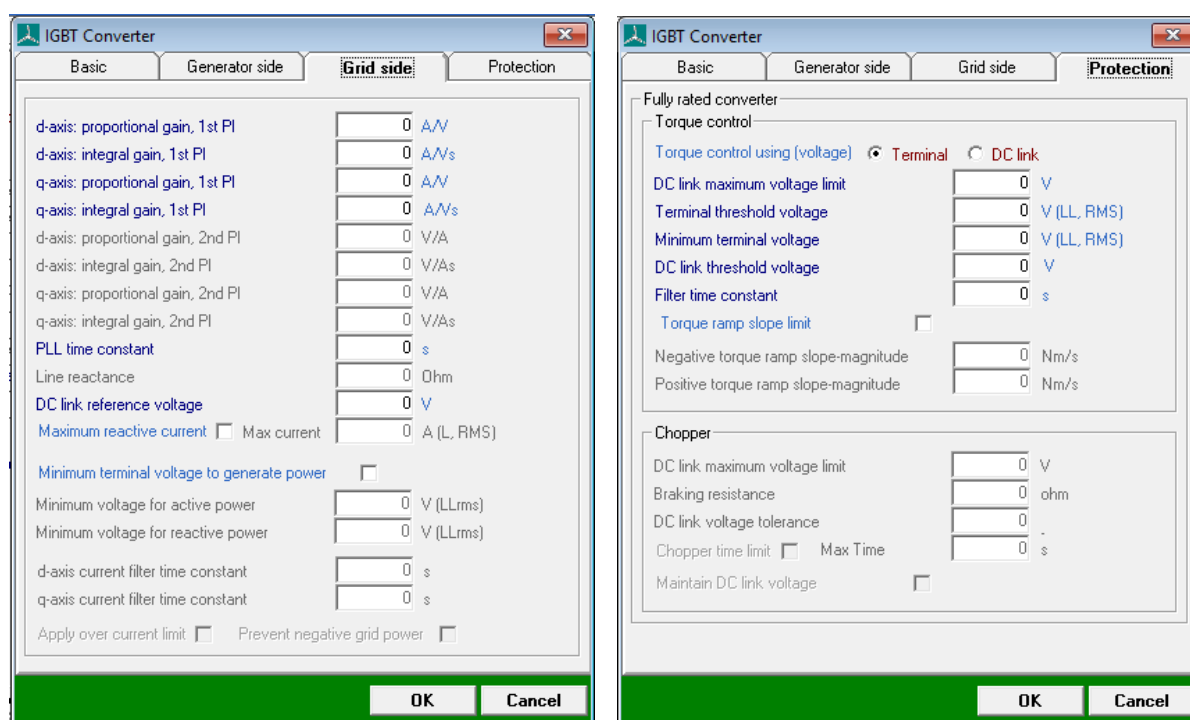


Figura 36: Pestañas de convertidor del lado de la red y de protección de control de par y de chopper de bus de continua.

5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

No todos los parámetros exigidos en los apartados de la pestaña destinada al convertidor podían ser determinados, ya que algunos eran más característicos del área de regulación automática y control que de eléctrico.

Entre los que sí que podían determinarse, entraban en un primer lugar los del apartado “Network”.

Las resistencias e inductancias que el programa requiere en dicha pestaña se refieren a los parámetros de impedancia de cableado, sin incluir los equipos, por lo que, al no suponer más que una sola turbina en el parque, aquello que el programa denomina “windfarm”, no existe, ya que hace alusión al punto de confluencia de todas las turbinas del parque, de un nivel de media tensión, a partir del cual saldría la línea a subestación. Es por esto que los valores de resistencia e inductancia de la izquierda de la “windfarm”, están a 0, y que el número de turbinas adicionales es también nulo, ya que lo que el programa considera “windfarm” viene a ser el aerogenerador en sí. En cuanto al valor de inductancia de la derecha, este ha sido obtenido mediante la reactancia inductiva característica del cable de media tensión anteriormente elegido, de 0,136 Ω/km , de manera que queda una inductancia total de $j0,544 \Omega$, al ser la línea a subestación de 4km de longitud.

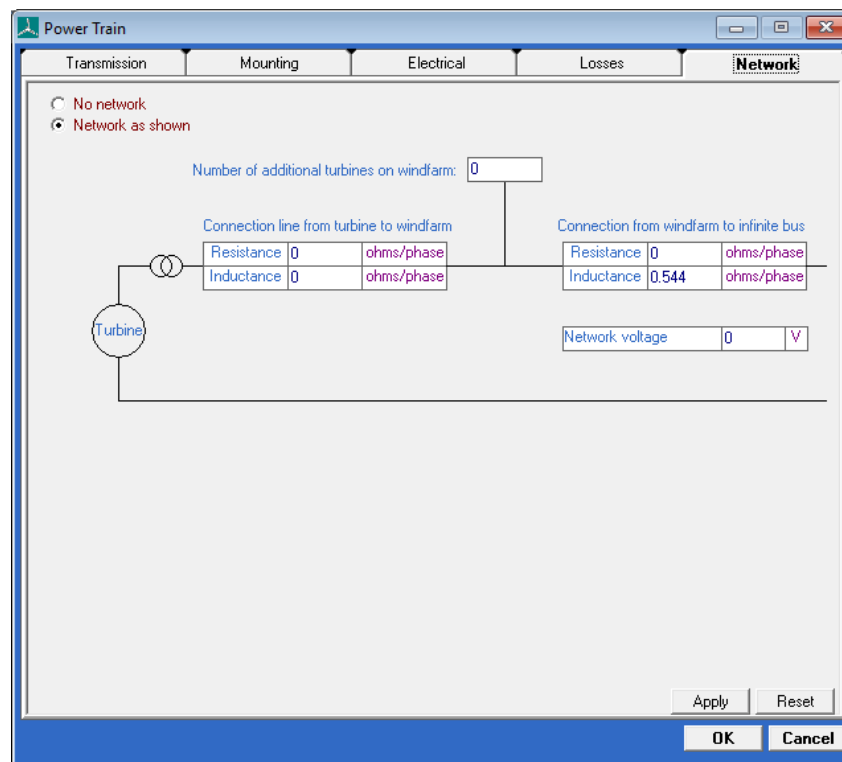


Figura 37: Implementación de los parámetros de línea.

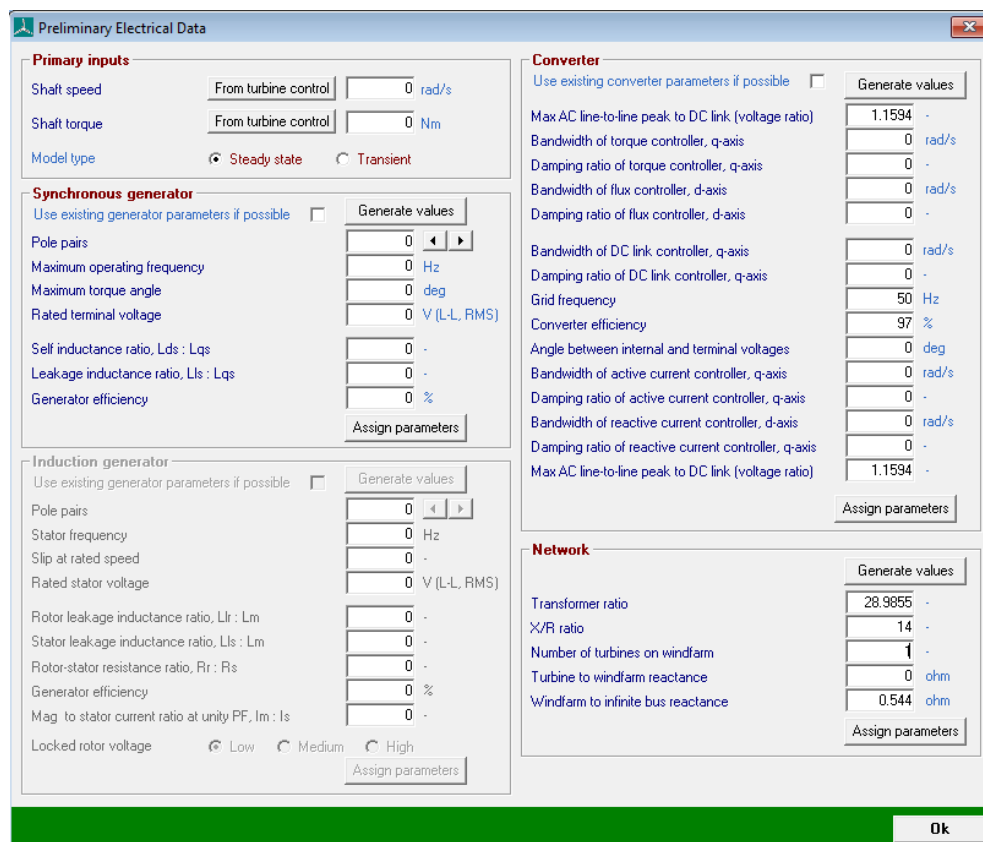


Figura 38: Determinación de los parámetros eléctricos preliminares disponibles de línea y de convertidor.

En cuanto a la aportación de valores de parámetros de la ventana de datos eléctricos preliminares, estos se dividen en dos secciones, correspondientes al convertidor y a la red, como se observa en la figura 38 adjunta previamente.

En la sección de convertidor, se determinan la eficiencia mínima del convertidor, la frecuencia de red, y la relación de la tensión máxima alterna de pico respecto a la tensión de bus de continua, la que se calcula sabiendo que la tensión máxima tolerada por el convertidor es de 800 V.

$$\frac{U_{MAX,AC}}{U_{DC}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 800}{\sqrt{2} \cdot 690} = 1,1594 \text{ pu}$$

En la sección correspondiente a la red, se determinan la relación de transformación de potencia, la relación entre reactancia y resistencia de la red, el número de turbinas en el parque, al igual que las reactancias de turbina a subestación, separadas por el punto denominado como “windfarm” mencionado anteriormente. Los valores asignados se presentan en la figura 38.

Los últimos parámetros disponibles para implementar eran los datos preliminares del convertidor, entre los que figuran la tensión máxima de 800V, la máxima intensidad, de 6000A, y el factor de potencia, de 0,9. Estos se encontraban en la pestaña “Basic” de la ventana reservada a datos exclusivos al convertidor, como se observa en la figura 39.

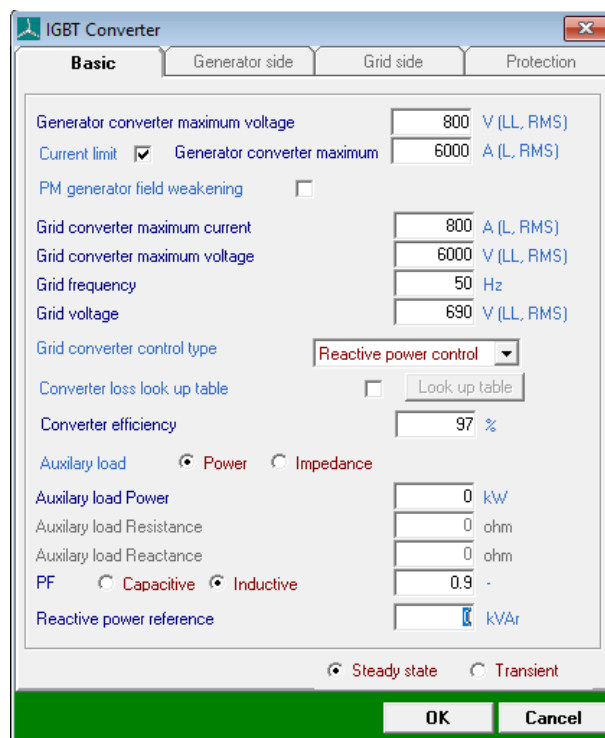


Figura 39: Determinación de los parámetros básicos del convertidor.

BIBLIOGRAFÍA

- [BERU18] Beruete, B., “Plan de acción incendios G8X”. Iberdrola, Madrid, España, 2018.
- [BORJ09] Borja, M.A., “Consideraciones básicas en la selección de aerogeneradores para el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec”. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Tehuantepec, México, 2009.
- <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/260.pdf>
- [BURT01] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E., “Wind Energy Handbook”. John Wiley & Sons, Reino Unido, 2001.
- [CINJ18] Cinjordiz, C., “Cálculo de la sección de un cable”. Infootec, Valencia, 2018.
- <https://www.infootec.net/calculo-la-seccion-cable/>
- [CUCO17] Cucó, S., “Manual de energía eólica. Desarrollo de proyectos e instalaciones”. Universitat Politècnica de València.
- [DWIA03] Danish Wind Industry Association, “Mecanismo de orientación”. 2003.
- <http://xn--drmstre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wtrb/yaw.htm>
- [FERN19] Fernández, F., “Accionamientos eléctricos. Aerogeneradores y control del convertidor de red”. ICAI, Madrid, 2019.
- [FERN19] Fernández, F., “Accionamientos eléctricos. Aerogeneradores y control del convertidor de red”. ICAI, Madrid, 2019.
- [FERN19] Fernández, F., Sigrist, L., “El PWM y sus efectos sobre la máquina de inducción”. ICAI, Madrid, 2019.
- [FERN19] Fernández, F., Sigrist, L., “Máquina síncrona de polos salientes”. ICAI, Madrid, 2019.
- [FERN19] Fernández, F., Sigrist, L., “Control de velocidad V/f”. ICAI, Madrid, 2019.
- [GARC16] García, A.F., “Función de distribución de Rayleigh”. MATLAB, Análisis de los datos, Escuela de Ingeniería de Eibar, 2016.
- http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica_1.html
- [GARC16] García, A.F., “Función de distribución de Weibull”. MATLAB, Análisis de los

datos, Escuela de Ingeniería de Eibar, 2016.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica.html>

- [GARC19] García, P., “Convertidores CA-CC. Rectificadores trifásicos”. ICAI, Madrid, 2019.
- [GARC19] García, P., “Convertidores CC-CA. Inversores”. ICAI, Madrid, 2019.
- [GLRC12] Germanischer Lloyd Renewables Certification, “Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines”. Hamburgo, Alemania, 2012.
- [LEAL] Leal, L., Domínguez, A., León, A., Marcos, A., Arbeteta, A., Lechosa, E., “Diseño de Aerogeneradores”. ETSII, Máquinas Hidráulicas
- [MESA13] MESA, “DVCAS. Celdas GIS para centros de transformación en parques eólicos hasta 36/38 kV”. Bizkaia, España, 2013.
- [RECI15] Recio, L., “Factores de corrección por temperatura ambiente, ¿Cómo se obtienen?”. Prysmian Group, Madrid, 2015.
- <http://www.sectorelectricidad.com/12345/factores-de-correccion-por-temperatura-ambiente-como-se-obtienen/>
- [ROUC19] Rouco, L., “Protección de líneas de distribución”. ICAI, Madrid, 2019
- [ROUC19] Rouco, L., “Protección de generadores”. ICAI, Madrid, 2019
- [ROUC19] Rouco, L., “Protección de transformadores”. ICAI, Madrid, 2019
- [SAEN13] Sáenz, S., “Modelos Agregados de Parques Eólicos”. Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingeniería, 2013.

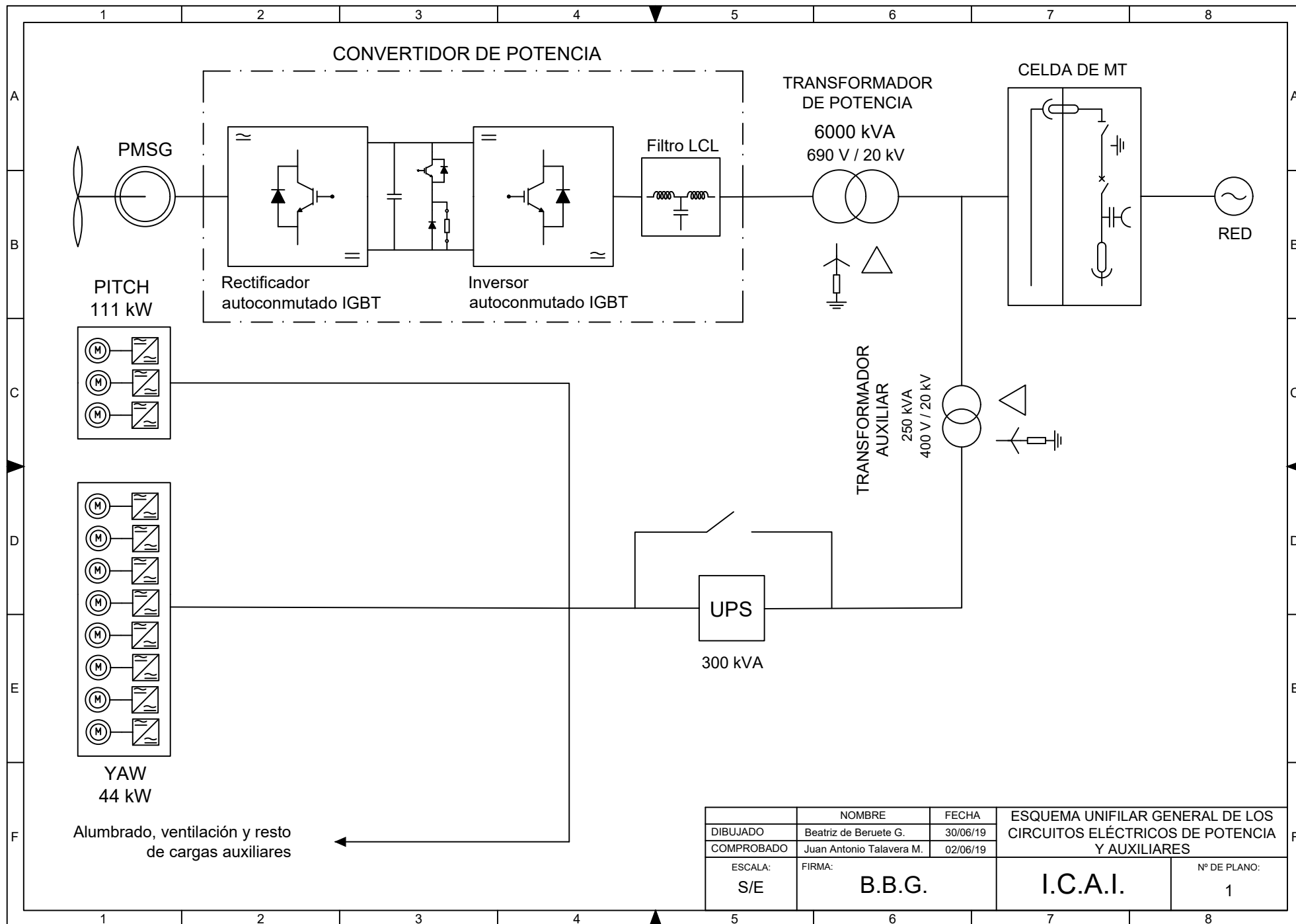
DOCUMENTO N°2, PLANOS

LISTADO DE PLANOS

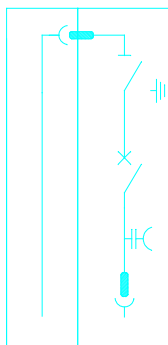
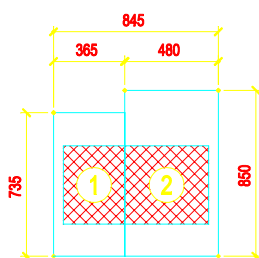
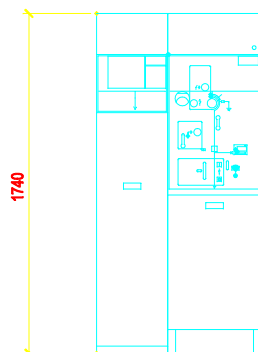
Plano 1: Esquema unifilar general de los circuitos eléctricos de potencia y auxiliares.

Plano 2: Alzado, planta y esquema eléctrico de la celda de media tensión de Ormazabal.

Plano 3: Planta de la góndola del aerogenerador y disposición de los equipos del tren de potencia eléctrico.



	NOMBRE	FECHA	ESQUEMA UNIFILAR GENERAL DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE POTENCIA Y AUXILIARES	
DIBUJADO	Beatriz de Beruete G.	30/06/19		
COMPROBADO	Juan Antonio Talavera M.	02/06/19		
ESCALA: S/E	FIRMA: B.B.G.		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 1



-A-PROFUNDIDAD DEL FOSO EN FUNCION
DEL RADIO DE CURVATURA DEL CABLE



© ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE ORMAZABAL
TODOS LOS DERECHOS ESTAN RESERVADOS Y NO
ESTA PERMITIDO NINGUN TIPO DE REPRODUCCION
SIN LA APROBACION ESCRITA DE ORMAZABAL.

ORMABLOC CGMcosmos

P08393

Rev. N°: 0 Hoja 1 de 6

Escala: 1/30

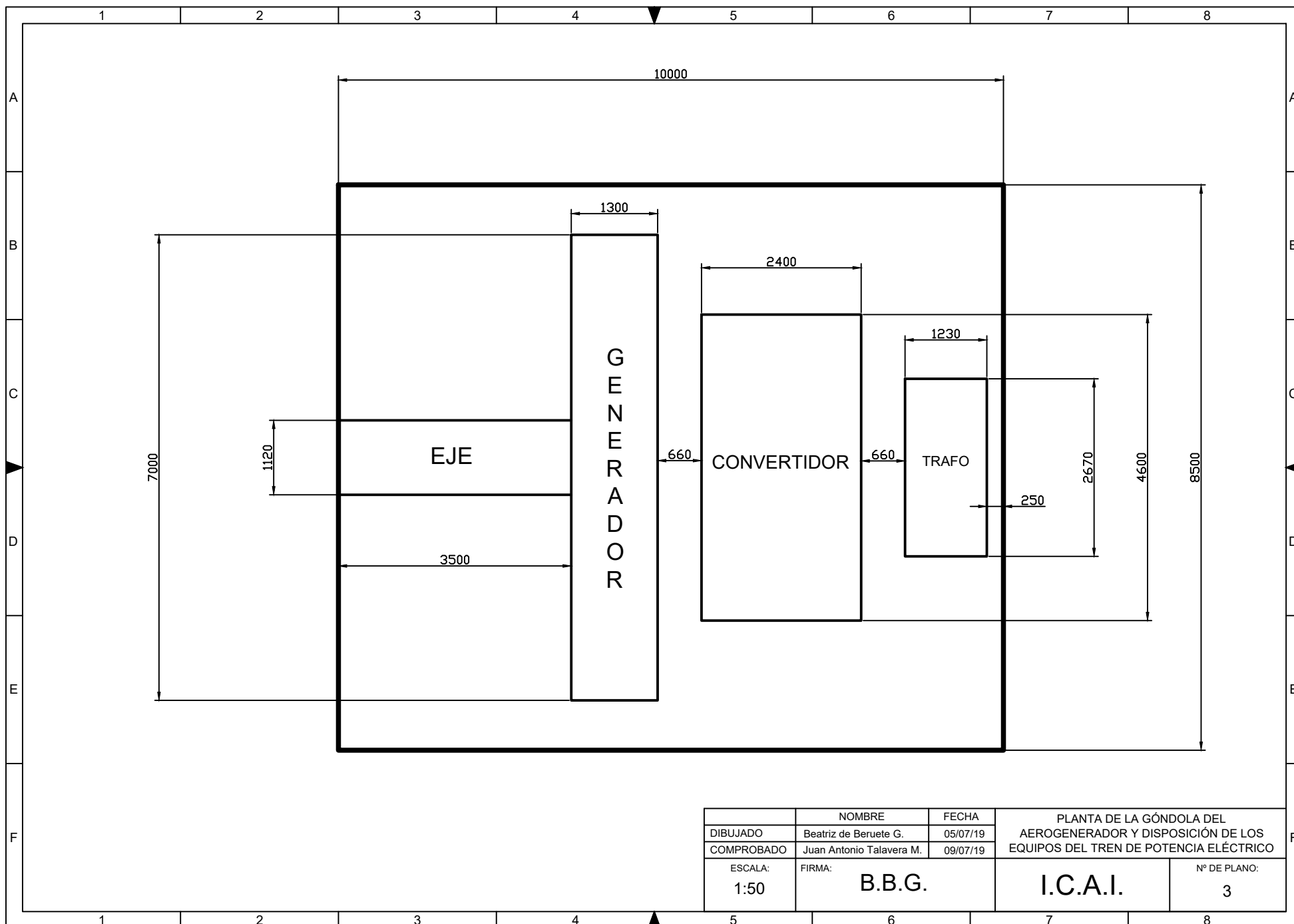
A4 Ref. No.

metric

Dibujado por

Revisado por

Aprobado por



	NOMBRE	FECHA	PLANTA DE LA GÓNDOLA DEL AEROGENERADOR Y DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS DEL TREN DE POTENCIA ELÉCTRICO	
DIBUJADO	Beatriz de Beruete G.	05/07/19		
COMPROBADO	Juan Antonio Talavera M.	09/07/19		
ESCALA: 1:50	FIRMA: B.B.G.	I.C.A.I.		Nº DE PLANO: 3

DOCUMENTO N°3,
PRESUPUESTO

1. SUMAS PARCIALES

En este apartado se detallan los costes unitarios y totales de todos los componentes y equipos que conforman el conjunto de los sistemas eléctricos del aerogenerador, los cuales han sido obtenidos a partir de la consulta con los fabricantes de origen de los precios de venta al público.

EQUIPO	COSTE UNITARIO (€)	UNIDADES	COSTE TOTAL (€)
Convertidor ABB ACS880 back-to-back configuration (ACS880-87LC)	120.000	1	120.000
Transformador de potencia ABB Vacuum cast coil dry type transformer 6 MVA	75.000	1	75.000
Celdas MT Ormazabal CGMCOSMOS	14.300	1	14.300
Motor de sistema de paso ABB M2BAX 250SMA 6	7.381	3	22.143
Variador de frecuencia ABB ACS580-01-073A-4	4.763	3	14.289
Motor de sistema de orientación ABB M2BAX 132MLA 6	1.387	8	11.096
Variador de frecuencia ABB ACS580-01-12A7-4	1.425	8	11.400
UPS PowerWave33	30.000	1	40.000
	3.125	1	3.125

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESUPUESTO

Transformador auxiliar ABB Vacuum cast coil dry type transformer 250 Kva			
TOTAL		301.353 €	

CABLE	COSTE POR METRO (€)	LONGITUD (m)	COSTE TOTAL (€)
General Cable EXZHELLENT-M RZ1MAZ1-K (AS) 1967124	30	270	8.100
General Cable EXZHELLENT-MAR Type P19/P20 RFOU 7487115	18	12.600	226.800
General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS) 1657116	10,37	180	1866,6
General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS) 1656112	2,73	270	737,1
General Cable EXZHELLENT-XXI 750 V ES 07Z1-K (AS) 1656106	0,14	480	67,2
TOTAL		237.570,9 €	

2. PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto general es por lo tanto de **538.923,9 €**.

ANEXO I, CATÁLOGOS

1. CONVERTIDOR



Superior reliability for maximum availability

The ACS880 wind turbine converter is designed for reliable operation in extreme weather conditions.

Long-life components for lower life-cycle costs

The ACS880 is designed for a long lifetime in harsh environmental conditions. During the design phase, the annual wind distribution curve has been taken into account to optimize converter design and components. Long-lasting components are used such as self-healing foil capacitors, which avoids the need for replacement during the converter's lifetime. Similarly cooling fans are designed to considerably extend component replacement intervals.

Fast generator control for longer drivetrain lifetime

The ACS880 uses ABB's enhanced direct torque control (DTC) for generator control. It can monitor generator torque up to 80,000 times per second, ensuring immediate reaction and control. The precise and fast control dampens drivetrain oscillations, thereby minimizing stress on the generator gearbox shaft. This results in a longer lifetime of the mechanical drivetrain.

Redundancy

The ACS880 has a built-in redundancy which ensures continues operation of the converter. In the unlikely event that one sub-converter or power module fails, the faulty unit is disconnected and the converter continues operating at partial load. Thus, repair can be planned and unpredicted downtime is prevented.

Enhanced diagnostics

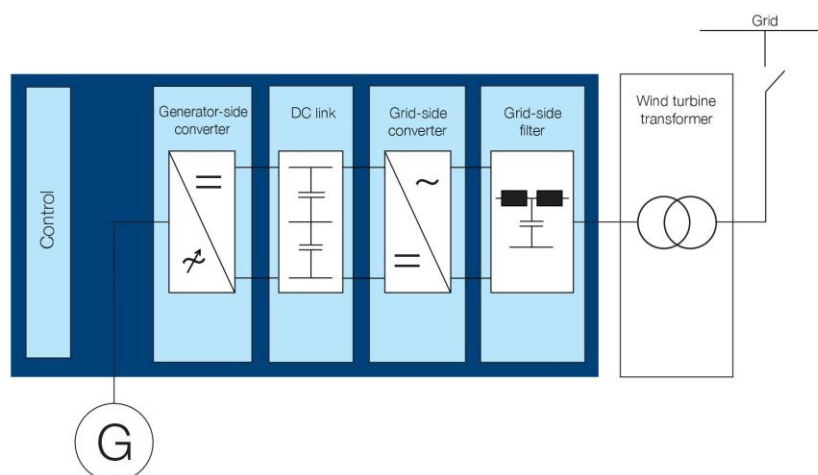
The converter incorporates an enhanced diagnostics system which enables long-term planning of service and maintenance work.

The system continuously measures the conditions the turbine is exposed to and records when the converter operates outside its specification. Depending on the converter's loading, a component lifetime calculator works out the wear and tear of each device and notifies any service needs. Preventive maintenance intervals, therefore, are accurately predicted.

Easy maintenance

The ACS880 is designed with easy and fast servicing in mind. All converter components are easily accessed which speeds up maintenance and repair work.

Software updates are easily uploaded with the help of a memory unit and the latest converter data can be sent with one mouse click to ABB's service experts for analysis.



Topology of the ACS880 low voltage wind turbine converter

Enhanced grid code compliance

The ACS880 wind turbine converter ensures compliance with the strictest grid codes.

Low voltage ride-through and grid support

ABB's enhanced DTC enables very efficient and fast control of the generator side and grid side converters. This provides the foundation for grid code and fault ride-through compliance.

The ACS880 regulates the active and reactive power output of the wind turbine. This ensures wind turbines stay connected during voltage dips by providing full reactive current as soon as a grid fault occurs.

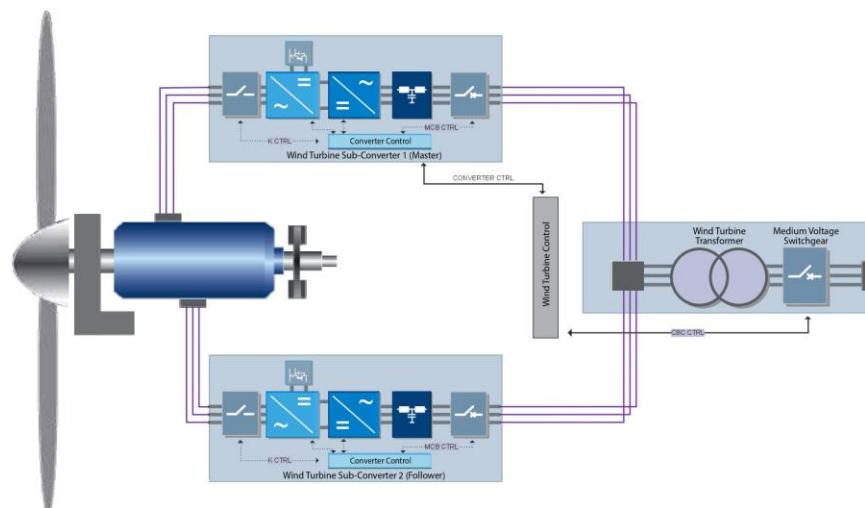
Verification of grid code compliance

ABB's low voltage wind turbine converters are subjected to comprehensive fault ride-through and power quality tests in ABB's multi-megawatt grid code laboratory before being shipped to the customer. This simplifies turbine certification and reduces on-site testing costs.

Furthermore, ABB provides tools to simulate different wind turbine scenarios. This lets the customer optimize their design to fit their wind patterns. For example, simulation models let the customer investigate the converter's behavior in grid transient situations before making a financial commitment.

High efficiency for a higher energy yield

The ACS880 wind turbine converter offers the design option of parallel-connected sub-converters. Depending on the wind conditions, the sub-converters can be activated or deactivated, which increases the converter's overall efficiency, especially at partial load.



Parallel-connected sub-converters enable redundancy and a higher overall efficiency, especially at partial load

Technical data ACS880 full power wind turbine converter

Converter model	ACS880-77LC in-line configuration	ACS880-87LC back-to-back configuration
Converter type	Full power converter for permanent magnet and asynchronous generators	
Generator power range	0.8 to 4.6 MW	1.5 to 8 MW
Optional sub-converter configuration	Available from 0.8 MW	Available from 1.5 MW
Cooling	Liquid cooling with totally enclosed cabinet	
Control principle	Direct torque control (DTC)	
Electrical data		
Rated grid voltage	525 to 690 V AC, 3 ph, ±10%	
Rated generator voltage	0 to 750 V AC	
Nominal frequency	50 Hz / 60 Hz	
Efficiency at converter's rated point	≥ 96.5%	
Generator-side converter du/dt	1.0 to 1.4 kV/μs	
Grid harmonics	Max 4%	
Total harmonic current distortion		
Environmental limits		
Ambient temperature	Transport -40 to +70 °C Storage -40 to +70 °C Operation -30 to +50 °C	
Coolant inlet temperature	+5 to +50 °C	+5 to +45 °C
Optional high coolant inlet temperature	Up to +55 °C	
Altitude	0 to 1000 m	
Optional high altitude	Up to 4000 m	
Degree of protection	Totally enclosed cabinet IP54 / UL type 12	
Cabling connections	Top or bottom	
Cooling connections	Left or right side	
Cabinet configuration	In-line, back-to-back or several separate	
Control		
Field bus interface	EtherCAT, PROFINET IO, PROFIBUS-DP, CANopen and Modbus, ControlNet, InterBus-S, DeviceNet	
Ethernet interface	Ethernet interface with PC browser is included	
Control tool link	Optical DDCCS communication link for communication with PC tools as standard	
Grid code compliance		
Grid codes	Supports wind turbine to comply with the most stringent grid code requirements	
Product compliance		
Product markings	CE	
Optional	UL508C, CSA C22.2 No 14-05	
EMC	2 nd environment, unrestricted distribution, category C3	
EN 61800-3/ A11 (2000), EN 61800-3 (2004)		
Quality assurance system	ISO 9001	
Environmental system	ISO 14001	

ACS880 in-line configuration (ACS880-77LC)

Type code	Typical generator rating	Rated generator apparent power	Rated grid apparent power	Cabinet width		Cabinet depth		Cabinet weight		Cooling flow rate
	kW	kVA	kVA	mm	inch	mm	inch	kg	lbs	l/min
ACS880-77LC-860A/800A-7	800	1028	956	1400	55	600	24	1200	2646	90
ACS880-77LC-1686A/1568A-7	1500	2014	1874	2300	91	600	24	2000	4409	135
ACS880-77LC-2503A/2328A-7	2300	2991	2782	2900	114	600	24	2600	5732	175
ACS880-77LC-1720A/1600A-7	1600	2056	1912	2 x 1400	2 x 55	2 x 600	2 x 24	2 x 1200	2 x 2646	2 x 90
ACS880-77LC-3372A/3136A-7	3000	4029	3748	2 x 2300	2 x 91	2 x 600	2 x 24	2 x 2000	2 x 4409	2 x 135
ACS880-77LC-5006A/4656A-7	4600	5982	5564	2 x 2900	2 x 114	2 x 600	2 x 24	2 x 2600	2 x 5732	2 x 175

Notes:

Cabinet height: 2000 mm (79 inch)

Dimensions and weights shown here are subject to change depending on the selected options. Please contact ABB for more detailed information.

ACS880 back-to-back configuration (ACS880-87LC)

Type code	Typical generator rating	Rated generator apparent power	Rated grid apparent power	Cabinet width		Cabinet depth		Cabinet weight		Cooling flow rate
	kW	kVA	kVA	mm	inch	mm	inch	kg	lbs	l/min
ACS880-87LC-1686A/1568A-7	1500	2014	1874	1250	49	1200	47	1800	3968	135
ACS880-87LC-2503A/2328A-7	2300	2991	2782	1450	57	1200	47	2300	5071	175
ACS880-87LC-3302A/3072A-7	3000	3947	3671	2300	91	1200	47	2800	6173	235
ACS880-87LC-4000A/3800A-7	3800	4780	4541	2500	98	1200	47	3500	7716	280
ACS880-87LC-4000A/4134A-7	4000	4780	4941	2700	106	1200	47	4500	9921	300
ACS880-87LC-5006A/4656A-7	4600	5982	5564	2 x 1450	2 x 57	2 x 1200	2 x 47	2 x 2300	2 x 5071	2 x 175
ACS880-87LC-6604A/6144A-7	6000	7893	7343	2 x 2300	2 x 91	2 x 1200	2 x 47	2 x 2800	2 x 6173	2 x 235
ACS880-87LC-8000A/7600A-7	7600	9561	9083	2 x 2500	2 x 98	2 x 1200	2 x 47	2 x 3500	2 x 7716	2 x 280
ACS880-87LC-8000A/8268A-7	8000	9561	9881	2 x 2700	2 x 106	2 x 1200	2 x 47	2 x 4500	2 x 9921	2 x 300

Notes:

Cabinet height: 2000 mm (79 inch)

Dimensions and weights shown here are subject to change depending on the selected options. Please contact ABB for more detailed information.

2. TRANSFORMADORES

Technical data for vacuum cast coil dry-type transformers
Quality built upon more than 30 years of experience



Ecodesign Standard

The new EN 50588-1 requirements set a mandatory minimum efficiency level for transformers introduced into European market. This new European Standard has been issued in order to conform to requirements of commission Regulation No 548/2014, which implement Ecodesign Directive 2009/125/EC of the European Parliament with regard to Ecodesign requirements for small, medium and large power transformers.

ABB Basic dry-type transformers meet the EN 50588-1 requirements and are available both in Tier 1 and Tier 2. These transformers are tested and certified in a ISO17025 accredited laboratory for full compliance with European Standards.

Why choosing dry-type

- Reduced environmental contamination
- Zero risk of leakage of flammable or contaminating substances
- Environmentally friendly production
- Well suited to damp and contaminated areas
- Non flammable and self-extinguishing
- High resistance to short circuit
- High capability to withstand overloads
- High performance when dealing with seismic phenomenon
- Capable of withstanding the most severe rolling and vibrating conditions

ABB Basic dry-type transformers Ecodesign efficiency Tier 1

Voltage class 12 kV, efficiency class according to Ecodesign Tier 1

Power [kVA]	u _k [%]	P ₀ [W]	P _k at 120°C [W]	Loss level	L _{WA} [(dB(A))]	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Total weight [kg]	Roller distance [mm]
						IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	
250	4	520	3,800	A ₀ B _k	57	1,310 / 1,840	670 / 1,330	1,435 / 1,800	1,180 / 1,350	520
400	4	750	5,500	A ₀ B _k	60	1,400 / 1,840	755 / 1,330	1,465 / 1,800	1,635 / 1,805	670
630	6	1,100	7,600	A ₀ B _k	62	1,520 / 1,840	765 / 1,330	1,605 / 1,800	1,865 / 2,035	670
800	6	1,300	8,000	A ₀ A _k	64	1,520 / 2,015	775 / 1,370	1,845 / 2,105	2,020 / 2,230	670
1,000	6	1,550	9,000	A ₀ A _k	65	1,700 / 2,015	790 / 1,370	1,905 / 2,105	2,985 / 3,190	670
1,250	6	1,800	11,000	A ₀ A _k	67	1,700 / 2,160	800 / 1,450	2,080 / 2,630	3,105 / 3,415	670
1,600	6	2,200	13,000	A ₀ A _k	68	1,860 / 2,160	980 / 1,450	2,190 / 2,630	4,310 / 4,620	820
2,000	6	2,600	16,000	A ₀ A _k	70	1,900 / 2,450	980 / 1,600	2,410 / 2,980	4,645 / 5,020	820
2,500	6	3,100	19,000	A ₀ A _k	71	2,040 / 2,450	1,230 / 1,600	2,460 / 2,980	5,685 / 6,060	1,070
3,150	6	3,800	22,000	A ₀ A _k	74	2,260 / 2,450	1,230 / 1,600	2,865 / 2,980	7,795 / 8,170	1,070

Other requirements upon request.

Voltage class 24 kV, efficiency class according to Ecodesign Tier 1

Power [kVA]	u _k [%]	P ₀ [W]	P _k at 120°C [W]	Loss level	L _{WA} [(dB(A))]	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Total weight [kg]	Roller distance [mm]
						IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	
250	6	520	3,800	A ₀ B _k	57	1,390 / 1,840	745 / 1,330	1,530 / 1,800	1,250 / 1,420	520
400	6	750	5,500	A ₀ B _k	60	1,545 / 2,015	830 / 1,370	1,565 / 2,105	1,680 / 1,890	670
630	6	1,100	7,600	A ₀ B _k	62	1,580 / 2,015	825 / 1,370	1,760 / 2,015	1,900 / 2,110	670
800	6	1,300	8,000	A ₀ A _k	64	1,750 / 2,160	860 / 1,450	2,020 / 2,630	3,130 / 3,440	670
1,000	6	1,550	9,000	A ₀ A _k	65	1,790 / 2,160	875 / 1,450	2,010 / 2,630	3,140 / 3,450	670
1,250	6	1,800	11,000	A ₀ A _k	67	1,850 / 2,160	880 / 1,450	2,250 / 2,630	3,520 / 3,830	670
1,600	6	2,200	13,000	A ₀ A _k	68	1,900 / 2,160	1,000 / 1,450	2,370 / 2,630	4,255 / 4,565	820
2,000	6	2,600	16,000	A ₀ A _k	71	1,990 / 2,450	1,230 / 1,600	2,540 / 2,980	5,490 / 5,870	1,070
2,500	6	3,100	19,000	A ₀ A _k	71	2,140 / 2,450	1,230 / 1,600	2,570 / 2,980	6,600 / 6,980	1,070
3,150	6	3,800	22,000	A ₀ A _k	74	2,310 / 2,600	1,230 / 1,640	2,945 / 3,095	8,200 / 8,610	1,070

Other requirements upon request.

Voltage class 36 kV, efficiency class according to Ecodesign Tier 1

Power [kVA]	u _k [%]	P ₀ [W]	P _k at 120°C [W]	Loss level	L _{WA} [(dB(A))]	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Total weight [kg]	Roller distance [mm]
						IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	IP00/IP31	
250	6	598	4,180	A ₀ B _k	67	1,470 / 1,840	840 / 1,330	1,620 / 1,800	1,525 / 1,700	520
400	6	862	6,050	A ₀ B _k	69	1,500 / 2,015	900 / 1,370	1,770 / 2,105	1,735 / 1,940	670
630	6	1,265	8,360	A ₀ B _k	66	1,620 / 2,015	920 / 1,370	1,960 / 2,105	2,170 / 2,380	670
800	6	1,495	8,800	A ₀ A _k	64	1,860 / 2,160	965 / 1,450	2,060 / 2,630	3,620 / 3,930	670
1,000	6	1,783	9,900	A ₀ A _k	65	1,800 / 2,160	950 / 1,450	2,180 / 2,630	3,220 / 3,530	670
1,250	6	2,070	12,100	A ₀ A _k	67	1,940 / 2,500	980 / 1,750	2,260 / 2,500	4,060 / 4,430	670
1,600	6	2,530	14,300	A ₀ A _k	68	2,070 / 2,500	1,110 / 1,750	2,340 / 2,500	5,190 / 5,560	820
2,000	6	2,990	17,600	A ₀ A _k	72	2,100 / 2,600	1,115 / 1,640	2,380 / 3,095	5,500 / 5,910	820
2,500	6	3,565	20,900	A ₀ A _k	73	2,220 / 2,840	1,270 / 1,870	2,690 / 3,080	6,900 / 7,355	1,070
3,150	6	4,370	24,200	A ₀ A _k	76	2,490 / 2,840	1,305 / 1,870	2,950 / 3,080	9,560 / 10,015	1,070

Other requirements upon request.

ABB Basic IP00 dry-type transformer drawing

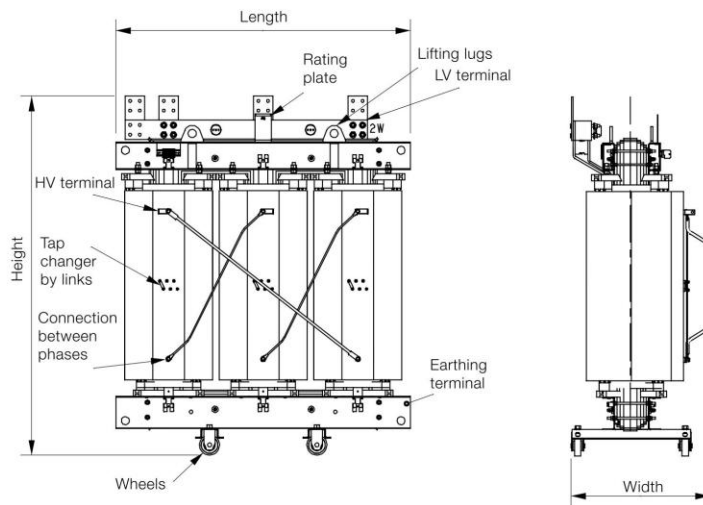
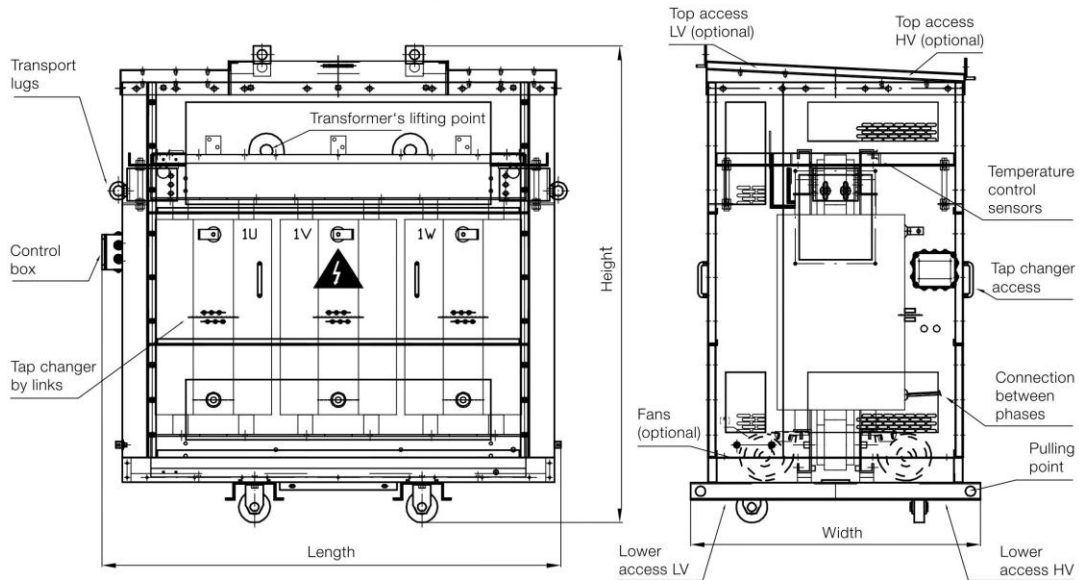


ABB Basic IP21-33 dry-type transformer drawing



3. DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS AL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

TDS 6000kVA AF- S24 690- 50Hz PT1_rev0.xls

ABB		Power Technology, S.A.		TECHNICAL DATA SHEET			
				WindTurbine			
Rev.:	Date:	History:		Prepared by:	Date:	Checked by:	Date:

.- GENERAL FEATURES:

Application:	Windmill
Description:	Dry type vacuum cast resin transformers
Type:	6000/24
Units:	
Reference standards:	IEC726
Reference specification:	N/A
Rated power (AF):	6000 kVA
Rated power (AN):	5000 kVA
Number of phases:	3
Connection symbol:	Dyn11
Frequency:	50 Hz
Partial discharges:	<10 pC
Service rating:	Continuous
Installation:	Indoor
Service factor:	1
Rated voltage ratio:	+/-5% according to IEC 60076-1

.- HIGH VOLTAGE WINDING (1U-1V-1W):

Rated power (AF):	6000 kVA
No load voltage:	20000 V
Tapping:	+/-2.5 +/-5 %
Rated current:	144,3 A
Conductor material:	Aluminium
Technology:	Encapsulated under vacuum
Terminal position:	Bottom part of the transformer
Highest voltage for equipment (Um):	24 kV
Rated short duration power freq. withstand voltage:	50 kV
Rated lightning impulse withstand volt. (peak value):	125 kV

.- LOW VOLTAGE WINDING (2U2-2V2-2W2):

Rated power (AF):	6000 kVA
No load voltage:	690 V
Rated current:	4183 A
Conductor material:	Aluminium
Technology:	Impregnated in epoxi resin
Terminal position:	Upper part of the transformer
Highest voltage for equipment (Um):	1,1 kV
Rated short duration power freq. withstand voltage:	3 kV
Rated lightning impulse withstand volt. (peak value):	N.A.

.- ELECTRICAL AND MECHANICAL FEATURES:

No load losses at 100% Un. at 5000 kVA:	10800 W
Load losses at 120 °C at 5000 kVA:	34200 W
Short-circuit voltage at 6000 kVA and 690 V (+/- tol IEC):	8,00%
Non load current at 100% rated voltage:	< 0,8%
Máx. short-circuit duration:	2 S
Cooling system:	AF
Average temperature rise (HV/LV):	92/92 K
Maximum ambient temperature:	45 °C
Daily average temperature:	35 °C
Yearly average temperature:	25 °C
Yearly average load:	< 50% Pn
Insulation system (HV/LV):	F / F
Advised programmed temperature values for thermal protection:	
Power generator reduction:	150 °C
Generator disconnection:	160 °C
Transformer disconnection:	165 °C
Power noise level:	< 75 dB (A)
Location height:	< 1300 m
Fire behaviour:	F1
Climatic class:	C2 (-25°C to 55 °C)
Environmental class:	E2

TDS 6000kVA AF- S24 690- 50Hz PT1_rev0.xls

ABB Power Technology, S.A.		TECHNICAL DATA SHEET				
		WindTurbine				
Rev.:	Date:	History:	Prepared by:	Date:	Checked by:	Date:
Protection class:			IP00			
Ability to support vibrations:			According to specification			
Anti-corrosion protection:			ISO 12944 C4/high			
.- APPROX. OVERALL DIMENSIONS WITH ACCESSORIES:						
Length:			2670	mm		
Width:			1230	mm		
Height:			2500	mm		
Weight:			9500	kg.		
.- ACCESSORIES:						
HV terminals for connections of surge arresters according to specification (surge arresters non-included)			6 Thermal probes PT100 (two in each phase)			
			1 Marshalling box for PT100 sensors			
			6 Cooling fans with available sensors			
			1 Terminal box for each fan (total 6)			
			Off load tap changer at HV side			
			3 Earthing bullets at HV			
			2 Earthing terminals			

4. CELDA DE MEDIA TENSIÓN



Aparamenta de media tensión para
Soluciones de la Red de Distribución

cgmcosmos

Sistema modular y compacto (RMU)
con aislamiento integral en gas

Hasta 24 kV
Hasta 27 kV

Normas IEC
Normas ANSI / IEEE

Reliable innovation. Personal solutions.

www.ormazabal.com



cgmcosmos
 Sistema Modular y Compacto (RMU) con aislamiento integral en gas

Aparata de MT para
 Soluciones de la Red de Distribución



cgmcosmos-V

Función de protección de interruptor automático con mecanismo de maniobra AV3/AMV3

Celda modular de protección de interruptor automático, equipada con un interruptor automático de corte en vacío de tres posiciones.

Extensibilidad: derecha, izquierda y ambos lados.

Características eléctricas			IEC	
Tensión asignada	U _n	[kV]	12	24
Frecuencia asignada	f _n	[Hz]	50/60	
Corriente asignada				
Interconexión general de embarrado y celdas	I _l	[A]	400/630	
Línea	I _l	[A]	400/630	
Tensión asignada de corta duración soportada a frecuencia industrial (1 min)				
Entre fases y tierra	U _d	[kV]	28	50
A través de la distancia de seccionamiento	U _d	[kV]	38	60
Tensión soportada asignada a impulso tipo rayo				
Entre fases y tierra	U _p	[kV]	75	125
A través de la distancia de seccionamiento	U _p	[kV]	85	145
Clasificación arco interno	IAC	AFL 16 kA 1 s/20* kA 1 s/25 kA 1 s AFL[R] 25 kA 1 s		
Tensión CC soportada		[kV]	48	
Interruptor automático				
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)				
Valor t ₁ = (x) s	I _k	[kA]	16/20* (1/3 s)/25 (1 s)	
Valor de pico	I _p	[kA]	50 Hz: 40/52*/62,5 60 Hz: 41,6/52*/65	
Poder asignado de corte y de cierre				
Poder de corte asignado corriente principalmente activa	I _l	[A]	400/630	
Poder de corte en cortocircuito	I _{cc}	[kA]	16/20*/25	
Poder de cierre del interruptor principal (valor de pico)	I _{ma}	[kA]	50 Hz: 40/52*/62,5 60 Hz: 41,6/52*/65	
Poder de corriente capacitiva (50 Hz). Carga de cable		[A]	31.5	
Secuencia de maniobras nominales				
Sin Reenganche			CO-15 s-CO O-3 min-CO-3 min-CO O-3 min-CO-15 s-CO	
Categoría del interruptor automático				
Endurancia mecánica (clase de maniobra)			2000-M1	
Endurancia eléctrica (clase)			E2-C2** para 25 kA/E2-C1 para 20 kA	
Seccionador de puesta a tierra				
IEC 62271-102				
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito de tierra)				
Valor t ₁ = (x) s	I _k	[kA]	16/20* (1/3 s)/25 (1 s)	
Valor de pico	I _p	[kA]	50 Hz: 40/52*/62,5 60 Hz: 41,6/52*/65	
Poder de cierre del interruptor principal (valor de pico)	I _{ma}	[kA]	50 Hz: 40/52*/62,5 60 Hz: 41,6/52*/65	
Categoría del seccionador de puesta a tierra:				
Endurancia mecánica			1000-M0	
Ciclos de maniobras (cierres en cortocircuito)- clase			5-E2	

* Ensayos realizados a 21 kA/52,5 kA y 25 kA/65 kA

** Para conmutación de carga de cable

* Ensayos realizados a 21 kA/52,5 kA y 25 kA/65 kA ** Para conmutación de carga de cable

Aplicaciones

Protección general y protección de transformador, línea, etc, así como maniobras de conexión o desconexión.





Aparata de MT para
Soluciones de la Red de Distribución

Sistema Modular y Compacto (RMU) con aislamiento integral en gas

cgmcosmos



Configuración

Celda

- ☐ Arco interno IAC AFLR
 - ☐ 25 kA 1 s
- ☐ Arco interno IAC AF/AFL
 - ☐ 16 kA 1 s ☐ 20 kA 1 s
 - ☐ 25 kA 1 s
- ☐ Arco interno: cuba
 - ☐ 16 kA 0,5 s ☐ 16 kA 1 s
 - ☐ 20 kA 0,5 s ☐ 20 kA 1 s
 - ☐ 25 kA - 1 s
- ☐ 1300 mm
- ☐ 1450 mm
- ☒ Celda de 1740 mm de altura

Cuba de gas

- ☒ Cuba de acero inoxidable

Indicador de presión del gas:

- ☒ Manómetro sin contactos
- ☐ Manómetro con contactos y compensación de temperatura

Conexión frontal:

- ☒ Pasatapas de cable

Conexión lateral:

- ☒ Extensibilidad a ambos lados
- ☐ Extensibilidad a la izquierda / derecha ciega
- ☐ Extensibilidad a la derecha / izquierda ciega

Tipo de conexión lateral:

- ☐ Tulipa
 - ☐ Derecha ☐ Izquierda ☒ Ambas
- ☐ Pasatapas
 - ☐ Derecha ☐ Izquierda ☐ Ambas

Mecanismos de maniobra

- ☒ Palancas de accionamiento
- ☒ Mecanismo manual tipo AV3
- ☐ Mecanismo motorizado tipo AVM3
- ☐ Bobina de disparo
- ☒ Bobina biestable
- ☐ 2.ª bobina de disparo
- ☐ Bobina de cierre

- ☒ Estándar
☐ Opcional

- ☐ Alarma sonora **ekor.sas**
- ☒ Indicador capacitivo de presencia de tensión **ekor.vpis**
- ☐ Indicador capacitivo de presencia / ausencia de tensión **ekor.ivds**
- ☒ Unidad de protección **ekor.rpg**
- ☐ Unidad de detección de tensión **ekor.rtk**

Enclavamientos adicionales:

- ☐ Enclavamientos eléctricos
- ☐ Enclavamientos con cerradura
- ☐ Candados

Compartimento de cables

- ☒ Pasatapas IEC de tipo atornillable
- ☐ Pasatapas IEC de tipo enchufable
- ☐ Pasatapas ANSI de tipo atornillable
- ☒ Tapa para un conector por fase
- ☐ Detección de descargas parciales (DP) para el diagnóstico de la red

Cajón de Control

- ☐ Otros indicadores de tensión
- ☐ Otros relés de protección
- ☐ Otros componentes de medida y automatización

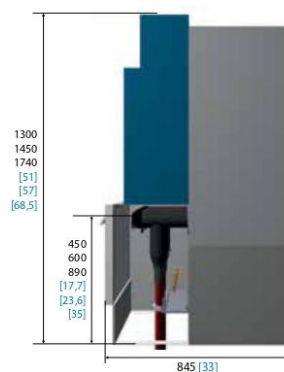
Dimensiones



IEC



[mm]
[pulg.]



205/210/215 kg



cgmcosmos
 Sistema Modular y Compacto (RMU) con aislamiento integral en gas

Aparata de MT para
 Soluciones de la Red de Distribución



cgmcosmos-rC

Función de remonte de cables

Celda modular de remonte de cables (hasta el embarrado principal). con aislamiento en aire. Función de remonte de doble cable opcional (r2c).

Extensibilidad: Derecha o izquierda.

Características eléctricas			IEC		ANSI/IEEE	
Tensión asignada	U _i	[kV]	12*	24	15.5	27
Frecuencia asignada	f _i	[Hz]	50/60		50/60	
Corriente asignada						
Línea	I _L	[A]	400/630		600	
Clasificación arco interno	IAC		AFL 20** kA 1 s/25 kA 1 s AFL[R] 20** kA 1 s		AFL 20** kA 1 s/25 kA 1 s	

* También disponible con U_i = 7.2 kV bajo demanda

** Ensayos realizados a 21 kA/52.5 kA.

* También disponible con U_i = 7,2 kV bajo demanda

** Ensayos realizados a 21 kA/52,5 kA.

Aplicaciones

Alojamiento de los cables de acometida hasta el embarrado principal del centro de transformación, en el lado derecho (r2d) o en el lado izquierdo (r2i).

Configuración

Celda

- ☐ IAC AFL 20 kA 1 s
- ☐ IAC AFL 25 kA 1 s
- ☐ IAC AFLR 20 kA 1 s
- ☒ Celda de 1740 mm de altura

Conectividad

- ☐ Extensibilidad: Derecha r2d o izquierda r2i

Indicadores

- ☐ Indicador capacitivo de tensión **ekor.vips**
- ☐ Indicador capacitivo de tensión **ekor.ivds**
- ☐ Enclavamientos con cerradura

Opciones

cgmcosmos-r2c (sin opción de clase IAC)

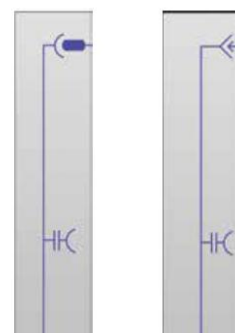
Unidad funcional de remonte de doble cable (anchura=550 mm, peso=60 kg)



cgmcosmos-cl

Cajón de acometida lateral (anchura=365 mm, peso=20 kg)

Dimensiones

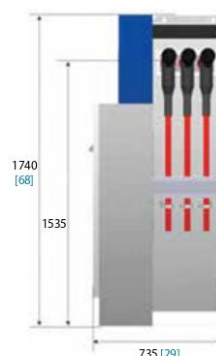


IEC

ANSI/IEEE

365
[14]

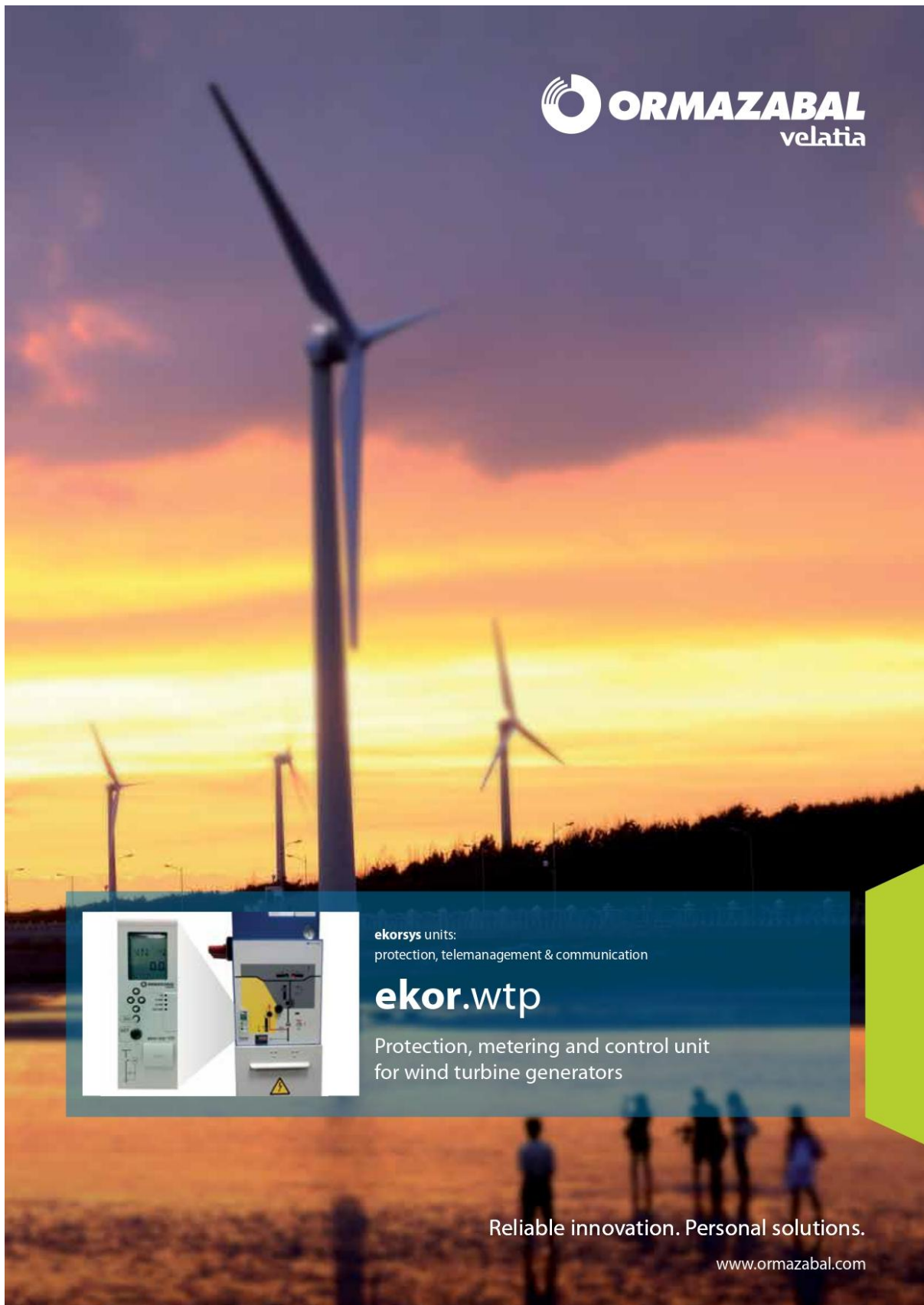
[mm]
[pulg.]



40 kg
88 Lbm

☒ Estándar
☐ Opcional





ORMAZABAL
velatia

ekorsys units:
protection, telemanagement & communication

ekor.wtp

Protection, metering and control unit
for wind turbine generators

Reliable innovation. Personal solutions.
www.ormazabal.com



ekor.wtp
 Protection, metering and control unit
 for wind turbine generators

ekorsys units:
 protection, telemanagement & communication



Preface

Based on the state of the art on its own relay ekorsys family, the dual & self powered **ekor.wtp** protection, metering and control unit combines a full range of equipment to form comprehensive wind turbine generator protection units.

The constantly increasing demands in wind farms result in new requirements for both MV switchgear and associated protection functions. The **ekor.wtp** range is designed through each phase of its life cycle to respond to the variously changing demands of a wind turbine generator:

From its design phase to the operation and maintenance phase during the total working hours of a wind turbine generator, the **ekor.wtp** non-stopped optimizes the performance and energy production of on/offshore WTGs, improves turbine reliability and grid service capacity, while keeping them protected against electrical faults.

Features

- » In cubicle integrated solution
- » Factory-installed, set and checked equipment
- » Minimization of wiring errors and commissioning time
- » Modular functionality
- » Self-powered protection features
- » Scalable automatisms
- » Remote control & comms
- » Reliability
- » MTBF optimization
- » Programmable automatisms vs wired ones
- » Functional at low temperatures
- » Personnel safety
- » Programmable automation
- » Alarms

Design



I. ekor.wtp

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1 Screen | 4 ESCAPE button |
| 2 Menu keypad | 5 COMMS ports |
| 3 SET button | 6 Status LEDs |

II. Switchgear

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 7 Circuit breaker | 10 Current sensors |
| 8 Earthing switch | 11 MV cable voltage sensor (ekor.evt-c) |
| 9 Voltage indicator: ekor.vpis/vvds | 12 MV busbar voltage sensor (ekor.evt-c) |

Wind turbine approach

Design

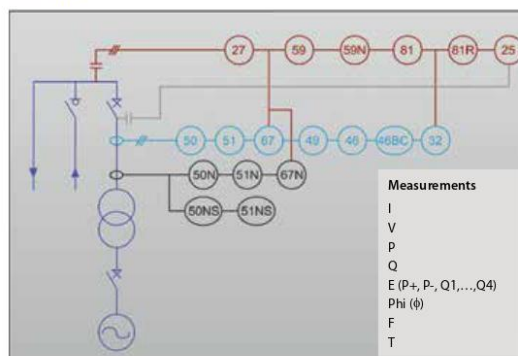
- » Wind Turbine Protection:
 - » Self-powered relay for overcurrent protection on every earthing system
 - » Trip acceleration for internal faults
 - » High reliability tripping
 - » Trip block on inrush current
 - » Watch-dog
 - » Harsh environment performance
 - » Scalable & compact solution
- » Grid code compliance:
 - » Sequential reconnection
 - » Voltage dips
- » Tailor-made solutions:
 - » Low temperature disconnection/reconnection
 - » Extreme weather events automation
 - » Integration with other devices and information exchange

Operation & Maintenance

- » Remote control and operation
- » Access through webserver
- » Faults and events register
- » Oscillography
- » MV measurements
- » Diagnosis tools:
 - » Installation insulation: compatibility with partial discharge measurements
 - » Power transformer ageing: MV/LV measurements
- » Personnel safety: interlocking automation, alarms, etc.

ANSI functions diagram

ekor.wtp protection functions.



Manufacturing

- » Solution fully-assembled & tested in factory
- » Factory testing reports

Commissioning

- » Reduced commissioning:
 - » Compact solution prSe-tested in factory
 - » CTs installed around the bushings from factory
- » Event & fault log





ekorsys units:
protection, telemanagement & communication

ekor.wtp
Protection, metering and control unit
for wind turbine generators



Technical characteristics							
ekor.wtp				ekor.wtp-110	ekor.wtp-120	ekor.wtp-210	ekor.wtp-220
General characteristics							
Dual power supply		Self-powered/230 V _{ac} /24/48/125 V _{dc}		●	●	●	●
Current analog inputs				4 + I _g ⁽¹⁾	4 + I _g ⁽¹⁾	4 + I _g ⁽¹⁾	4 + I _g ⁽¹⁾
Voltage analog inputs		V _{M/Busbar}	V _{generator}	3 + V _g ⁽¹⁾	3 + V _g ⁽¹⁾	3 + V _g ⁽¹⁾ + 3 + V _g ⁽¹⁾	3 + V _g ⁽¹⁾ + 3 + V _g ⁽¹⁾
External fail safe trip inputs				2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾
Configurable digital inputs/outputs				0/2	0/2	8/4	8/4
Setting groups				1	1	2	2
Protection functions							
50 - 51		50N - 51N		● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾
50Ns - 51Ns				○ ⁽²⁾	○ ⁽²⁾	○ ⁽²⁾	○ ⁽²⁾
51G						● ⁽²⁾	● ⁽²⁾
49	46	46BC				●	●
67		67N			● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾
67Ns					○ ⁽²⁾	○ ⁽²⁾	○ ⁽²⁾
27	59	59N					●
81O	81U	81R	32				●
25							○
Wind turbine applications							
High reliability alarms/trips				2 (fail safe)	2 (fail safe)	2 (fail safe)	2 (fail safe)
Watch-dog (WD)				●	●	●	●
Trip blocked by 2 nd harmonic				● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾
Trip acceleration					● ⁽²⁾	● ⁽²⁾	● ⁽²⁾
Sequential reconnection automation						○	○
Voltage dips management (acc. to grid code)						○	○
Safety interlockings						○	○
Temperature automation						○	○
Measurements							
Current							
Voltage		Active/Reactive power			●	●	●
Energy P+, P-, Q1,...,Q4		Frequency				●	●
Phi angle (φ)					●	●	●
Temperature						○	○
Current & voltage THD						●	●
Control and supervision							
Circuit Breaker control & operation		Locking-out (86)				●	●
Trip coil supervision (TCS)		Voltage presence/absence				○	○
Events record						4000	4000
Fault record				10	10	10 (advanced)	10 (advanced)
Oscillography						●	●
LEDs/Configurable LEDs				4/0	4/0	8/2	8/2
Configuration through software				●	●	●	●
Configuration through web						●	●
Front communication ports				● miniusb	● miniusb	● miniusb ○ RJ45	● miniusb ○ RJ45
Rear communication ports						● RS485 ○ RJ45	● RS485 ○ RJ45
Communications							
MODBUS-RTU		MODBUS-TCP		PROCOME		●	●
DNP3 Serial		DNP3 TCP				●	●
IEC 60870-5-101		IEC 60870-5-104				●	●
IEC 61850						○	○
Configuration:				Notes:			
● Standard				⁽¹⁾ Calculated			
○ Optional				⁽²⁾ Self powered			

Configuration:
● Standard
○ Optional

Notes:
⁽¹⁾ Calculated
⁽²⁾ Self powered





Oferta: WF offshore
Ref.: CO-

3/7

1 Descripción Técnica

1.1 Productos

CELDA MT

- 1 Conjunto de celdas modulares tipo CGMCOSMOS, esquema 0L1V, de corte y aislamiento en SF₆, de características eléctricas 24 kV, 630 A, 20 kA, de dimensiones totales: 845 mm. de ancho, 850 mm. de fondo y 1.740 mm. de alto, IAC AFL 20kA (1s). Sistema de pintura C5. Compuesto por:

- 1 Celda modular de remonte de cables al embarrado por la derecha, tipo CGMCOSMOS RCd, de ORMAZABAL, de dimensiones 365 mm. de ancho por 1.740 mm. de alto por 735 mm. de fondo, conteniendo en su interior debidamente montados y conexiados los siguientes materiales:
 - 3 Captosres capacitivos de presencia de tensión de 24 kV.
 - s/n Enclavamiento con cerradura en acceso a compartimento de cables (se suministra cerradura montada en celda y dos llaves sueltas).
 - s/n Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación.
 - s/n Accesorios y pequeño material.
- 1 Celda modular de protección con interruptor automático y acometida lateral izquierda, tipo CGMCOSMOS VI de Ormazabal, de aislamiento íntegro en SF₆, de 560 mm. de ancho por 1.740 mm. de alto por 819 mm. de fondo, conteniendo en su interior debidamente montados y conexiados los siguientes aparatos y materiales:
 - 1 Interruptor automático en VACIO, marca ORMAZABAL, V_n = 24 kV, I_n = 630 A, I_{cc} = 20 kA, mando manual, con bobina de disparo (220 Vac) y contactos auxiliares.
 - 1 Seccionador de PUESTA A TIERRA, V_n = 24 kV, I_n = 630 A, capacidad de cierre sobre cortocircuito 50 kA cresta, mando manual, marca ORMAZABAL.
 - 1 Relé de protección de 3F+N (50-51/50N-51N) ekor.WTP.
 - 3 Transformadores de intensidad toroidales para protección (incorporados en los pasatapas).
 - 3 Captosres capacitivos de presencia de tensión de 24 kV.
 - 3 Pasatapas en el lateral izquierdo de la celda para llegada con cable seco mediante conector atornillable de 630 A.
 - s/n Enclavamiento con cerradura enclavada con el seccionador de puesta a tierra en cerrado (se suministra cerradura montada en celda y dos llaves sueltas).
 - s/n Embarrado para 630 A.
 - s/n Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación.
 - s/n Accesorios y pequeño material.

06.06.2019

Pol. Ind. San Marcos. C/Morse, 22 (Esq. Franklin) – 28906 Getafe, Madrid (Spain)
www.ormazabal.com

Ormazabal



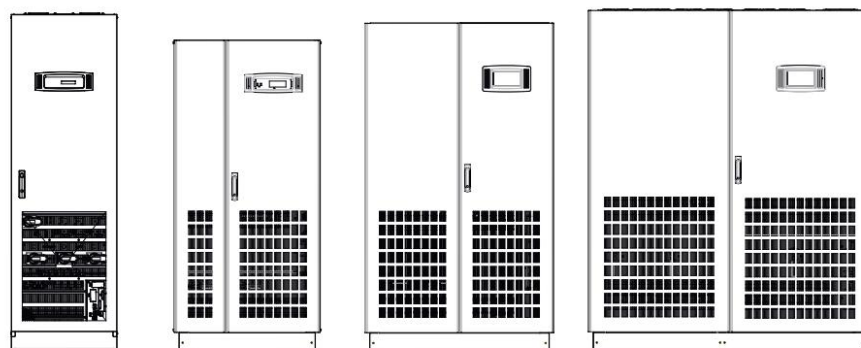
5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA

62

ABB UPS PRODUCTS AND SOLUTIONS PRODUCT CATALOG IEC

PowerWave 33

Available models



Cabinet type	60–120 kW	160–200 kW	250–300 kW	400–500 kW
Dimension w × h × d	615 × 1975 × 480 mm	850 × 1820 × 750 mm	1100 × 1920 × 750 mm	1650 × 1994 × 850 mm
Footprint	0.3 m ²	0.64 m ²	0.82 m ²	1.4 m ²

UPS cabinet configuration

- Online double conversion UPS
- HMI interface with mimic diagram and LCD (60–200 kW)
- Graphical touch screen display (250–500 kW units)
- Input, bypass and battery protection fuses
- Manual bypass switch (optional for the units 400–500 kW)
- Single- and dual-input feed available
- Communication interfaces: RS-232 port and 5 input dry contacts (incl. EPO and GEN On)

Options

- Integrated back-feed protection
- Parallel system kit
- Synchronization kit
- Battery temperature sensor
- Remote panel (graphical touch screen display)
- Halogen-free cabling
- IP21
- Control and monitoring (relay card, ModBus RS-485, ModBus TCP/IP, SNMP)
- External battery cabinets
- Top cable entry enclosure (400–500 kW units)

98

6. MOTORES DE SISTEMAS DE PASO Y ORIENTACIÓN



CATÁLOGO | JUNIO DE 2019

Baja tensión

Motores de aplicación general



Datos técnicos

Motores de fundición de hierro de aplicación general IE3

IP 55 - IC 411 - Aislamiento de clase F, incremento de temperatura de clase B

Clase de eficiencia IE3 de acuerdo con IEC 60034-30-1; 2014

Potencia kW	Tipo de motor	Código de producto	Velo- cidad r/min	Eficiencia IEC 60034-30-1; 2014			Factor de po- tencia Cosφ	Corriente		Par		Momento de inercia J = 1/4 GD²kgm²	Peso kg	Nivel de presión acústica L _{pa} dB	
				Plena carga 100%	3/4 de carga 75%	1/2 de carga 50%		I _N A	I _s /I _N	T _N Nm	T _i /T _N				T _b /T _N
				400 V 50 Hz				Diseño CENELEC							
1000 r/min = 6 polos															
0,18	M2BAX 71MB 6	3GBA073320---D	931	63,9	60	53,2	0,69	0,6	3,8	1,87	2,1	2,6	0,00103	10 39	
0,25	M2BAX 71MLA 6	3GBA073410---D	926	68,6	66,3	60,9	0,67	0,8	4,3	2,58	2,6	2,9	0,0014	13 46	
0,37	M2BAX 80MC 6	3GBA083330---D	940	73,5	71,2	66,4	0,67	1,08	5,8	3,77	2,8	3,2	0,0024	17 42	
1,1	M2BAX 90LB 6	3GBA093520---D	954	81	79,2	75,5	0,63	3,13	6	11,05	3,3	3,8	0,00643	30 53	
1,5	M2BAX 100LKA 6	3GBA103810---D	955	82,5	82	79,7	0,66	3,95	5,4	15,01	2,8	3,1	0,00975	37 48	
2,2	M2BAX 112MLA 6	3GBA113410---D	957	84,3	83,6	81,5	0,65	5,85	6,7	21,84	2,9	3,7	0,013	46 49	
3	M2BAX 132SMA 6	3GBA133210---D	968	85,6	86,3	84,9	0,68	7,33	6,8	29,58	2,2	3,2	0,0291	65 48	
4	M2BAX 132SMB 6	3GBA133220---D	972	86,8	86,8	84,9	0,65	10,1	7	39,32	2,7	3,6	0,0343	71 52	
5,5	M2BAX 132MLA 6	3GBA133410---D	974	88	87,4	86	0,67	13,5	7,3	54,2	2,9	3,5	0,0511	97 65	
7,5	M2BAX 160MLA 6	3GBA163410---F	979	89,1	89,5	88,9	0,75	15,9	7,6	73,39	1,8	3,1	0,099	131 59	
11	M2BAX 160MLB 6	3GBA163420---F	976	90,3	91,3	91,3	0,78	22,5	7,8	107,71	1,9	3	0,134	161 57	
15	M2BAX 180MLA 6	3GBA183410---F	971	91,2	91,8	91,2	0,75	31,8	9,4	146,02	2,3	3,6	0,162	197 63	
18,5	M2BAX 200MLA 6	3GBA203410---F	978	91,7	92,1	91,5	0,75	38,8	6,7	180,06	2,1	2,8	0,207	208 64	
22	M2BAX 200MLB 6	3GBA203420---F	978	92,2	92,5	91,8	0,75	45,9	7,3	213,75	2,3	3	0,255	251 62	
30	M2BAX 225SMA 6	3GBA223210---F	988	92,9	93,3	92,7	0,79	59	8,2	290,09	2,9	3,3	0,592	286 63	
37	M2BAX 250SMA 6	3GBA253210---F	986	93,3	93,6	93,1	0,79	72,4	8,5	353,33	3,3	3	0,83	360 64	
45	M2BAX 280SMB 6	3GBA283220---M	991	93,7	94	93,5	0,84	81,9	7,4	433	2,7	3	1,87	562 72	
55	M2BAX 280SMC 6	3GBA283230---M	993	94,1	94,3	93,8	0,86	98,2	7,5	530	2,8	3	2,57	615 71	
75	M2BAX 315SMB 6	3GBA313220---M	994	94,6	94,9	94,6	0,84	136	6,8	720	1,8	2,6	4,1	791 75	
90	M2BAX 315SMC 6	3GBA313230---M	994	94,9	95,1	94,7	0,84	164	7,2	864	2	3	4,6	859 76	
110	M2BAX 315SMD 6	3GBA313240---M	994	95,1	95,3	95	0,83	200	7,3	1056	2,2	3,1	4,9	912 75	
132	M2BAX 315MLB 6	3GBA313420---M	995	95,4	95,5	95,1	0,82	242	7,3	1266	2,3	3,2	6,3	1068 72	
160	M2BAX 355SMA 6	3GBA353210---M	993	95,6	95,9	95,6	0,82	292	6,7	1538	2,5	2,6	7,9	1348 75	
200	M2BAX 355SMB 6	3GBA353220---M	993	95,8	96,2	96,1	0,82	365	6,7	1923	2,6	2,5	9,7	1512 75	
250	M2BAX 355SMC 6	3GBA353230---M	993	95,8	96,1	95,8	0,81	464	7,7	2404	3	3,1	11,3	1656 75	

Resumen de características

Motores de fundición de hierro, tamaños 71 - 112

Tamaño del motor	M2BAX	71	80	90	100	112
Carcasa	Material	Fundición de hierro				
	Color de la pintura	Azul Munsell 8B 4,5/3,25				
	Clase de corrosión	C3 media				
Patas	Material	Fundición de hierro integradas				
Rodamientos	Lado de acople	6203-2Z/C3	6204-2Z/C3	6205-2Z/C3	6206-2Z/C3	6206-2Z/C3
	Lado ventilador	6202-2Z/C3	6203-2Z/C3	6204-2Z/C3	6205-2Z/C3	6205-2Z/C3
Rodamientos bloqueados axialmente		Bloqueado en lado de acople con anillo de retención				
Obturación del rodamiento	Lado de acople	Anillo en V				
	Lado ventilador	Anillo en V				
Lubricación		Rodamientos lubricados de por vida				
Boquillas de medición para monitorización del estado de los rodamientos		No se incluye				
Placa de características	Material	Acero inoxidable				
Caja de bornes	Material	Acero				
	Clase de corrosión	C3 media				
	Tornillos de cubierta	Acero zincado				
Conexiones	Aperturas roscadas	2xM16, 1xM16	2xM25, 1xM16	2xM32, 1xM16		
	Área Cu máx. mm	4	6	10		
	Terminales	6 terminales para conexión con terminales para cables (no se incluyen)				
	Prensaestopas	Prensaestopas opcionales				
Ventilador	Material	Polipropileno reforzado con fibra de vidrio				
Cubierta de ventilador	Material	Acero				
	Color de la pintura	Azul Munsell 8B 4,5/3,25				
	Clase de corrosión	C3 media				
Bobinado del estator	Material	Cobre				
	Aislamiento	Clase de aislamiento F. Incremento de temperatura de clase B a menos que se establezca lo contrario.				
	Protección del bobinado	3 termistores PTC, 150°C				
Bobinado del rotor	Material	Aluminio inyectado a presión				
Método de equilibrado		Equilibrado a media chaveta de serie				
Chavetero		Chavetero cerrado				
Agujeros de drenaje		Agujeros de drenaje con tapones de plástico que pueden cerrarse, abiertos en la entrega				
Grado de protección		Protección mayor de IP 55 bajo pedido				
Método de refrigeración		IC 411				
Cáncamos de elevación		Cáncamos de elevación de fundición de hierro integrados				

Resumen de características

Motores de fundición de hierro, tamaños 132 - 250

Tamaño del motor	M2BAX	132	160	180	200	225	250
Carcasa	Material	Fundición de hierro					
	Color de la pintura	Azul Munsell 8B 4,5/3,25					
	Clase de corrosión	C3 (media)					
Patás	Material	Patás de fundición de hierro integradas					
Rodamientos	Lado de acople	6208-2Z/C3	6209-2Z/C3	6210-2Z/C3	6212/C3	6213-2Z/C3	6215-2Z/C3
	Lado ventilador	6208-2Z/C3	6209-2Z/C3	6209-2Z/C3	6209-2Z/C3	6210-2Z/C3	6212-2Z/C3
Rodamientos bloqueados axialmente		Bloqueado en lado de acople con anillo de retención					
Obturación del rodamiento	Lado de acople	Anillo en V					
	Lado ventilador	Anillo en V					
Lubricación		Rodamientos lubricados de por vida					
Boquillas de medición para monitorización del estado de los rodamientos		No se incluye					
Placa de características	Material	Acero inoxidable					
Caja de bornes	Material	Acero					
	Clase de corrosión	C3 (media)					
	Tornillos de cubierta	Acero zincado					
Conexiones	Aperturas roscadas	2xM32	2xM40, 1xM16	2xM63, 1xM16			
	Terminales	6 terminales para conexión con terminales para cables (no se incluyen)					
	Prensaestopas	Prensaestopas opcionales	Brida de cables incluida, prensaestopas opcionales				
Ventilador	Material	Polipropileno reforzado con fibra de vidrio					
Cubierta de ventilador	Material	Acero					
	Color de la pintura	Azul Munsell 8B 4,5/3,25					
	Clase de corrosión	C3 (media)					
Método de equilibrado	Material	Cobre					
	Aislamiento	Clase de aislamiento F. Incremento de temperatura de clase B a menos que se establezca lo contrario.					
	Protección del bobinado	3 termistores PTC, 150 °C					
Bobinado del rotor	Material	Aluminio inyectado a presión					
Método de equilibrado		Equilibrado a media chaveta de serie					
Chaveteros		Chavetero abierto					
Agujeros de drenaje		Agujeros de drenaje con tapones de plástico que pueden cerrarse, abiertos en la entrega					
Grado de protección		Protección mayor de IP 55 bajo pedido					
Método de refrigeración		IC 411					
Cáncamos de elevación		Cáncamo de elevación de fundición de hierro integrado					

7. VARIADORES DE FRECUENCIA DE SISTEMAS DE PASO Y ORIENTACIÓN



CONVERTIDORES DE FRECUENCIA DE BAJA TENSIÓN DE CA

Convertidores de frecuencia de propósito general ABB

ACS580, de 0,75 a 500 kW



Interfaz estándar y extensiones para conectividad enchufable

Los convertidores de frecuencia ACS580 ofrecen una amplia gama de interfaces estándar. Además, el convertidor dispone de dos ranuras opcionales que pueden usarse para ampliaciones, como los adaptadores de bus de campo y los módulos de ampliación de entradas/salidas que permiten un suministro externo de +24 V con tamaño de bastidores R1 a R5. Para más información, consulte El manual de usuario del ACS580.



Esquema de conexión de E/S predeterminado de fábrica

Terminal	Significado	Conexiones de macros por defecto
XI Tensión de referencia y entradas y salidas analógicas		
1	SCR	Blindaje del cable de señal (apantallamiento)
2	AI1	Referencia de frecuencia externa1: de 0 a 10 V
3	AGND	Común del circuito de salida analógica
4	+10 V	Tensión de referencia de salida 10 V CC
5	AI2	Sin uso
6	AGND	Común del circuito de salida analógica
7	AO1	Frecuencia de salida: de 0 a 20 mA
8	AO2	Intensidad de salida: de 0 a 20 mA
9	AGND	Común del circuito de salida analógica
X2 y X3 Salida de tensión aux. y entradas digitales programables		
10	+24 V	Salida de tensión auxiliar +24 V CC
11	DGND	Salida de tensión auxiliar común
12	DCOM	Común de todas las señales digitales
13	DI1	Arranque/parada: Activar para arrancar
14	DI2	Av./Ret.: activar para invertir el sentido de giro
15	DI3	Selección vel. constante
16	DI4	Selección vel. constante
17	DI5	Selección del par de rampa: Activar para seleccionar el segundo par
18	DI6	Sin uso
X6, X7, X8 Salidas de relé		
19	RO1C	Listo
20	RO1A	250 V CA/30 V CC
21	RO1B	2 A
22	RO2C	En marcha
23	RO2A	250 V CA/30 V CC
24	RO2B	2 A
25	RO3C	Fallo (-1)
26	RO3A	250 V CA/30 V CC
27	RO3B	2 A
X5 EIA-485 Modbus RTU		
29	B+	Interfaz del bus de campo Modbus RTU integrado
30	A-	
31	DGND	
X4 Safe Torque Off		
34	OUT1	Safe Torque Off Ambos circuitos deben estar cerrados para que arranque el convertidor. Los circuitos se cierra con cables puente en la entrega estándar.
35	OUT2	
36	SGND	
37	IN1	
38	IN2	
X10* 24 V CA/CC		
40	24 V	Ext. CA/CC-in. Entrada de 24 V CA/CC para encender la unidad de control cuando la red principal se desconecta
41	24 V	CA/CC+in.

* Los terminales 40-41 van integrador en bastidores de tamaños R6-R11. Para tamaños de bastidor R1-R5, se necesitan opciones de E/S (+L).

Especificaciones técnicas

Conexión a la red eléctrica		Límites ambientales	
Tensión de entrada y rango de potencia de salida	Trifásica, U_L 380 a 480 V, +10 %/-15 % ACS580-01: de 0,75 hasta 250 kW ACS580-04: de 250 hasta 500 kW ACS580-07: de 75 hasta 500 kW Autoidentificación de la tensión de alimentación	Temperatura ambiente	
Frecuencia	de 48 a 63 Hz	Transporte	de -40 a +70 °C
Factor de potencia	$\cos \varphi = 0,98$	Almacenamiento	de -40 a +70 °C
Eficiencia (a potencia nominal)	98 %	Área de servicio	ACS580-01: de -15 °C a +50 °C. No se permite escarcha De R1 a R9 de +40 a +50 °C con derrateo ACS580-04: de -15 °C a +55 °C. No se permite escarcha De R10 a R11 de +40 a +55 °C con derrateo ACS580-07: de 0 °C a +40 °C. No se permite escarcha De R6 a R11 de +40 a +50 °C con derrateo
Conexión del motor		Método de refrigeración	
Tensión	Trifásica, de 0 a la tensión de alimentación	Refrigerado por aire	Aire limpio seco
Frecuencia	de 0 a 500 Hz	Altitud	
Control del motor	Control escalar y vectorial	de 0 a 1.000 m	Sin derrateo
Control del par	Tiempo de incremento de escalón de par: < 10 ms con par nominal No linealidad: $\pm 5\%$ con par nominal	1.000 a 4.000 m	Con derrateo del 1 %/100 m
Control de velocidad	Precisión estática: 20 % del deslizamiento nominal del motor Precisión dinámica: 1 % segundos con escalón de par del 100 %	Humedad relativa	del 5 % al 95 %, sin condensación
Garantía		Grado de protección	
24 meses de garantía			ACS580-01: IP21 de serie. IP55 como opción (bastidores R1 a R9) ACS580-04: IP00 de serie. IP20 como opción (bastidores R10 a R11) ACS580-07: Bastidores R6 a R11 instalados en armario: IP21 de serie. IP42 e IP54 como opciones
Cumplimiento de normativas del producto		Seguridad funcional	
CE Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE, EN 61800-5-1: 2007 Directiva de Máquinas 2006/42/CE, EN 61800-5-2: 2007 Directiva CEM 2004/108/CE, EN 61800-3: 2004 + A1: 2012 Directiva RoHS 2011/65/UE Sistema de control de calidad ISO 9001 y sistema de gestión medioambiental ISO 14001 Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) Directiva RoHS 2011/65/UE UL, EAC, RCM, UL, cUL TUV Nord (funciones de seguridad)			Safe Torque Off (STO según EN 61800-5-2) IEC 61508 ed2: SIL 3, IEC 61511: SIL 3, IEC 62061: SIL CL 3, EN ISO 13849-1: PL e
CEM según EN 61800-3 2004 + A1: 2012		Niveles de contaminación	No se permite polvo conductor
Bastidores R1 a R9 con filtro de categoría C2 integrado de serie Bastidores R10 a R11 con opción de filtro de categoría C3 integrado y preconfigurado		Almacenamiento	IEC 60721-3-1 Clase 1C2 (gases químicos). Clase 1S2 (partículas sólidas)*
		Funcionamiento	IEC 60721-3-3 Clase 3C2 (gases químicos). Clase 3S2 (partículas sólidas)*
		Transporte	IEC 60721-3-2 Clase 2C2 (gases químicos). Clase 2S2 (partículas sólidas)*
		*C = sustancias químicamente activas S = sustancias mecánicamente activas	

Dimensiones

ACS580-01 IP21

Bastidores	Altura		Anchura		Profundidad		Peso	
	H1* (mm)	in	H2** (mm)	in	mm	in	kg	lb
R1	375	14,8	311	12,2	125	4,9	223	8,8
R2	473	18,6	432	17,0	125	4,9	229	8,9
R3	490	19,3	490	19,3	203	8,0	229	8,9
R4	636	25,0	636	25,0	203	8,0	258	10,2
R5	732	28,8	732	28,8	203	8,0	295	11,6
R6	726,5	28,6	726,5	28,6	252	9,9	369	14,5
R7	880	34,6	880	34,6	284	11,2	370	14,6
R8	965	38,0	965	38,0	300	11,8	393	15,5
R9	955	37,6	955	37,6	380	15,0	418	16,5

* Altura frontal del convertidor con caja de prensaestopas

** Altura frontal del convertidor sin caja de prensaestopas



ACS580-01 IP55 (opción +B056)

Bastidores	Altura*		Anchura		Profundidad		Peso	
	mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb
R1	403	15,9	128	5,0	233	9,2	4,8	10,6
R2	503	19,8	128	5,0	239	9,4	6,8	15,0
R3	490	19,3	206	8,1	237	9,3	13,0	28,7
R4	600	23,6	203	8,0	265	10,2	20	44,1
R5	732	28,8	203	8,0	320	12,6	29	64,0
R6	727	28,6	252	9,9	380	15,0	43	94,8
R7	880	34,6	284	11,2	381	15,0	56	123,5
R8	965	38,0	300	11,8	452	17,8	77	169,8
R9	955	37,6	380	15,0	477	18,78	103	227,1

* Altura frontal del convertidor con caja de prensaestopas

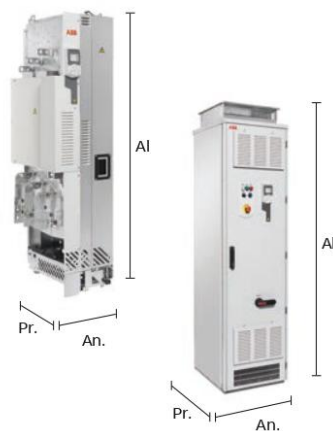


ACS580-04 IP00

Bastidores	Altura		Anchura		Profundidad		Peso	
	mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb
R10	1462	57,6	350	13,8	529	20,8	162	357,2
R11	1662	63,4	350	13,8	529	20,8	200	440,9

ACS580-07 IP21

Bastidores	Altura		Anchura		Profundidad		Peso	
	mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb
R6	2145	84,4	430	16,9	673	26,5	210	463
R7	2145	84,4	430	16,9	673	26,5	220	485
R8	2145	84,4	530	20,9	673	26,5	255	562
R9	2145	84,4	530	20,9	673	26,5	275	606
R10	2145	84,4	830	32,7	698	27,5	535	1179
R11	2145	84,4	830	32,7	698	27,5	581	1280



Refrigeración y fusibles

Refrigeración

Los convertidores de frecuencia ACS580 cuentan con ventiladores de refrigeración por aire de velocidad variable. El aire de refrigeración debe estar exento de materiales corrosivos y no superar la temperatura ambiente máxima de 40 °C para bastidores R1 a R9 (50 °C con derrateo). Los ventiladores con control de velocidad refrigeran el convertidor solo cuando es necesario, por lo que se reduce el nivel de ruido global y el consumo de energía.

Conexiones de fusibles

Pueden utilizarse fusibles universales con los convertidores ABB de propósito general. La tabla siguiente informa sobre los fusibles de entrada recomendados.

Convertidores ACS580-01 para montaje en pared

Caudal de aire de refrigeración y fusibles de entrada recomendados para la protección de las unidades de 380 a 415 V										
Designación tipo	Tamaño de bastidor	Caudal de aire de refrigeración, unidades de 380 a 415 V					Fusibles de entrada recomendados para unidades de 380 a 415 V***			
		Disipación de calor*		Caudal de aire		Máx. nivel de ruido**	Fusibles IEC		Fusibles UL	
		W	BTU/Hr	m3/h	pies3/min	dBA	A	Tipo de fusible	A	Tipo de fusible
ACS580-01-02A7-4	R1	45	155	43	25	55	4	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-03A4-4	R1	55	187	43	25	55	6	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-04A1-4	R1	66	224	43	25	55	6	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-05A7-4	R1	84	288	43	25	55	10	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-07A3-4	R1	106	362	43	25	55	10	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-09A5-4	R1	133	454	43	25	55	16	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-12A7-4	R1	174	593	43	25	55	16	gG	15	UL Clase T
ACS580-01-018A-4	R2	228	777	101	59	66	25	gG	30	UL Clase T
ACS580-01-026A-4	R2	322	1100	101	59	66	32	gG	30	UL Clase T
ACS580-01-033A-4	R3	430	1469	179	105	70	40	gG	40	UL Clase T
ACS580-01-039A-4	R3	525	1791	179	105	70	50	gG	60	UL Clase T
ACS580-01-046A-4	R3	619	2114	179	105	70	63	gG	60	UL Clase T
ACS580-01-062A-4	R4	835	2852	134	79	69	80	gG	80	UL Clase T
ACS580-01-073A-4	R4	1024	3497	134	79	69	100	gG	90	UL Clase T
ACS580-01-088A-4	R5	1240	4235	139	82	63	100	gG	110	UL Clase T
ACS580-01-106A-4	R5	1510	5157	139	82	63	125	gG	150	UL Clase T
ACS580-01-145A-4	R6	1476	5041	435	256	67	160	gG	200	UL Clase T
ACS580-01-169A-4	R7	1976	6748	450	265	67	250	gG	225	UL Clase T
ACS580-01-206A-4	R7	2346	8012	450	265	67	315	gG	300	UL Clase T
ACS580-01-246A-4	R8	3336	11393	550	324	65	355	gG	350	UL Clase T
ACS580-01-293A-4	R8	3936	13442	550	324	65	425	gG	400	UL Clase T
ACS580-01-363A-4	R9	4836	16516	1150	677	68	500	gG	500	UL Clase T
ACS580-01-430A-4	R9	6036	20614	1150	677	68	630	gG	600	UL Clase T

* El valor de disipación de calor es una referencia para el diseño térmico del armario.

** El nivel máximo de ruido a la velocidad máxima del ventilador. Cuando el convertidor no está funcionando a plena carga y a la temperatura ambiente máxima, el nivel de ruido es menor.

*** Para información detallada sobre tipos y tamaños de fusibles, véanse los Manuales de hardware del ACS580, códigos de documentos: 3AXD50000018826 y 3AXD50000015497.

Filtros du/dt

El filtrado du/dt elimina los impulsos parasitarios de tensión de salida del inversor y los cambios rápidos de tensión que afectan al aislamiento del motor. Además, el filtro du/dt reduce las corrientes de fuga capacitivas y las emisiones de alta frecuencia del cable de motor, así como las pérdidas de alta

frecuencia y las corrientes en los cojinetes del motor. El uso del filtrado du/dt depende del aislamiento del motor. Para obtener información sobre el aislamiento del motor consulte a su fabricante. Puede consultar más información acerca de los filtros du/dt en el Manual de hardware del ACS580.

Filtro du/dt externo para el ACS580-01 y ACS580-04	
Tipo de filtro du/dt * 3 filtros incluidos, las dimensiones son aplicables a un filtro.	
No protegido (IP00)	Protegido con IP22
Protegido con IP54	
ACS580 400 V	
ACS580-01-02A7-4	x
ACS580-01-03A4-4	x
ACS580-01-04A1-4	x
ACS580-01-05A7-4	x
ACS580-01-07A3-4	x
ACS580-01-09A5-4	x
ACS580-01-12A7-4	x
ACS580-01-018A-4	x
ACS580-01-026A-4	x
ACS580-01-033A-4	x
ACS580-01-039A-4	x
ACS580-01-046A-4	x
ACS580-01-062A-4	x
ACS580-01-073A-4	x
ACS580-01-088A-4	x
ACS580-01-106A-4	x
ACS580-01-145A-4	x
ACS580-01-169A-4	x
ACS580-01-206A-4	x
ACS580-01-246A-4	x
ACS580-01-293A-4	x
ACS580-01-363A-4	x
ACS580-01-430A-4	x
ACS580-04-505A-4	x
ACS580-04-585A-4	x
ACS580-04-650A-4	x
ACS580-04-725A-4	x
ACS580-04-820A-4	x
ACS580-04-880A-4	x

Filtro du/dt externo para ACS580-07	
Tipo de filtro du/dt * 3 filtros incluidos, las dimensiones son aplicables a un filtro.	
Protegido con IP54	
ACS580 400 V	
ACS580-07-0145A-4	x
ACS580-07-0169A-4	x
ACS580-07-0206A-4	x
ACS580-07-0246A-4	x
ACS580-07-0293A-4	x
ACS580-07-0363A-4	x
ACS580-07-0430A-4	x
ACS580-07-0505A-4	x
ACS580-07-0585A-4	x
ACS580-07-0650A-4	x
ACS580-07-0725A-4	x
ACS580-07-0820A-4	x
ACS580-07-0880A-4	x

Dimensiones y pesos de los filtros du/dt				
Filtro du/dt	Altura (mm)	Anchura (mm)	Profundidad (mm)	Peso (kg)
NOCH0016-60	195	140	115	2,4
NOCH0016-62/65	323	199	154	6
NOCH0030-60	215	165	130	4,7
NOCH0030-62/65	348	249	172	9
NOCH0070-60	261	180	150	9,5
NOCH0070-62/65	433	279	202	15,5
NOCH0120-60 ³⁾	200	154	106	7
NOCH0120-62/65	765	308	256	45
FOCH0260-70	382	340	254	47
FOCH0320-50	662	319	293	65
FOCH0610-70	662	319	293	65
FOCH0875-70	662	319	293	65
BOCH-0880A-7	400	248	456	18
COF-01	570	296	360	23
COF-02	570	360	301	23

8. CABLEADO

EXZHELLENT XXI 500 V - 750 V ES 05Z1-K / ES 07Z1-K (AS)



TENSIÓN 300/500 V 450/750 V
VOLTAGE



NORMAS / STANDARDS:

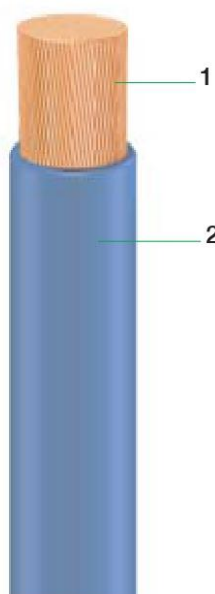
UNE 211002

EN 50265
EN 50266
EN 50267
EN 50268

IEC 60332-1
IEC 60332-3
IEC 60754
IEC 61034

CONSTRUCCIÓN:

- 1.- CONDUCTOR:
Cobre clase 5.
- 2.- AISLAMIENTO:
Polioléfina termoplástica
ignífuga, libre de halógenos
(Z1).



CONSTRUCTION:

1. CONDUCTOR:
Copper, class 5
2. INSULATION:
Thermoplastic fire-resistant
halogen-free polyolefin (Z1).

APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

La serie de cables EXZHELLENT XXI (AS), está constituida por cables flexibles monopolares de 300/500 V en las secciones de 0,5-0,75 y 1 mm², correspondiendo su designación a ES 05Z1-K y cables de 450/750 V para secciones superiores, correspondiendo a la designación ES 07Z1-K. La temperatura máxima de servicio del cable es de 70°C.

Estos cables disponen del CERTIFICADO AENOR DE PRODUCTO.

La serie EXZHELLENT XXI (AS) es el producto más deslizante del mercado, igualando e incluso superando las prestaciones ofrecidas por la serie de cables GENLIS. Esta condición, que está especialmente destinada a reducir el trabajo y esfuerzo del utilizador, le convierte en el producto **MÁS DEZLIZANTE DEL MERCADO**.

Cables especialmente indicados para ser instalados en viviendas y locales de pública concurrencia.

APPLICATIONS AND MAIN FEATURES:

The EXZHELLENT XXI (AS) series of cables is made up of flexible single-pole 300/500 V cables in 0.5-0.75 and 1 mm² cross-sections designated ES 05Z1-K and 450/750 V cables for larger cross-sections designated ES 07Z1-K. The maximum operating temperature for the cable is 70 °C.

These cables benefit from an AENOR PRODUCT CERTIFICATE.

The EXZHELLENT XXI (AS) series is the product with best slip on the market, matching and indeed exceeding the performance offered by the GENLIS series of cables. This condition, which is aimed specifically at reducing the work and effort required from the user makes it the product **WITH BEST SLIP ON THE MARKET**.

These cables are specially recommended for installation in dwellings and premises open to the public.

EXZHELLENT XXI 500 V ES 05Z1-K (AS)



TENSIÓN 300/500 V
VOLTAGE

CÓDIGO	SECCIÓN	DIÁMETRO FINAL	PESO	RADIO DE CURVATURA	INTENSIDAD AL AIRE	CAIDA DE TENSIÓN	
						COS $\mu = 0,8$	COS $\mu = 1$
CODE	CROSS-SECTION	FINAL DIAMETER	WEIGHT	BENDING RADIUS	FREE-AIR CURRENT	VOLTAGE DROP	
		mm	kg/km	mm	A	V/A.km	V/A.km
1660103	1 x 0,5	2,1	9	13	—	—	—
1660104	1 x 0,75	2,3	11	14	—	—	—
1660105	1 x 1	2,5	14	15	—	—	—

EXZHELLENT XXI 750 V ES 07Z1-K (AS)

TENSION 450/750 V
VOLTAGE

1656106	1 x 1,5	2,9	20	20	17	22,156	27,563
1656107	1 x 2,5	3,5	30	25	23	13,332	16,538
1656108	1 x 4	4,1	45	25	31	8,302	10,258
1656109	1 x 6	4,6	65	30	40	5,561	6,839
1656110	1 x 10	6,0	110	40	55	3,255	3,958
1656111	1 x 16	7,0	160	45	74	2,090	2,508
1656112	1 x 25	8,6	245	55	97	1,377	1,616
1656113	1x 35	9,7	335	60	120	0,999	1,148
1656114	1 x 50	11,5	475	70	145	0,720	0,800
1657115	1 x 70	13,4	665	80	185	0,528	0,564
1657116	1 x 95	15,4	875	95	225	0,419	0,427
1657117	1x120	17,20	1115	105	260	0,342	0,334
1657118	1x150	19,00	1384	115	300	0,290	0,267
1657119	1x185	20,90	1675	125	-	0,252	0,220
1657120	1x240	24,20	2235	145	-	0,208	0,166

INTENSIDAD / CURRENT TEMPERATURA DEL AIRE 40°C / AIR TEMPERATURE 40°C

Nota: los códigos de la tabla corresponden a la presentación en cajas. Para la presentación en bobina los códigos empiezan por 1657.

NB: the codes in the table refer to packaging in cases. Codes for packaging in reels start with 1657.

colores en stock										código code	sección cross-section mm²	Suministro standard en metros Standard supply in metres	
AM	AV	Az	BL	GR	MR	NG	RJ	VD				PAL1280	PAL6080
YE	VI	BL	WH	GY	BR	BL	RE	GR					
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1660103	0,5	24.000	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1660104	0,75	24.000	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1660105	1	24.000	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656106	1,5	24.000	12.000
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656107	2,5	14.400	7.200
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656108	4	12.000	6.000
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656109	6	7.200	3.600
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656110	10	4.800	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656111	16	3.600	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656112	25	3.000	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656113	35	1.800	
●	●	○	●	●	●	●	●	●		1656114	50	1.200	



EXZHELLENT – MAR Type RFOU



ENERGÍA MT
POWER MV



NORMAS / STANDARDS:

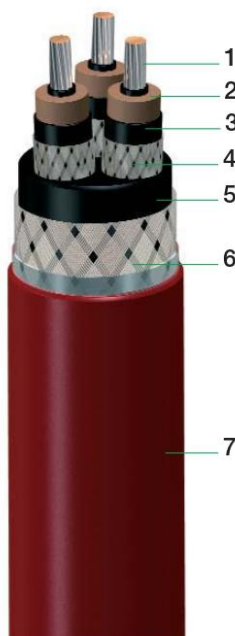
IEC 60092-351
IEC 60092-354
IEC 60092-359
NEK 606:2004

IEC 60754-1
IEC 60754-2
IEC 61034

IEC 60332-1
IEC 60332-3-22

CONSTRUCCIÓN:

- 1.- **CONDUCTOR:**
Cobre estañado recocido clase 2.
IEC 60228.
- 2.- **SEMICONDUCTOR INTERIOR:**
- 3.- **AISLAMIENTO:**
Etileno Propileno LSF (EPR).
IEC 60092-351.
- 4.- **APANTALLADO:**
Capa semiconductora y trenza de cobre estañado.
Identificación de conductores: ver página 72.
- 5.- **ASIENTO:**
Compuesto libre de halógenos.
- 6.- **ARMADURA:**
Trenza de alambres de cobre estañado.
- 7.- **CUBIERTA EXTERIOR:**
Compuesto termoestable resistente a los fangos, tipo SHF Mud.
IEC 60092-359.



CONSTRUCTION:

- 1.- **CONDUCTOR:**
Tinned copper, stranded class 2.
IEC 60228.
- 2.- **CONDUCTOR SCREENING:**
Semiconducting material.
- 3.- **INSULATION:**
Ethylene Propylene Rubber LSF (EPR).
IEC 60092-351.
- 4.- **INSULATION SCREENING:**
Semiconducting material and tinned copper wire braid.
Core identification: see page 72.
- 5.- **BEDDING:**
Halogen free compound.
- 6.- **BRAID ARMOUR:**
Tinned copper wire braid.
- 7.- **OUTER SHEATH:**
Thermoset compound mud resistant type SHF Mud.
IEC 60092-359.

APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

Cables de media tensión para instalación en plataformas con especiales características de no propagación del incendio y reducida emisión de humos opacos, gases tóxicos y corrosivos.
Libre de halógenos, resistente a los aceites y fangos.

MAIN USES AND FEATURES:

Medium voltage power armoured cables for installation in offshore applications with special performances on flame spread and low emission of smoke and fumes.
Halogen free, oil and mud resistant.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO:

Temperatura máxima del conductor en servicio permanente 90°C
Tensión nominal: 6 a 20 kV.

DESIGN CHARACTERISTICS:

Max. rated conductor temperature in normal operation: 90°C.
Rated voltage: 6 to 20 kV.

EXZHELLENT – MAR

Type RFOU



Type P2/P9 RFOU

ENERGIA 3,6/6 kV - POWER

CÓDIGO	SECCIÓN NOMINAL	DIÁMETRO BAJO ARMADURA NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL	PESO NOMINAL	INTENSIDAD ADMISIBLE AIRE 45°C	REACTANCIA INDUCTIVA	CAPACIDAD
CODE	NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA	DIAMETER UNDER ARMOUR NOM.	NOMINAL OVERALL DIAMETER	NOMINAL WEIGHT	CURRENT RATING AIR 45° C	INDUCTIVE REACTANCE	CAPACITANCE
	mm ²	mm	mm	kg/km	(*) A	ohm/km	µF/km
7484114	1x50	20,00	25,00	1210	171	0,132	0,283
7484115	1x70	21,50	26,50	1475	221	0,125	0,322
7484116	1x95	23,50	28,00	1775	271	0,118	0,359
7484117	1x120	25,00	30,00	2090	316	0,114	0,399
7484118	1x150	26,50	31,50	2405	367	0,110	0,432
7484120	1x240	31,00	36,50	3495	502	0,102	0,526
7484314	3x50/25	41,50	48,50	4240	159	0,115	0,288
7484315	3x70/35	45,00	52,00	5170	203	0,109	0,327
7484316	3x95/50	48,00	55,00	6260	246	0,102	0,359
7484317	3x120/60	52,00	60,00	7495	286	0,098	0,399

Type P3/P10 RFOU

ENERGIA 6/10 kV - POWER

7485114	1x50	21,0	26,00	1265	171	0,135	0,257
7485115	1x70	27,5	27,50	1525	221	0,126	0,288
7485116	1x95	24,00	29,50	1855	271	0,121	0,324
7485117	1x120	26,00	31,00	2165	316	0,115	0,359
7485118	1x150	27,50	32,50	2485	367	0,111	0,389
7485120	1x240	31,50	37,00	3565	502	0,104	0,472
7485314	3x50/25	42,50	49,50	4395	159	0,117	0,257
7485315	3x70/35	46,00	53,00	5300	203	0,109	0,288
7485316	3x95/50	53,00	61,00	6805	246	0,104	0,324
7485317	3x120/60	54,00	62,00	7750	286	0,100	0,359

Type P4/P11 RFOU

ENERGIA 8,7/15 kV - POWER

7486114	1x50	23,00	28,00	1430	171	0,140	0,208
7486115	1x70	24,50	30,00	1695	221	0,132	0,233
7486116	1x95	26,50	31,50	2035	271	0,126	0,260
7486117	1x120	28,50	34,00	2380	316	0,121	0,287
7486118	1x150	30,00	35,50	2730	367	0,117	0,309
7486120	1x240	34,00	40,00	3870	502	0,109	0,373
7486314	3x50/25	52,00	59,50	5490	159	0,124	0,212
7486315	3x70/35	54,00	62,50	6345	203	0,116	0,233
7486316	3x95/50	58,50	67,00	7700	246	0,110	0,260
7486317	3x120/60	61,50	70,00	8865	286	0,105	0,287

Type P19/P21RFOU

ENERGIA 12/20 kV - POWER

7487114	1x50	25,50	30,50	1580	171	0,145	0,181
7487115	1x70	26,50	32,00	1865	221	0,136	0,201
7487116	1x95	29,00	34,50	2240	271	0,131	0,223
7487117	1x120	30,50	36,00	2560	316	0,125	0,246
7487118	1x150	32,00	38,50	2995	367	0,121	0,264
7487120	1x240	36,50	43,50	4240	502	0,113	0,316
7487314	3x50/25	52,50	60,50	5820	159	0,130	0,181
7487315	3x70/35	56,00	64,00	6775	203	0,120	0,201
7487316	3x95/50	60,00	68,50	8140	246	0,116	0,223
7487317	3x120/60	63,50	72,50	9405	286	0,111	0,246

(*) Cables unipolares, instalados en formación trebol.

(*) Single core cables, installed in trefoil configuration.

EXZHELLENT-M RZ1MZ1-K (AS) / RZ1MAZ1-K (AS)



Voltage 0,6/1 kV



CONSTRUCTION STANDARDS:	NATIONAL/EUROPEAN	INTERNATIONAL
UNE 21123-4	UNE-EN 60332-1-2 UNE-EN 50266-2-4 UNE-EN 50267 UNE-EN 61034-2	IEC 60332-1 IEC 60332-3-24 IEC 60754 IEC 61034-2

CONSTRUCTION:

- 1.- **CONDUCTOR:**
 Class 5 flexible copper for fixed installation (-K).
 SECTORFLEX configuration from 50 mm² upwards.
- 2.- **INSULATION:**
 Crosslinked polyethylene (R).
 Colour-coded.
- 3.- **BEDDING:**
 Halogen-free thermoplastic polyolefin (Z1).
- 4.- **ARMOUR:**
 Galvanised steel wire (M) in multi-core cables and
 aluminium wire (MA) in single-core cables.
- 5.- **SHEATH:**
 Halogen-free thermoplastic polyolefin (Z1).

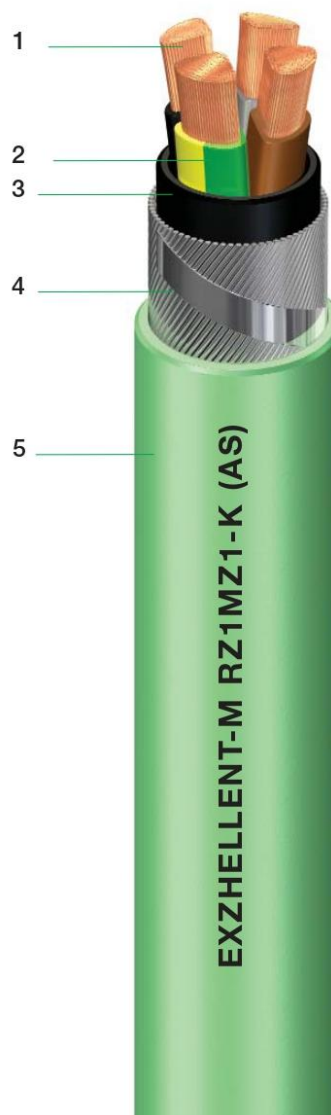
MAIN APPLICATIONS AND CHARACTERISTICS:

High Safety (AS) cables armoured with galvanised steel wire for the distribution of low voltage power.

High Safety (AS) cables are flame and fire-retardant and the smoke emitted from them is of reduced opacity, they are halogen-free and the gases evolved during combustion are of low acidity and corrosiveness.

From 50 mm² section upwards, the **SECTORFLEX**® configuration is offered with flexible sector-shaped conductor that, with the same electrical properties and the same conventional terminals and accessories as circular cable, provides a reduced cable diameter and weight that significantly increases its ease of handling and installation.

Due to their explosionproof properties, they are required in areas with a risk of fire or explosion that are also public places, such as covered and locked car parks or car repair garages.



EXZHELLENT-M
RZ1MAZ1-K (AS)



Voltage 0,6/1 kV

CIRCULAR CONFIGURATION

CODE	SECTION mm ²	DIAMETER UNDER ARMOUR mm	OUTER DIAMETER mm	WEIGHT kg/km	BENDING RADIUS mm	AMPACITY		VOLTAGE DROP	
						IN AIR 40 °C A	BURIED 25 °C A	Cos φ= 0,8 V/A.km	Cos φ= 1 V/A.km
1967110	1x10	7.3	13.6	290	140	68	77	3.517	4.218
1967111	1x16	8.3	14.6	365	150	91	100	2.27	2.672
1967112	1x25	9.9	16.2	480	165	116	128	1.503	1.723
1967113	1x35	11.0	17.3	590	175	144	154	1.097	1.224
1967114	1x50	12.6	18.9	755	190	175	183	0.795	0.852
1967115	1x70	14.7	21.0	985	210	224	224	0.587	0.601
1967116	1x95	16.3	22.6	1,215	230	271	265	0.467	0.455
1967117	1x120	18.3	24.7	1,495	250	314	302	0.384	0.356
1967118	1x150	20.1	26.6	1,800	270	363	342	0.326	0.285
1967119	1x185	22.1	28.6	2,125	290	415	383	0.284	0.234
1967120	1x240	25.2	32.1	2,755	325	490	442	0.235	0.177
1967121	1x300	28.7	36.4	3,475	365	563	500	0.205	0.142
1967122	1x400	33.2	41.4	4,630	415	674	570	0.176	0.107
1967123	1x500	37.4	45.7	5,785	460	774	660	0.156	0.085
1967124	1x630	41.6	50.5	7,460	505	890	735	0.138	0.063
1967206	2x1.5	7.7	12.6	305	130	24	27	23.607	29.374
1967207	2x2.5	8.5	13.5	345	135	33	36	14.199	17.624
1967208	2x4	9.6	14.5	415	145	45	46	8.839	10.932
1967209	2x6	10.7	15.6	495	160	57	58	5.919	7.288
1967210	2x10	12.6	18.2	735	185	79	77	3.458	4.218
1967211	2x16	14.6	20.2	935	205	105	100	2.218	2.672
1967212	2x25	17.9	24.3	1,390	245	123	128	1.458	1.723
1967213	2x35	20.1	26.6	1,720	270	154	154	1.057	1.224
1967306	3x1.5	8.2	13.1	325	135	20	23	23.607	29.374
1967307	3x2.5	9.1	14	385	140	26	30	14.199	17.624
1967308	3x4	10.2	15.2	465	155	36	38	8.839	10.932
1967309	3x6	11.4	16.3	560	165	46	48	5.919	7.288
1967310	3x10	13.5	19.1	845	195	65	64	3.458	4.218
1967311	3x16	15.6	21.3	1,095	215	87	82	2.218	2.672
1967312	3x25	19.2	25.6	1,650	260	110	106	1.458	1.723
1967313	3x35	21.6	28.2	2,050	285	137	129	1.057	1.224