



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SUBSISTEMA DE APOYO A GENERACIÓN DE UN AEROGENERADOR OFFSHORE

Autor: Iago Pérez López

Director: Juan Antonio Talavera Martín

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
SUBSISTEMA DE APOYO A GENERACIÓN DE UN AEROGENERADOR OFFSHORE
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 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.: Iago Pérez López

Fecha: 02/ 07/2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Antonio Talavera Martín

Fecha: ..10../07/2024



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SUBSISTEMA DE APOYO A GENERACIÓN DE UN AEROGENERADOR OFFSHORE

Autor: Iago Pérez López

Director: Juan Antonio Talavera Martín

Madrid

SUBSISTEMA DE APOYO A GENERACIÓN DE UN AEROGENERADOR OFFSHORE

Autor: Pérez López, Iago.

Director: Talavera Martín, Juan Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Diseño del subsistema encargado de dotar al aerogenerador de la capacidad de adaptación a las condiciones del viento. El diseño incluye tanto los equipos funcionales que permitan la adecuada adaptación buscada, como de todos aquellos que garanticen el correcto funcionamiento de dichos equipos funcionales: protecciones, alimentaciones y conexiones.

Palabras clave: Offshore, Bladed, Paso, Buje, Guiñada, Góndola, Motorreductor, Auxiliar.

1. Introducción

Para una mayor y más estable producción de energía, los aerogeneradores se instalan en emplazamientos con vientos lo más fuertes y constantes posible. Así, en los últimos tiempos existe una creciente tendencia de construcción de parques eólicos en zonas marinas (*offshore*, en inglés) junto a la costa, ya que en dichas zonas existen corrientes de viento mayores y más constantes que en tierra, generalmente. Es el caso del presente proyecto.

Sin embargo, para una determinada posición del aerogenerador, la producción de energía eléctrica del mismo depende de las condiciones del viento. Por tanto, poder adaptar la posición del aerogenerador respecto al viento permite aprovechar más eficientemente la energía eólica disponible. Esta adaptación la provee el llamado **subsistema de apoyo a generación**, el cual se diseñará en este proyecto.

La adaptación del aerogenerador a las condiciones del viento consiste en la variación del perfil aerodinámico del mismo, i.e., cómo el viento afecta al giro de las palas del aerogenerador y, eventualmente, a la producción de energía eléctrica. El perfil aerodinámico puede cambiarse de dos formas:

- o Variación del ángulo de paso de las palas. Las palas tienen un determinado perfil el cual, según se coloque, afecta a la fuerza con la que giran las palas para una determinada corriente de viento. Así, mediante la rotación de las palas alrededor de su eje longitudinal, se varía el **ángulo de paso** de su perfil respecto a la dirección de la corriente de viento incidente, consecuentemente cambiando resistencia aerodinámica que ofrecen las palas al giro. El sistema dentro del subsistema (valga la redundancia) encargado del control del paso de las palas es el llamado **sistema de paso**.
- o Cambio de orientación del rotor aerodinámico. Los aerogeneradores están diseñados de tal forma que el máximo aprovechamiento de la energía eólica se da con el viento incidiendo de frente, i.e., con el viento atravesando transversalmente el perfil circular que forman las palas. La

posición del aerogenerador en estas dimensiones se denomina orientación, y el encargado de cambiar dicha posición es el **sistema de orientación**, también parte del subsistema de apoyo. El movimiento en cuestión se realiza rotando toda la parte superior del aerogenerador acoplada a la torre, llamada **góndola**

2. Definición del proyecto

El proyecto del subsistema de apoyo se enmarca dentro del desarrollo de un proyecto mayor, el cual consiste en la instalación de un parque eólico de aerogeneradores de 5 MW en la costa de **México**. Así, en el proyecto global participan un total de 5 estudiantes, cada uno encargado de una parte específica del proyecto.

Entonces, el trabajo en equipo ha resultado clave en la toma de ciertas decisiones, como la ha sido la ubicación exacta del parque, la cual finalmente se ha definido en la costa de Salina Cruz, en el estado de Oaxaca. Asimismo, la conexión de media tensión de los aerogeneradores será al nivel de **34,5 kV** de la subestación de Salina Cruz.

Durante todo el proyecto se ha hecho uso del programa informático **Bladed**, el cual es un software de diseño y simulación de aerogeneradores. A partir de las especificaciones del aerogenerador, se pueden realizar determinadas simulaciones que permiten observar el comportamiento de la instalación ante diferentes situaciones. Las diferentes simulaciones han sido aprovechadas según las necesidades de cada integrante del equipo.

3. Descripción del sistema

Actualmente, la solución tecnológica empleada en este ámbito son los accionamientos eléctricos. Un accionamiento eléctrico consta de 3 partes funcionales: una reductora, un motor eléctrico y un variador de frecuencia. Consecuentemente, debe proporcionarse a dichos equipos el adecuado suministro de energía, protección y conexionado, lo cual componen los circuitos auxiliares del subsistema.

Los procesos de rotación de paso y orientación vienen definidos de forma preliminar por diseño. Con los datos del proceso se obtiene el par acelerador necesario en el elemento rotante. El elemento en cuestión debe, además, vencer un cierto par resistente, el cual se ha determinado simulando en Bladed, tomándose el dato más crítico. La suma de ambos pares es el total necesario a transmitir al elemento rotante.

El elemento rotante en cuestión va acoplado al eje del accionamiento mediante un engrane corona-piñón, con cuya relación de determinan las magnitudes requeridas en el accionamiento. En el caso del sistema de paso, dicha relación ha tenido que ser calculada, mientras que en el sistema de orientación se había dado de forma preliminar.

Los motores eléctricos se operarán con arranque v/f , el cual consiste en elevar la frecuencia al mismo ritmo que la tensión para evitar sobrecorrientes de arranque que puedan dañar la máquina.

El sistema de paso ejecutará su función con un accionamiento independiente para cada pala, rotando la longitud total de la pala y realizando un control del paso activo.

Con los datos de diseño y la consulta al fabricante Bonfiglioli, se han calculado las magnitudes necesarias en el eje del accionamiento, determinándose el motorreductor más adecuado: un motor eléctrico asíncrono de 4 polos de 37 kW de potencia acoplado a una

reductora de relación de reducción 113:1. El convertidor de frecuencia que alimenta al motorreductor será tipo AC/AC, del fabricante Siemens.

El sistema de orientación o guiñada ejecuta el movimiento requerido mediante el uso de varios accionamientos. Es práctica habitual instalarlos por parejas, de forma que si alguno falla otro pueda cubrir su carga por un tiempo de emergencia.

En este caso, los datos preliminares del motorreductor han sido proporcionados de forma preliminar: motorreductores de un rendimiento total del 70%, con motores de 5,5 kW y 940 rpm. El número de accionamientos utilizar y su modelo debía ser determinado.

Para tal fin, se ha simulado en Bladed para determinar la potencia total necesaria. Aplicando el correspondiente rendimiento se ha calculado el número de accionamientos con las características preliminares eran necesarios, debiéndose redondear a un número par. El modelo será un motor asíncrono de 6 polos del fabricante Bonfiglioli. Los convertidores serán también de Siemens tipo AC/AC.

Los sistemas de paso y guiñada, unidos a consumos adicionales correspondientes a la iluminación, las telecomunicaciones y otros, conforman el sistema de servicios auxiliares, el cual será alimentado a 400 V.

Los circuitos de protección del sistema de servicios auxiliares se han dimensionado buscando la máxima seguridad y obediencia posibles. Así, se ha optado por un interruptor automático en el lado de alta del transformador que los alimenta. El dimensionamiento ha sido realizado mediante el cálculo de la intensidad de cortocircuito trifásico en el circuito analizado.

Los circuitos auxiliares constan de los siguientes componentes:

- o Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI): su función es la de alimentar los servicios auxiliares cuando el suministro de la red no esté disponible. Para tal fin consta de un conjunto de baterías en paralelo. El equipo se conectará en serie con el transformador auxiliar, en el lado de 400 V.
Se ha considerado el consumo global de todos los servicios auxiliares, llegándose a un modelo del fabricante Schneider Electric de 200 kW de potencia y +6 minutos de autonomía en caso de dicha demanda.
- o Transformador de servicios auxiliares: tendrá 400 V en el secundario y 690 V en el primario, conectándose al secundario del transformador de potencia, de 34,5 kV/690 V. Su conexión será en estrella con puesta a tierra en el lado 400 V y triángulo en el de 690 V, para la máxima protección posible ante faltas. El modelo en concreto es de aislamiento seco y del fabricante Manumag.
- o Cableado eléctrico: se usarán cables unipolares con un conductor por fase, aislamiento XLPE y dispuestos en vertical en bandejas perforadas. Se han determinado modelos y secciones para cada uno de los sistemas, incluyendo la conexión conjunta. Se han escogido dos gamas del fabricante General Cable.

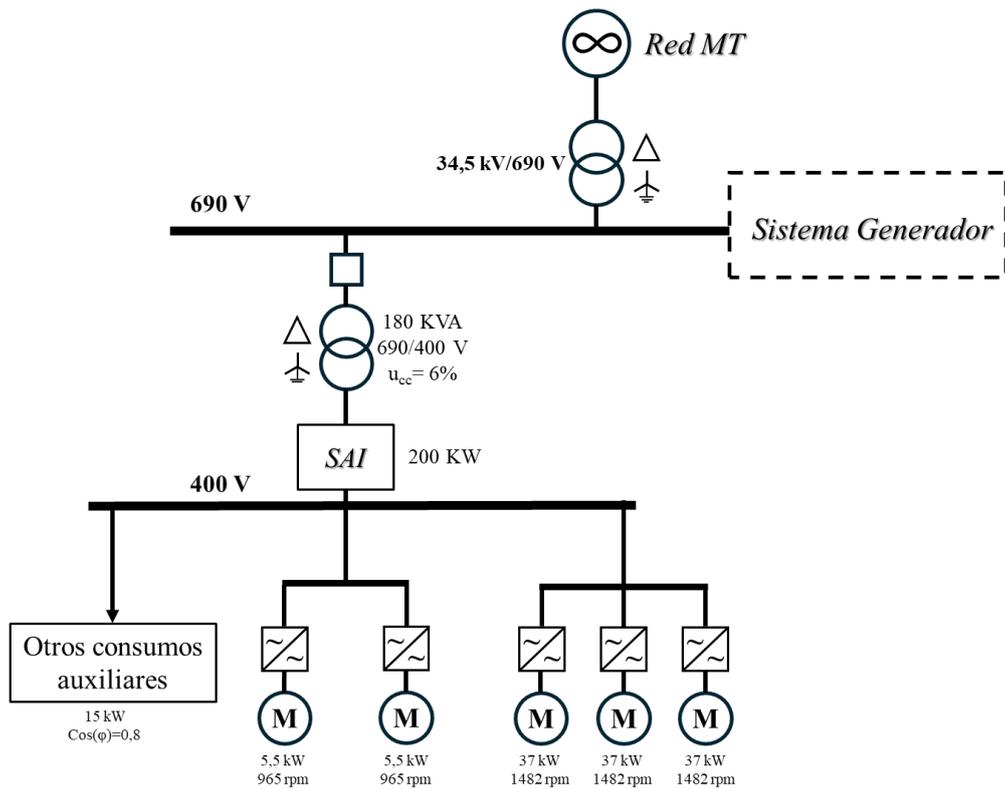


Ilustración 1. Esquema unifilar de la conexión del subsistema de apoyo a generación. (Elaboración Propia).

OFFSHORE WIND TURBINE GENERATION SUPPORT SUBSYSTEM

Author: Pérez López, Iago.

Supervisor: Talavera Martín, Juan Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Design of the subsystem responsible for providing the wind turbine with the capacity to adapt to wind conditions. The design includes both the functional components that allows the desired adaptation, as well as all those that guarantee the correct operation of such functional components: protections, power suppliers and connections.

Keywords: Offshore, Bladed, Pitch, Hub, Yaw, Nacelle, Geared Motor, Auxiliar

1. Introduction

For greater and more stable energy production, wind turbines are installed in locations with the strongest and most consistent winds possible. Thus, there has been a growing trend in recent times to build offshore wind farms, as such areas generally have stronger and more consistent wind currents than on land. This is the case for the present project.

However, for a given position of the wind turbine, its electrical energy production depends on wind conditions. Therefore, being able to adjust the wind turbine's position relative to the wind allows for more efficient use of the available wind energy. This adaptation is provided by the so-called support generation subsystem, which will be designed in this project.

Adapting the wind turbine to wind conditions involves varying its aerodynamic profile, i.e., how the wind affects the rotation of the wind turbine blades and eventually, the production of electrical energy. The aerodynamic profile can be changed in two ways:

- o Variation of the blades **pitch** angle: the blades have a specific desing which, depending on how it is set, affects the force with which the blades rotate for a given wind current. Thus, by rotating the blades around their longitudinal axis, the pitch angle of their profile relative to the direction of the incident wind current is varied, consequently changing the aerodynamic resistance the blades offer to rotation. The system within the subsystem responsible for controlling the blade pitch is called the pitch system.
- o Change of the aerodynamic rotor orientation: wind turbines are designed so that maximum wind energy utilization occurs with the wind striking head-on, i.e., with the wind crossing transversely through the circular profile formed by the blades. The position of the wind turbine in these dimensions is called **yaw** (angle), and the system responsible for changing this position is the yaw system, also part of the support subsystem. The movement in question is carried out by rotating the entire upper part of the wind turbine attached to the tower, called the nacelle.

2. Project definition

The support subsystem project is part of a larger project, which consists of installing a wind farm of 5MW wind turbines on the coast of Mexico. Thus, a total of 5 students are participating in the overall project, each responsible for a specific part of the project.

Therefore, teamwork has been key in making certain decisions, such as the exact location of the park, which has finally been defined on the coast of Salina Cruz, in the state of Oaxaca. The medium voltage connection of the wind turbines will be at the 34.5 kV level of the Salina Cruz substation.

Throughout the project, the **Bladed** software program has been used, which is a design and simulation software for wind turbines. Based on the wind turbine specifications, certain simulations can be performed to analyze the installation's behavior under different situations. The simulations have been utilized according to the needs of each team member.

3. Description of the model/system/tool

Currently, the technological solution employed in this field are electric drives. An electric drive consists of 3 functional parts: a reducer gearbox, an electric motor, and a frequency converter. Consequently, this equipment must be powered with the adequate power supply, protection, and connection. These make up the auxiliary circuits of the subsystem.

The pitch and yaw rotation processes are preliminarily defined by design. With the process data, the necessary accelerating torque in the rotating element is obtained. The element in question must also overcome a certain resistant torque, which has been determined by simulating in Bladed, taking the most critical data. The sum of both torques is the total necessary to transmit to the rotating element.

The rotating element in question is coupled to the drive shaft through a crown-pinion gear, with whose ratio the required magnitudes in the drive are determined. In the case of the pitch system, this ratio had to be calculated, while in the yaw system it was given preliminarily.

The electric motors will operate with a v/f start-up, which involves increasing the frequency at the same rate as the voltage to avoid starting overcurrents that could damage the machine.

The pitch system will perform its function with an independent drive for each blade, rotating the entire length of the blade and performing active pitch control.

Based on the design data and consultation with the manufacturer Bonfiglioli, the necessary magnitudes on the drive shaft have been calculated, determining the most suitable geared motor: a 4-pole 37 kW asynchronous electric motor coupled to a reducer with a 113:1 reduction ratio. The frequency converter powering the geared motor will be an AC/AC type from Siemens.

The yaw system performs the required movement using multiple drives. It is common practice to install them in pairs, so that if one fails, the other can cover its load throughout an emergency period.

In this case, the preliminary data of the geared motor have been provided: geared motors with a total efficiency of 70%, with 5.5 kW motors and 940 rpm. The number of drives to be used and their model needed to be determined.

To this end, simulations have been run in Bladed to determine the total necessary power. Applying the corresponding efficiency, the number of drives with the preliminary characteristics required has been calculated, rounding to an even number. The model will be a 6-pole asynchronous motor from the manufacturer Bonfiglioli. The converters will also be Siemens AC/AC type.

The pitch and yaw systems, along with additional consumption related to lighting, telecommunications, and others, make up the auxiliary services system, which will be powered at 400 V.

The protection circuits for the auxiliary services system have been dimensioned to seek maximum security and dependability. Thus, it has been chosen to install an automatic circuit breaker on the high side of the transformer that powers them. The dimensioning has been done by calculating the three-phase short-circuit current in the analyzed circuit.

The auxiliary circuits consist of the following components:

- o **Uninterruptible Power Supply (UPS):** its function is to power the auxiliary services when the grid supply is not available. To this end, it consists of a set of parallel batteries. The equipment will be connected in series with the auxiliary transformer, on the 400 V side. The overall consumption of all auxiliary services has been considered, selecting a model from the manufacturer Schneider Electric with 200 kW of power and +6 minutes of autonomy in case of such demand.
- o **Auxiliary services transformer:** it will have connections of 400 V on the secondary and connections of 690 V on the primary, connected to the secondary of the power transformer, 34.5 kV/690 V. Its connection will be star-grounded on the 400 V side and delta on the 690 V side, for maximum protection against faults. The specific model is a dry-type transformer from the manufacturer Manumag.
- o **Electrical wiring:** single-core cables will be used with one conductor per phase, XLPE insulation, and arranged vertically in perforated trays. Models and sections have been determined for each of the systems, including joint connection. Two ranges from the manufacturer General Cable have been chosen.

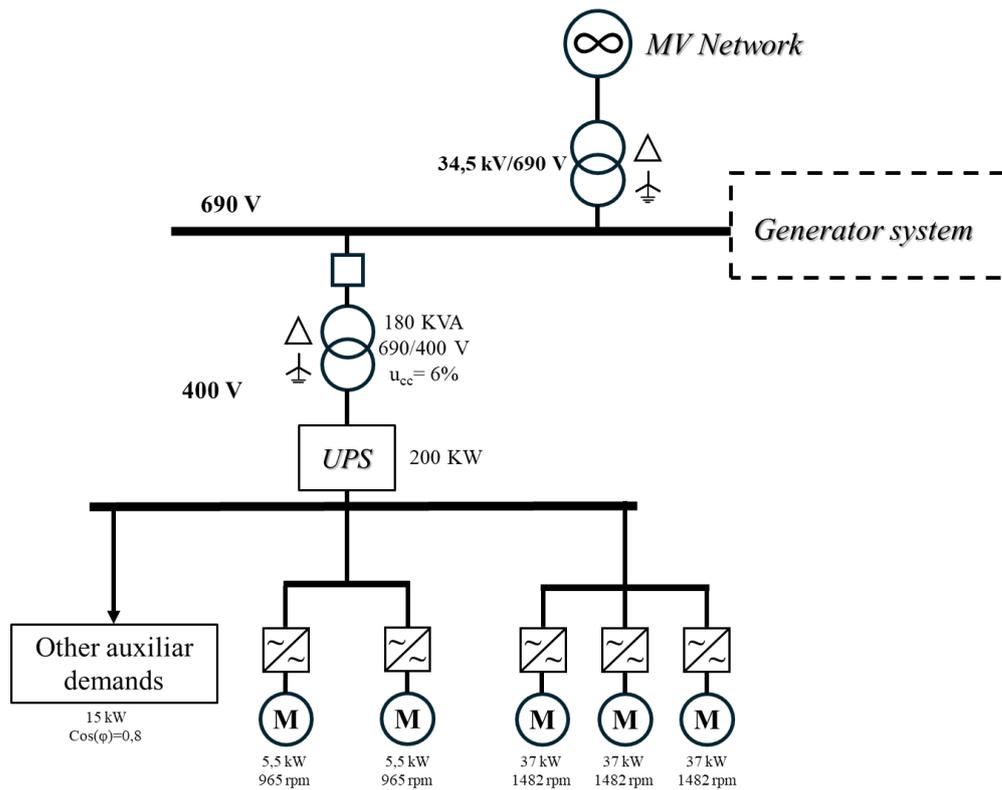


Ilustración 2 – Support subsystem electrical circuits diagram. (Self-made).

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

ÍNDICE DEL DOCUMENTO.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS.....	21
ÍNDICE DE TABLAS	23
PARTE A: MEMORIA.....	24
CAPÍTULO 0. INTRODUCCIÓN	25
0.1. Motivación del proyecto	25
0.2. Estado de la cuestión	26
CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO	27
1.1. Justificación del proyecto.....	27
1.2. Objetivos del proyecto.....	28
1.3. Metodología.....	30
1.3.1. Consideraciones generales.....	30
1.3.2. Actividades desarrolladas	30
1.3.3. Recursos empleados	32
1.4. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	33
CAPÍTULO 2. SOFTWARE BLADED	35
2.1. Introducción	35
2.2. Interfaz	35
2.3. Aspectos técnicos. Modelo preliminar.....	36
CAPÍTULO 3. PUESTA EN CONTEXTO.....	37
3.1. Localización del proyecto.....	37
3.2. Disposición preliminar del aerogenerador	38
CAPÍTULO 4. SISTEMA DE PASO.....	39
4.1. Introducción	39
4.2. Configuración y disposición del sistema de paso	39
4.2.1. Control de paso activo.....	39
4.2.2. Full-span o partial-span pitch control	39
4.2.3. Sistema único o independiente	40

4.3. Datos preliminares de diseño	41
4.4. Dimensionamiento de los accionamientos de paso.....	43
4.4.1. Engranaje corona-piñón.....	43
4.4.2. Factor de seguridad	46
4.4.3. Elección y especificaciones de los motorreductores de paso	46
4.5. Convertidores de frecuencia del sistema de paso.....	48
<u>CAPÍTULO 5. SISTEMA DE ORIENTACIÓN</u>	<u>51</u>
5.1. Introducción al sistema de orientación	51
5.1.1. Consideraciones previas.....	52
5.2. Datos preliminares de diseño	53
5.3. Motores eléctricos del accionamiento de orientación	55
5.4. Convertidores de frecuencia del sistema de orientación	56
<u>CAPÍTULO 6. CIRCUITOS DE PROTECCIÓN</u>	<u>59</u>
6.1. Utilidad y motivo de las protecciones eléctricas.....	59
6.2. Consideraciones previas	59
6.2.1. Ubicación y selectividad.....	60
6.2.2. Disposición y conexionado.....	60
6.2.3. Circuitos a proteger.....	61
6.3. Dimensionamiento del interruptor auxiliar	61
6.4. Especificaciones técnicas del interruptor auxiliar	62
<u>CAPÍTULO 7. CIRCUITOS AUXILIARES</u>	<u>64</u>
7.1. Introducción	64
7.2. Datos preliminares.....	64
7.3. Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)	65
7.3.1. Utilidad del SAI.....	65
7.3.2. Características constructivas y funcionamiento del SAI.....	65
7.3.3. Dimensionamiento del SAI	66
7.3.4. Especificaciones técnicas del SAI.....	66
7.3.5. Integración del SAI en el sistema auxiliar estudiado	67
7.4. Transformador de potencia para cargas auxiliares.....	68
7.4.1. Configuración de tensión	68
7.4.2. Configuración de potencia	69
7.4.3. Consideraciones adicionales.....	69
7.4.4. Especificaciones técnicas del transformador auxiliar	70
7.4.5. Integración del transformador auxiliar en el sistema estudiado.....	70

7.5. Cableado eléctrico de los servicios auxiliares.....	71
7.5.1. Consideraciones previas.....	71
7.5.2. Dimensionamiento del cableado	73
7.5.3. Especificaciones del cableado.....	74
<u>CAPÍTULO 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES .76</u>	
8.1. Trabajo realizado	76
8.2. Resultados obtenidos	76
8.3. Objetivos alcanzados	77
<u>CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	78
<u>PARTE B: ANEXOS</u>	81
<u>ANEXO I - EXPLICACIONES EXTENSIVAS.....</u>	82
Interpolación del rodamiento de paso	82
Cálculo de tipo de motor de orientación.....	83
Protecciones eléctricas frente a impacto de rayos	83
Consumos adicionales del sistema auxiliar	84
Sobrecarga del transformador de servicios auxiliares	84
<u>ANEXO II - PRESUPUESTOS.....</u>	85
<u>ANEXO III - PLANOS</u>	87
Planos del sistema de paso	87
Planos de las reductoras de paso (Bonfiglioli)	87
Planos de los motores de paso (Bonfiglioli).....	89
Planos del sistema de orientación.....	90
Planos de los motores de orientación (Bonfiglioli).....	90
Planos de los circuitos de protección.....	91
Planos del interruptor auxiliar automático (Schneider Electric).....	91
Planos de los circuitos auxiliares	92
Planos del SAI (Schneider Electric)	92
Planos del transformador auxiliar (Manumag)	93
Esquema unifilar de los circuitos del subsistema de apoyo a generación	94
<u>ANEXO IV - CATÁLOGOS</u>	95
Catálogos del sistema de paso.....	95
Dossier de los accionamientos de paso (Bonfiglioli)	95

<i>Catálogo de las reductoras de paso (Bonfiglioli)</i>	96
<i>Catálogo de los motores de paso (Bonfiglioli)</i>	98
<i>Dossier de los convertidores de paso (Siemens)</i>	100
<i>Catálogo de los convertidores de paso (Siemens)</i>	101
Catálogos del sistema de orientación	102
<i>Dossier de los accionamientos de orientación (Bonfiglioli)</i>	102
<i>Catálogo de los motores de orientación (Bonfiglioli)</i>	103
<i>Dossier de los convertidores de orientación (Siemens)</i>	105
<i>Catálogo de los convertidores de orientación (Siemens)</i>	106
Catálogos de los circuitos de protección	107
<i>Hoja de especificaciones del interruptor auxiliar (Schneider Electric)</i>	107
Catálogos de los circuitos auxiliares	110
<i>Hoja de especificaciones del SAI (Schneider Electric)</i>	110
<i>Especificaciones del transformador auxiliar (Manumag)</i>	114
<i>Catálogo del cableado eléctrico auxiliar (General Cable)</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz de inicio del programa Bladed.	35
Figura 2. Interfaz de la pestaña de visualización de datos del software Bladed.....	36
Figura 3. Imagen ilustrativa de las partes constructivas de un aerogenerador. (Actitud Ecológica).....	38
Figura 4. Movimiento de rotación de las palas al cambiar el ángulo de paso. (Elaboración propia).....	41
Figura 5. Resultados de la simulación de las cargas en la raíz de la pala, en función de la velocidad del viento y el ángulo de paso. (Elaboración propia a través de Bladed).	42
Figura 6. Ilustración del sistema de paso de un aerogenerador, en la disposición con un accionamiento independiente para cada pala. (Tech2, 2020).	43
Figura 7. Planos de diseño de la parte fija de la unión de la pala al buje. (Windnovation).	44
Figura 8. Máximo tamaño de piñones disponible. (Bonfiglioli).	45
Figura 9. Descripción de los tipos de carga y el factor de servicio correspondiente. (Bonfiglioli).....	46
Figura 10. Diagrama del control v/f usado para los motores del sistema de paso. (Elaboración propia).	48
Figura 11. Descripción del tipo de aplicación de "posicionamiento" y las gamas aconsejadas para la misma. (Siemens)	49
Figura 12. Orientación óptima de un aerogenerador respecto a la dirección del viento y el flujo del mismo a través del rotor aerodinámico. (Elaboración propia a través de IA). 51	
Figura 13. Ejemplo ilustrativo de un sistema de orientación. (Scientific Figure on ResearchGate).....	52
Figura 14. Movimiento de giro de la góndola al cambiar el ángulo de orientación. (Elaboración propia).	53
Figura 15. Resultados de la simulación de momentos de las cargas en el rodamiento de guiñada, en función de la velocidad del viento y el ángulo de paso. (Elaboración propia a través de Bladed).	54
Figura 16. Diagrama del control v/f, usado para los motores del sistema de orientación. (Elaboración propia).	56

Figura 17. Descripción del tipo de aplicación de "posicionamiento" y las gamas aconsejadas para la misma. (Siemens).	57
Figura 18. Diagrama unifilar de la conexión eléctrica de los servicios auxiliares con el generador y la red de distribución. (Elaboración propia).	60
Figura 19. Esquema de los elementos internos de un Sistema de Alimentación ininterrumpida (SAI). (Supsonik Velatia).	65
Figura 20. Tiempos de autonomía de las baterías del SAI para una demanda de 172 kW, en función de las diferentes configuraciones posibles con baterías de apoyo. (Schneider Electric).	68
Figura 21. Método de instalación del cableado de los servicios auxiliares: sobre bandejas perforadas en recorrido horizontal y vertical. (AENOR, 2014).	72
Figura 22. Tabla de especificaciones y leyenda de los engranajes con rodamientos interiores de tres bolas. Valores a operar remarcados. (Catálogo de Rothe Erde).	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los motorreductores del sistema de paso.	47
Tabla 2. Especificaciones técnicas de los convertidores del sistema de paso.	50
Tabla 3. Especificaciones técnicas de los motores del sistema de orientación.....	56
Tabla 4. Especificaciones técnicas de los convertidores del sistema de orientación.....	58
Tabla 5. Especificaciones nominales de los circuitos auxiliares.	61
Tabla 6. Especificaciones técnicas del interruptor de servicios auxiliares.	63
Tabla 7. Especificaciones Técnicas del Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).	67
Tabla 8. Especificaciones técnicas del transformador de servicios auxiliares.	70
Tabla 9. Datos preliminares del cableado eléctrico de los sistemas auxiliares.....	72
Tabla 10. Intensidades nominales de cada uno de los circuitos de los servicios auxiliares. (Elaboración propia).	73
Tabla 11. Intensidades mínimas admisibles para los cableados de los servicios auxiliares. (Elaboración propia).	74
Tabla 12. Especificaciones técnicas del cableado eléctrico de los consumos auxiliares.	75
Tabla 13. Especificaciones técnicas del cableado común de alimentación entre nudos de los servicios auxiliares.	75
Tabla 14. Valores de la interpolación realizada para determinar las dimensiones del engrane en la corona del sistema de paso.	83
Tabla 15. Presupuesto de los elementos eléctricos, excluyendo el cableado.	85
Tabla 16. Presupuesto del cableado eléctrico necesario para el proyecto.	85
Tabla 17. Presupuesto total de los equipos necesarios en el proyecto.....	86
Tabla 18. Presupuesto total del proyecto aplicando un suplemento de cobertura del 120%.	86

PARTE A: MEMORIA

CAPÍTULO 0. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se enmarca en el contexto de un aerogenerador *offshore*, término anglosajón utilizado para hacer referencia a la localización en el mar, junto a la costa, de los aerogeneradores. Este tipo de localización ha visto incrementada su explotación durante los últimos años, debido a lo que se explica en los sucesivos párrafos.

Los aerogeneradores son concebidos y utilizados en pro de obtener energía eléctrica con procesos que no generen emisiones contaminantes. Además, se obtiene la energía transformándola desde su forma eólica, que constituye una fuente primaria de energía renovable, i.e., inagotable en una escala temporal humana.

Sin embargo, la cualidad renovable de la energía eólica no implica su disponibilidad y aprovechamiento permanente, por lo cual la localización de los aerogeneradores resulta fundamental. Así, el establecimiento offshore de los parques eólicos permite aprovechar unas mayores y más constantes (en promedio) corrientes de aire. Esto, en suma, se traduce en potencias eléctricas instaladas superiores, una mayor constancia en la generación de energía y un mayor tamaño físico de los aerogeneradores.

0.1. Motivación del proyecto

El principal problema a abordar es el de la producción estable de energía eléctrica. Como ya se ha comentado, el viento es un recurso renovable, pero sus características no son, ni mucho menos, constantes ni controlables por el ser humano.

La lógica puede llevar rápidamente a deducir que, en función de la dirección del viento y su fuerza, las palas del aerogenerador girarán con mayor o menor potencia. Dicha potencia se transmite al eje del generador, el cual, con su giro, produce energía eléctrica. Las características de la corriente eléctrica producida, como su frecuencia o su magnitud, dependerán de las del giro del eje del generador.

Por tanto, pese a la localización marina del aerogenerador, resulta adecuado prever los sistemas necesarios para poder **adaptar el aerogenerador a las condiciones del viento**, de forma que su variabilidad influya en menor medida en la producción de energía eléctrica. De igual forma, cabe establecer como objetivo la máxima operabilidad posible para unas mismas condiciones de viento.

Eventualmente, todo lo anterior habilita a un aerogenerador para un proceso de producción de energía eléctrica lo optimizado posible. La búsqueda de esta optimización máxima no es otra cosa sino la motivación de este proyecto. Conforme a ello, se busca proveer al aerogenerador de un subsistema que preste apoyo al sistema global como generador. Como resultado, se obtiene el subsistema título del presente proyecto:

Subsistema de apoyo a generación de un aerogenerador offshore

0.2. Estado de la cuestión

En la actualidad, el subsistema de apoyo a generación de un aerogenerador cuenta con soluciones tecnológicas marcadas, diferenciándose dos grandes partes funcionales (aunque redundante, denominados sistemas): el **sistema de paso** y el **sistema de orientación**. A continuación, se describen brevemente los dos sistemas:

- o Sistema de paso: es el encargado de cambiar el perfil aerodinámico de las palas, i.e., el efecto del viento en el giro de las palas del aerogenerador.
- o Sistema de orientación: es el responsable de variar la posición del aerogenerador respecto a la corriente del viento. Gracias a este sistema, el aerogenerador puede colocarse adecuadamente **de cara al viento**, expresión informal en la que se ahondará en posteriores capítulos.

Se darán explicaciones extensivas sobre estos sistemas en posteriores capítulos:

CAPÍTULO 4. SISTEMA DE PASO y *CAPÍTULO 5. SISTEMA DE ORIENTACIÓN*

Los dos sistemas anteriores deben realizar movimientos mecánicos de rotación, lo cual se consigue mediante los actuadores necesarios. Hace décadas, en los inicios de la industria eólica, dichos actuadores eran de tipo hidráulico, pero en la actualidad la solución tecnológica empleada son los **accionamientos eléctricos**.

Un accionamiento eléctrico halla su utilidad en un motor eléctrico, el cual se alimenta con un variador de frecuencia que le permita funcionar en los rangos de operación que se precisen y arrancarlo de una forma no brusca. En función del tipo de aplicación, suele acoplarse en el eje del motor una caja reductora, cuya relación de reducción asegure la velocidad y par requeridos en el proceso. En el caso de la presente aplicación, es necesario el uso de reductoras, debido a las dimensiones estructurales de un aerogenerador.

Por otro lado, al basarse los sistemas en equipos eléctricos, el estado de la cuestión prevé la implementación de unas adecuadas:

- o **Conexión** mediante cables eléctricos
- o **Alimentación** por medio de un transformador, si es necesario
- o **Protección** eléctrica de los circuitos

Para proporcionar lo anterior, existen numerosos fabricantes de los equipos necesarios, ya sea que estén especializados en la industria o no. Las especificaciones exactas de cada elemento dependen de cada aerogenerador y deben ser correctamente determinadas.

Finalmente, cabe aclarar que un aerogenerador no se instala de manera individual, sino dentro de un **parque eólico**. Cada parque eólico consta de 5, 10, 20 o incluso más aerogeneradores, según cada proyecto. Se buscan zonas cuyas condiciones promedio de viento permitan una correcta producción de energía eléctrica, de forma que en dichas zonas hay espacio para instalar varios aerogeneradores que operen a la vez, formando el mencionado parque.

CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

1.1. Justificación del proyecto

A la vista del capítulo anterior, cabe detallar y justificar mayormente el proyecto en el que se enmarca el aerogenerador en el que implementar el subsistema de apoyo objeto de estudio. En concreto, se busca diseñar un parque de unos 20 aerogeneradores, de 5 MW de potencia cada uno, siendo la potencia de generación instalada total de 100 MW.

El parque eólico del aerogenerador está planificado para construirse en México, cuyo territorio costero está aún por explotar por la industria eólica, ofreciendo unas condiciones ciertamente adecuadas y favorables para ello.

Entonces, el proyecto global supone el estudio de posibles zonas en las que instalar el parque y determinar la más adecuada, conforme a ciertos criterios cuyo estudio exhaustivo no es objetivo del proyecto detallado en la presente memoria. Una vez se ha determinado el emplazamiento, se procede a diseñar los aerogeneradores.

Los aerogeneradores que se busca construir tienen una serie de especificaciones preliminares ya determinadas, a partir de las que perfeccionar los diseños. Así, con dichas especificaciones, se procederá al dimensionamiento del subsistema de apoyo a generación de los aerogeneradores.

Aunque basados en las soluciones tecnológicas más comúnmente usadas, los diseños a realizar pretenden adecuarse lo máximo posible al contexto del aerogenerador en el que se implementarán, teniendo en cuenta su localización, rangos de operación y demás factores que puedan influir en los mismos. Se requiere, entonces, de un estudio ciertamente detallado de todo lo anterior para determinar los equipos necesarios en el aerogenerador objeto de estudio.

En suma, los dimensionamientos a realizar en el presente proyecto garantizarían la correcta operabilidad de los aerogeneradores de un nuevo parque eólico a construir en una zona inexplorada por la industria eólica marina. Por tanto, la viabilidad del parque a efectos de los equipos necesarios para el subsistema a diseñar se vería demostrada como resultado de este proyecto.

1.2. Objetivos del proyecto

A continuación, se detallan los objetivos a cumplir con el desarrollo del proyecto.

1. Estudio de las turbinas eólicas y sus sistemas eléctricos
Analizar y comprender de manera detallada el funcionamiento de las turbinas eólicas en su conjunto. Este estudio garantizará una visión global de los requerimientos principales de un aerogenerador, profundizándose en aquellos relacionados con los sistemas eléctricos del subsistema de apoyo a generación.
2. Herramientas de diseño y simulación de modelo preliminar
Hacer uso auxiliar del software de diseño y simulación a partir de un modelo preliminar para obtener uno lo más optimizado y eficiente posible. Se hallarán las especificaciones necesarias del aerogenerador a diseñar tras iterar en el software y analizar los resultados obtenidos en cada simulación.

Además, pueden adaptarse las simulaciones para analizar resultados concretos directamente relacionados con el subsistema de apoyo a diseñar, tales como las cargas que se experimentan en determinadas partes del aerogenerador. En posteriores capítulos se aprovechará la utilidad de estos análisis.
3. Circuitos eléctricos del accionamiento de paso
Diseñar el accionamiento eléctrico y los circuitos del sistema de paso de pala del aerogenerador, fundamental para el óptimo aprovechamiento de la energía eólica, como ya se ha comentado.

El diseño busca entender el funcionamiento de un accionamiento eléctrico y cómo deben adecuarse sus especificaciones conforme a las necesidades del sistema al que pertenece, evaluando los límites y/o valores nominales a tratar. Así, deberá prestarse especial atención al régimen de operación al que estarán sometidos los accionamientos.
4. Circuitos eléctricos del sistema de orientación
De forma análoga al anterior, se diseñarán los circuitos y accionamientos eléctricos necesarios en el sistema de orientación o guiñada del aerogenerador, el cual se encarga de rotar el perfil aerodinámico respecto al eje longitudinal de la torre.

Este objetivo y el anterior buscan habilitar al aerogenerador para aprovechar de la forma más efectiva posible la energía disponible en el viento en cada momento (la cual depende tanto de su dirección, como de su intensidad), como se ha explicado anteriormente.
5. Circuitos de protección
Todos los sistemas a diseñar deben ser correctamente protegidos para evitar fallos eléctricos que empeoren o inhabiliten su funcionamiento.

Con este objetivo, se diseñarán las protecciones eléctricas necesarias prestando atención, de nuevo, a los valores límites y/o nominales de las magnitudes eléctricas a tratar y a los posibles contratiempos que puedan darse, en especial las llamadas **faltas eléctricas**¹.

Además, se tendrá en cuenta las diferentes características con las que debe contar una protección eléctrica y cómo su disposición afecta a las mismas. Por ejemplo, una excesiva redundancia del número de protecciones eléctricas termina por ser del todo inseguro.

6. Circuitos auxiliares

Diseñar todos los circuitos y equipos auxiliares necesarios para el transporte de energía eléctrica en el subsistema de apoyo a la generación. Estos circuitos y equipos deben proveer al subsistema de la alimentación eléctrica (aún en régimen de emergencia) y cableado eléctrico necesario.

Asimismo, otros circuitos accesorios como la iluminación, las telecomunicaciones o los controles no son objeto de extensivo estudio del presente proyecto. Se dará mayor detalle sobre esto último en la siguiente sección: 1.3. Metodología

7. Integración y optimizaciones

Todos los elementos cuyo diseño ya se ha mencionado y se desarrollará a lo largo del proyecto, deberán poder ser integrados en el subsistema, asegurando la óptima operabilidad del aerogenerador en su conjunto. De esta forma, se garantizará la consecución de todos los objetivos previstos inicialmente y, con ello, de la motivación última del proyecto.

A tal efecto, se llevarán a cabo dos tareas durante el diseño del subsistema:

- o Establecimiento de **consideraciones o requisitos previos**, conforme a los cuales dimensionar los equipos. Un ejemplo de consideración previa puede ser prever equipos aptos para entorno húmedos.
- o Comprobación de la correspondencia de las **estimaciones** pertinentes realizadas, determinándose si verdaderamente los elementos dimensionados son los adecuados. Por ejemplo, comprobar si las especificaciones de una protección cumplen con la estimación de la corriente de falta realizada para dimensionarla.

¹ Se denomina falla eléctrica (y así se hará durante la presente memoria) a la condición eléctrica en la que se dan corrientes anormales, generalmente altas, pudiendo así dañar los sistemas por los que circula.

1.3. Metodología

1.3.1. Consideraciones generales

La problemática objeto de estudio será abordada realizando el diseño del subsistema ya presentado. Dicho diseño buscará siempre la máxima eficiencia energética neta posible bajo los límites de funcionamiento de los distintos dispositivos que conforman el sistema.

En este punto cabe destacar la naturaleza propia del proyecto del parque eólico en el que se instalará el aerogenerador.

El diseño de los aerogeneradores del parque (todos idénticos) ha sido dividido entre varios alumnos, correspondiendo a cada uno una parte del mismo, como es el caso del presente proyecto, encargado del subsistema de apoyo a la generación. Así, la integración entre los proyectos de los diferentes alumnos del grupo es una de las principales tareas del proyecto. Se profundizará más en este aspecto en las sucesivas explicaciones.

1.3.2. Actividades desarrolladas

La metodología usada durante el desarrollo del proyecto para la consecución de los objetivos marcados abarca las actividades que siguen:

o Lectura y consulta de medios académicos y explicaciones de profesores

La consulta de manuales, libros u otros medios académicos juega un papel fundamental en el correcto entendimiento de la teoría detrás de los diseños y elecciones a realizar. Entender verdaderamente el funcionamiento de los distintos elementos permite elegir las especificaciones más adecuadas conforme a los objetivos marcados.

En ocasiones, la transmisión de conocimiento a estos efectos resulta más eficaz cuando es efectuada por explicaciones directas de académicos expertos en la materia, como pueden ser los profesores de la Universidad.

o Simulaciones iterativas en el software *Bladed*

Bladed es un programa informático de diseño de aerogeneradores en el cual se ahondará en el capítulo siguiente (*CAPÍTULO 2. SOFTWARE BLADED*).

En él, se introducen las especificaciones del aerogenerador para ejecutar simulaciones que arrojan unos resultados determinados, según los cuales se evalúa la adecuación de las especificaciones registradas. Así, el proceso de repite iterativamente con el objetivo de refinar el modelo del aerogenerador y poder tener una representación lo más fiable posible de su realidad de operación.

En el caso del diseño del subsistema objeto del presente proyecto, se aprovecharán algunos datos de cargas mecánicas para dimensionar los accionamientos necesarios.

o Reuniones semanales

Desde el comienzo de curso se llevan a cabo reuniones grupales con carácter semanal. En ellas:

- Se discuten conceptos relativos al proyecto, tanto en su marco global (aerogenerador al completo) como propios del proyecto de cada alumno. Esto incluye explicaciones tales como las comentadas anteriormente por parte del director del proyecto, como la resolución colaborativa entre los alumnos de cuestiones o dudas que puedan surgir.
- Se comprueba el progreso realizado durante la última semana y el acumulado en el proyecto total hasta la fecha.
- El director plantea objetivos y tareas en vista a la siguiente reunión, así como proyecta los próximos pasos a dar en los diferentes proyectos.

o Trabajo en equipo

Esta disciplina está presente a lo largo de todo el proyecto, al suponer el mismo una de las divisiones de un proyecto global. Las divisiones responden a los intereses manifestados por los diferentes alumnos que los desarrollan. El grupo en su conjunto se compone de (aparte del director):

- Cristina Pérez Ingunza: alumna del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, especialidad eléctrica. Diseño del sistema de generación y los circuitos de potencia.
- Santiago Gabilondo Larrea: estudiante del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, especialidad de organización industrial. Evaluación de la viabilidad organizativa y económica del proyecto global.
- Gonzalo Alonso Lidón: alumno del Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, desarrollando un proyecto relativo a los sistemas de telecomunicación del aerogenerador y los controles del sistema de paso y orientación.
- Luis Chacón García: estudiante del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, desarrollando un proyecto comparativo de viabilidad económica frente a otras tecnologías renovables.

Por tanto, la colaboración entre los diferentes miembros del equipo es clave para llevar a cabo un proyecto global bien definido y cohesionado. Con este objetivo, la evaluación de los diferentes parámetros y magnitudes a determinar se realizarán de forma conjunta para llegar a una solución única que atienda a los objetivos de todos los proyectos, siempre ello que sea posible.

Por otro lado, el trabajo en equipo también es utilizado en la realización de las tareas semanales conjuntas, cuyo resultado se ve mejorado al poder contar con la fuente de conocimiento que supone cada uno de los alumnos: cierto concepto x puede ser entendido de una forma por un alumno y de otra diferente por otro alumno, por lo cual deben compararse ambas posibilidades para llegar a una concreta.

De igual forma, durante las reuniones se trabaja de forma conjunta y proactiva, tratando siempre de resolver un alumno cualquier duda que pueda tener otro de sus compañeros. El director siempre está presente para realizar las indicaciones adecuadas en caso de que entre los alumnos no se llegue a una solución correcta.

o Trabajo y diseños individuales

Cada alumno debe realizar diseños propios de su parte del proyecto, a la vez que lleva a cabo los estudios y los procedimientos ya comentados durante esta sección. La dedicación individualizada a la verdadera puesta en marcha del Trabajo Fin de Grado es lo que determina el resultado final del mismo.

1.3.3. Recursos empleados

Conforma a la metodología descrita, cabe presentar los principales recursos que empleados durante el desarrollo del proyecto:

o Wind Energy Handbook - Wiley Sons

Libro académico a modo de manual sobre el campo de la generación eólica, presentando tanto conceptos cualitativos como técnicos.

o Guía GL

Libro guía para la certificación de los aerogeneradores offshore. Elaborado por la aseguradora ***Germanischer Lloyd***, pionera y referente en el ámbito. Todo aerogenerador offshore debe cumplir con las especificaciones y regulación acorde a la guía para ser considerado viable como proyecto, tanto en términos económicos como de fiabilidad.

Además, la guía se halla alineada con la norma **IEC (*International Electrotechnical Commission*)**, la cual es la más ampliamente aceptada en el campo de los equipos eléctricos.

o Bladed

Software de simulación definido más adelante, en *CAPÍTULO 2. SOFTWARE BLADED*

o Profesores y asignaturas

Los conocimientos técnicos a poner en práctica durante el desarrollo del proyecto pueden ser obtenidos, como ya se ha comentado, consultando a profesores de la Universidad que puedan proporcionarlos. De igual forma, pueden aprovecharse conceptos vistos en las asignaturas estudiadas durante el Grado. Un claro ejemplo de esto último sería la relación de este proyecto con las asignaturas de *Accionamientos Eléctricos* o *Protecciones Eléctricas*, cursadas durante el transcurso del proyecto.

o Trabajo en grupo y compañeros

Recurso empleado en el procedimiento ya desarrollado en detalle en la sección anterior, obteniendo los conocimientos necesarios del resto de alumnos que formen parte del proyecto, así como otros fuera del mismo que puedan aportarlos de forma fiable.

o Especificaciones y catálogos de equipos a utilizar

Existen una serie de especificaciones preliminares del aerogenerador proporcionadas por el director del proyecto. Estas son usadas como guía para conocer los límites y las necesidades de diseño a satisfacer.

Por otro lado, los diseños tendrán en cuenta elecciones realmente viables conforme a los catálogos de los equipos disponibles. Esto aplicará especialmente a diseños no tan exhaustivos en este proyecto, como pueden ser el caso de los elementos de electrónica de potencia.

o Cualidades requeridas en calidad de ingeniero

Por último, todo lo anteriormente expuesto se lleva a cabo de forma tanto más óptima cuanto más se disponen ciertas cualidades. Estas se refieren a características y competencias propias del perfil del ingeniero puestas en práctica y mejoradas durante el curso de los estudios.

A continuación, se listan las más especialmente requeridas para el desarrollo de este proyecto:

- Organización
- Análisis y resolución de problemas
- Precisión
- Comunicación
- Trabajo en equipo

1.4. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Hoy en día existe la creciente necesidad de que todo proyecto de ingeniería se halle alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos garantizan la utilidad proyecto más allá de la económica, ampliando el enfoque a la sostenibilidad, la acción social, la justicia... y otros valores cuya utilidad se ve potenciada en la sociedad actual.

Así, a continuación, se explican los 3 principales ODS con los que se alinea el presente proyecto:

7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna

La energía eléctrica generada por el aerogenerador se obtiene de un proceso con cero emisiones, lo cual hace a la energía obtenida sostenible. Asimismo, la generación eólica es una forma moderna de obtención de energía, en comparación a otros procesos empleados como los ciclos combinados o la hidráulica.

Por otro lado, un diseño adecuado del subsistema de apoyo a la generación permite un rango mayor de operación del aerogenerador, por lo cual, en suma, se potencia la garantía de generación y acceso de una energía sostenible y segura.

12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

Como se ha visto, la energía eléctrica producida por un aerogenerador es de una modalidad sostenible, al aprovecharse un recurso primario renovable (el viento). Por tanto, la permanente renovación y presencia de este recurso a escala humana garantizan una producción y consumo sostenibles de energía en términos tanto ambientales como demográficos.

13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

El proceso de obtención de energía eléctrica en un aerogenerador está ausente de emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al cambio climático calentando la atmósfera.

Por otro lado, la energía eléctrica generada puede también usarse en sustitución de la energía térmica que se extrae de combustibles fósiles, en dispositivos como los motores y generando las ya citadas emisiones.

De nuevo, el subsistema de apoyo garantiza que se incremente la utilidad del aerogenerador, lo cual hace que se potencie su utilidad frente a otros tipos de energía.

CAPÍTULO 2. SOFTWARE BLADED

2.1. Introducción

Bladed es un software de diseño de aerogeneradores desarrollado por la compañía aseguradora DNV GL®, especializada y pionera en el campo de la industria eólica marina. El programa informático no es de acceso gratuito, pero para este proyecto se ha contado con una licencia académica, en concreto para la versión **Bladed 4.6 Educational** (sólo disponible en inglés). Aunque con algunas funciones más específicas limitadas y/o bloqueadas, la versión utilizada ha permitido el aprovechamiento de la capacidad de simulación del programa para el desarrollo del proyecto.

2.2. Interfaz

La interfaz de Bladed permite conformar un modelo de aerogenerador mediante la configuración de diferentes pestañas de especificaciones. Las pestañas, traducidas de izquierda a derecha, son: *palas*, *ficha aerodinámica*, *rotor*, *torre*, *tren de potencia*, *góndola*, *control*, *modal*, *viento*, *estado del mar*, *cálculos*, *visualización de datos*, *analizar*.

Por otro lado, al iniciar el programa aparece automáticamente la pestaña **Calculations**, en la cual se selecciona la simulación a realizar de entre los tipos listados y se configuran sus especificaciones, muchas de las cuales coinciden con las que ya se ajustan en otras pestañas. En la *Figura 1* se muestra una captura de pantalla de la interfaz de inicio del programa descrita:

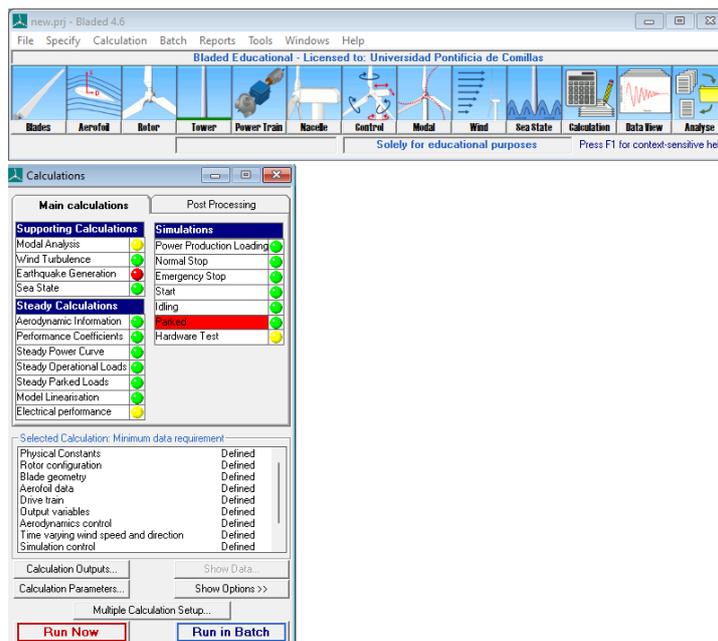


Figura 1. Interfaz de inicio del programa Bladed.

Por último, una vez se ha ejecutado la simulación, se abre de forma automática la pestaña **Data view**, la cual permite visionar los resultados obtenidos. Así, se debe escoger las magnitudes sobre las que se quieren conocer los datos de simulación, ya sean graficados (botón *View graph*) o tabulados (botón *Tabulate*). En la *Figura 2* se proporciona el detalle de la pestaña descrita:

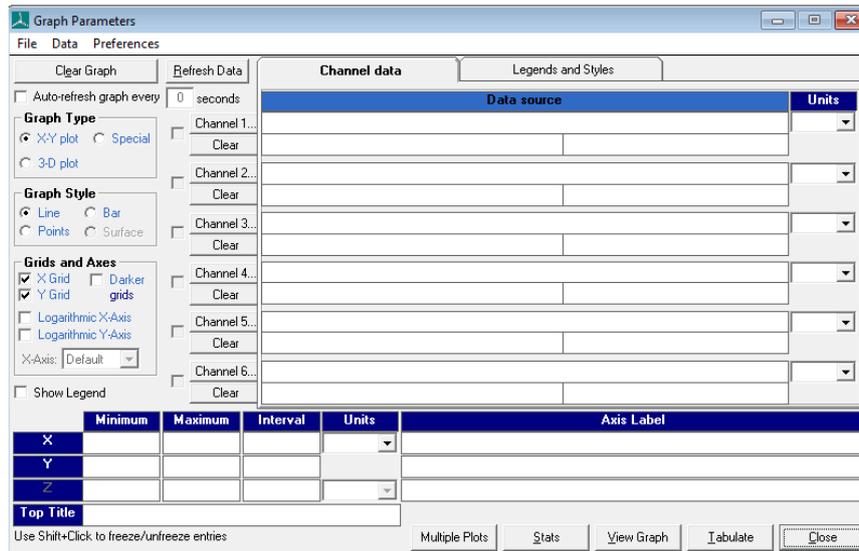


Figura 2. Interfaz de la pestaña de visualización de datos del software Bladed.

2.3. Aspectos técnicos. Modelo preliminar

En cuanto a los aspectos más técnicos del programa, cabe destacar que la interacción con el mismo es compleja y requiere de cierto manejo de las tecnologías informáticas, así como de numerosas iteraciones para comprender ciertas funcionalidades.

Los datos técnicos con los que se ha elaborado el modelo son unos preliminares proporcionados por el director, a modo de estándar. A su vez, varias de las especificaciones constructivas, como las de las palas o la torre vienen de la empresa de ingeniería *Windnovation*.

Aún con todos los datos preliminares proporcionados, han sido necesarios cálculos para determinar otros sin los que el programa, dando un aviso, no permite guardar los cambios en ciertas pestañas, ni simular. Por tanto, se han calculado y estimado cuantos datos fueran necesarios, contando con que los críticos son los ya suministrados de forma preliminar. De igual forma, se han adecuado aquellos valores que no permitían la simulación originalmente. Como ejemplo, ello ha ocurrido con la correspondencia de la altura del buje con la longitud de la torre y la longitud sumergida.

Dado que el objetivo último del presente proyecto no versa sobre las simulaciones generales del modelo en Bladed, se indicará en posteriores capítulos aquellos datos obtenidos a través de las simulaciones en el programa, aportándose las correspondientes aclaraciones y figuras.

CAPÍTULO 3. PUESTA EN CONTEXTO

Finalmente, antes de avanzar hacia el desarrollo del subsistema de apoyo, es necesaria la puesta en contexto de ciertos aspectos del proyecto.

3.1. Localización del proyecto

La evaluación económica y de los aspectos técnicos que atañen al emplazamiento del aerogenerador ha sido objetivo principal del proyecto del alumno de la especialidad de organización, si bien ciertas decisiones y justificaciones se han consensuado en el grupo al completo. Por tanto, en este capítulo se pretende simplemente poner en el debido contexto al lector, sin entrar al detalle de explicaciones mayormente extensivas.

Como ya se ha mencionado, el objetivo era desarrollar el parque de aerogeneradores en la inexplorada costa de México en el campo de la industria eólica marina. A tal efecto, mediante el servicio **Global Wind Atlas** se han buscado zonas que cumplan las siguientes condiciones:

- o Intensidad media de viento de acuerdo a la preliminar proporcionada, de alrededor de 10 metros por segundo
- o Profundidad marina de las diferentes zonas para que también se corresponda con la prevista, en torno a los 40 metros.
- o Subestación cercana a la costa, con un nivel de media tensión. En concreto, se han buscado tensiones entre los 20 y los 40 kV.
- o Ausencia de rutas marítimas fijadas.

Con todo lo anterior, se ha determinado que la ubicación más adecuada del parque sería frente a la población de **Salina Cruz**, en el estado de Oaxaca. El municipio cuenta con una subestación con acceso a la red de transmisión de 115 kV y varios niveles de media tensión, entre los cuales se halla un nudo a 34,5 kV con 20 MVA de capacidad, perfecto para la conexión del parque.

La capacidad de 20 MVA no es suficiente para la conexión de los 100 MW del parque al completo. Sin embargo, la subestación se halla conectada a una refinería con un proyecto de ampliación de capacidad en curso, lo cual garantizaría la posibilidad de poder conectar el parque previsto.

Así pues, la conexión de los aerogeneradores objeto de estudio se realizará al nudo de 34,5 kV de la subestación de Salina Cruz.

3.2. Disposición preliminar del aerogenerador

En esta sección se van a detallar las especificaciones del aerogenerador más importantes en cuanto a sus dimensiones físicas se refiere.

Dado que no ha sido realizado ningún proyecto centrado en el diseño de las dimensiones exactas del aerogenerador, se van a presentar las preliminares proporcionadas²:

- o Longitud total de la torre: 130 m
- o Diámetro interior torre: 5,7 m
- o Altura de entrada de acoplamiento de cables: 62 m
- o Altura del buje sobre el nivel medio del mar: 92 m
- o Dimensiones de la góndola: cilindro con diámetro 8,5 m y longitud 8m
- o Diámetro del buje: 3 m
- o Longitud de las palas: 61,5 m

Para mayor aclaración, en la *Figura 3* se ilustran las diferentes partes constructivas de un aerogenerador:

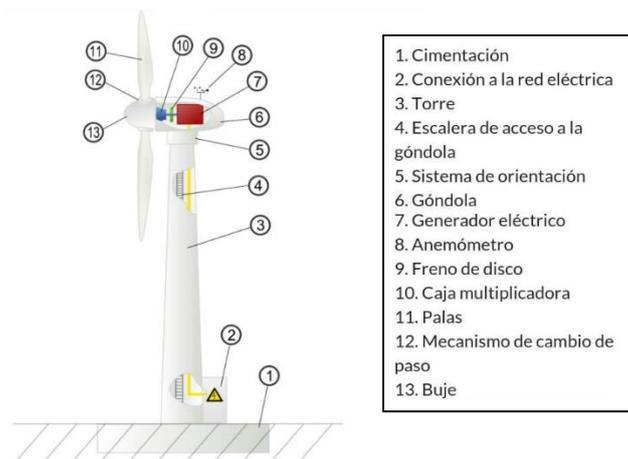


Figura 3. Imagen ilustrativa de las partes constructivas de un aerogenerador. (Actitud Ecológica).

La instalación de todos los elementos que componen el subsistema de apoyo se hará en la góndola, a excepción del sistema de paso, que se colocará en el buje. Las dimensiones serán tenidas en cuenta a la hora del dimensionamiento de los equipos.

De igual forma, el transformador de potencia, encargado de bajar el nivel de media a baja tensión se instalará en la góndola. Esta elección ha sido consensuada con la alumna encargada de su diseño, Cristina Pérez.

² Las medidas han sido debidamente variadas para poder simular en Bladed, dado que algunas no se corresponden entre ellas. En cualquier caso, los valores proporcionados son prácticamente idénticos y cumplen su función informativa.

CAPÍTULO 4. SISTEMA DE PASO

4.1. Introducción

El sistema de paso es el encargado de regular el ángulo de paso de las palas, i.e., el de la corriente de aire incidente respecto al perfil de las mismas. La variación de este ángulo supone también la de la fuerza ejercida por el viento en las palas, lo que eventualmente repercute en la energía cinética capturada. Así, poder cambiar el ángulo de paso con precisión y frecuentemente es clave para optimizar la generación de energía eléctrica lo máximo posible.

El ángulo se varía rotando la pala alrededor de su eje longitudinal, de forma que el perfil aerodinámico sobre el que incide el viento cambia.

Para ejecutar el movimiento mecánico requerido es necesario un sistema actuador (*actuador de paso*). Antiguamente, la solución tecnológica utilizada consistía en sistemas hidráulicos basados en pistones, debido a su bajo coste y la falta de desarrollo en el ámbito eléctrico. Sin embargo, actualmente la solución tecnológica estándar y más efectiva son los **accionamientos eléctricos**.

4.2. Configuración y disposición del sistema de paso

El tipo de movimiento y especificaciones requeridos varían según las diferentes posibilidades de configuración que existen, las cuales se presentan a continuación.

4.2.1. Control de paso activo

El ángulo de paso de las palas será variable y se controlará activamente. Las principales ventajas que aporta frente al control pasivo son:

- o Posibilidad de limitar la velocidad de giro de las palas cuando la velocidad del viento es superior a la nominal, evitando sobrecargas.
- o Para una misma velocidad del viento, la máxima energía obtenible aumenta si se puede adecuar el ángulo de paso.

Por otro lado, este tipo de control es el más comúnmente utilizado en los aerogeneradores off-shore.

4.2.2. Full-span o partial-span pitch control

Al variar el ángulo de paso, puede optarse por dos tipos de sistema:

- o Control de paso *full-span*: se realiza el giro con el cuerpo de la pala al completo
- o Control de paso *partial-span*: sólo rota la parte final de la pala (típicamente el 15% de la estructura)

Se ha optado por controlar la longitud total de la pala, ya que el control parcial presenta numerosas desventajas:

- o Peso adicional cerca de la punta.
- o Dificultad para acomodar físicamente el actuador dentro del perfil de la pala.
- o Altos momentos de flexión que deben soportar el eje de la pala en la punta.
- o Necesidades de diseño del equipo para las altas cargas centrífugas encontradas en radios grandes.
- o Dificultad de acceso para el mantenimiento.

Además, el control full-span es el más comúnmente utilizado en los aerogeneradores off-shore hoy día.

4.2.3. Sistema único o independiente

El sistema de paso puede ser centralizado, controlando las tres palas a la vez, o independiente para cada pala. Se ha optado por este último, teniendo como principal motivo el beneficio que supone poder controlar las otras palas en caso de emergencia en alguna de ellas como freno.

Por tanto, se diseñará un mismo actuador de paso para cada una de las tres palas, siendo las tres idénticas. El tipo de actuador será un accionamiento eléctrico, basándose en el modelo tipo *fly by wire*, en el que un motor transmite la potencia a un engranaje, el cual transmite el movimiento a la pala.

Este tipo de actuador es también el más extendido hoy en día entre los aerogeneradores off-shore.

El sistema al completo (los 3 accionamientos) se montará en el buje (práctica habitual en la industria). En lo sucesivo, se realizará el diseño del accionamiento eléctrico para cada pala, planteándose abordar la cuestión con un problema tipo. Los elementos a diseñar y/o seleccionar son:

- o Motor eléctrico: máquina eléctrica que proporciona la energía mecánica necesaria, consumiendo energía eléctrica.
- o Reductora: transmitirá la potencia mecánica del motor al engranaje, reduciendo la velocidad del eje (el eje del motor girará mucho más rápido que el eje de paso alrededor del cual gira la pala)
- o Convertidor de frecuencia: sistema de electrónica de potencia que alimentará el motor con energía eléctrica de la red de alterna. Su utilidad reside en la capacidad para variar la tensión y la frecuencia del motor de forma dinámica (se profundizará en esta cuestión en secciones posteriores).

4.3. Datos preliminares de diseño

Los datos de partida que se tienen por diseño son:

- o Velocidad angular máxima de giro de las palas:

$$\omega_{pala} = 8^\circ/s = \frac{2\pi}{45} \text{ rad/s} = \frac{4}{3} \text{ rpm}$$

- o Tiempo de aceleración del giro: $\Delta t = 0,2 \text{ s}$
- o Momento de inercia de cada pala respecto al eje de paso: $I_{pitch} = 30747 \text{ kgm}^2$
- o Masa total de cada pala: $m_{pala} = 22170 \text{ kg}$

A continuación, en la *Figura 4* se muestra la gráfica correspondiente al movimiento de giro de las palas de la velocidad angular en función del tiempo:

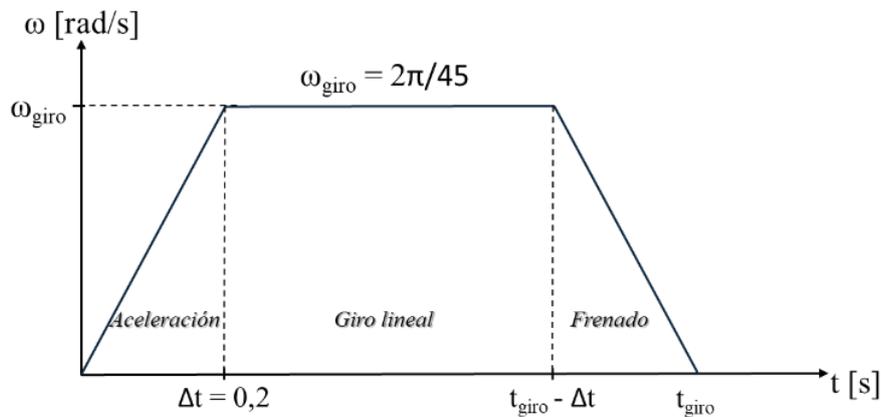


Figura 4. Movimiento de rotación de las palas al cambiar el ángulo de paso. (Elaboración propia).

Realizando una aceleración uniforme desde parada ($\omega = 0$), la aceleración angular de la pala en el proceso de giro es:

$$\alpha_{pala} = \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{2\pi/45}{0,2} = \frac{2\pi}{9} \text{ rad/s}^2 \quad (1)$$

Teniendo que el par es igual a la aceleración angular (α) por el momento de inercia (I), se puede calcular el par de aceleración o **par acelerador** requerido:

$$M_{pala}^{ace} = I_{pitch} \cdot \alpha_{pala} = 30747 \cdot \frac{2\pi}{9} = 21,465 \text{ KNm}$$

Por tanto, dado que la potencia (P) es igual al par (M) por la velocidad angular (ω), la potencia demandada para la aceleración es:

$$P_{pala}^{ace} = \omega_{pala} \cdot M_{pala}^{ace} = \frac{2\pi}{45} \cdot 30747 \cdot \frac{2\pi}{9} = 2,997 \text{ KW}^3 \quad (2)$$

³ Potencia máxima del proceso, en el instante final de la aceleración. El dimensionamiento del accionamiento debe asegurar poder llegar a esta potencia.

Estos son el par y la potencia mecánicos que una de las palas tiene que experimentar para realizar el proceso aceleración en su giro.

Sin embargo, el accionamiento eléctrico deberá transmitir a la pala un par mayor que el acelerador, ya que existe un cierto par a vencer para poder acelerar la pala, el **par resistente**. Este es el debido a las diferentes cargas o fuerzas que experimenta la pala. Así, el par total a transmitir, o **par motor**, será:

$$M_{pala}^{mot} = M_{pala}^{ace} + M_{pala}^{res} \quad (3)$$

Al estar el par resistente sujeto a las condiciones del viento, no existe un régimen permanente de funcionamiento claro para el accionamiento a dimensionar, por lo cual la medida óptima es el dimensionamiento mediante el régimen dinámico.

Se analizará entonces el caso más crítico posible para diseñar el accionamiento, i.e., el de mayor par resistente. Dimensionando el accionamiento para este caso, se garantizará la correcta operación en cualquier otra situación.

Para determinar el par resistente máximo en función de las características del viento, debe recurrirse a simulaciones precisas. Por tanto, se utilizará el programa Bladed, realizando la simulación *steady operational loads* y añadiendo como parámetro de análisis **Blade 1 M_z (principal axes)**, el cual se corresponde con el par de carga ejercido sobre el eje longitudinal de la pala. El dato se proporciona en la raíz de la pala, donde debe ser transmitido el par y se quiere operar.

A continuación, en la *Figura 5* se muestran los resultados de la simulación graficados y tabulados.

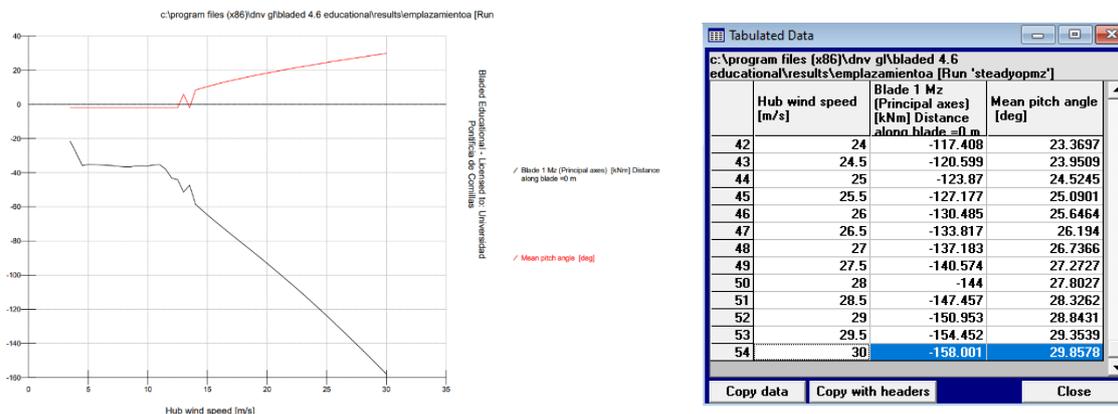


Figura 5. Resultados de la simulación de las cargas en la raíz de la pala, en función de la velocidad del viento y el ángulo de paso. (Elaboración propia a través de Bladed).

El máximo par resistente que vencer será: $M_{pala}^{res,máx} = 158 \text{ kNm}$

Por tanto, operando como en la ecuación (3), el par motor total necesario para realizar el movimiento de aceleración es:

$$M_{pala}^{mot,máx} = 21,465 + 158 = 179,465 \text{ kNm} \approx 180 \text{ kNm}$$

Finalmente, siguiendo la *ecuación (2)*, la potencia máxima requerida para poder mover cada pala será:

$$P_{pala}^{mot,m\acute{a}x} = \omega_{pala} \cdot M_{pala}^{mot,m\acute{a}x} = \frac{2\pi}{45} \cdot 180 = 25,13 \text{ kW}$$

Debe notarse que, de acuerdo con la *ecuación (1)*, la aceleración angular de frenado será igual a la de aceleración, pero de signo contrario. Así, el par acelerador en el tramo de frenado será de $-21,465 \text{ KNm}$ (igual y de signo contrario que en el tramo de aceleración). De esta forma, teniendo la *ecuación (3)*, el par motor requerido durante el frenado será menor que durante la aceleración, pudiendo llegar a ser negativo si el par resistente es menor en valor absoluto que el acelerador. En dicho caso, el accionamiento funcionaría como generador, devolviendo energía a la red sin mayor problema.

4.4. Dimensionamiento de los accionamientos de paso

En la *Figura 6* se ilustra la disposición del sistema de paso del aerogenerador objeto de estudio, según se ha comentado en apartados anteriores:



Figura 6. Ilustración del sistema de paso de un aerogenerador, en la disposición con un accionamiento independiente para cada pala. (Tech2, 2020).

4.4.1. Engranaje corona-piñón

Con los datos anteriores se puede proceder al dimensionamiento del motor eléctrico y la reductora. Es habitual en la industria eólica que los fabricantes proporcionen ambos como un solo conjunto llamado *motorreductor*. Si bien ello no cambia el modo de dimensionamiento, favorece a una mayor adecuación entre los dos elementos que lo conforman y, por consiguiente, a un mejor desempeño final.

Como se ha comentado, los accionamientos de paso se instalarán en el interior del buje. Así, cada motorreductor se acoplará a la pala a través de un sistema mecánico consistente en un piñón y el anillo interior dentado del rodamiento al que se ancla la pala, también llamado *corona*.

Las magnitudes obtenidas anteriormente son aquellas en la raíz de la pala. Al ser un diámetro mucho más grande que el del eje del motor, los pares son mucho mayores y las velocidades angulares mucho menores a aquellas con las que se debe dimensionar el accionamiento. Por tanto, deben determinarse las dimensiones de los engranajes de la corona y el piñón para poder calcular las relaciones entre los pares y las velocidades y así poder seleccionar la reductora y el motor.

La unión de la pala al buje se realiza mediante un cinturón con pernos en T (pasadores longitudinales a la pala) y viene detallada en las especificaciones preliminares. En la *Figura 7* pueden observarse los planos técnicos proporcionados.

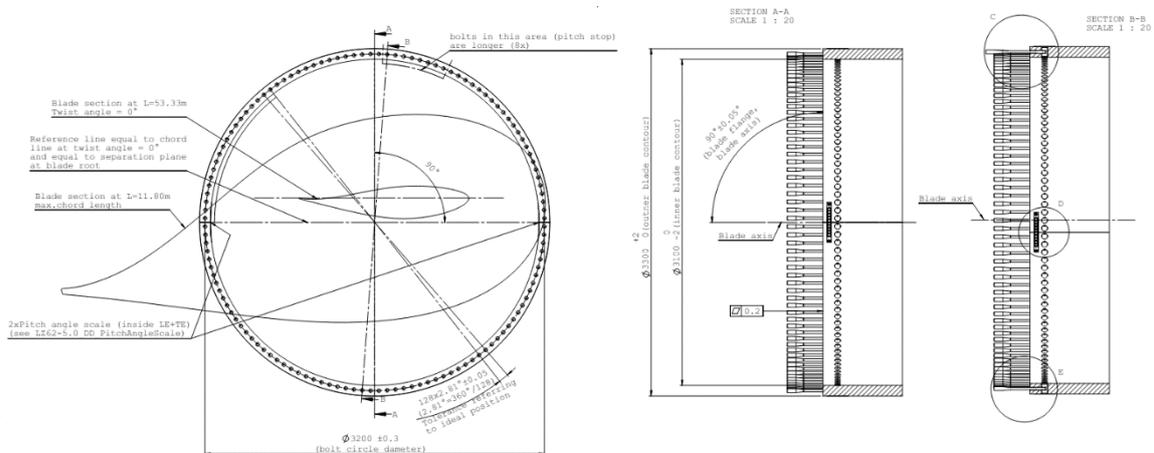


Figura 7. Planos de diseño de la parte fija de la unión de la pala al buje. (Windnovation).

El diámetro exterior del cinturón es de 3,3 m, estando los pernos anclados en el diámetro 3,2 m y siendo el diámetro interior del cinturón 3,1 m. Con estos datos y consultando el catálogo del fabricante *Rothe Erde* para rodamientos de dimensiones similares usados en la industria eólica, se ha realizado una interpolación de las dimensiones del rodamiento buscado. Para mayor detalle, consultar en los anexos: *Interpolación del rodamiento*.

Así, ajustando a términos exactos, el engrane interior del cinturón tendría idealmente un diámetro primitivo (d) de 3024 mm, 144 dientes (z) y un módulo m de 21mm. Sin embargo, el módulo 21 mm no está estandarizado en la industria, mientras que 20 mm y 22 mm sí. Por tanto, se han adecuado las medidas a tal efecto siguiendo la *ecuación (4)*:

$$m = \frac{d}{z} \quad (4)$$

- o **Diámetro primitivo:** $d = 2880$ mm
- o **Número de dientes:** $z = 144$
- o **Módulo:** $m = 20$ mm

El piñón debe tener también un módulo de 20 mm para engranar correctamente con la corona. Su diámetro primitivo se determinará atendiendo a las opciones que los fabricantes de motorreductores pueden proporcionar. Para este fin, se ha consultado al fabricante *Bonfiglioli*, líder europeo especializado en los sistemas de paso y orientación de aerogeneradores.

4.4.2. Factor de seguridad

Debe tenerse en cuenta también el **factor de servicio o seguridad** con el que dimensionar el motorreductor. En el catálogo (*Figura 9*) se proporcionan indicaciones claras a este respecto, distinguiéndose entre diferentes regímenes en los que puede operar el motorreductor.

Factor de servicio f_s requerido en función de la aplicación						
Tipo de carga	N° arranques/hora z	Duración total de funcionamiento (h)				
		≤ 5000	10000	15000	25000	50000
		Duración de funcionamiento diaria (h)				
		$h < 4$	$4 < h < 8$	$8 < h < 12$	$12 < h < 16$	$16 < h < 24$
Uniforme	$Z < 10$	0.90	1.00	1.15	1.30	1.60
	$10 < Z < 30$	0.95	1.15	1.30	1.50	1.80
	$30 < Z < 100$	1.00	1.25	1.45	1.60	2.00
Variable con choques moderados	$Z < 10$	1.00	1.25	1.45	1.60	2.00
	$10 < Z < 30$	1.10	1.40	1.60	1.80	2.20
	$30 < Z < 100$	1.20	1.50	1.70	2.00	2.40
Variable con choques fuertes	$Z < 10$	1.20	1.50	1.70	2.00	2.40
	$10 < Z < 30$	1.30	1.60	1.80	2.10	2.60
	$30 < Z < 100$	1.40	1.75	2.00	2.30	2.80

Figura 9. Descripción de los tipos de carga y el factor de servicio correspondiente. (Bonfiglioli).

Debido a la variabilidad del viento y con el objetivo de máxima seguridad, se clasificará la carga como: *variable con choques fuertes*. Teniendo en cuenta que se está dimensionando el accionamiento con el régimen dinámico más crítico posible y para evitar un sobredimensionamiento excesivo, se tomará el factor de servicio $f_s=1,3$.

Esta es la relación entre la potencia nominal del motorreductor y la potencia del motor eléctrico instalado. Así, la potencia nominal necesaria a la salida del motorreductor sigue la ecuación (2):

$$P_{eje} = M_{eje} \cdot \omega_{eje} = 20,83\hat{3} \cdot \frac{12,8 \cdot 2\pi}{60} = 27,93 \text{ kW}$$

Mientras que la potencia del motor eléctrico deberá ser:

$$P_{motor} \geq P_{eje} \cdot 1,3 = 36,3 \text{ kW}$$

4.4.3. Elección y especificaciones de los motorreductores de paso

Desde hace unos años, en Europa (y en la mayoría de países) es normativo el uso de motores con eficiencia energética **IE3** según la norma internacional *IEC 60034-30* (IEC, 2005). Por otro lado, los motores no tendrán por qué tener la frecuencia nominal de 60 Hz del sistema eléctrico en México, ya que el convertidor se encargará de la fijación de la frecuencia necesaria.

Así, se han buscado en el catálogo aquellos motorreductores que cuenten con las especificaciones necesarias para cumplir con lo anteriormente comentado. Las especificaciones principales del motorreductor elegido se muestran en la *Tabla 1*. Para mayor detalle, consultaren anexos: *Catálogo de las reductoras de paso (Bonfiglioli)* y *Catálogo de los motores de paso (Bonfiglioli)*.

Reductoras del sistema de paso	
Tipo	Epicycloidal en ángulo recto
Fabricante	Bonfiglioli
Modelo	314MR3B
Velocidad angular salida	13 rpm
Par nominal a la salida	24,8 kNm
Relación de reducción	113
Nº de etapas de reducción	3
Rendimiento total	91%
Motores eléctricos del sistema de paso	
Tipo	Trifásico asíncrono de jaula de ardilla
Fabricante	Bonfiglioli
Modelo	BX 225SAK 4
Eficiencia energética	IE 3-Nema premium
Frecuencia nominal	50 Hz
Número de polos	4
Tensión nominal (Δ)	400 V \pm 10%
Potencia nominal (P_N)	37 kW
Velocidad nominal (n_N)	1482 rpm
Velocidad mecánica límite (n_{lim})	3600 rpm
Par nominal (M_N)	238 Nm
Intensidad nominal a 460 V (I_N)	65,9 A
Rendimiento nominal (η)	95,1%
Factor de potencia ($\cos\phi$)	0,85

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los motorreductores del sistema de paso.

Con este motorreductor para cada pala, la velocidad máxima requerida en el eje del motor será menor que su velocidad nominal y su límite mecánico:

$$n_{motor}^{m\acute{a}x} = 12,8 \cdot 113 = 1446,4 \text{ rpm} < 1482 \text{ rpm} < 3600 \text{ rpm}$$

$$n_{motor}^{m\acute{a}x} = \frac{1446,4}{1500} = 0,9643 \text{ pu}$$

Por tanto, puede usarse sin problema un motor de frecuencia nominal 50 Hz. Por su parte, en el modelo de 60 Hz la velocidad nominal sería de 1784 rpm (consultar *Catálogo de los motores de paso (Bonfiglioli)*), con lo que en ese caso se sobredimensionaría el motor.

4.5. Convertidores de frecuencia del sistema de paso

El convertidor es el sistema basado en electrónica de potencia responsable del arranque y parada del motor eléctrico. Un convertidor de frecuencia permite variar las características de una señal eléctrica según se necesite, razón por la que también se le llama variador. Las principales variaciones que habilita son la del nivel de tensión y la de la frecuencia.

El motor eléctrico se operará mediante control v/f, el cual se basa en la variación de la frecuencia de la misma forma que la tensión (ambas las de alimentación) para poder realizar un arranque suave variando la velocidad progresiva y linealmente.

Si las especificaciones del convertidor no permiten seguir aumentando la frecuencia o tensión (generalmente la tensión), el motor opera en una zona llamada “zona de debilitamiento de campo”, donde se sigue aumentando la velocidad, pero la tensión permanece en el límite y el motor pierde capacidad par. A continuación, en la *Figura 10* se muestra el diagrama genérico del control v/f:

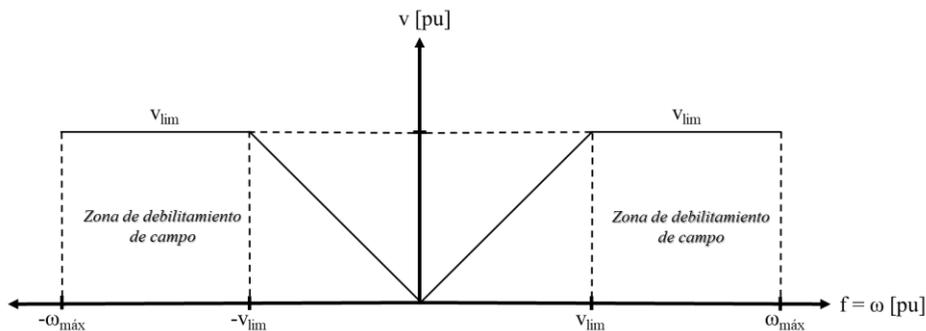


Figura 10. Diagrama del control v/f usado para los motores del sistema de paso. (Elaboración propia).

Con el objetivo de contar con una mayor reserva de par, se buscará trabajar antes de la zona de debilitamiento. Para ello el convertidor de frecuencia deberá tener una tensión límite mayor o igual a la velocidad máxima necesitada en el proceso:

$$v_{conv}^{máx} \geq 0,9643 \text{ pu} = 385,72 \text{ V}$$

Dado que no se llega a alcanzar ni la velocidad ni la tensión nominal, este factor no resultará decisivo y podrá usarse un convertidor de 400 V sin ningún problema.

En este caso, es necesario un convertidor que obtenga la corriente alterna (AC) de la red interna auxiliar del aerogenerador, y varíe su frecuencia y nivel de tensión según requiera el motor durante su operación según el control visto. Debe notarse que la frecuencia de la red es de 60 Hz en México. Por tanto, esa será la frecuencia de alimentación del convertidor, y no 50, que es el valor habitual en Europa y otros lugares del mundo.

La electrónica de potencia no admite ningún tipo de sobrecargas, por lo que se debe dimensionar el convertidor atendiendo a la corriente máxima necesaria. El motor demandará la máxima cantidad de corriente cuando tenga que dar el máxima par, esto es, en el tramo de aceleración del proceso, en el mismo punto en el que se ha calculado anteriormente.

Recuérdese que, aplicando el factor de seguridad, se ha dimensionado el motor para poder dar 36,3 kW. Así con el rendimiento del motor, puede calcularse la potencia nominal mínima del convertidor necesaria:

$$P_{conv}^N \geq \frac{36,3 \text{ kW}}{0,951} = 38,17 \text{ kW}$$

Teniendo la tensión máxima que debe ser capaz de dar el convertidor, se obtiene la intensidad máxima que debe poder soportar:

$$I_{conv}^N \geq \frac{38,17 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 385,72} = 57,13 \hat{A}$$

Por otro lado, el convertidor será alimentado con la línea interna de corriente alterna del aerogenerador, cuya tensión nominal será la del motor, 400 V. Este es un nivel de baja tensión (<1kV) y es obtenido de transformar la tensión de la red de distribución a la que está conectada el parque eólico mediante el correspondiente transformador.

Contando con todo lo anterior, se escogerá el convertidor para cada accionamiento de los catálogos disponibles del fabricante **Siemens** para convertidores de baja tensión, denominados **SINAMICS**. En el dossier se distinguen distintos tipos de aplicaciones, siendo la búsqueda la de *positioning* (posicionamiento), que requiere un gran desempeño dinámico y una alta precisión de posicionamiento de eje (*Figura 11*). Estas son características también propias de la presente aplicación, como ya se ha visto, por lo que se escogerá entre las gamas indicadas por Siemens.

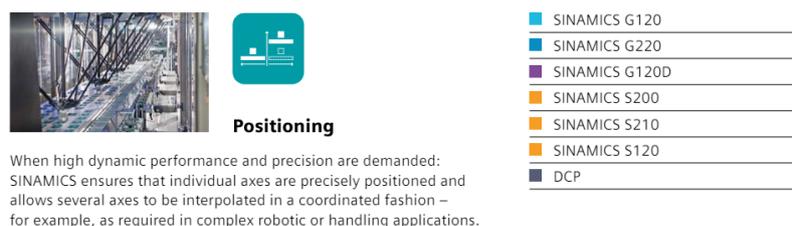


Figura 11. Descripción del tipo de aplicación de "posicionamiento" y las gamas aconsejadas para la misma. (Siemens)

- o La gama G120 se descarta por ser del tipo *standard performance*, ya que en este caso se busca alta precisión (el sistema debe ser capaz de girar muy pocos grados con precisión)
- o La gama G120D es descartada por tener un rango de potencia máximo de 7,5 kW.
- o Las gamas S200 y S210 son descartadas debido a que disponen de potencias nominales máximas de 7 kW.
- o El DCP se descarta porque es un convertidor DC-DC y el motor se alimentará en corriente alterna (AC)

Conforme a lo anterior, debe escogerse entre las gamas G220 y S120 del tipo **high performance** (alto desempeño). De entre estas 2 gamas se ha optado la G220, que cuenta con una mayor seguridad (certificación IEC) y un consumo más eficiente de energía.

Los datos del convertidor elegido finalmente se desglosan en la Tabla 2.

Para mayor detalle, consultar en anexos: Dossier de los convertidores de paso (Siemens) y Catálogo de los convertidores de paso (Siemens)

Convertidores de frecuencia del sistema de paso	
Marca y serie	Siemens SINAMICS G220
Modelo	6SL4113-0A.26-2-F.0
Transformación	AC/AC
Tensión de alimentación/a	400 V
Potencia nominal, baja sobrecarga	45 kW
Intensidad nominal de salida, baja sobrecarga	90 A
Intensidad nominal de entrada, baja sobrecarga	86,7 A
Protección	IP 55/UL Type 12
Modos de control	V/f, FCC, ECO, control vectorial con o sin encoder, control de par con o sin encoder
Temperatura ambiente	-20 °C a 60 °C, > 45 °C con reducción
Funciones de seguridad	Estándar: STO, SS1, SMT (requiere opción módulo SMT) Extensivas: SS1, SLS, SDI, SSM Certificado conforme a la IEC 61800-5- hasta SIL 3 e ISO 13849-1 Cat. 4 y PL e
Comunicaciones	PROFINET (RT/IRT, MRP y Redundancia S2), Modbus TCP/IP, EtherNet/IP
Controladores	SIMATIC S7-1200/S7-1500, SIMATIC ET200 S7-1500/1200/400, Desigo PX

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los convertidores del sistema de paso.

CAPÍTULO 5. SISTEMA DE ORIENTACIÓN

5.1. Introducción al sistema de orientación

El aerogenerador y sus elementos están diseñados para generar la mayor energía eléctrica posible cuando se hallan orientados **de cara al viento**, i.e., la corriente de viento incide sobre el aerogenerador como se representa en la *Figura 12*:



Figura 12. Orientación óptima de un aerogenerador respecto a la dirección del viento y el flujo del mismo a través del rotor aerodinámico. (Elaboración propia a través de IA).

El sistema de orientación o **guiñada** (*yaw*, en inglés) es el responsable de la rotación de la góndola alrededor del eje longitudinal a la torre para orientarlo según se precise. Los dos motivos de giro que pueden darse son:

- o Aprovechamiento de la energía eólica: puede quererse orientar la turbina de cara al viento para obtener mayor velocidad y/o energía, o viceversa.
- o Torsión de cables: el cableado en la torre y la góndola se ve sometido a torsión cuando se realiza el movimiento de guiñada, por lo que existen momentos en los que se requiere aliviar la torsión de los cables girando en el sentido que sea preciso, independientemente de la velocidad del viento.

Sin embargo, la variación del ángulo de guiñada no es tan influyente en la producción de energía como la del ángulo de paso de las palas. Mientras que el pitch system permite disminuir considerablemente e incluso parar la producción de energía con una rotación de muy pocos grados, el mismo movimiento en el sistema de guiñada apenas varía la producción un bajo porcentaje.

5.1.1. Consideraciones previas

En el proceso de guiñada es requerido el movimiento de sólo un anillo o corona. Sin embargo, como se ha planteado para el sistema de paso y como marcan las prácticas habituales, se emplearán varios motores para ejecutar el movimiento. De esta forma, en caso de que falle uno de ellos, podrá contarse con el resto para realizar la orientación que se requiera en el momento (aunque con limitaciones). En casos extremos, esta medida de prevención puede contribuir a suspender la operación del aerogenerador de una forma más eficiente. En concreto, la práctica que se utilizará es colocar los motores por pares.

Por otro lado, existe un freno en el rodamiento de orientación que evita el giro no requerido del mecanismo, debido a las cargas mecánicas que el viento ejerce sobre la estructura. Así, estas cargas se ven incrementadas según se halle orientado el aerogenerador, por lo que, en caso de vientos extremos que puedan poner en peligro la integridad del sistema, resulta vital tener disponibles cuantos medios sean necesarios para poder cambiar la dirección del rotor aerodinámico.

El rodamiento se halla acoplado a la torre y la góndola. Por motivos de seguridad, para cuando se tenga que acceder al interior de la torre por labores de mantenimiento u otras, el engrane dentado estará en el anillo exterior.

A continuación, se muestra en la *Figura 13* una imagen esquemática de un sistema de orientación (el número de motores no aplica):

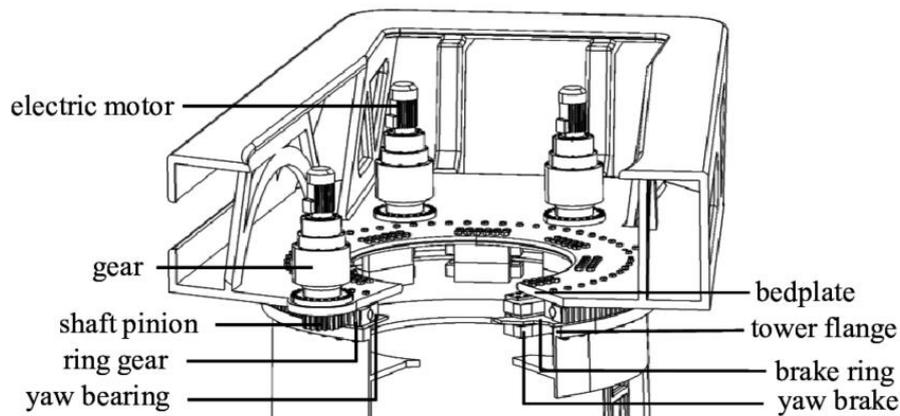


Figura 13. Ejemplo ilustrativo de un sistema de orientación. (Scientific Figure on ResearchGate).

Las similitudes operativas de este sistema con el de paso hace que muchas de las elecciones y cálculos a realizar sean análogos a los desarrollados en el *CAPÍTULO 4. SISTEMA DE PASO*. Así, a lo largo de este capítulo se obviarán explicaciones extensivas ya realizadas entonces para evitar repeticiones cuando así sea necesario.

5.2. Datos preliminares de diseño

En este caso, los datos preliminares proporcionados son más concretos que los del sistema de paso, contando con algunas de las especificaciones del actuador de guiñada.

- o Diámetro primitivo del sistema de orientación: $D = 5925 \text{ mm}$
- o Módulo sistema de orientación: $m = 24 \text{ mm}$
- o Velocidad de orientación: $\omega_{giro} = 0,3^\circ/s = \frac{\pi}{600} \text{ rad/s}$
- o Tiempo de aceleración giro: $\Delta t = 6 \text{ s}$
- o Par nominal de cada accionamiento: $M_{eje}^N = 49,0 \text{ kNm}$
- o Par de pico de cada accionamiento: $M_{eje}^{din} = 98,1 \text{ kNm}$
- o Relación engranajes reductora: $N = 1253,6$
- o Z piñón: $Z_{piñón} = 14$
- o Potencia nominal motor: $P_{mot}^N = 5,5 \text{ kW}$
- o Velocidad del motor: $n_{mot}^N = 940 \text{ rpm}$
- o Rendimiento (motor + reductora): $\eta_{mot} + \eta_{red} = 70 \%$

Como puede observarse, las dimensiones son mayores que en el sistema de paso. Consecuentemente, el movimiento de giro a realizar es igual al del sistema de paso, pero con magnitudes de tiempo mayores y magnitudes de velocidad menores.

A continuación, en la *Figura 14* se muestra la gráfica correspondiente al movimiento de giro de las palas de la velocidad angular en función del tiempo:

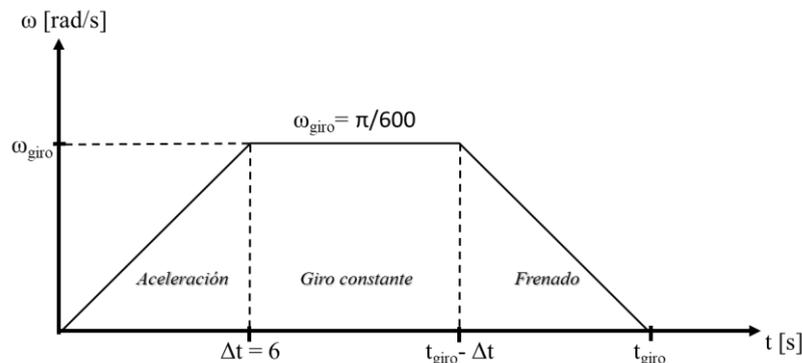


Figura 14. Movimiento de giro de la góndola al cambiar el ángulo de orientación. (Elaboración propia).

Realizando una aceleración uniforme desde parada ($\omega = 0$), la aceleración angular del proceso de giro se haya como en la *ecuación (1)*:

$$\alpha = \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\pi/600}{6} = \frac{\pi}{3600} \text{ rad/s}^2$$

La aceleración requerida es mucho más pequeña que en el control de paso, lo cual hace que el par acelerador necesario también. Esto, unido a que el par resistente para intentar rotar la góndola será mucho mayor, hace que se pueda considerar sólo el par resistente para determinar el número de motores con las especificaciones dadas.

Para determinar el par resistente del proceso se ha realizado de nuevo la simulación *steady operational loads* en Bladed, esta vez añadiendo como parámetro de análisis **Yaw bearing M_z** , el cual se corresponde con el par de carga ejercido en el eje longitudinal a la torre sobre el rodamiento de orientación.

En la **Figura 15** se muestran los resultados de la simulación graficados y tabulados:

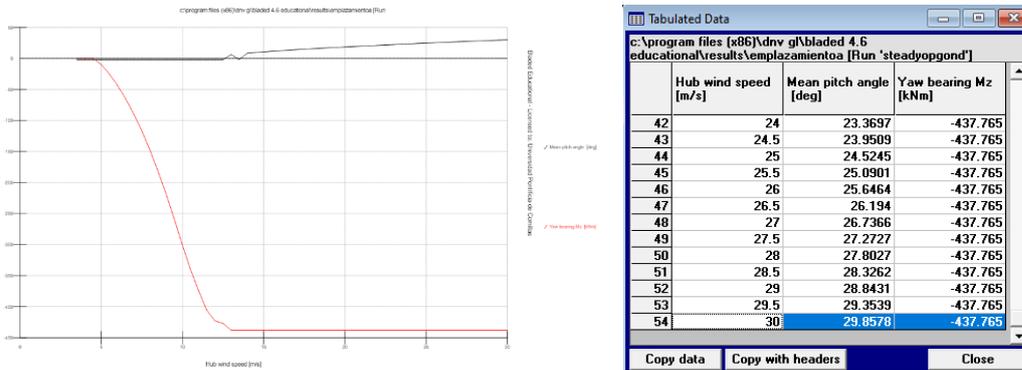


Figura 15. Resultados de la simulación de momentos de las cargas en el rodamiento de guiñada, en función de la velocidad del viento y el ángulo de paso. (Elaboración propia a través de Bladed).

El máximo par resistente a vencer será: $M_{res,m\acute{a}x} = 438 \text{ kNm}$

La potencia máxima requerida para poder mover el rodamiento de guiñada será (ecuación (2)):

$$P_{yaw}^{m\acute{a}x} \approx \omega_{giro} \cdot M_{res,m\acute{a}x} = \frac{\pi}{600} \cdot 438 \text{ kNm} = 2,29 \text{ kW}$$

Para determinar el número de accionamientos necesarios:

- o Se considerará un rendimiento en el engrane corona-piñón del 90% y el rendimiento del conjunto motorreductor proporcionado, 70%.
- o Se dividirá la potencia total entre la nominal de cada motor y se redondeará al número exacto inmediatamente superior más adecuado.

$$N^{\circ} \text{ accionamientos} = \frac{2,29 \text{ kW}}{0,9 \cdot 0,7 \cdot 5,5 \text{ kW}} = 0,662$$

Finalmente, considerando las aproximaciones realizadas, se usarán **2 accionamientos de orientación** para contar con la suficiente potencia y par total de forma adecuada y segura. Recuérdese que deben instalarse los accionamientos por parejas.

5.3. Motores eléctricos del accionamiento de orientación

Con los datos anteriores se puede proceder al dimensionamiento de cada uno de los motores a utilizar en el sistema de orientación, ya que ya se tienen las especificaciones de las reductoras.

Operando como en las ecuaciones (4) y (6) puede hallarse la velocidad necesaria a la salida del accionamiento:

$$D_{\text{piñón}} = Z_{\text{piñón}} \cdot m_{\text{piñón}} = 14 \cdot 24 = 336 \text{ mm}$$

$$n_{\text{piñón}}^{\text{máx}} = \frac{\pi}{600} \cdot \frac{5925}{336} \cdot \frac{60}{2\pi} = 0,8817 \text{ rpm}$$

A su vez, se pueden determinar la velocidad máxima requerida en el eje del motor:

$$n_{\text{mot}}^{\text{máx}} = 0,8817 \cdot 1253,6 = 1105,3 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{mot}}^{\text{máx}} = \frac{1105,3}{1000} = 1,1053 \text{ pu}$$

Lo mismo puede hacerse para hallar el par máximo en la salida del motor, empleando la ecuación (5):

$$M_{\text{mot}}^N = \frac{M_{\text{eje}}^N}{1253,6} = 39,087 \text{ Nm}$$

De nuevo, se ha consultado al fabricante Bonfiglioli, dentro de sus soluciones para accionamientos de guiñada. Los motores válidos son los mismos que los de los accionamientos de paso. Para mayor detalle, consultar en anexos: Dossier de los accionamientos de orientación (Bonfiglioli)

La velocidad nominal que se tiene preliminarmente es de 940 rpm. Teniendo que la velocidad angular eléctrica se basa en la ecuación (7), se llega a la conclusión de que debe escogerse un motor trifásico **asíncrono** de frecuencia nominal 50 Hz y **3 pares de polos**. Para mayor detalle, consultar en anexos: Cálculo de tipo de motor de orientación

$$f_{\text{elec}}^N = f_N \cdot \frac{60}{p}, \quad p \equiv \text{pares de polos} \quad (7)$$

Los motores Bonfiglioli de eficiencia energética clase IE3, elegidos justificadamente para los accionamientos de paso, no cuentan con modelos con 3 pares de polos (6 polos en total).

Dado que la preferencia de esa clase se basa en estándares europeos y la normativa Mexicana no menciona nada en específico a dicho respecto, se ha elegido un motor de la gama con la eficiencia energética inmediatamente inferior, la **gama BE**, de eficiencia energética IE2 y que sí cuenta con modelos de 3 pares de polos.

Finalmente, las especificaciones principales del modelo de motores elegido se muestran en la *Tabla 3*. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Catálogo de los motores de orientación (Bonfiglioli)*

Motores eléctricos del sistema de orientación	
Tipo	Trifásico asíncrono de jaula de ardilla
Fabricante	Bonfiglioli
Modelo	BE 160MA 6
Eficiencia energética	IE 2
Frecuencia nominal	50 Hz
Número de polos	6
Tensión nominal (Δ / Y)	400 V \pm 10%
Potencia nominal (P_N)	5,5 kW
Velocidad nominal (n_N)	965 rpm
Velocidad mecánica límite (n_{lim})	3000 rpm
Par nominal (M_N)	54 Nm
Intensidad nominal a 400 V (I_N)	11,6 A
Rendimiento nominal (η)	87%
Factor de potencia ($\cos\phi$)	0,79

Tabla 3. Especificaciones técnicas de los motores del sistema de orientación.

Puede comprobarse que la velocidad máxima requerida en el eje del motor será menor que su límite mecánico:

$$n_{motor}^{m\acute{a}x} = 1105,3 \text{ rpm} < n_{motor}^{lim} = 3000 \text{ rpm}$$

5.4. Convertidores de frecuencia del sistema de orientación

En este sistema los motores también usarán control v/f y las especificaciones de los convertidores se ajustarán a dicho control. En esta ocasión, la velocidad máxima requerida para cada motor excede la nominal, por lo que podrían llegar a operar en la zona de debilitamiento según los convertidores seleccionados. A continuación, se adjunta en la *Figura 16* el diagrama v/f como recordatorio:

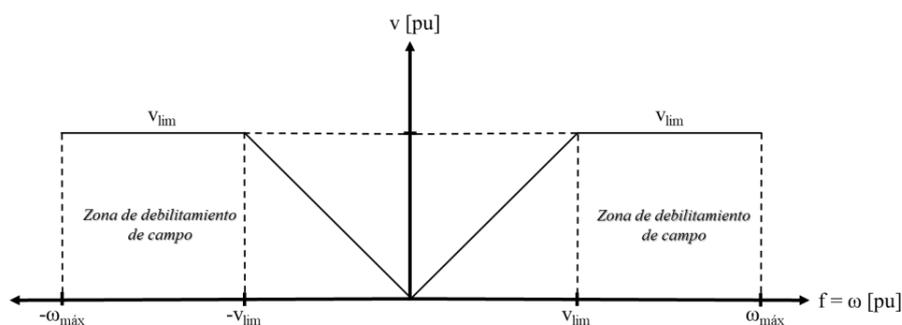


Figura 16. Diagrama del control v/f, usado para los motores del sistema de orientación. (Elaboración propia).

Por tanto, para poder llegar a esa velocidad sin entrar en la zona de debilitamiento de campo, el convertidor de frecuencia deberá tener una tensión límite mayor o igual a la velocidad máxima necesitada en el proceso:

$$v_{conv}^{m\acute{a}x} \geq 1,1053 pu = 442,12 V$$

La tensión límite del convertidor será siempre la de la red que le alimente. Como incluir otra red auxiliar más solo por este motivo supondría un coste y complejidad adicionales innecesarios, se alimentará el sistema de orientación también de la red auxiliar de 400 V, lo que provocará que en el proceso de guiñada los motores operen en la zona de debilitamiento de campo.

Sin embargo, esto no supondrá mayores consecuencias, al operar este sistema en tramos cortos de tiempo y con una frecuencia mucho menor a la del sistema de paso.

Con la potencia nominal y rendimiento de los motores, puede calcularse la potencia nominal mínima necesaria de los convertidores:

$$P_{conv}^N \geq \frac{5,5 kW}{0,87} = 6,32 kW$$

Teniendo la tensión máxima que debe ser capaz de dar el convertidor, se obtiene la intensidad máxima que debe poder soportar:

$$I_{conv}^N \geq \frac{6,32 kW}{\sqrt{3} \cdot 442,12} = 8,26 A$$

Contando con todo lo anterior, se escogerá los convertidores de orientación de entre los modelos *SINAMICS* aptos para aplicaciones tipo *positioning* (posicionamiento).⁵

A continuación, se muestran en la *Figura 17* las diferentes gamas recomendadas para la aplicación buscada, a modo de recordatorio:

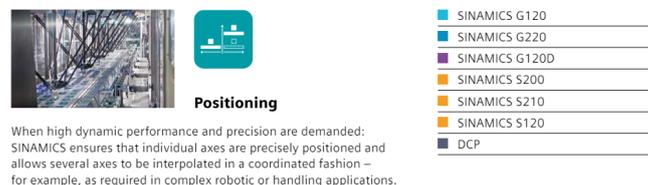


Figura 17. Descripción del tipo de aplicación de "posicionamiento" y las gamas aconsejadas para la misma. (Siemens).

- o La gama G220 se descarta por ser del tipo *high performance*, ya que en este caso no se busca un desempeño tan minucioso como en el control de paso.
- o Las gamas S200 y S210 son descartadas por no disponer de control v/f.
- o La gama S120 no puede considerarse porque en su versión AC/AC parte de rangos de potencia de 110 kW.

⁵ Explicado en *4.5. Convertidores de frecuencia del sistema de paso*

- o El DCP se descarta porque es un convertidor DC-DC y el motor se alimentará en corriente alterna (AC)

Conforme a lo anterior, debe escogerse entre las gamas G120 y G120D. Se ha optado por la G120 por contar con estándares de seguridad de mayor nivel y rango de potencias disponible.

Los datos del convertidor elegido finalmente son los indicados en la *Tabla 4*. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Dossier de los convertidores de orientación (Siemens)*

Convertidores de frecuencia del sistema de orientación	
Marca y serie	Siemens SINAMICS G120
Modelo	6SL3225-0BE25-5AA1
Transformación	AC/AC
Tensión de alimentación/a	400 V
Potencia nominal	7,5 kW
Intensidad nominal de salida	18 A
Protección	IP20/UL open type
Modos de control	V/f (lineal, exponencial, FCC, ECO), vectorial con y sin econdor (VC, SLVC)
Temperatura ambiente	-10 °C a 40 °C sin derating/hasta 60 °C con derating
Funciones de seguridad	STO, SS1, SBC, SLS, SDI, SSM
Comunicaciones	PROFINET, PROFIBUS DP, EtherNet/IP, USS/Modbus RTU, CANopen, PROFI-safe
Controladores	SIMATIC ET200, SIMATIC S7-1200/SIMATIC S7-1500, SIMATIC PCS 7

Tabla 4. Especificaciones técnicas de los convertidores del sistema de orientación.

CAPÍTULO 6. CIRCUITOS DE PROTECCIÓN

6.1. Utilidad y motivo de las protecciones eléctricas

En este capítulo se abordarán las protecciones eléctricas a implementar en el aerogenerador con el objetivo de proteger los circuitos y elementos del subsistema de apoyo a generación.

Las situaciones frente a las que deben actuar las protecciones eléctricas son aquellas en las que se den magnitudes anómalamente diferentes a aquellos valores que se correspondan con condiciones normales de funcionamiento.

Las principales situaciones que pueden darse son:

- o **Sobreintensidades por caída de rayos:** la localización y altura del aerogenerador hace que este sea más propenso de lo habitual a recibir el impacto de rayos eléctricos, los cuales producen intensidades demasiado altas para los circuitos eléctricos. Para más información sobre la protección ante rayos, consultar *Protecciones eléctricas frente a impacto de rayos*.
- o **Faltas o fallos en la red de alimentación:** debidos a diversos motivos, los sistemas auxiliares se verían directamente afectados al absorber energía eléctrica de la red de distribución dañada.
- o **Sobrecargas mecánicas:** puede ocurrir que los motores tengan que operar (por orden de los controles que los dirigen) en condiciones de cargas mecánicas superiores a las que se han previsto en los diseños. Esto se traduciría en corrientes consumidas superiores a las debidas.

Estas situaciones pueden dañar de forma irreversible los sistemas eléctricos y electrónicos previstos. Considerando la complejidad del mantenimiento del aerogenerador de por sí por su localización y la de los sistemas a proteger por la accesibilidad dentro del aerogenerador, resulta mandatorio diseñar un sistema protector lo más efectivo posible.

6.2. Consideraciones previas

Conforme a lo anterior, cabe destacar dos cualidades fundamentales para el correcto funcionamiento de las protecciones eléctricas:

- o **Obediencia:** se refiere a la capacidad de una protección eléctrica para actuar (o *disparar*) cuando debe hacerlo.
- o **Seguridad:** capacidad de una protección eléctrica para no actuar cuando no tiene que actuar.

Por tanto, los parámetros de configuración de las protecciones deberán calcularse de tal forma que consideren un rango de no actuación que incluya los puntos de funcionamiento extremos de los sistemas y un rango de actuación que incluya puntos de magnitudes correspondientes de condiciones totalmente anómalas de funcionamiento.

6.2.1. Ubicación y selectividad

Por otro lado, debe garantizarse la operabilidad del resto del sistema eléctrico del aerogenerador aun cuando la protección desconecte los sistemas auxiliares.

Así, las protecciones generales del aerogenerador deben “esperar” a la posible actuación de las auxiliares para que, en caso de que la falta sea propia del subsistema de apoyo, las protecciones diseñadas en este capítulo puedan despejarla. Si esto no se consiguiera, la temporización haría que las protecciones generales actuaran, una vez pasado el tiempo de actuación previsto del sistema auxiliar.

6.2.2. Disposición y conexionado

El tipo de actuación coordinada que se acaba de comentar debe estar respaldada por la conexión de las protecciones a tal efecto. Lo mismo debería ocurrir entre los diferentes elementos del sistema auxiliar.

Para evitar redundancias excesivas y contando con el “pequeño” tamaño de la instalación a efectos eléctricos, se ha decidido determinar la protección del sistema auxiliar en su conjunto, colocando la protección en el primario del transformador auxiliar.

Como protección, teniendo en cuenta el nivel de tensión de los circuitos y el rango de potencias, se ha optado por el uso de un interruptor automático, el cual realizará la apertura del circuito a partir de un cierto nivel de intensidad mediante los relés necesarios.

A continuación, se detalla en la *Figura 18* la disposición eléctrica del sistema auxiliar y las protecciones (detalle no extensivo). Para mayor detalle, consultar en anexos: *Esquema unifilar de los circuitos del subsistema de apoyo a generación*.

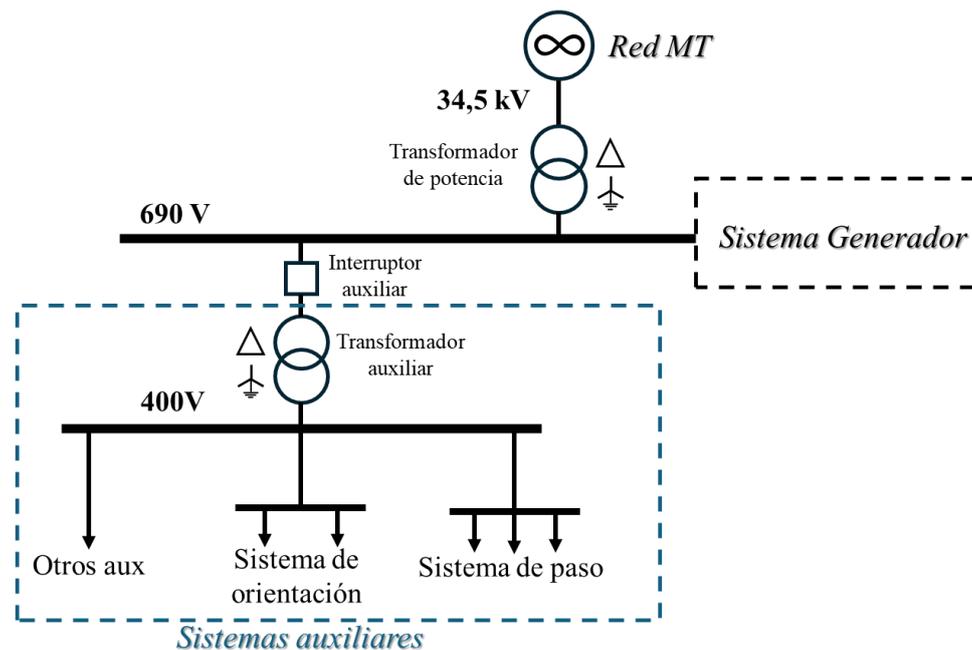


Figura 18. Diagrama unifilar de la conexión eléctrica de los servicios auxiliares con el generador y la red de distribución. (Elaboración propia).

6.2.3. Circuitos a proteger

En total, el sistema a proteger se compone de los circuitos cuyas especificaciones nominales se detallan a continuación en la *Tabla 5*:

Magnitud	Circuitos de paso (x3)	Circuitos de orientación (x2)	Resto de circuitos (total) ⁶
Tensión nominal	400 V	400 V	400 V
Intensidad nominal	57,3 A	11,6 A	27 A
Potencia/consumo nominal	38,9 kW	6,3 kW	15 kW
Factor de potencia	0,85	0,79	0,8

Tabla 5. Especificaciones nominales de los circuitos auxiliares.

6.3. Dimensionamiento del interruptor auxiliar

Con estos datos nominales de los circuitos, pueden determinarse de forma **preliminar** las especificaciones mínimas necesarias del transformador auxiliar para alimentarlos:

$$S_{taux}^N \geq \frac{38,9 \cdot 3}{0,85} + \frac{6,3 \cdot 2}{0,79} + \frac{15}{0,8} = 172 \text{ kVA} \rightarrow S_{taux}^N \geq 172 \text{ kVA}$$

Al proporcionar el transformador la alimentación del sistema auxiliar, puede determinarse la intensidad de cortocircuito a despejar tomando la impedancia de cortocircuito del mismo.

Dado que las especificaciones del transformador auxiliar se escogerán en el capítulo siguiente (*7.4. Transformador de potencia para cargas auxiliares*), se procederá en este caso con una estimación fiable de la impedancia de cortocircuito. Valores típicos de esta magnitud comprenden un rango de entre el 5 y el 15%.

Para dimensionar la protección, se tomará una impedancia de cortocircuito del 12% para hallar la corriente de falta en caso de cortocircuito trifásico, en bases del lado de alta del transformador (690 V):

$$Z_{cc} \approx jX_{cc} = j0,12 \cdot \frac{690^2}{172 \cdot 10^3} = j0,3322 \Omega$$

$$|I_{cc,3\phi}| = \frac{U}{|Z_1|} = \frac{U}{|Z_{cc}|} = \frac{690/\sqrt{3}}{0,3322} = 1199,2 \text{ A} \approx 1200 \text{ A} = \mathbf{1,2 \text{ kA}}$$

⁶ Se han estimado las especificaciones del total del resto de circuitos correspondientes a la iluminación, las comunicaciones y otros, dado que no es objetivo de este proyecto su estudio extensivo. Para mayor explicación acerca de las estimaciones realizadas, consultar: *Consumos adicionales del sistema auxiliar*.

La protección deberá ser capaz de despejar una intensidad de cortocircuito de 1,2 kA. Aunque puede parecer un poco baja para ser una intensidad de falta, es mucho mayor a la intensidad nominal del circuito, como se calcula en la *ecuación (8)*:

$$I_{aux}^N \Big|_{690V} = (57,3 \cdot 3 + 11,6 \cdot 2 + 27) \cdot \frac{400}{690} = 128,7 A \quad (8)$$
$$I_{cc,3\phi} = 9,3 \cdot I_{aux}^N$$

Por tanto, la intensidad para la que se dimensionará el interruptor auxiliar será casi 10 veces mayor a la intensidad nominal. Esta es una proporción común y, además, asegura la no actuación en el caso de energización del transformador, cuando las corrientes pueden llegar a 6-7 veces la nominal.

Asimismo, mediante la estimación de la X_{cc} en un valor superior del rango típico, se ha obtenido un valor menor de la intensidad de falta, que permite potenciar la seguridad de los motores por sobrintensidades indebidas (principal peligro al que se exponen los accionamientos eléctricos), las cuales ya son dañinas en un rango inferior de valores.

Pueden consultarse la validez de las estimaciones realizadas en el apartado:

7.4.5. Integración del transformador auxiliar en el sistema estudiado

6.4. Especificaciones técnicas del interruptor auxiliar

Para determinar el tipo y modelo exacto de interruptor a utilizar se han buscado fabricantes a tal efecto bajo las siguientes consideraciones:

- o Capacidad automática: existen interruptores manuales que requieren de una monitorización y manejo constante, operabilidad para la cual no se prevé el aerogenerador.
- o Intensidad nominal de trabajo mayor o igual a 129 A.
- o Poder de corte de 1,2 kA o superior.
- o Tensión nominal 690 V
- o Número de polos: 3. De esta forma, el interruptor podrá controlar las 3 fases del circuito a proteger.
- o Operabilidad en 60 Hz, la frecuencia nominal de la red disponible.

Un fabricante con amplia experiencia y catálogo en el campo es la empresa **Schneider Electric**, de cuyos modelos se ha escogido el detallado en la *Tabla 6*. Para mayor detalle, consultar en anexos: Hoja de especificaciones del interruptor auxiliar (Schneider Electric)

Interruptor automático de los servicios auxiliares	
Marca	Schneider Electric
Gama	PowerPact Multiestándar
Modelo	H-Frame - 150 A - 25 KA - TM trip unit
Tipo	Automático
Número de polos	3
Corriente nominal	150 A en 40 °C
Tensión nominal de aislamiento	750 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A
Resistencia a picos de tensión	8 kV acorde a En> 50 A
Tensión nominal de empleo	690 V AC 50/60 Hz acorde a IEC 947-2
Poder de seccionamiento	Sí
Durabilidad mecánica	4000 ciclos
Durabilidad eléctrica	4000 ciclos
Tecnología de disparo	Magneto-térmico
Poder de corte en servicio	Ics, estado 1 20 kA en 690 V - AC acorde a IEC 947-2

Tabla 6. Especificaciones técnicas del interruptor de servicios auxiliares.

CAPÍTULO 7. CIRCUITOS AUXILIARES

7.1. Introducción

Los circuitos auxiliares constan de todos los componentes necesarios para la alimentación de los servicios auxiliares. Para su dimensionamiento, deberán tenerse en cuenta las demandas y requerimientos de los sistemas de paso y orientación, esenciales en la optimización de la obtención de energía eléctrica, así como de los consumos adicionales ya mencionados

En la siguiente sección se detallan los consumos y especificaciones nominales de los equipos a alimentar con el sistema auxiliar, con el objetivo de determinar los elementos de este último necesarios a tal efecto.

Nótese que las demandas máximas son menores a las especificaciones nominales de los equipos, las cuales se eligen según disponibilidad de los fabricantes. Sin embargo, esa reserva de potencia será tanto más útil cuanto mayor sea la garantía de su utilidad, lo cual se consigue asegurando su correcto suministro.

Para revisar la configuración eléctrica del sistema auxiliar, puede consultarse la Figura 18

7.2. Datos preliminares

Las especificaciones eléctricas de los diferentes sistemas a alimentar ya han sido detalladas en el capítulo anterior en la Tabla 5. Especificaciones nominales de los circuitos auxiliares, con el objetivo de determinar la potencia nominal de alimentación necesaria. Operando como en la ecuación (8), pero sin el cambio a 690 V se tiene que:

$$S_{aux}^N = 172 \text{ kVA} ; \quad U_{aux}^N = 400 \text{ V}$$

$$I_{aux}^N \Big|_{400V} = (57,3 \cdot 3 + 11,6 \cdot 2 + 27) = 222,1 \text{ A}$$

Nótese la no coincidencia: $I_{aux}^N \neq \frac{S_{aux}^N}{U_{aux}^N \cdot \sqrt{3}}$.

Esto se debe a que se han usado los datos de intensidad proporcionados por el fabricante, los cuales se corresponden más con mediciones experimentales que con cálculos en los que intervienen otras variables⁷.

⁷ Los cálculos realizados encuentran similitud entre la intensidad proporcionada por el fabricante y la parte real del factor de potencia calculado, teniendo en cuenta el factor de potencia dado y, con ello, la reactiva consumida.

En cualquier caso, la intensidad nominal teórica necesaria sería mayor que la ya vista, como se comprueba en la ecuación (9). Por tanto, el dimensionamiento del transformador con la potencia y tensión nominales asegurarán el suministro de energía necesario.

$$I_{aux}^{N,teo} = \frac{172 \cdot 10^3}{400\sqrt{3}} = 248,3 A \quad (9)$$

7.3. Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)

7.3.1. Utilidad del SAI

Los sistemas de orientación y de paso deberán poder ser alimentados de forma permanente, con el objetivo de asegurar su correcta operabilidad aun cuando se puedan dar incidentes en la red eléctrica a la que estará conectado el aerogenerador. De no disponer de alimentación alguna en tales casos, se perdería la completa operabilidad de los controles de paso y orientación, con las graves consecuencias que ello podría tener: desde la integridad física del propio aerogenerador, hasta en los circuitos eléctricos finalmente. Por tanto, conforme a lo anterior, se utilizará un Sistema de Alimentación Ininterrumpida o **SAI**.

7.3.2. Características constructivas y funcionamiento del SAI

El SAI, o también llamado en inglés **UPS** (*Uninterruptible Power Supply*), tiene su utilidad en la disponibilidad de energía eléctrica almacenada en una batería de corriente continua. Así, el sistema en su conjunto dispone internamente de los elementos eléctricos de electrónica de potencia necesarios para habilitar las siguientes capacidades de operación:

- o La conexión mediante un *bypass* o derivación estática del circuito de demanda a la red de alterna y su desconexión en situaciones de fallo.
- o El suministro de energía de la batería al circuito de demanda cuando sea necesario.
- o La carga de la batería, a través de la red de alterna cuando se requiera.

A continuación, se facilita en la Figura 19 una imagen esquemática de la disposición interna del SAI:

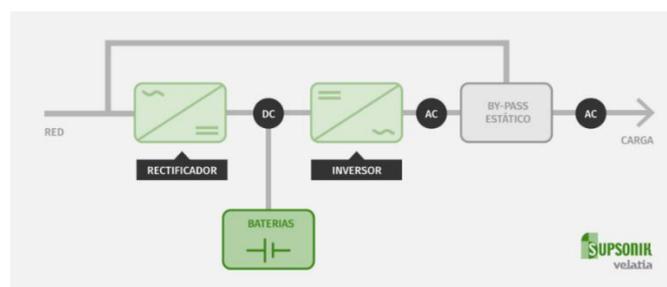


Figura 19. Esquema de los elementos internos de un Sistema de Alimentación ininterrumpida (SAI). (Supsonik Velatia).

7.3.3. Dimensionamiento del SAI

El SAI debe ser capaz de alimentar todas las demandas del sistema auxiliar. Así, la potencia nominal con la que debe contar es la ya determinada de 172 kVA. Para mayor cobertura y seguridad en situaciones críticas, se dimensionará para poder aportar 200 kVA, lo cual supone un 16% más. Este redondeo aporta además mayor facilidad de selección de modelos de los fabricantes

$$S_{SAI}^N \geq 200 \text{ kVA}$$

Debido a su conexión en serie con la línea trifásica auxiliar común, el equipo estará conectado a los 400 V a la salida del transformador. Recuérdese que la red a la que se halla conectado el aerogenerador es de 60 Hz.

Adicionalmente, el UPS deberá tener intensidades nominales superiores a la prevista de 248,3 A (*ecuación (9)*). En este caso existe una intensidad nominal de entrada, otra de derivación (i.e., la que circula por el bypass) y otra de salida.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la batería es de corriente continua, por lo cual su tensión admisible será $\sqrt{2}$ veces el valor eficaz de 400 V: ⁸

$$U_{BAT}^N \geq 400\sqrt{2} = 566 \text{ Vcc}$$

7.3.4. Especificaciones técnicas del SAI

Se ha consultado también a este respecto al fabricante Schneider Electric, que cuenta con una gama de UPS que se adapta a las necesidades del proyecto. En la *Tabla 7* se adjuntan las especificaciones del sistema a utilizar finalmente. Se ha trasladado la tabla entera a la página siguiente para poder visualizarla en una sola página. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Hoja de especificaciones del SAI (Schneider Electric)*

⁸ Las tensiones e intensidades en alterna son sinusoidales, por lo cual se utilizan con su valor eficaz. Sin embargo, en corriente continua debe considerarse la amplitud de la sinusoides, que se obtiene multiplicando el valor eficaz de alterna por la raíz cuadrada de 2.

Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)	
Marca/fabricante	Schneider Electric-APC
Serie	Symmetra PX
Código	SY200K250DR-PD
Modelo	Con un interruptor interno -Suministro de red simple principal
Potencia nominal	200 kW, 200 kVA (factor de salida de potencia 1)
Tensión nominal	400 V
Corriente de entrada nominal	311 A
Corriente de derivación nominal	298
Corriente de salida nominal	298 A
Frecuencia de entrada	40-70 Hz; 10 Hz/s de velocidad de cambio de voltaje
Frecuencia de derivación	60 Hz
Frecuencia de salida	60 Hz, sincronizado con red eléctrica
Tiempo de autonomía de la batería para carga 200 kW	6 minutos 6 segundos
Eficiencia de la batería a 100% de carga	96,2%
Tiempo típico de recarga de la batería	3,5 horas
Suministro de carga a baterías	19,2 kW nominal con factor de potencia 0,5

Tabla 7. Especificaciones Técnicas del Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).

7.3.5. Integración del SAI en el sistema auxiliar estudiado

En condiciones normales, el SAI escogido no permanece en el modo derivación, si no que se halla conectado con los circuitos de electrónica de potencia alterando la senoidal recibida de la red para acondicionarla a la carga. En cualquier caso, este modo consume más energía, por lo que se puede cambiar al modo derivación siempre que se desee.

El modelo elegido cuenta también con una derivación adicional para tareas de mantenimiento, llamada derivación de mantenimiento.

En los anexos (*Planos del SAI (Schneider Electric)*) puede consultarse la figura de la disposición eléctrica del modelo elegido, aportada por el fabricante en el documento de especificaciones técnicas.

El fabricante proporciona una gráfica interactiva en la que se hallan representadas las autonomías de las baterías en función de la potencia demandada. Además, distingue entre diferentes configuraciones del modelo de UPS con baterías adicionales de apoyo, o sin ellas, como es el caso del presente proyecto. Para mayor detalle, consultar en anexos: [*página 113*](#)

Pese a que el modelo implementado es de 200 kW y permite una mayor reserva de energía para casos críticos, conviene conocer la autonomía que tendrían las baterías si la demanda fuera la nominal ya calculada de 172 kVA. A continuación, en la *Figura 20* se adjuntan las autonomías obtenidas para dicho consumo de potencia.

Tiempo de autonomía estimado por	172 kW
● SY200K250DR-PD	7 min 55 s
● SY200K250DR-PD + SYBT9-B6 (3)	11 min 2 s
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (1)	19 min 53 s
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (2)	29 min 21 s
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (6)	1 h 11 min
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (3)	39 min
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (4)	49 min
● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (5)	1 h

Figura 20. Tiempos de autonomía de las baterías del SAI para una demanda de 172 kW, en función de las diferentes configuraciones posibles con baterías de apoyo. (Schneider Electric).

Así, con el SAI escogido se tendrían cubiertos los consumos previstos del sistema auxiliar durante casi 8 minutos. En caso de emergencia el principal objetivo sería la parada o puesta en marcha del aerogenerador. Para ello, se ajustarían y operarían los sistemas de paso y orientación a tal efecto, lo cual se realizaría en un tiempo inferior a 8 minutos. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Sobrecarga del transformador de servicios auxiliares*.

Por tanto, puede concluirse en el que el SAI escogido puede integrarse en el aerogenerador del proyecto y desempeñar su función debidamente.

7.4. Transformador de potencia para cargas auxiliares

7.4.1. Configuración de tensión

Para poder alimentar las diferentes cargas auxiliares ya comentadas a 400 voltios, es requerido un transformador de potencia que baje el nivel de tensión. Existe ya un transformador previsto para el circuito de potencia o generación de 34,5 kV/690 V. Conforme a lo anterior, cabrían dos posibilidades de conexión del lado de alta tensión:

1. Conexión directa a la red de 34,5 kV

Conexión a un embarrado o nudo a la tensión de la red de distribución, junto con el circuito de potencia del generador (y su transformador).

Esta opción requeriría un transformador de considerables dimensiones, costes y criticidad, adicionalmente al ya previsto para el circuito de generación.

2. Conexión a 690 V

Se conectaría a un nudo a 690 V en el lado de baja del transformador de potencia, conectado a la red de 34,5 kV.

Se requeriría un transformador mucho más pequeño, barato y menos crítico.

Debe tenerse en cuenta que ya se ha previsto un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) para falta de alimentación de la red. Como se detalla en los anexos (*Sobrecarga del transformador de servicios auxiliares*), en los casos en los que la red falle el sistema auxiliar cumplirá su función con la alimentación y autonomía del SAI. Por tanto, resulta de poca o ninguna utilidad disponer de una conexión independiente de los servicios auxiliares a la red, más aún si se tiene en cuenta el sobrecoste que añadiría en el transformador auxiliar.

De igual forma, aunque los servicios auxiliares y el circuito de potencia se hallen conectados al mismo nudo, se han previsto los interruptores necesarios para ejercer las funciones de protección. Además, la conexión del transformador se dispondrá conforme a la más eficaz en situaciones de falta (como ocurriría en la primera opción).

Por todo lo expuesto en este apartado, finalmente se conectará el lado de alta tensión del transformador de servicios auxiliares a **690 V**. Puede consultarse el diagrama unifilar correspondiente en la *Figura 18*

7.4.2. Configuración de potencia

La potencia del transformador deberá ser capaz de cubrir los consumos del sistema auxiliar en su conjunto, más la carga de la batería del SAI cuando sea necesario:⁹

$$S_{trafo}^{m\acute{a}x} = S_{SAI}^{carga} + S_{aux}^N = \frac{19,2 \text{ kW}}{0,5} + 172 \text{ kVA} = 210,4 \text{ kVA}$$

Sin embargo, esta situación de carga simultánea no se dará con la frecuencia suficiente como para supeditar la dimensión de potencia del transformador sólo para ello. En su lugar, puede dimensionarse con los 172 kVA, contando con que todo transformador cuenta cierta capacidad de sobrecarga durante períodos cortos de tiempo. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Sobrecarga del transformador de servicios auxiliares*

7.4.3. Consideraciones adicionales

Dado que la opción de conexión directa a la red suponía alguna ventaja (no decisiva) en términos de seguridad, se buscará el tipo de transformador y configuración del mismo que mayor protección puedan aportar:

- o Aislamiento galvánico de los circuitos
- o Protección contra agua/humedad
- o Aislamiento seco, más adecuado para entorno húmedos

⁹ El consumo crítico descrito se produciría en el supuesto restablecimiento del suministro de la red con la batería descargada. Los sistemas auxiliares consumirían en condiciones normales y el SAI la potencia correspondiente a la carga de sus baterías.

- o Conexión triángulo-estrella: conectar en triángulos los arrollamientos de alta tensión es la medida óptima para evitar el aporte de corrientes de cortocircuito de la red. Es decir, evita la propagación a la red de una falta en los sistemas auxiliares. (Mejía Marissa Raquel, 2019)

En adición a todo lo anterior, el transformador deberá ser apto para 60 Hz, la frecuencia nominal de la red.

7.4.4. Especificaciones técnicas del transformador auxiliar

Para determinar el modelo exacto y las especificaciones del transformador, se ha consultado al fabricante español **Manumag**, especializado en transformadores de baja tensión. Como resultado de la consulta, se adjunta a continuación en la Tabla 8 las especificaciones técnicas del transformador de servicios auxiliares a implementar. Para mayor detalle, consultar en anexos: Especificaciones del transformador auxiliar (Manumag)

Transformador de servicios auxiliares	
Tipo	Transformador de aislamiento trifásico
Fabricante	Manumag, S.L.
Serie	YAQ
Código	YAQ04189963
Potencia nominal	180 kVA
Tensión primaria nominal	690 V
Intensidad primaria nominal	150,6 A
Tensión secundaria nominal	400 V + N
Conexión de devanados	Dyn11
Frecuencia	60 Hz
Tensión de cortocircuito	6 %
Pérdidas en el cobre	3132 W
Pérdidas en el hierro	557 W
Grado de protección	IP23
Tipo de aislamiento	Seco: protección contra humedad mediante impregnación de resina

Tabla 8. Especificaciones técnicas del transformador de servicios auxiliares.

7.4.5. Integración del transformador auxiliar en el sistema estudiado

La tensión de cortocircuito es de 6%, menor a la considerada en el dimensionado del interruptor auxiliar, en la que se hizo uso de un criterio conservador para asegurar un correcto diseño. Se tiene también el dato de la extracorrente de conexión, indicándose que es menor a 8 veces la intensidad nominal.

Por tanto, las consideraciones realizadas anteriormente respecto a la actuación del interruptor de servicios auxiliares en 4.3. Dimensionamiento del interruptor auxiliar, son válidas.

Por otro lado, la **norma IEC 60076-7** proporciona valores límite carga para los diferentes tipos de transformadores y sobrecargas. Para sobrecargas de larga duración en transformadores de distribución el valor dado es de 1,8 p.u., i.e., 1,8 veces la intensidad nominal. (FU, 2015)

En el caso del presente proyecto, la sobrecarga máxima requeriría una intensidad en el primario de: (operando como en la *ecuación (9)*)

$$I_{aux}^{m\acute{a}x}|_{690V} = \frac{210,4kVA}{690\sqrt{3}} = 176,05 A = 1,17 \cdot I_{trafo}^N|_{690V}$$

La sobrecarga a la que se someterá el transformador auxiliar previsto en el caso crítico analizado será menor a la máxima prevista en la norma internacional.

En suma, el modelo de transformador de servicios auxiliares seleccionado podrá cumplir eficientemente sus funciones en todo el rango de operación considerado, integrándose debidamente con los elementos dimensionados anteriormente.

7.5. Cableado eléctrico de los servicios auxiliares

7.5.1. Consideraciones previas

Todo el sistema auxiliar integrado por cada uno de los elementos y servicios hasta ahora descritos deben estar conectados eléctricamente a través de cables. Así, en esta sección se dimensionará todo el cableado eléctrico necesario para cumplir con los requerimientos de transporte de energía eléctrica a través del sistema auxiliar.

Para conocer los requerimientos del cableado de baja tensión, se han consultado tanto la norma **UNE-HD 60364-5-52** como la Norma Oficial Mexicana **NOM-001-SEDE-2012**. Ambas adoptan la norma internacional **IEC 60364-5-52**, asociada a la certificación de GL. Conforme a estas dos normas se han tomado los criterios de dimensionamiento comentado en lo sucesivo.

La intensidad nominal del cableado no deberá ser menor al 125% de la nominal necesaria para alimentar los diferentes circuitos auxiliares, por lo que las capacidades máximas de los cables varían según la carga alimentada. Teniendo esto en cuenta, cabe considerar 4 tramos de cableado, para los cuales se ha determinado una longitud total necesaria según las dimensiones del aerogenerador. Los datos de los tramos necesarios se muestran a continuación, en la *Tabla 9*:

Tramo de cableado	Nivel de tensión	Longitud total
General de alimentación de servicios auxiliares (nudo 690 V–nudo 400 V)	400 V ¹⁰ (mayor intensidad, más desfavorable)	15 m
Sistema de paso	400 V	20 m
Sistema de guiñada	400 V	10 m
Consumos adicionales	400 V	30 m

Tabla 9. Datos preliminares del cableado eléctrico de los sistemas auxiliares.

Las conexiones de los equipos estarán sometidos al movimiento de orientación de la góndola, por lo cual deben emplearse cables flexibles o cordones. En principio, esto no aplicaría a la totalidad de las conexiones, pero se unificará la elección por motivos de simplicidad, costes y seguridad. Por motivos de espacio y criticidad del sistema, se emplearán cables unipolares, es decir, con un conductor cada uno. Además, los conductores deberán ser de cobre y de una sección no menor a 0,75 mm².

El cableado deberá ser capaz de operar a la temperatura máxima ambiente de operación. Dado que todos los equipos se hallan en la zona de la góndola y el buje, espacios cerrados y lo más comedidos posible, cabe considerar una temperatura ambiente de operación mayor a la habitual de 30°C considerada por las tabulaciones de la norma. Así, se dimensionarán los cables tomando una temperatura de operación normal de 50°C. Los cálculos se detallarán en el apartado siguiente, *5.5.1. Dimensionamiento del cableado*.

Para reducir al máximo el mencionado incremento de la temperatura, y contando con el espacio en el que se ubicarán, en el que no es necesaria la ocultación de los cables, se opta por la instalación de los mismos en **bandejas perforadas** ancladas a la pared. En concreto, para un mejor aprovechamiento del espacio se ha decidido usar el **recorrido vertical** con los cables juntos. En la *Figura 21* se halla representada disposición constructiva (imagen superior).

Por otro lado, debido a la localización marina del proyecto, debe seleccionarse cableado con el grado de protección IP correspondiente a este tipo de entornos húmedos. Como primera consideración, se opta por cables con cubierta.

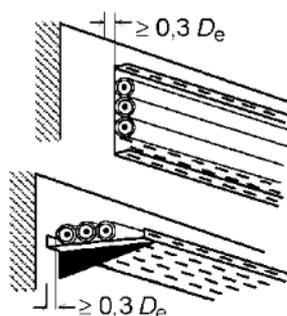


Figura 21. Método de instalación del cableado de los servicios auxiliares: sobre bandejas perforadas en recorrido horizontal y vertical. (AENOR, 2014).

¹⁰ Se ha dimensionado con la intensidad mayor de los dos tramos, pero cada uno estará a su tensión nominal.

7.5.2. Dimensionamiento del cableado

Con las consideraciones explicadas en el apartado anterior, puede procederse al dimensionamiento del cableado. Para ello, existen métodos y cálculos tabulados en función de las consideraciones constructivas realizadas, los cuales se desarrollan a continuación.

En primer lugar, deben recuperarse las intensidades nominales de operación obtenidas en apartados anteriores (*Tabla 5. Especificaciones nominales de los circuitos auxiliares*):

	Circuitos de paso (x3)	Circuitos de orientación (x2)	Resto de circuitos (total)	Conexión general (400 V)
Intensidad nominal	57,3 A	11,6 A	27 A	260 A ¹¹

Tabla 10. Intensidades nominales de cada uno de los circuitos de los servicios auxiliares. (Elaboración propia).

A estas intensidades deben aplicársele los factores de corrección y dimensionamiento correspondientes:

- o Para 50°C, el factor de reducción por temperatura es mayor para el aislamiento de XLPE y EPR que para el PVC. Ello indica una mayor resistencia frente a altas temperaturas del **XLPE**, por lo cual se optará por este aislamiento. El factor dado es 0,82, pero para incrementar la seguridad de los cálculos y redondear se usará 0,8: **$f_T = 0,8$**
- o Para el tipo de instalación seleccionado, existe un factor de agrupamiento en función del número de cables dispuestos por bandeja y el número de bandejas. En el tramo más concurrido se necesitarán 6 circuitos para lo cual la opción máxima tabulada serían 2 bandejas con 2 circuitos cada una y otra bandeja con 1 circuito. Así, se utilizará el factor de mayor reducción de entre los tabulados: **$f_A = 0,84$**
- o Adicionalmente, debe recordarse el factor de reducción ya citado del 125%:
 $f_s = 1,25$

Por tanto, la intensidad admisible del cableado a implementar se determina mediante la fórmula en la *ecuación (10)*:

$$I_{adm} \geq I_N \cdot f_t \cdot f_A \cdot f_s = I_N \cdot 0,8 \cdot 0,84 \cdot 1,25 \quad (10)$$

¹¹ Se ha considerado la intensidad nominal del interruptor, 150 A, pasándolo al nivel de 400 V ($\cdot 690/400$).

Con la fórmula anterior y los valores de la *Tabla 10*, se obtienen los resultados mostrados a continuación en la *Tabla 11*:

	Circuitos de paso (x3)	Circuitos de orientación (x2)	Resto de circuitos (total)	Conexión general (400 V)
Intensidad mínima admisible del cableado	48,1 A	9,7 A	22,7 A	218,4 A

Tabla 11. Intensidades mínimas admisibles para los cableados de los servicios auxiliares. (Elaboración propia).

Con todas las disposiciones comentadas, se ha consultado la disponibilidad de diferentes fabricantes en los niveles de tensión necesarios.

7.5.3. Especificaciones del cableado

Finalmente, se ha optado por el catálogo y prestaciones ofrecidos por **General Cable**. En concreto, se han comparado las gamas especificadas con la característica **flexibilidad aumentada**.

En el caso de la serie **AFUMEX® Class ATEX (AS)**, es para la única que se indica en catálogo su idoneidad para especial protección mecánica o mayores esfuerzos de tracción. Sin embargo, en sus modelos unipolares la intensidad admisible mínima es de 188 A, por lo que no ha podido ser considerado su uso para alimentar los consumos, cuyas intensidades nominales serán mucho menores.

Así, se ha optado por la gama **ENERGY® Class** para la conexión de los consumos a 400 V.

Nótese que la tensión asignada de un cable es la mayor que puede soportar, por lo que puede usarse todo cableado cuya tensión máxima sea mayor a las nominales buscadas de 400 y 690 V. De esta forma, se han escogido aquellos modelos de cable cuya tensión asignada fuera la más inmediatamente superior a las de operación. Lo mismo se ha hecho con las intensidades admisibles.

A continuación, en la *Tabla 12* y la *Tabla 13*, se detallan las especificaciones de los diferentes cableados seleccionados. Se muestran en la siguiente página para poder visualizarlas en una sola página. Para mayor detalle, consultar en anexos: *Catálogo del cableado eléctrico auxiliar (General Cable)*.

Cableado eléctrico de los consumos a 400 V			
Especificaciones	Paso	Guiñada	Adicionales
Tipo	Cable unipolar de cobre con aislamiento de XLPE		
Fabricante	General Cable		
Gama	ENERGY® Class		
Modelo	FXV - Estándar de PVC 0,6 kV		
Tensión asignada	600 V		
Intensidad máxima admisible	52 A	21 A	30 A
Diámetro exterior	7,2 mm	5,7 mm	6,1 mm
Sección del conductor	6 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²

Tabla 12. Especificaciones técnicas del cableado eléctrico de los consumos auxiliares.

Cableado eléctrico de la conexión general entre nudos de 690 V y de 400 V		
Especificaciones	General – 400 V	General – 690 V
Tipo	Cable unipolar de cobre con aislamiento de XLPE	
Fabricante	General Cable	
Gama	AFUMEX® Class ATEX (AS)	
Modelo	RZ1MAZ1-K (AS)	
Tensión asignada	600 V	1 kV
Intensidad máxima admisible	243 A	
Diámetro exterior	19,5 mm	
Sección del conductor	70 mm ²	

Tabla 13. Especificaciones técnicas del cableado común de alimentación entre nudos de los servicios auxiliares.

CAPÍTULO 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8.1. Trabajo realizado

Este capítulo final servirá de análisis del proyecto realizado, de acuerdo a los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas.

Los principales resultados obtenidos del presente proyecto son la definición de los equipos a implementar en el subsistema de apoyo a generación de cada uno de los aerogeneradores a instalar en el parque eólico de Salina Cruz, México.

Así, esta memoria detalla las consideraciones previas tomadas de cara a la elección de los equipos. Conforme a dichas consideraciones, se han explicado además todas aquellas suposiciones que fueran necesarias para el dimensionamiento de los equipos y se han justificado las elecciones de los componentes cuando la misma requería de descartes o decisiones a valorar.

Cuando, además, eran requeridas demostraciones extensivas como aclaración, han sido debidamente incluidas en ANEXO I -EXPLICACIONES EXTENSIVAS, de la misma forma que se han referenciado donde correspondía en la memoria.

Una vez escogidos los equipos en cuestión, se han detallado sus especificaciones técnicas por partida doble:

- o En primer lugar, siguiendo la redacción de la memoria, en formato tabla.
- o En segundo lugar, se han incluido de forma extensiva la totalidad de las especificaciones disponibles los catálogos que se han consultado en los correspondientes anexos: ANEXO III -PLANOS y ANEXO IV -CATÁLOGOS. Además, estos han sido adecuadamente referenciados en el apartado correspondiente de la memoria.

Con los equipos ya totalmente definidos, se han efectuado y demostrado comprobaciones de integración cuando ello era necesario, con el objetivo de asegurar la viabilidad completa del equipo en cuestión.

8.2. Resultados obtenidos

Finalmente, como resultado de todo lo anterior, se obtiene un subsistema de apoyo a generación de un aerogenerador apto para la operación en las condiciones necesarias iniciales del proyecto, o similares que se puedan corresponder en otros casos.

8.3. Objetivos alcanzados

Los objetivos del presente proyecto eran los descritos en *1.2. Objetivos del proyecto*. Considerando lo documentado en el presente documento y el trabajo realizado aparte del desarrollo del mismo, puede concluirse, si los resultados se afirman válidos, como conseguidos todos los objetivos planteados.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- Actitud Ecológica. (s.f.). Componentes de los aerogeneradores. Obtenido de <https://actitudecologica.com/energias-renovables/eolica/aerogeneradores/>
- AENOR. (2014). *UNE-HD 60364-5-52*. AENOR. Recuperado el junio de 2024
- Bonfiglioli. (s.f.). *ACCIONAMIENTOS YAW & PITCH - SERIE 700 TW*. Obtenido de <https://www.bonfiglioli.com/spain/es/producto/serie-700-tw>
- Bonfiglioli. (s.f.). *Motores eléctricos-Motores asíncronos*. Obtenido de <https://www.bonfiglioli.com/spain/es/categor%C3%ADa-de-producto/motores-electricos>
- Bonfiglioli. (s.f.). *Reductores y motorreductores planetarios industriales*. Obtenido de <https://www.bonfiglioli.com/spain/es/producto/serie-300m>
- Cabrejas, F. J. (2009). *GESTIÓN DE LA CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA*. Trabajo Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés. Recuperado el junio de 2024, de https://www.ingenieros.es/files/Proyectos_1/PFC_FJ_Yebenes_Cabrejas_Cargabilidad_Trafos_Pot.pdf
- CENACE®. (abril de 2021). *DIAGRAMAS UNIFILARES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL 2020-2025*. México. Obtenido de https://www.cenace.gob.mx/Docs/10_PLANEACION/DiagramasUnifilares/Mod%20Gral%20Planeaci%C3%B3n%202020-2025%20Diagramas%20Unifilares%20RNT%20y%20RGD%20del%20MEM.pdf
- Comisión Federal de Electricidad® Distribución. (2022). *Valores de Corto Circuito de las Redes Generales de Distribución 2024*. México. Obtenido de <https://www.cfe.mx/distribucion/cumplimiento/Documents/Valores%20de%20Corto%20Circuito%20en%20las%20RGD%202022.pdf>
- Dawang Casting. (14 de 06 de 2022). *5 tipos de asignaciones de patrones en la fundición que debe conocer*. Obtenido de <https://dawangcasting.com/es/blog/types-of-pattern-allowances-in-casting/#:~:text=Contracci%C3%B3n%20de%20metal%20en%20estado%20s%C3%B3lido>
- FU, Q. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA SOBRECARGA ADMISIBLE DE CORTA DURACIÓN EN UN TRANSFORMADOR*. Trabajo Fin de Grado, Universidad Carlos III, Ingeniería eléctrica, Leganés. Recuperado el junio de 2024, de <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/bb50ffa4-f3da-43a6-88f8-4ed71c70c524>

- GL Renewables Certification in cooperation & Wind and Marine Energy Committee. (2012). *Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines*. Hamburgo: GL Renewables Certification.
- GOBIERNO DE MÉXICO-CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES, CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS. (s.f.). Red Nacional de Transmisión. Obtenido de <https://energia.conacyt.mx/planeas/electricidad/transmision>
- IEC. (2005). IEC 61400: wind turbines. (3). Recuperado el 2024
- Jr., E. L. (1980). *Electrical Wiring Handbook*. TAB BOOKS Inc.
- Manumag, S.L. (s.f.). *CATÁLOGOS*. Obtenido de <https://manumag.com/catalogos/>
- Mejía Marissa Raquel, Q. N. (2019). *ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO*. Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI. Recuperado el junio de 2024, de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5367>
- Pengky. (s.f.). *Independent Pitch System*. Obtenido de <https://www.pengky.cn/zz-horizontal-axis-turbine/09-independent-pitch-system/independent-pitch-system.html>
- Prysmian Group - General Cable. (s.f.). *Catálogo de cables de Baja y Media Tensión (General Cable)*. Obtenido de <https://es.prysmian.com/catalogos-online/general-cable/catalogo-de-cables-para-baja-y-media-tension>
- Rothe Erde®. (s.f.). *rothe erde® slewing bearings*. Obtenido de <https://www.thyssenkrupp-rotheerde.com/en/products/slewing-bearings>
- Schneider Electric. (s.f.). *Altivar Machine ATV340-Variador de frecuencia para máquinas de altas prestaciones*. Obtenido de <https://www.se.com/es/es/product-range/63441-altivar-machine-atv340>
- Schneider Electric. (s.f.). *PowerPact Multistandard NHDF36150TW*. Obtenido de <https://www.se.com/es/es/product/NHDF36150TW/powerpact-multistandard-hframe-150-a-25-ka-tm-trip-unit-/?range=61215-powerpact-multistandard&parent-subcategory-id=23859434&selectedNodeId=12106178083>
- Schneider Electric. (s.f.). *Runtime: SY200K250DR-PD*. Obtenido de <https://www.se.com/es/es/products-runtime-graph/SY200K250DR-PD/symmetra-px-de-200kw-escalable-a-250kw-con-distribuci%C3%B3n-y-bypass-de-mantenimiento-montado-en-el-lado-derecho/>

- Schneider Electric. (s.f.). *Symmetra PX SY200K250DR-PD*. Obtenido de <https://www.apc.com/es/es/product/SY200K250DR-PD/symmetra-px-de-200kw-escalable-a-250kw-con-distribuci%C3%B3n-y-bypass-de-mantenimiento-montado-en-el-lado-derecho/?range=61909-symmetra-px&selectedNodeId=84808585700>
- Scientific Figure on ResearchGate. (s.f.). Yaw Systems for wind turbines ? Overview of concepts, current challenges and design methods. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-yaw-system_fig1_263127900
- Secretaría de Energía. (2019). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION)*. Norma Oficial, Secretaría de Energía. Recuperado el junio de 2024, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>
- Siemens. (s.f.). *Catalog D 31.1: SINAMICS Converters for Single-Axis Drives Built-In Units*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109755273/catalog-d-31-1-sinamics-converters-for-single-axis-drives-built-in-units?dti=0&lc=en-ES>
- Siemens. (s.f.). *Low voltage converters*. Obtenido de <https://www.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters.html>
- Siemens. (s.f.). *SINAMICS G220*. Obtenido de <https://www.siemens.com/es/es/productos/accionamientos/sinamics/baja-tension/sinamics-g220.html>
- Supsonik Velatia. (s.f.). Recuperado el 06 de 2024, de <https://www.ormazabal.com/ques-un-sai-sistema-alimentacion-ininterrumpida-y-como-funciona/>
- Tech2. (2020). Wind Turbine Pitch control, Blade Pitch control insight. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=LDRHZ5ry-Ts>
- Tony Burton, D. S. (2001). *Wind Eenergy Handbook*. John Wiley & sons, Ltd.

PARTE B: ANEXOS

ANEXO I - EXPLICACIONES EXTENSIVAS

Interpolación del rodamiento de paso

En concreto, se han buscado engranajes con rodamientos internos según el diámetro en el que tienen agujeros (en los que se insertarían los pernos de unión), denominado ϕL_i . Así, se han encontrado los modelos de rodamiento con dicho diámetro inmediatamente superior e inmediatamente inferior al del caso del proyecto, **3200 mm**. En la *Figura 22* puede comprobarse el detalle de las especificaciones:

Attachment					Gearing							Miscellaneous	
ϕL_a mm	ϕL_i mm	n	ϕB mm	M mm	d mm	m mm	z	x · m mm	b_{min} mm	X1 kN	X2 kN	kg	n_1
2380	2085	40	39	36	1926	18	107	-9,0	138	216	432	2010	8
2640	2345	44	39	36	2196	18	122	-9,0	138	216	432	2210	7
2940	2645	48	39	36	2480	20	124	-10,0	138	240	480	2542	8
3290	2995	56	39	36	2840	20	142	-10,0	138	240	480	2807	7
3690	3395	66	39	36	3212	22	146	-11,0	138	264	528	3302	8
4140	3845	72	39	36	3674	22	167	-11,0	138	264	528	3664	9

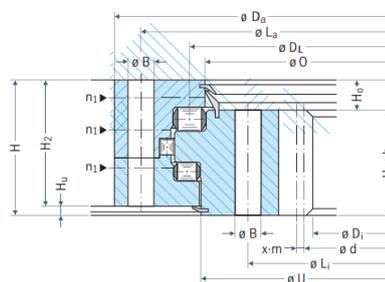


Figura 22. Tabla de especificaciones y leyenda de los engranajes con rodamientos interiores de tres bolas. Valores a operar **resaltados**. (Catálogo de Rothe Erde).

Con estos datos, se ha realizado una interpolación, para estimar las dimensiones que el engranaje de $\phi L_i=3200$ mm tendría. A continuación, se detallan los cálculos necesarios con un ejemplo en la *ecuación (11)*:

	X (datos conocidos)	Y
1: nivel inferior	X1: dato inferior	Y1: dato inferior
2: nivel a calcular	X2: dato de nivel a calcular	Y2: valor a calcular
3: nivel superior	X3: dato superior	Y3: dato superior

$$Y2 = Y1 + \frac{X2 - X1}{X3 - X1} (Y3 - Y1) \quad (11)$$

Esta es la operación que se ha utilizado para determinar las dimensiones del engrane de la corona. Se ha tomado como referencia el rango conocido de valores de la magnitud ϕL_i para calcular los siguientes valores del rango intermedio buscado: *diámetro interior* (D_i), *diámetro primitivo* (d), *módulo* (m) y *número de dientes* (z). Finalmente, se ha cogido la combinación óptima de valores, tal y como se ha descrito en la Memoria.

En la *Tabla 14* se incluyen los datos con los que se ha operado y los que se han calculado:

	L_i	$D_i (<3085,5)$	d	m	z
Caso inferior	2995	2820	2840	20	142
Caso proyecto	3200	3009,625	3030,65	21,025	144,05
Caso superior	3395	3190	3212	22	146

Tabla 14. Valores de la interpolación realizada para determinar las dimensiones del engrane en la corona del sistema de paso.

Cálculo de tipo de motor de orientación

Los polos de una máquina eléctrica siempre se colocan por pares por cuestiones de electromagnetismo. A continuación, se detallan las diferentes velocidades angulares **eléctricas** (i.e., de los campos magnéticos) según la frecuencia nominal de la máquina y su número de pares de polos, operando como en la *ecuación (7)*:

$$f_{elec}^N = f_N \cdot \frac{60}{p}, \quad p: \text{pares de polos}$$

$f_N = 50 \text{ Hz}$	$f_N = 60 \text{ Hz}$
$p = 1 \rightarrow f_{elec}^N = 50 \cdot \frac{60}{1} = 3000 \text{ rpm}$	$p = 1 \rightarrow f_{elec}^N = 60 \cdot \frac{60}{1} = 3600 \text{ rpm}$
$p = 2 \rightarrow f_{elec}^N = 50 \cdot \frac{60}{2} = 1500 \text{ rpm}$	$p = 2 \rightarrow f_{elec}^N = 60 \cdot \frac{60}{2} = 1800 \text{ rpm}$
$p = 3 \rightarrow f_{elec}^N = 50 \cdot \frac{60}{3} = 1000 \text{ rpm}$	$p = 3 \rightarrow f_{elec}^N = 60 \cdot \frac{60}{3} = 1200 \text{ rpm}$
$p = 4 \rightarrow f_{elec}^N = 50 \cdot \frac{60}{4} = 750 \text{ rpm}$	$p = 4 \rightarrow f_{elec}^N = 60 \cdot \frac{60}{4} = 900 \text{ rpm}$

El motor tiene una velocidad nominal de 940 rpm, que no coincide con ninguna de las calculadas. Por tanto, es un motor asíncrono con un cierto deslizamiento, de forma que su eje gira a una velocidad menor pero muy similar a la de sincronismo (del orden de menos de un 10% menor). Dicho caso se cumple con la frecuencia nominal 50 Hz y 3 pares de polos, siendo la velocidad de sincronismo 1000 rpm y el deslizamiento de un 6%.

Protecciones eléctricas frente a impacto de rayos

La protección eléctrica frente a descargas de rayos se halla ya prevista mediante la inclusión de receptores a lo largo de cada una de las palas del aerogenerador. Así, se ubican receptores en la punta de la pala y las longitudes (desde la raíz): 52,5, 38 y 20 metros.

Cada receptor tiene dos barras, una por cada carcasa constructiva de la pala, de forma que cada una se conecta a una placa receptora conectada a un cable de aluminio *lightning* (previsto para rayos), el cual lleva la corriente de falta hasta una plataforma en la raíz de la pala que la puede dirigir a los sistemas de conexión a tierra habilitados.

Consumos adicionales del sistema auxiliar

El sistema auxiliar cuenta con **consumos secundarios o adicionales** al subsistema de apoyo a la generación. Los principales equipos adicionales con que se cuenta incluyen, sin limitarse a ello:

- o Iluminación y señalización
- o Comunicaciones
- o Elementos electrónicos de control, objeto de estudio de otro alumno
- o Equipos hidráulicos
- o Equipos de medición

Un consumo razonable de los mismos puede estar en torno a los 10 ó 15 kW. Para garantizar la suficiencia de la alimentación, se estimará por exceso, tomándose el valor de 15 kW.

Por otro lado, al ser los tipos de consumo bastante diferentes, en el caso del factor de potencia se puede estimar un valor unificado de 0,8.

Sobrecarga del transformador de servicios auxiliares

El tipo de carga del transformador en caso de tener que atender la recarga de las baterías del SAI puede definirse como una **carga de emergencia de larga duración** (Cabrejas, 2009). El factor *larga duración* hace referencia a más de 30 minutos, lo cual se cumple, ya que las baterías tardan 3 horas y media en cargarse.

En este caso, la recurrencia de las sobrecargas en el tiempo sería menor que en los casos descritos en la normativa: si se requiere la descarga (aporte de energía de las baterías) del SAI, la red no estará disponible para consumir energía, pero tampoco para generarla. Por tanto, la operación del aerogenerador bajo sucesivos ciclos de carga del SAI hasta la reconexión de la red no tendría utilidad.

Además, debe tenerse en cuenta que la frecuencia con la que ocurren faltas o fallos en la red es la propia de accidentes indeseados. En suma, las posibilidades de daños irreversibles en los materiales del transformador se hallan minimizadas, dado que las sobrecargas a las que se someterá el equipo no serán lo suficientemente recurrentes.

ANEXO II - PRESUPUESTOS

En este anexo se hallan desglosados los precios de los diferentes elementos del sistema eléctrico de servicios auxiliares que se han dimensionado durante la memoria. Así, no se incluyen los presupuestos de elementos mecánicos como las reductoras, o electrónicos como los controles de los variadores, lo cual sería objeto de estudio exhaustivo de otros proyectos.

En la *Tabla 15* se detalla el presupuesto para todos los equipos dimensionados, excluyéndose el cableado eléctrico:

Concepto	Unidades	€/unidad	Importe total
Convertidores del sistema de guiñada	2	2 877,12 €	5 754,24 €
Convertidores del sistema de paso	3	9 032,86 €	27 098,57 €
Interruptor automático de servicios auxiliares	1	2 274,63 €	2 274,63 €
Motores del sistema de guiñada	2	733,00 €	1.466,00 €
Motores del sistema de paso	3	3 972,00 €	11 916,00 €
Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)	1	135 000,00 €	135 000,00 €
Transformador de servicios auxiliares	1	4 416,50 €	4 416,50 €
Suma parcial total			187 925,94 €

Tabla 15. Presupuesto de los elementos eléctricos, excluyendo el cableado.

A continuación, en la *Tabla 16* se muestra el presupuesto necesario para el cableado eléctrico que conecta los equipos dimensionados:

Concepto	Metros	€/metro	Importe total
Cableado de consumos adicionales	30	0,57 €	17,10 €
Cableado del sistema de guiñada	10	0,43 €	4,30 €
Cableado del sistema de paso	20	1,50 €	30,00 €
Cableado general de servicios auxiliares	15	13,00 €	195,00 €
Suma parcial total			246,40 €

Tabla 16. Presupuesto del cableado eléctrico necesario para el proyecto.

Por tanto, el presupuesto total de todos los elementos dimensionados en el presente proyecto será (*Tabla 17*):

Concepto	Importe total
Suma parcial de equipos excluyendo el cableado	187 925,94 €
Suma parcial del cableado	246,40 €
<i>PRESUPUESTO TOTAL</i>	
	188 172,34 €

Tabla 17. Presupuesto total de los equipos necesarios en el proyecto.

Los precios reflejados han sido determinados durante las consultas a los fabricantes. Asimismo, cuando una cifra exacta no ha sido posible, se han consultado precios de modelos o fabricantes similares, aplicando la correspondiente estimación. Por tanto, el contraste de precios llevado a cabo puede suponer cierta variación del presupuesto total final. Lo mismo ocurre en el caso de aquellos precios desactualizados y sujetos a actualizaciones de los fabricantes por inflación u otros.

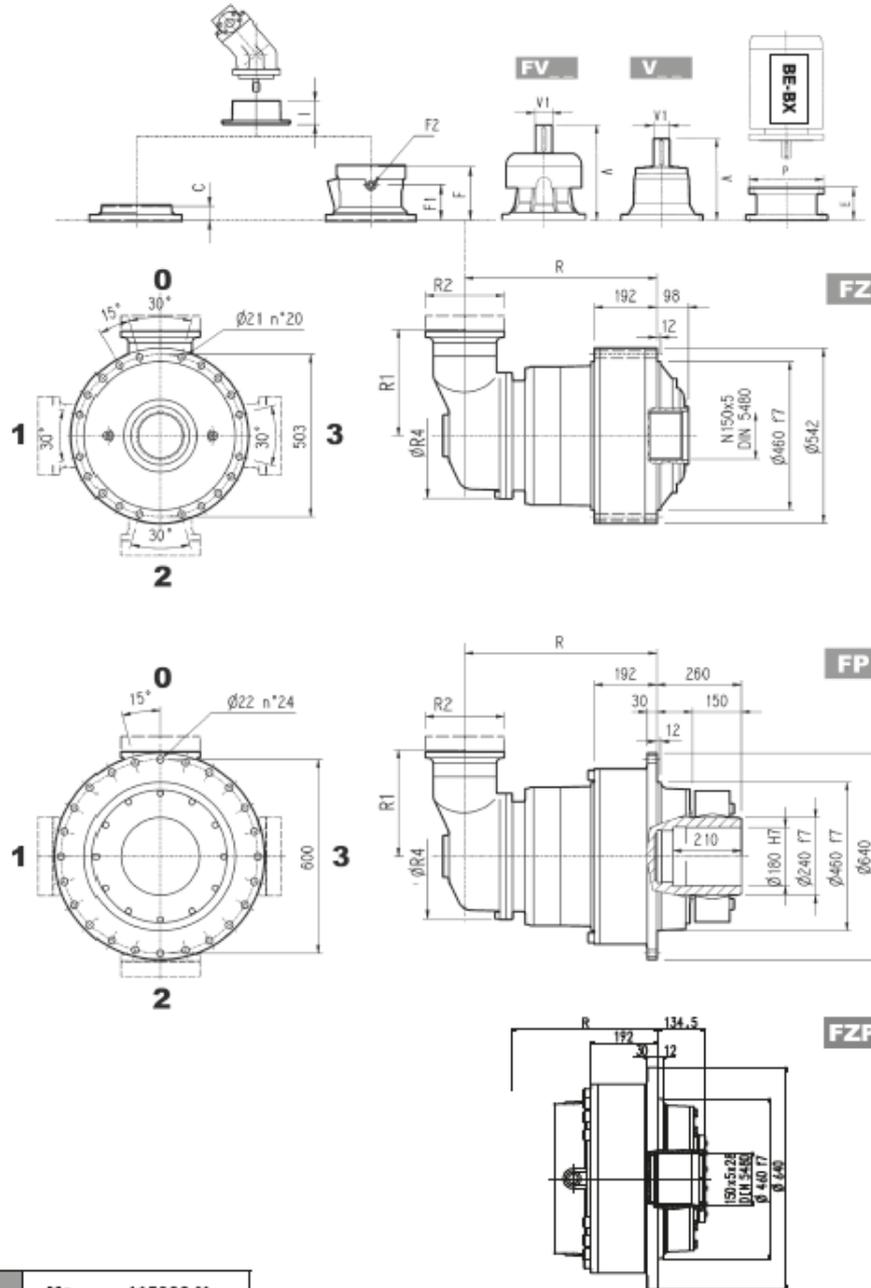
Conforme a lo anterior, se considera óptimo aplicar un margen suplementario del 20% en el presupuesto, en vista a cubrir las posibles variaciones en los importes. El presupuesto total final aplicando este margen se refleja en la *Tabla 18*:

Concepto	Importe total
Presupuesto total sin suplemento	188 172,34 €
Suplemento de cobertura del 20%	37.634,47 €
<i>PRESUPUESTO TOTAL CON SUPLEMENTO</i>	
	225 806,80 €

Tabla 18. Presupuesto total del proyecto aplicando un suplemento de cobertura del 20%.



314M R



FP $M_{2max} = 115000 \text{ Nm}$

	P71		P80		P90		P100		P112		P132		P160		P180		P200		P225		P250	
	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P
314M R3 (B)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	152	350	182	400	212	450	193	550
314M R3 (C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	152	350	182	400	212	450	193	550
314M R4	65	160	84	200	84	200	94	250	94	250	114	300	144	350	—	—	—	—	—	—	—	—

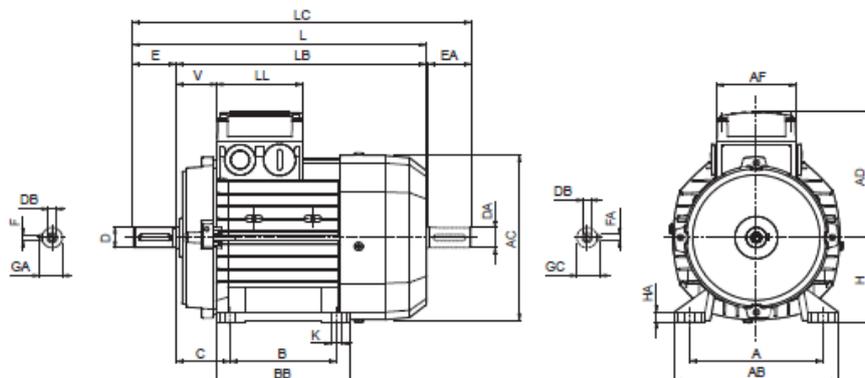
Planos del sistema de orientación

Planos de los motores de orientación (Bonfiglioli)



16 DIMENSIONES MOTORES BE

BE - IM B3 - CE/CUS/BIS/CCC

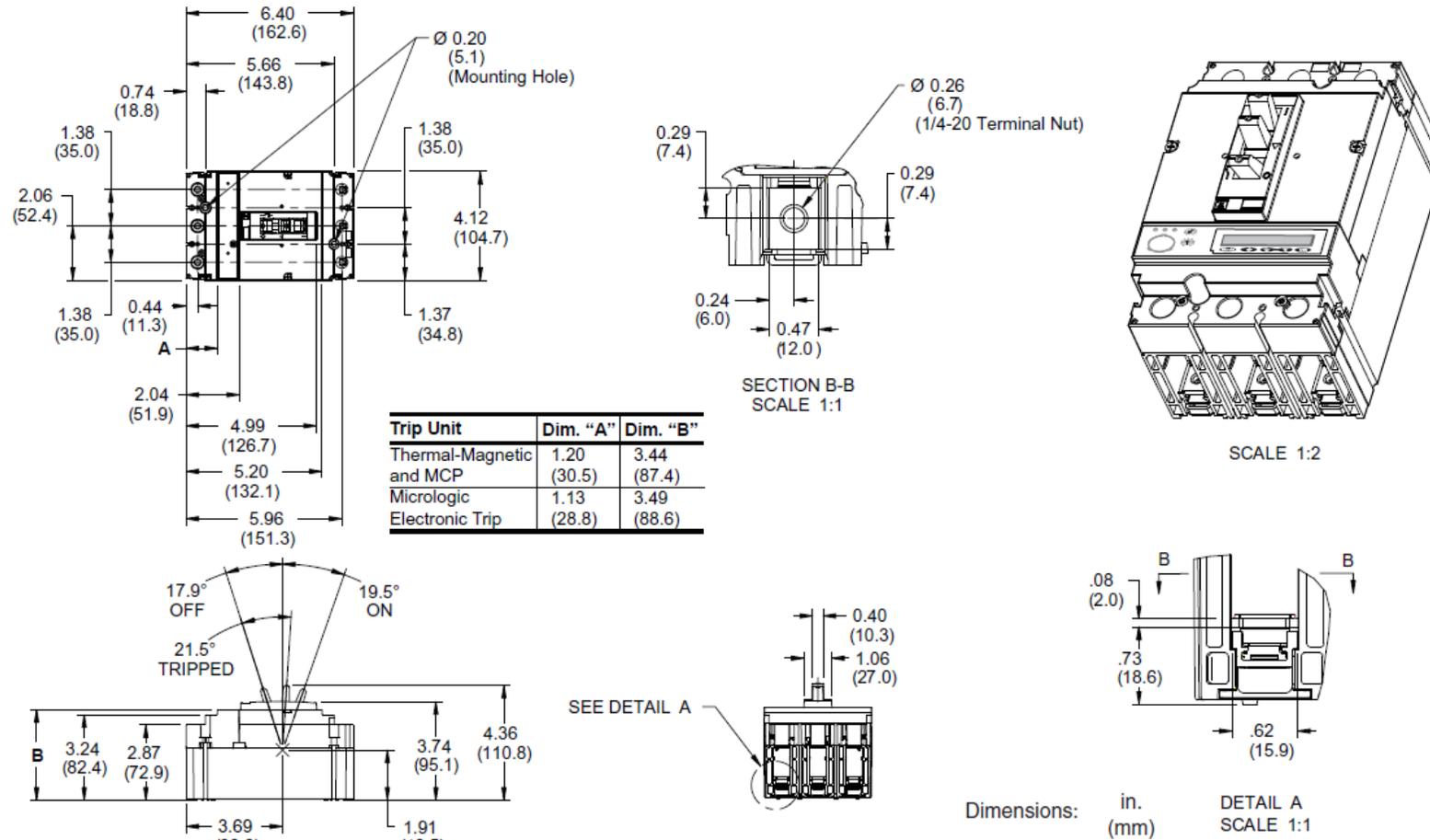


	Eje					Carcasa						Motor										
	D DA	E EA	DB	GA GC	F FA	B	A	HA	BB	AB	K	C	H	AC	L	LB	LC	AD	AF	LL	V	
BE 63	11	23	M4	12.5	4	80	100	7	96	120	7	40	63	121	207	184	232	95	80	26		
BE 71	14	30	M5	16	5	90	112		112	135		45	71	138	249	219	281	108			74	37
BE 80	19	40	M6	21.5	6	100	125		8	124		153	50	80	156	274	234	315			119	38
BE 90 S	24	50	M8	27	8	125	140	10	155	174	10	56	90	176	326	276	378	133	98	98	44	
BE 90 L						160	192		63	100		195	367	307	429	142	50					
BE 100	28	60	M10	31	8	140	190	10	175	224	10	70	112	219	385	325	448	157	118	58	52	
BE 112						160	192		63	100		195	367	307	429	142	50					
BE 132 S						178	216		12	218		254	89	132	258	493	413	576				193
BE 132 MA	38	80	M12	41	10	178	216	12	218	254	12	89	132	258	528	448	611	187	187	52		
BE 132 MB															506	486	680				245	51
BE 160 M	42	110	M16	45	12	210	254	25	264	319	14.5	108	160	310	596	486	680	245	187	187	52	
BE 160 L	38 ⁽¹⁾	80 ⁽¹⁾	M12 ⁽¹⁾	41 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾	254	279	26	304	359	14	121	180	348	640	530	724	281				
BE 180 M	48	110	M16	51.5	14	241	279	26	291	359	14	121	180	348	708	598	823	281	187	187	52	
BE 180 L	42 ⁽¹⁾	110 ⁽¹⁾	M16 ⁽¹⁾	45 ⁽¹⁾	12 ⁽¹⁾	279	329															

N.B.: 1) Estas dimensiones están referidas a la segunda extremidad del eje (PS).

Planos de los circuitos de protección

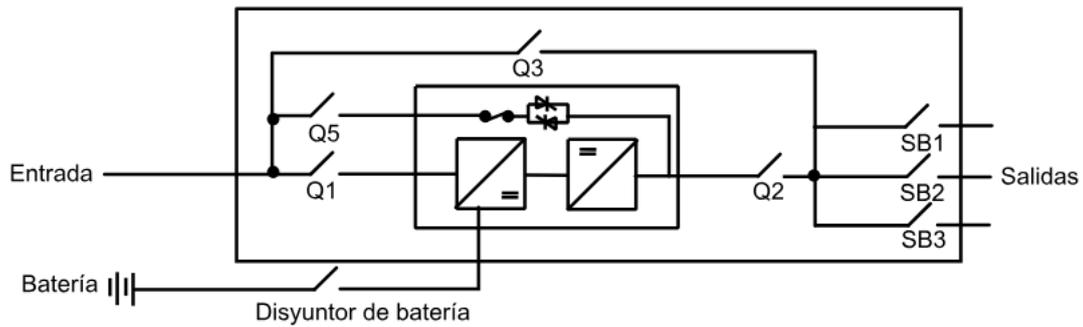
Planos del interruptor auxiliar automático (Schneider Electric)



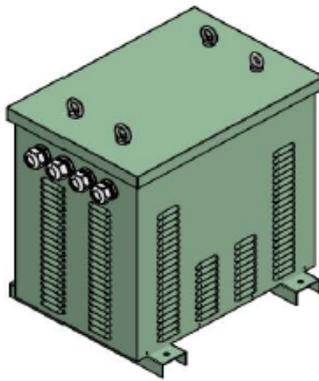
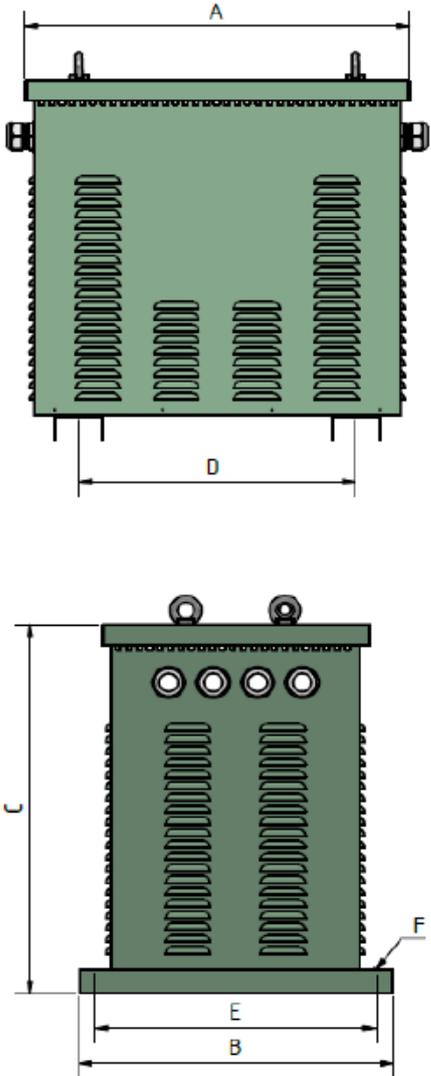
Planos de los circuitos auxiliares

Planos del SAI (Schneider Electric)

Alimentación con entrada de red eléctrica simple con derivación de mantenimiento



Planos del transformador auxiliar (Manumag)

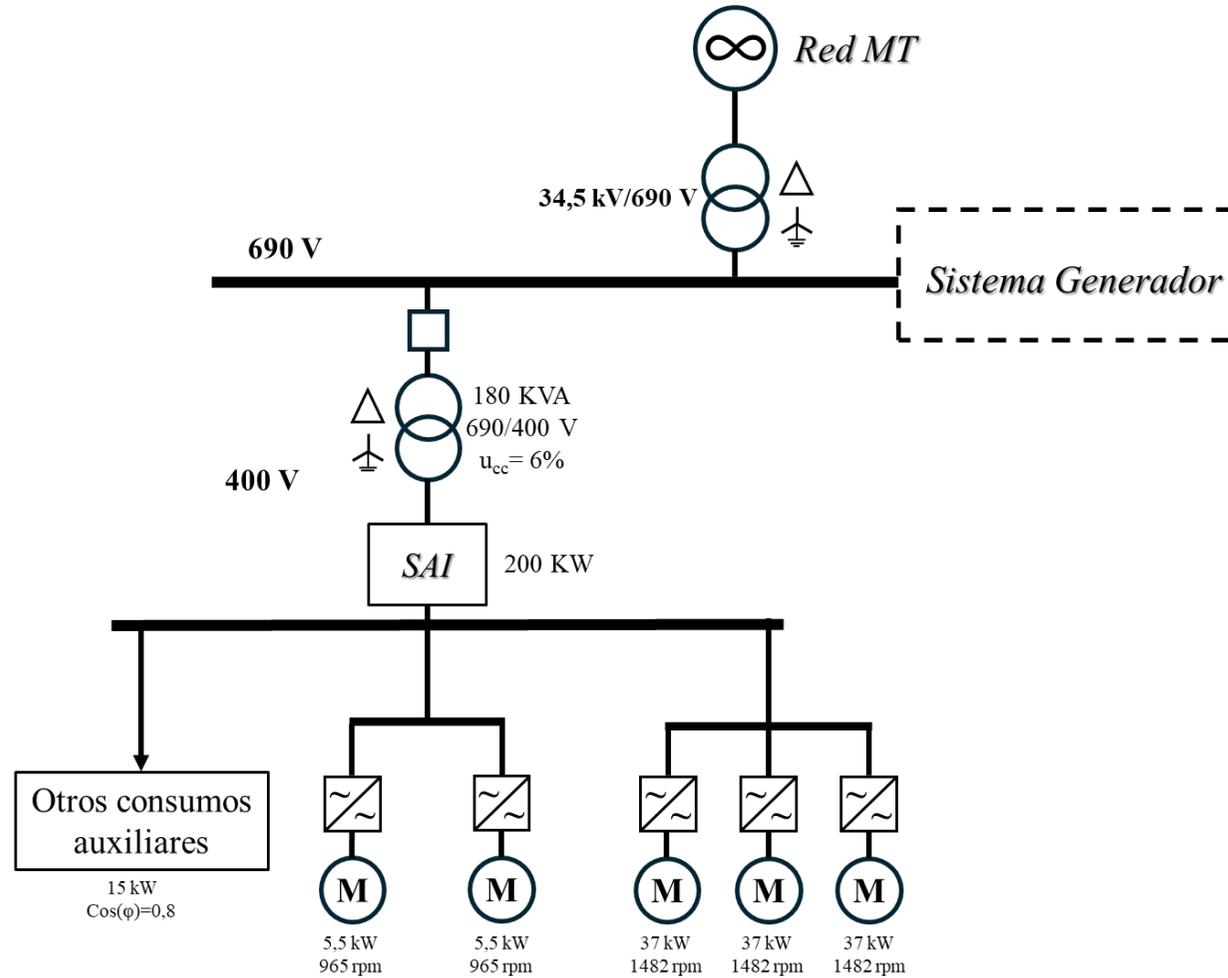
DIMENSIONES					
A	B	C	D	E	F
950	800	1050	620	720	D 16

DATOS TECNICOS	
Norma	UN EN 61558-2-4
Potencia	180 KVA
Tension de entrada	690V
Tension de salida	400V+N
Frecuencia	50/60Hz
Grado de proteccion	IP 23
Clase de Aislamiento	F
ED:	100%
Temperatura Ambiente	ta:40°C
Clase	I
Rigidez Dielectrica entre Pri. y Sec.	5.300V
Rigidez Dielectrica entre Pri. y masa	2.750V
Placa caract.	Si
Pantalla Electrostatica	No
Devanados	Hilo Cobre Clase H
Chapa Magnetica	Grano no orientado, laminada en frio. Calidad M 330-50A según EN 10106
Carretes	Carretes de fibra de vidrio
Tipo	Seco
Conexion	Dyn
Terminales	Tornillo M12mm ²
Entrada-Salida cable	PG 48
Peso	644 Kg

Dibujado por:	Aprobado por:	
TRANSFORMADOR TRIFASICO		
YAQ04189963		
Hoja 1 de 1 Rev: 01	Units: mm.	

MANUMAG SL - C/Arcebis Barrios s/n, Pol. Ind. Las Nofas
50-400-MUEL, SPAIN - VAT E55505401-40 Tel +34 978 1-40001 - Fax +34 978 1-40 007
comercial@manumag.com, export@manumag.com

Esquema unifilar de los circuitos del subsistema de apoyo a generación



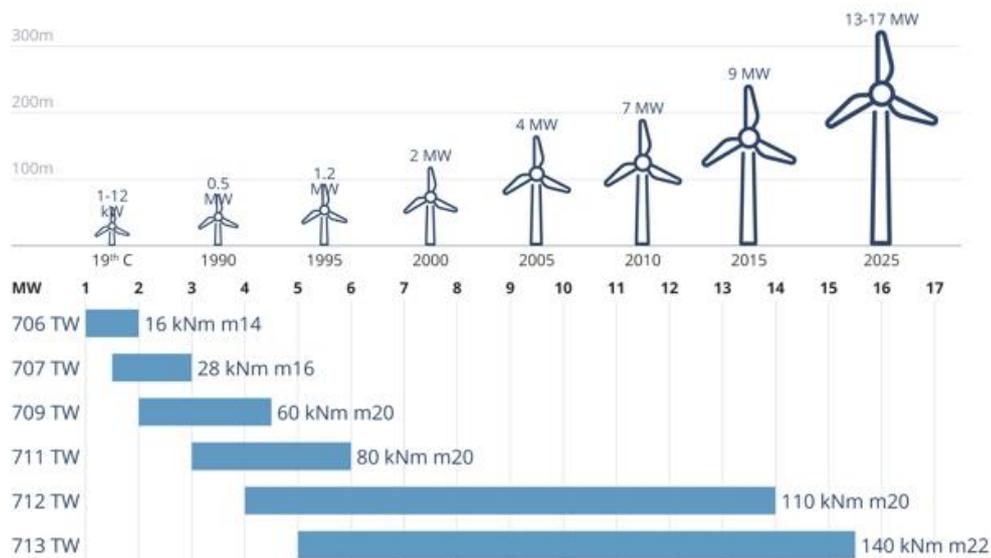
ANEXO IV - CATÁLOGOS

Catálogos del sistema de paso

Dossier de los accionamientos de paso (Bonfiglioli)

PITCH DRIVE

TECHNICAL DATA



Typical application range, based on most common WTG architecture, special considerations may apply
Contact Bonfiglioli for design / selection / dimensioning of pitch system

Catálogo de las reductoras de paso (Bonfiglioli)



P₁ = 37 kW															
n ₂ min ⁻¹	M ₂ Nm	S	i					MC	MZ	Rn ₂ [N]					
						IE2 ^a	IE3			HC/PC	HZ/PZ	FZ			
2.3	139000	2.2	857	—	319R4C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	407100	448300	152800	436
2.4	129400	2.0	812	318ML4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	331700	374500	149000	424
2.4	132200	2.3	825	319L4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	404200	445100	150000	434
2.5	126800	2.1	595	—	318MR4C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	330300	373000	147800	426
2.6	119200	2.5	563	—	319R4B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	398300	438500	144900	436
2.9	109100	2.3	515	318ML4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	323700	365400	140700	424
2.9	109000	2.7	515	319L4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	393200	432900	140700	434
3.0	105800	2.4	499	—	318MR4B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	322200	363800	139200	426
3.0	108000	2.4	501	—	318MR4C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	322300	364000	139400	426
3.1	100800	2.5	477	318ML4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	320100	361400	137100	424
3.1	100300	2.5	474	—	318MR4C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	319800	361100	136800	426
3.1	100400	2.9	475	—	319R4B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	388800	427900	136900	436
3.4	90800	2.7	430	—	318MR4B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	315300	356000	132400	426
3.5	89400	2.8	422	318ML4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	314800	355200	131700	424
3.7	85000	2.9	402	318ML4	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	312300	352800	129500	424
3.7	84500	2.9	399	—	318MR4C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	312100	352300	129200	426
5.9	55000	2.1	252	317ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	314300	333900	93200	414
6.1	52500	1.1	241	315ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	49100	392
6.2	52200	0.9	240	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	49000	380
7.1	45200	1.7	207	315ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	46700	392
7.1	45200	2.2	207	316ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	202000	229800	77900	404
7.2	44900	1.4	206	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	46800	380
8.5	37900	1.8	174	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	44100	380
8.5	38100	2.0	174	315ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	44100	392
8.5	38100	2.6	174	316ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	202000	229800	73600	404
9.0	35800	1.7	164	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	43200	380
9.0	36000	2.5	165	315ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	43300	392
9.4	34300	1.4	157	—	314MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	42800	382
9.4	34300	1.7	157	—	315MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	132000	158300	42800	394
10.6	30300	2.9	139	315ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	129500	155400	40900	392
10.7	30200	2.3	138	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	129400	155100	40800	380
11.0	29500	2.0	135	—	314MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	128400	154000	40500	382
11.0	29500	2.5	135	—	315MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	128400	154000	40500	394
13.0	24800	1.9	113	—	314MR3B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	121900	146200	38200	382
13.0	24800	2.3	114	—	314MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	122000	146300	38300	382
13.0	24800	2.4	113	—	315MR3B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	121900	146200	38200	394
13.0	24800	2.9	114	—	315MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	122000	146300	38300	394
13.7	23500	2.3	108	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	120000	143900	37800	380
13.7	23500	2.4	108	—	314MR3C	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	120000	143900	37800	382
15.2	21300	2.7	97.8	—	314MR3B	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	116500	139700	36400	382
16.0	20200	2.6	92.7	314ML3	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	114700	137800	35700	380
32	10500	1.7	48.7	310ML2	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	56200	70000	20500	344
38	8890	2.1	38.8	310ML2	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	52100	66100	19300	344
45	7320	2.8	32.8	310ML2	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	49500	62800	18200	344
48	6900	2.5	30.7	310ML2	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	48800	61700	17900	344
58	5700	2.9	25.4	310ML2	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	—	—	45900	58300	16800	344
197	1740	2.4	7.50	306L1	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	9250	10500	23300	26900	8010	308
239	1440	2.9	6.20	306L1	—	IEC225S4	BX225SA4	—	—	8880	9900	22000	25400	5640	308

* La información técnica deberá ser considerada indicativo, las configuraciones deben ser coincidentes con los datos proporcionados por los fabricantes de motores de potencias nominales superiores a 22 kW

8 RENDIMIENTO

8.1 Rendimiento dinámico η_d

Es el resultado de dividir la potencia de salida P_2 , por la potencia de entrada P_1 , según la relación:

$$\eta_d = \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

Los valores indicativos de rendimiento vienen reflejados en la tabla (A3) siguiente:

(A 3)

Nº etapas de reducción	Ejecución		
	Epicicloidal	Combinado con reductor tornillo sin fin	Combinado con reducción angular
1	0.97	—	—
2	0.94	0.73	—
3	0.91	0.70	0.91
4	0.88	—	—

Catálogo de los motores de paso (Bonfiglioli)

558 / 600

4 P		1500 min ⁻¹ - S1													50 Hz - IE3						
EECA															freno c.c.			freno c.a.			
P _n kW		n min ⁻¹	M _n Nm	I _n 400V A	η%			cos φ	I _s I _n	M _s M _n	M ₂ M _n	KVA code	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 Kg	FD			FA			
					100%	75%	50%								Mod	M _b Nm	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 Kg	Mod	M _b Nm	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²
30	BX 200LAK 4	1483	193	55.7	94.7	95.1	95	0.82	8.3	3	3.3	N/A	3660	319	FD 8	400	3940	337			
37	BX 225SAK 4	1482	238	65.9	95.1	95.5	95.4	0.85	7.7	2.8	3.1	N/A	5360	398	FD 9	600	5720	426			
45	BX 225SBK 4	1481	290	80.4	95.2	95.6	95.6	0.85	7.9	2.8	3.2	N/A	5360	398	FD 9	600	5720	426			
55	BX 250MAK 4	1485	354	98.9	95.6	95.8	95.5	0.84	7.9	3	3.3	N/A	9330	476	FD 10	800	10080	521			
75	BX 280SAK 4	1487	482	134	95.9	96.2	96.1	0.84	7.3	2.5	2.8	N/A	15000	665	FD 1000	1000	15360	771			
90	BX 280SBK 4	1487	578	161	96.2	96.4	96.1	0.84	7.9	2.9	3	N/A	18500	725	FD 1000	1000	18860	831			
110	BX 315SAK 4	1491	704	194	96.8	97	96.7	0.84	8.3	2.4	3.1	N/A	29000	1000	FD 1000	1000	29360	1106			
132	BX 315SBK 4	1490	846	234	96.9	97.1	96.8	0.84	8.1	2.6	3.2	N/A	32000	1065	FD 1600	1600	32500	1233			
160	BX 315SCK 4	1490	1025	279	96.7	96.9	96.6	0.86	8.2	2.7	3	N/A	39000	1220	FD 1600	1600	39500	1388			
200	BX 355SAK 4	1491	1281	345	96.6	96.7	96.4	0.87	7.3	2.1	2.7	N/A	59000	1610	FD 2500	2500	59500	1778			
250	BX 355MAK 4	1491	1601	435	96	96	95.6	0.86	6.4	2.1	2.9	N/A	69000	1780	FD 2500	2500	69500	1948			
315	BX 355MBK 4	1491	2017	550	96	96.1	95.7	0.85	7.3	2.4	3.3	N/A	72000	1820	FD 2500	2500	72500	1988			
355	BX 355MCK 4	1490	2275	616	96	96.2	95.8	0.86	6.3	2.3	2.8	N/A	84000	2140	FD 2500	2500	84500	2308			

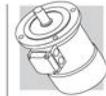


Nota: para más detalles a cerca de las certificaciones energéticas disponibles consultar la sección dedicada en el catálogo.

 Bonfiglioli
Reduttori

560 / 600

4 P		1800 min ⁻¹ - S1														60 Hz - Nema Premium							
P _n kW		n min ⁻¹	M _n Nm	I _n 460V A	η%			cos φ	I _s I _n	M _s M _n	M ₂ M _n	KVA code	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 	freno c.c.				freno c.a.				
					100%	75%	50%								FD				FA				
					Mod	M _b Nm	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²								IM B5 	Mod	M _b Nm	J _m x 10 ⁻⁴ kgm ²	IM B5 				
30	BX 200LAK	4	1786	160	47.9	94.7	94.8	94.1	0.83	9.4	3.3	3.7	N/A	3660	319	FD 8	400	3940	337				
37	BX 225SAK	4	1784	198	57.3	95.3	95.5	94.9	0.85	8.8	2.9	3.4	N/A	5360	398	FD 9	600	5720	426				
45	BX 225SBK	4	1785	240	70.5	95.3	95.4	94.8	0.84	8.9	3	3.6	N/A	5360	398	FD 9	600	5720	426				
55	BX 250MAK	4	1787	293	85.8	95.7	95.8	95.2	0.84	9.1	3.3	3.7	N/A	9330	476	FD 10	800	10080	521				
75	BX 280SAK	4	1788	401	117	95.9	95.7	94.7	0.84	8.4	2.7	3.1	N/A	15000	665	FD 1000	1000	15360	771				
90	BX 280SBK	4	1788	481	140	96.1	95.9	95	0.84	9	3.1	3.3	N/A	18500	725	FD 1000	1000	18860	831				
110	BX 315SAK	4	1792	586	172	96.1	96	95.3	0.84	8.8	2.6	3.4	N/A	29000	1000	FD 1000	1000	29360	1106				
132	BX 315SBK	4	1791	704	206	96.4	96.3	95.6	0.84	9	2.8	3.6	N/A	32000	1065	FD 1600	1600	32500	1233				
160	BX 315SCK	4	1791	853	241	96.4	96.4	95.9	0.86	9	2.9	3.3	N/A	39000	1220	FD 1600	1600	39500	1388				
200	BX 355SAK	4	1792	1065	301	96.4	96.2	95.4	0.87	8.3	2.2	3	N/A	59000	1610	FD 2500	2500	59500	1778				
250	BX 355MAK	4	1792	1332	381	96.7	96.6	96	0.86	8.8	2.7	3.2	N/A	69000	1780	FD 2500	2500	69500	1948				
315	BX 355MBK	4	1791	1679	479	96.7	96.6	96.1	0.85	8.5	3.1	3.2	N/A	72000	1820	FD 2500	2500	72500	1988				
355	BX 355MCK	4	1792	1893	541	96.7	96.5	96.9	0.86	7.2	2.4	3.1	N/A	84000	2140	FD 2500	2500	84500	2308				



Nota: para más detalles a cerca de las certificaciones energéticas disponibles consultar la sección dedicada en el catálogo.

Dossier de los convertidores de paso (Siemens)

SINAMICS High performance converters

SINAMICS G220

Efficient. Secure. Future proof.



Highlights

- Efficient energy consumption with Clean Power technology (THDi < 5%) and optimal high-efficiency motor control.
- Efficient engineering via an integrated webserver and Startdrive (TIA Portal).
- Secure technology with Safety and Security integrated functions, S2 redundancy, 3C3 coating, and IP55.

Applications



Pumping/
Ventilating/
Compress-
ing

Moving



Processing

Positioning

	SINAMICS G220 IP20	SINAMICS G220 IP55 ¹
Format	Built in Unit (compact)	
Drive concept	AC/AC	
Degree of protection	IP20 / UL open type	IP55 / UL type 12
Supply voltage/ power kW (hp)		
3AC 200 ... 240 V	0.55 ... 30 kW (0.75 – 40 hp)	1.1 ... 30 kW (1.5 – 40 hp)
3AC 380 ... 500 V	1.1 ... 55 kW (1.5 – 75 hp)	1.1 ... 55 kW (1.5 – 75 hp)
3AC 525 ... 690 V	3 ... 55 kW (4 – 75 hp)	3 ... 55 kW (4 – 75 hp)
Energy recovery	No	
Control modes	U/f, FCC, ECO, vector control encoderless/with encoder, torque control encoderless/with encoder	
Ambient temperature	-20 °C to 60 °C > 45 °C with reduction	-20 °C to 50 °C > 40 °C with reduction
Line filter	With integrated line filter for environments according to EN 61800-3 Category C2, integrated DC reactor, Category C3 (690 V)	
Braking chopper	Yes, integrated braking unit as standard	
Safety functions	Standard: STO, SS1, SMT (requires option module SMT) Extended: SS1, SLS, SDI, SSM Certified according IEC 61800-5- up to SIL 3 and ISO 13849-1 Cat. 4 and PL e	
Security functions	User Management & Access Control (UMAC), Integrity and authenticity check	
Communications	PROFINET (RT/IRT, MRP & S2 Redundancy), Modbus TCP/IP, EtherNet/IP	
TIA Portal connected	Yes	
Commissioning tools	SINAMICS Startdrive, on board webserver, SINAMICS SDI Standard, SINAMICS SDI Pro 5.5 ² , SINAMICS Smart Adapter (Wi-Fi)	
Digitalization tools	Analyze MyDrives Edge, SINAMICS DriveSim Basic, SINAMICS DriveSim Advanced, SIZER, TIA Selection Tool, SPC TIA Portal / SINAMICS Startdrive, Drive System Framework, IIoT option module Drive System Services	
Controllers	SIMATIC S7-1200/S7-1500, SIMATIC ET200 S7-1500/1200/400, Desigo PX	
Recommended motors	Induction motors, synchronous reluctance motors, permanent Magnet motor ²	

¹ Available soon

² Please find the right motors from our product partner Innomatics.com

Catálogo de los convertidores de paso (Siemens)

© Siemens 2024

[Clicking to SiePortal](#)
6SL3255-0AA00-5AA0

IP55/UL Type 12 - 380 ... 500 V 3 AC - 1.1 kW to 55 kW (1.5 hp to 75 hp)

Selection and ordering data

SINAMICS G220 built-in and wall-mounted units → Configuration with power components (see right page)

Rated power		Rated output current		Rated output current		Rated input current		Frame size	SINAMICS G220 without integrated line filter	SINAMICS G220 with integrated line filter		
Low overload (LO)		High overload (HO)		Low overload (LO)		High overload (HO)		Low overload (LO)				
Acc. to IEC	Acc. to NEC	Acc. to IEC	Acc. to NEC	Acc. to IEC	Acc. to NEC	Acc. to IEC	Acc. to NEC	Acc. to IEC	Acc. to NEC	Article No.		
400 V	480 V	400 V	480 V	400 V	480 V	400 V	480 V	400 V	480 V			
kW	hp	kW	hp	A	A	A	A	A	A			
380 ... 500 V 3 AC - Rated pulse frequency 4 kHz - Input frequency 50/60 Hz (47 ... 63 Hz)												
1.1	1.5	0.75	1	3.9	3	2.9	2.1	3.3	3.0	FSB	6SL4113-0 08-0 F 0	6SL4113-0 08-2 F 0
1.5	2	1.1	1.5	4.7	3.4	3.9	3	4.1	3.7	FSB	6SL4113-0 10-0 F 0	6SL4113-0 10-2 F 0
2.2	3	1.5	2	6.5	4.8	4.7	3.4	5.6	4.9	FSB	6SL4113-0 11-0 F 0	6SL4113-0 11-2 F 0
3	4	2.2	3	8.5	6.2	6.5	4.8	7.3	6.1	FSB	6SL4113-0 12-0 F 0	6SL4113-0 12-2 F 0
4	5	3	4	11	7.6	8.5	6.2	9.6	7.3	FSB	6SL4113-0 13-0 F 0	6SL4113-0 13-2 F 0
5.5	7.5	4	5	14.5	11	11	7.6	12.9	11.0	FSB	6SL4113-0 15-0 F 0	6SL4113-0 15-2 F 0
7.5	10	5.5	7.5	19	14	14.5	11	17.3	14.0	FSB	6SL4113-0 16-0 F 0	6SL4113-0 16-2 F 0
11	15	7.5	10	27	21	19	14	23.3	19.6	FSC	6SL4113-0 17-0 F 0	6SL4113-0 17-2 F 0
15	20	11.0	15	34	27	27	21	31.3	25.4	FSC	6SL4113-0 18-0 F 0	6SL4113-0 18-2 F 0
18.5	25	15.0	20	40	34	34	27	37.8	31.6	FSD1	6SL4113-0 20-0 F 0	6SL4113-0 20-2 F 0
22	30	18.5	25	46	40	40	34	44.9	37.5	FSD1	6SL4113-0 21-0 F 0	6SL4113-0 21-2 F 0
30	40	22.0	30	63	52	46	40	59.9	49.8	FSD2	6SL4113-0 23-0 F 0	6SL4113-0 23-2 F 0
37	50	30	40	75	65	63	52	72.6	59.9	FSD2	6SL4113-0 24-0 F 0	6SL4113-0 24-2 F 0
45	60	37	50	90	77	75	65	86.7	71.3	FSE	6SL4113-0 26-0 F 0	6SL4113-0 26-2 F 0
55	75	45	60	112	96	90	77	105.9	88.3	FSE	6SL4113-0 27-0 F 0	6SL4113-0 27-2 F 0

Article No. supplements

Degree of protection	Cooling	Coating acc. to IEC 60721-3-3:2002	Housing										
IP55/UL Type 12	Internal	Class 3C2	Standard	J								J	
			Maintenance switch ¹⁾	L									L
		Class 3C3 ¹⁾	Standard	K									K
			Maintenance switch ¹⁾	M									
Hardware configurations													
Standard													
Gland plate for connecting in IP55 degree of protection according to IEC													
Gland plate for connecting in UL Type 12 degree of protection													
Line filter													
Without integrated line filter													
With integrated line filter Category C2													
Additional hardware option													
Without hardware option or with more than one hardware option (see Special versions)													
OM-DQ Option Module DRIVE-CLIQ													
OM-IIoT Option Module IIoT ¹⁾													
OM-SMT Option Module Safe Motor Temperature													
Communication													
PROFINET, Modbus TCP and EtherNet/IP													
Special versions													
Only for selection of more than one hardware option (Additional hardware option = "A")													
6SL4113-0 ... - . A . 0													
Order codes													
-Z . . + . . + . .													
OM-DQ Option Module DRIVE-CLIQ													
OM-IIoT Option Module IIoT ¹⁾													
OM-SMT Option Module Safe Motor Temperature													
T01													
T04													
T05													

More information

Further technical specifications and documentation are available on the internet at: www.siemens.com/sinamics-g220/documentation

and concerning ordering and configuration via the Siemens Product Configurator in SiePortal: www.siemens.com/sinamics-g220/configuration

¹⁾ Available soon.

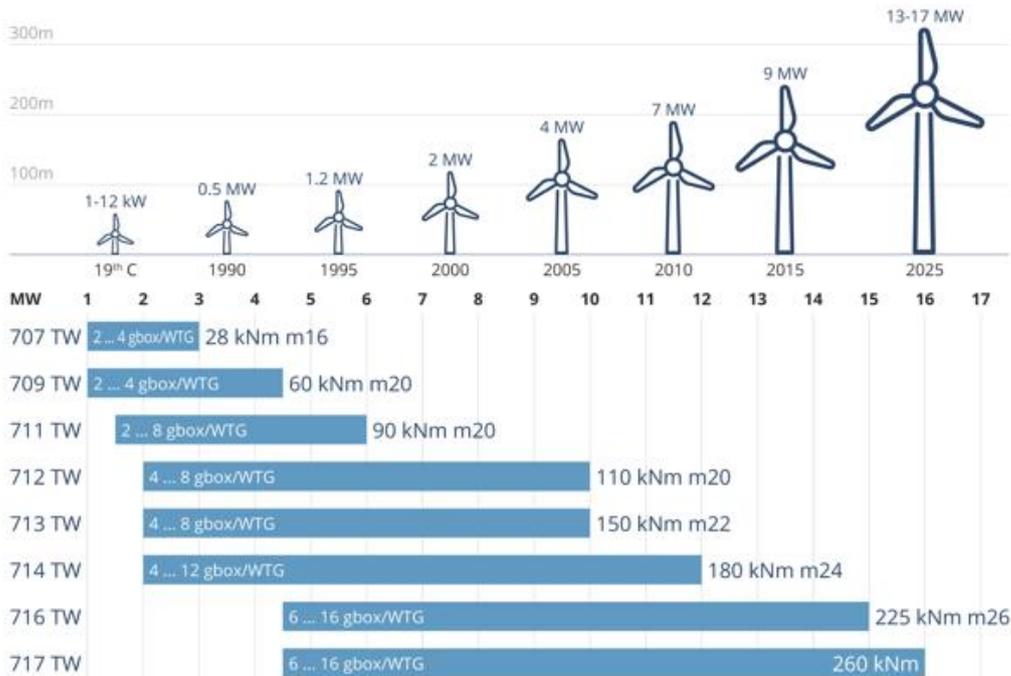
2/16 Siemens D 36.1 - April 2024

Catálogos del sistema de orientación

Dossier de los accionamientos de orientación (Bonfiglioli)

YAW DRIVE

TECHNICAL DATA



Typical application range, based on most common WTG architecture, special considerations may apply
Contact Bonfiglioli for design / selection / dimensioning of pitch system



Catálogo de los motores de orientación (Bonfiglioli)

Bonfiglioli
Reduttori

6 P		1000 min ⁻¹ - S1											50 Hz - IE2												
  A068744															freno c.c.				freno c.a.						
															FD				FA						
		P _n	n	M _n	I _n 400V	η%			cos φ	I _s /I _n	M _s /M _n	M _a /M _n	J _m x 10 ⁻⁴	IM B5	Mod	M _b	Z ₀ 1/h	J _m x 10 ⁻⁴	IM B5	Mod	M _b	Z ₀ 1/h	J _m x 10 ⁻⁴	IM B5	
kW	min ⁻¹	Nm	A	100%	75%	50%					kgm ²	kg	Nm	NB	SB	kgm ²	kg	Nm	Nm		kgm ²	kg			
0.75	BE 90S	6	935	7.7	2.06	75.9	75.9	73	0.69	5.1	3.1	2.9	33	15	FD 14	15	3400	6500	28	19.2	FA 14	15	6500	28	19.1
1.1	BE 100M	6 (*)	945	11.1	2.75	78.1	76.2	73	0.74	4.9	2.2	1.9	82	22	FD 15	26	2500	4800	58	30	FA 15	26	4800	58	31
1.5	BE 100LA	6	945	15.2	3.9	79.8	77.5	74	0.72	5.6	2.5	2.3	95	24	FD 15	40	1900	4100	86	30	FA 15	40	4100	86	31
2.2	BE 112M	6	950	22	5.2	81.8	81.8	79.3	0.74	5.2	2.6	2.3	168	32	FD 06S	60	—	2100	177	42	FA 06S	60	2100	177	44
3	BE 132S	6	955	30	6.6	83.3	83.3	82.4	0.79	6.1	2.1	1.9	295	44	FD 56	75	—	1400	226	57	FA 06	75	1400	226	58
4	BE 132MA	6	965	40	8.7	84.6	85	83.1	0.79	6.9	2.2	2	383	56	FD 06	100	—	1200	305	69	FA 07	100	1200	318	74
5.5	BE 160MA	6 (*)	965	54	11.6	87	87	86.4	0.79	6.6	2.5	2.3	740	83	FD 08	170	—	1000	700	112	FA 08	170	1000	700	113
7.5	BE 160MB	6 (*)	965	74	15	88	88	87.2	0.82	6.6	2.3	2.1	970	103	FD 08	170	—	900	815	132	FA 08	170	900	815	133

(*) Relación potencia/tamaño no normalizada

77 / 108



La siguiente tabla identifica el limite de velocidad mecanico para cuando se trabaja con velocidades superiores de la frecuencia nominal.

(F28)

	n [min ⁻¹]		
	2p	4p	6p
≤ BE 112 - BN 112	5200	4000	3000
≥ BE 132 - BN 132	4500	4000	3000
BX 80 ... BX 180		4000	
BX 200		4500	
BX 225 ... BX 250		3600	
BX 280		2000	
BX 315 ... BX 355		2200	

Dossier de los convertidores de orientación (Siemens)

SINAMICS High performance converters

SINAMICS S120

Universal. Precise. Safety Integrated.



Highlights

- Modular system for high performance
- High degree of scalability, flexibility, combinability
- SINAMICS S120 Chassis and SINAMICS S120 Cabinet Modules can be ordered in air and liquid cooled versions

Applications S120



Processing Positioning



Machining Moving

	S120 High-performance application	S120 High-performance application
Format	Built-in unit blocksize (modular)	Built-in unit booksize (modular)
Structure	Control Unit + Power Module	Control Unit + Infeed + Motor Module
Drive concept	AC/AC	DC/AC
Degree of protection	IP20	IP20
Supply voltage/ power kW (hp)		
1/3AC 200 ... 240 V	0.55 ... 4 kW (0.75 ... 5 hp at 240 V)	–
3AC 200 ... 240 V	5.5 ... 55 kW (7.5 ... 60 hp at 240 V)	–
3AC 380 ... 480 V	0.55 ... 250 kW (0.75 ... 400 hp at 480 V)	1.6 ... 107 kW (1.5 ... 150 hp at 400 V)
3AC 500 ... 690 V	11 ... 250 kW (10 ... 400 hp at 600 V)	–
Energy recovery	No	Yes, depending on the infeed
Control modes	V/f control, vector control with/without encoder Servo control with encoder	
Ambient temperature	0 °C to 40 °C without derating/to 55 °C with derating	
Line filter	With integrated line filter for environments according to IEC 61800-3 Category C3/C2 Without line filter for environments according to IEC 61800-3 Category C4	With integrated line filter for environments according to IEC 61800-3 Category C3/C2 (optional) Without line filter for environments according to IEC 61800-3 Category C4
Braking chopper	Integrated braking chopper for PM240-2 Power Modules	Yes (optional)
Safety functions	STO, SS1, SBC, SOS, SS2, SLS, SSM, SDI, SLP, SP, SBT, SLA, SCA	
Communications	PROFINET, PROFIBUS DP, EtherNet/IP (CU320-2), USS, CANopen (CU320-2), Modbus TCP, PROFIsafe	
TIA Portal connected	Yes	
Commissioning tools	SINAMICS Startdrive, STARTER, SCOUT, Webserver	
Digitalization tools	Analyze MyDrives Edge, SIDRIVE IQ Fleet, SINAMICS DriveSim Basic, Drive System Framework, Analyze MyDrives, TIA Selection Tool, SPC, TIA Portal / SINAMICS Startdrive, Drive System Services	
Controllers	SIMATIC, SINUMERIK, SIMATIC DC	
Recommended motors	SIMOTICS S, M, L, T Siemens Motion Control Motors SIMOTICS GP, SD, XP, DP ¹	

¹ Please find the right motors from our product partner Innomatics.com

Catálogo de los convertidores de orientación (Siemens)

© Siemens 2024

SINAMICS G120 standard converters 0.37 kW to 250 kW (0.5 hp to 400 hp)

Power Modules

Selection and ordering data

PM250 Power Modules

Rated power ¹⁾		Rated output current I_N ²⁾ A	Power based on the base-load current ³⁾		Base-load current I_H ³⁾ A	Frame size	PM250 Power Module without integrated line filter	PM250 Power Module with integrated line filter Class A
kw	hp		kw	hp			Article No.	Article No.
380 ... 480 V 3 AC								
7.5	10	18	5.5	7.5	13.2	FSC	–	6SL3225-0BE25-5AA1
11	15	25	7.5	10	19	FSC	–	6SL3225-0BE27-5AA1
15	20	32	11	15	26	FSC	–	6SL3225-0BE31-1AA1
18.5	25	38	15	20	32	FSD	6SL3225-0BE31-5UA0	6SL3225-0BE31-5AA0
22	30	45	18.5	25	38	FSD	6SL3225-0BE31-8UA0	6SL3225-0BE31-8AA0
30	40	60	22	30	45	FSD	6SL3225-0BE32-2UA0	6SL3225-0BE32-2AA0
37	50	75	30	40	60	FSE	6SL3225-0BE33-0UA0	6SL3225-0BE33-0AA0
45	60	90	37	50	75	FSE	6SL3225-0BE33-7UA0	6SL3225-0BE33-7AA0
55	75	110	45	60	90	FSF	6SL3225-0BE34-5UA0	6SL3225-0BE34-5AA0
75	100	145	55	75	110	FSF	6SL3225-0BE35-5UA0	6SL3225-0BE35-5AA0
90	125	178	75	100	145	FSF	6SL3225-0BE37-5UA0	6SL3225-0BE37-5AA0

¹⁾ Rated power based on the rated output current I_N . The rated output current I_N is based on the duty cycle for low overload (L.O).

²⁾ The rated output current I_N is based on the duty cycle for low overload (L.O). These current values are valid for 400 V and are specified on the rating plate of the Power Module.

³⁾ The base-load current I_H is based on the duty cycle for high overload (H.O).

Catálogos de los circuitos de protección

Hoja de especificaciones del interruptor auxiliar (Schneider Electric)

Hoja de características del producto

Especificaciones

SQUARE

Green Premium



PowerPact multistandard - H-Frame - 150 A - 25 KA - TM trip unit ((*))

NHDF36150TW

Principal

Gama De Producto	PowerPact multistándar
Gama	PowerPact
Nombre Del Producto	IAMP
Nombre Abreviado Del Equipo	H-Frame ((*))
Tipo De Producto O Componente	Interruptor automático
Función	Para corriente > 0,1 A

Complementario

Número De Polos	3P
Tipo De Control	Maneta
Tipo De Montaje	Unit mount ((*))
SopORTE De Montaje	Empotrado Placa posterior Carril DIN
Consecutivo, Seguido, Continuo, Adosado	Terminal nut, de lado Terminal nut, bloqueado en polo neutro
(In) Corriente Nominal	150 A en 40 °C
(Ui) Tensión Nominal De Aislamiento	760 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A
(Uimp) Resistencia A Picos De Tensión	8 kV acorde a En> 50 A
(Ue) Tensión Nominal De Empleo	525 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 690 V AC 50/60 Hz acorde a IEC 947-2 600 V AC 50/60 Hz acorde a UL 489
Código De Poder De Corte	HD
Poder De Seccionamiento	Sí
Categoría De Empleo	Categoría A
Durabilidad Mecánica	4000 ciclos
Durabilidad Eléctrica	4000 ciclos
Paso De Conexión	45 mm
Señalizaciones En Local	Indicación de encendido/apagado
Indicador De Posición Del Contacto	Sí
Unidad De Control	TM
Tecnología De Unidad De Disparo	Térmico-magnético
Funciones De Protección De Unidad De Control	Protección básica

Antes de comprar este producto consulte el sitio web de Schneider Electric para obtener la información más actualizada y la disponibilidad de este producto para aplicaciones específicas de los usuarios.

23 Jun 2024

Life Is On | Schneider Electric

1

Capacidad De Unidad De Disparo	150 A
Tipo De Pantalla	3 LEDs
Capacidad De Corte	Icu, estado 1 25 kA en 220/240 V - AC acorde a IEC 947-2 Icu, estado 1 18 kA en 380/415 V - AC acorde a IEC 947-2 Icu, estado 1 18 kA en 440/480 V - AC acorde a IEC 947-2 Icu, estado 1 14 kA en 600/625 V - AC acorde a IEC 947-2 25 kA en 240 V - AC acorde a UL 489 18 kA en 480 V - AC acorde a UL 489 14 kA en 600 V - AC acorde a UL 489
[Ics] Poder De Corte En Servicio	Ics, estado 1 25 kA en 220/240 V - AC acorde a IEC 947-2 Ics, estado 1 18 kA en 380/415 V - AC acorde a IEC 947-2 Ics, estado 1 18 kA en 440/480 V - AC acorde a IEC 947-2 Ics, estado 1 14 kA en 600/625 V - AC acorde a IEC 947-2
Tipo De Ajuste De Detección A Largo Plazo Ir	Fijo
Intervalo De Ajuste De Detección A Largo Plazo	20...60 A
Tipo De Ajuste De Detección De Isd De Corto Retardo	Fijo
[Isd] Intervalo De Ajuste De Detección A Corto Plazo	1700 A
Categoría De Sobretensión	II
Preparado Para Candado	Sin cerradura
Altura	163 mm
Ancho	104 mm
Profundidad	86 mm
Normas	NMX J-266 CSA C22.2 No 6 UL 489 W-C-376B/GEN Sobrecarga En> 60 A
Certificaciones De Producto	CCC CE
Peso Del Producto	2,2 kg

Entorno

Grado De Protección Ip	IP40 conforming to IEC 60529
Grado De Protección Ik	IK07 conforming to IEC 62262
Grado De Contaminación	3 acorde a En> 40 A 3 acorde a IK07
Temperatura Ambiente De Funcionamiento	40 °C
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-50...85 °C

Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	13,018 cm
Paquete 1 Ancho	18,416 cm
Paquete 1 Longitud	21,433 cm
Paquete 1 Peso	1,931 kg
Tipo De Unidad De Paquete 2	S04

Número De Unidades En El Paquete 2	6
Paquete 2 Altura	30,0 cm
Paquete 2 Ancho	40,0 cm
Paquete 2 Longitud	60,0 cm
Paquete 2 Peso	12,362 kg

23 jun 2024

Life is On | **Schneider**
ELECTRIC

3

Catálogos de los circuitos auxiliares

Hoja de especificaciones del SAI (Schneider Electric)

Hoja de características del producto

Especificaciones



Symmetra PX de 200kW, escalable a 250kW con distribución y bypass de mantenimiento montado en el lado derecho

SY200K250DR-PD

Visión general

Presentación	Solución de protección del suministro eléctrico de alto rendimiento, trifásica, modular y escalable, con una eficiencia, capacidad y rendimiento líderes en la industria para grandes centros de datos y entornos críticos.
Plazo De Entrega	Normalmente se envía en 6 semanas

Principal

Main Input Voltage	480 V 3 fases 400 V 3 fases
Other Input Voltage	415 V
Main Output Voltage	480 V3 fases 400 V3 fases
Other Output Voltage	415 V
Potencia Nominal En W	200000 W
Potencia Nominal En Va	200000 VA
Output Connector Type	Conexión directa 4 cables (3PH + G) 1 Conexión directa 5 cables (3PH + N + G) 1
Tipo De Batería	VRLA
Equipo Suministrado	Servicio de instalación guía de instalación Tarjeta de gestión de red Servicio de puesta en marcha manual de usuario

Baterías y tiempo de autonomía

Tiempo De Funcionamiento	View Runtime Graph
Eficiencia	View Efficiency Graph
Módulos De Baterías Incluidos	13
Ranuras De La Batería Vacías	18
Tiempo Típico De Recarga	3,5 H
Cantidad De Rbc™	6
Operación De Sobrecarga	10 minutos @ 125% y 60 segundos @ 150%
Suministro De Carga De Baterías (Vatios)	19200 W nominal
Battery Design Life	5...8 yr
Extendable Run Time	1

General

25 jun 2024

Life is On | Schneider Electric

1

Aviso Legal: Esta documentación no pretende sustituir ni debe utilizarse para determinar la adecuación o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios.

Tolerancia De Voltaje En Derivación	+/-10 % ajustable a partir de +/-4/6/8 y 10 %
Number Of Power Module Free Slots	2
Number Of Power Module Filled Slots	8
Redundant	Yes

Descripción física

Color	Negro
Altura	199,1 cm
Ancho	310 cm
Profundidad	107 cm
Peso Del Producto	4090 kg
Usb Compatible	No

Entrada

Frecuencia De Red	40-70 Hz auto-sensing ((*))
Number Of Input Connectors	1 Conexión directa 4 cables (3PH + G) 1 Conexión directa 5 cables (3PH + N + G)
Barras De Separación	340...460 V 400 V 408...552 V 480 V
Máximo De Sobretensiones De Cortocircuito (Icw)	50 kA
Entrada De Distorsión Armónica Total	Menos del 5% para carga completa
Tipo De Protección De Entrada	Ruptor tripolar
Load Power Factor	0,5, que da lugar a 0,5 de desfase
Input Power Factor At Full Load	0,99

Salida

Potencia Máx. Configurable (Wattios)	500000 W
Distorsión Armónica	Inferior al 2%
Frecuencia De Salida (Sincronizado Para Principales)	50 Hz sincronizado para principales 60 Hz +/- 0,1% para 60 Hz nominales no sincronizada 50 Hz +/- 0,1% para 50 Hz nominales no sincronizada 60 Hz sincronizado para principales
Topología	Online de doble conversión
Wave Type	Onda senoidal
Tolerancia De Tensión De Salida	+/-1% estático y +/- 5% al 100% del paso de carga
Voltaje De Salida Thd	< 2% for 0 to 100% linear load and < 5% for full non-linear load
Operación De Sobrecarga	10 minutos al 125% y 30 segundos al 150%
Bypass Type	Bypass de mantenimiento incorporado Bypass estático incorporado
La Ranura Para Destornillador	96,5 % - tipo de cable: en funcionamiento con batería)
Maximum Configurable Power In Va	500000 VA
Tiempo De Transferencia	Típicamente 2ms

Conformidad

2

Life Is On | Schneider Electric

25 jun 2024

Certificaciones De Producto	Listado en cUL Propósito general Eurobat Registrado por UL
------------------------------------	--

Normas	CSA C22.2 n.º 107.3-05 EN/IEC 62040-1-1 EN/IEC 62040-2 EN/IEC 62040-3 UL 1778 UL 60950-1
---------------	---

Medioambiental

Temperatura Ambiente De Operación	0...40 °C
Humedad Relativa	0...95 %
Altitud De Operación	0...3333 ft
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-15...40 °C
Humedad Relativa De Almacenamiento	0...95 %
Altitud De Almacenamiento	0,0000000000...15240,0000000000 m
Nivel Acústico	54 dBA
Disipación Térmica Online	24757 Btu/h
Grado De Protección Nema	NEMA 1
Grado De Protección Ip	IP20

Comunicaciones & Gestión

Ranuras Libres	1
Smartslot&Trade Preinstalado. Tarjetas	Network management card 2 with environmental monitoring, out of band access and Modbus
Función De Alarma	Interfaz de usuario en pantalla Iod táctil
Desconexión De Emergencia (Epo)	Optativo

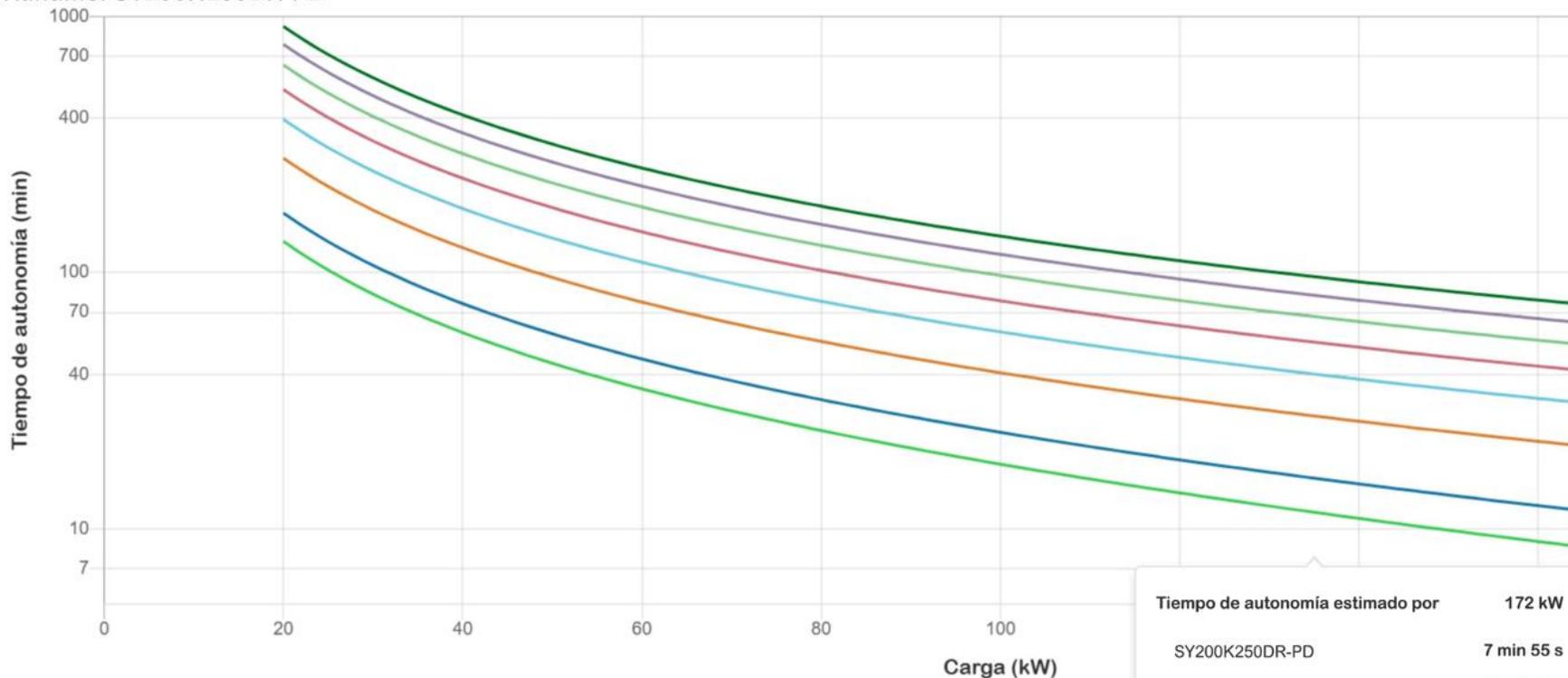
Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	215 cm
Paquete 1 Ancho	127 cm
Paquete 1 Longitud	411 cm
Paquete 1 Peso	4489 kg

Garantía contractual

Periodo De Garantía	1 año de servicio de reparación in situ o sustitución con puesta en marcha autorizada de fábrica
---------------------	--

Runtime: SY200K250DR-PD



● SY200K250DR-PD
 ● SY200K250DR-PD + SYBT9-B6 (3)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (1)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (2)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (3)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (4)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (5)
 ● SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (6)

Carga / Tiempo de autonomía	20 kW	30 kW	50 kW	70 kW	90 kW
SY200K250DR-PD	2 h 12 min	1 h 22 min	44 min	28 min 50 s	20 min 50 s

Tiempo de autonomía estimado por	172 kW
SY200K250DR-PD	7 min 55 s
SY200K250DR-PD + SYBT9-B6 (3)	11 min 2 s
SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (1)	19 min 53 s
SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (2)	29 min 21 s
SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (3)	39 min
SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (4)	49 min
SY200K250DR-PD + SYBFXR8-8 (5)	1 h

Especificaciones del transformador auxiliar (Manumag)

	PROTOCOLO DE ENSAYOS según EN-61558-1-4
---	---

INFORME N°: 00662401 – según EN-61558-4		Fecha: 24/6/24	
TIPO / MODELO: TRANSFORMADOR TRIFASICO			
CODIGO :		YAQ04189963	
N° SERIE :	-	FECHA PRODUCCION :	24/4/2024
FRECUENCIA :	50/60Hz	ED:	100%
GRUPO DE CONEXION:	Dyn11	GRADO PROTECCION :	IP23
CLASE AISLAMIENTO :	F	Ta:	40° C
PROTECCION TEMPERATURA:	-	AISLAMIENTO SUPLEMENTARIO :	-
PRIMARIO :	690 V		
SECUNDARIO :	400 V +N		
POTENCIA :	180.000 VA		
ENSAYO EN VACIO :	Tensión de entrada : 690 V		
	Tensión de salida : 402V(232V)		
	Intensidad absorbida : 4A max.		
	Pérdidas en el núcleo : 557 W		
	Extracorrente conexión: < 8·In		
ENSAYO EN CORTOCIRCUITO	Tensión de cortocircuito : 6%		
	Intensidad nominal : 150,6A		
	Pérdidas en los devanados : 3.132 W		
ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :	Entre primario y masa : > 8MΩ (ok)		
	Entre primario y secundario : > 8MΩ (ok)		
	Entre secundario y masa : > 8MΩ (ok)		
ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA : TIEMPO ENSAYO: 1' (min)	Entre primario y secundario : 5.300 V (ok)		
	Entre primario y masa : 3.600 V (ok)		
	Entre secundario y masa : 3.600 V (ok)		
CORRIENTES DE FUGA Corriente de fuga a tierra a través del núcleo (S/ UNE 61.558-2-13)	Sin fallo: <		
	Con fallo: <		
	Con inversión de la polaridad	Sin fallo	<
	Con fallo :	<	
CORRIENTES DE FUGA Corriente de fuga a tierra del secundario (S/ UNE 61558-2-13)	Sin fallo: <500μA		
	Con fallo: <500μA		
	Con inversión de la polaridad	Sin fallo	<
	Con fallo	<	

Catálogo del cableado eléctrico auxiliar (General Cable)

AFUMEX® Class ATEX (AS)
RZ1MZ1 - K (AS) - Libre de halógenos
0,6/1 kV



NORMAS

CONSTRUCCIÓN
UNE 21123-4

REACCIÓN AL FUEGO*
UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2
UNE-EN 50399
UNE-EN 61034-2; IEC 61034-2
UNE-EN 60754-2; IEC 60754-2
UNE-EN 60754-1; IEC 60754-1
UNE-EN 60332-3-24; IEC 60332-3-24

CLASIFICACIÓN CPR

DOP1003880
Clase C_{ca}-s1a,d1,a1

CONSTRUCCIÓN

1. CONDUCTOR
Cobre, clase 5 según UNE-EN 60228.

2. AISLAMIENTO
Poliétileno reticulado (XLPE),
tipo GP8 según BS 7655-13.
Identificación por color.

3. REVESTIMIENTO INTERNO
Polioléfina termoplástica
libre de halógenos.

4. ARMADURA
Hilos de acero galvanizado
para cables multipolares o hilos
de aluminio para cables unipolares.

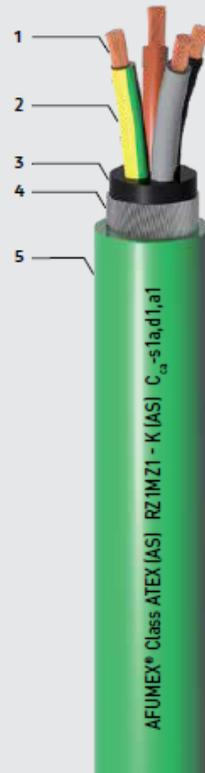
5. CUBIERTA EXTERIOR
Polioléfina termoplástica
libre de halógenos.

APLICACIONES

Exigido en zonas con riesgo de incendio
o explosión con armadura de hilos de acero
galvanizado (multipolares).

Recomendados en todas aquellas
instalaciones en que se requiera una
especial protección mecánica del cable
o mayores esfuerzos de tracción.

Temperatura máxima del conductor: +90 °C.
Temperatura mínima de trabajo: -25 °C.



* En azul ensayos de fuego válidos en la UE.



DESCÁRGATE LA DOP
(declaración de prestaciones)
<https://es.prysmiangroup.com/dop>

Nº Dop 1003880

General Cable

AFUMEX® Class ATEX (AS)

RZ1MZ1 - K (AS) - Libre de halógenos

0,6/1 kV



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS

RZ1MAZ1-K (AS)

Número de conductores x sección (mm²)	Diámetro nominal bajo armadura (mm)	Diámetro nominal exterior (mm)	Peso nominal (kg/km)	Radio mínimo de curvatura (mm)	Intensidad admisible al aire (1) (A)	Intensidad admisible enterrado (2) (A)	Caída de tensión cos φ= 0,8 (mV.km)
1x50	11,5	17,7	695	180	188	138	0,804
1x70	13,3	19,5	915	195	243	170	0,595
1x95	14,9	21,3	1193	215	298	202	0,474
1x120	16,8	23,2	1460	235	350	230	0,390
1x150	19,0	25,6	1780	400	401	260	0,332
1x185	20,8	27,6	2170	280	460	291	0,289
1x240	23,2	30,3	2740	300	545	336	0,239
1x300	25,8	32,8	3385	330	630	380	0,207
1x400	29,3	37,3	4365	375	-	446	0,177

(1) Instalación en bandeja al aire (40 °C).
 →XLPE3 con instalación tipo F columna 11 (1x, trifásica).
 →XLPE2 con instalación tipo E columna 12 (2x, 3G monofásica).
 →XLPE3 con instalación tipo E columna 10b (3x, 4x, 4G, trifásica).

RZ1MZ1-K (AS)

Número de conductores x sección (mm²)	Diámetro nominal bajo armadura (mm)	Diámetro nominal exterior (mm)	Peso nominal (kg/km)	Radio mínimo de curvatura (mm)	Intensidad admisible al aire (1)* (A)	Intensidad admisible enterrado (2)* (A)	Caída de tensión cos φ= 0,8 (mV.km)
2x1,5	6,9	11,3	240	115	23	24	23,61
2x2,5	8,1	12,7	300	130	32	32	14,20
2x4	9,0	13,4	365	135	44	42	8,839
2x6	10,2	14,6	440	150	57	53	5,919
2x10	11,9	16,3	570	165	78	70	3,458
2x16	13,7	18,8	830	190	104	91	2,218
2x25	16,7	22,4	1195	225	135	116	1,458
2x35	18,8	25,4	1600	255	168	140	1,057
2x50	17,5	24,3	1690	245	204	166	0,759
2x70	20,1	27,1	2205	275	262	204	0,556
2x95	23,1	31,1	3000	315	320	241	0,438
2x120	25,9	34,1	3655	345	373	275	0,358
2x150	29,0	37,4	4350	375	430	311	0,302
2x185	31,8	41,6	5570	420	493	348	0,262
2x240	35,5	45,5	6880	455	583	402	0,215
2x300	39,7	49,9	8415	500	-	-	0,186
2x400	44,5	55,1	10545	555	-	-	0,157

(2) Instalación enterrada, directamente o bajo tubo (25 °C) con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K.m/W.
 →XLPE2 con instalación tipo D1/D2 2x, 3G monofásica.
 →XLPE3 con instalación tipo Método D1/D2 3x, 4x, 4G, trifásica.

Según UNE-HD 60364-5-52; IEC 60364-5-52.

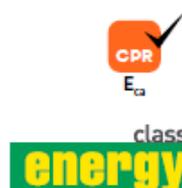
*Para locales con riesgo de incendio o explosión (zonas ATEX) el REBT establece que los conductores deberán reducir un 15% su intensidad admisible para instalación convencional (ITC-BT 29, pto. 9.1.).

Valores nominales sujetos a variación en función de la tolerancia de fabricación.

ENERGY® Class

RV-K / FXV - Estándar de PVC

0,6/1 kV



NORMAS

CONSTRUCCIÓN

UNE 21123-2
IEC 60502-1

REACCIÓN AL FUEGO*

UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2

CLASIFICACIÓN CPR

ENERGY® RV-K

DOP 000006
Clase E_{ca}

ENERGY® RV-K SECTORFLEX

DOP 000007
Clase E_{ca}

CONSTRUCCIÓN

1. CONDUCTOR

Cobre, clase 5 según UNE-EN 60228.
Sectorial para secciones de 50 mm²
y superiores de 2,3 o 4 conductores
(solución Sectorflex®).

2. AISLAMIENTO

Polietileno reticulado (XLPE)
según HD 603-1.
Identificación por color.

3. CUBIERTA EXTERIOR

Policloruro de vinilo (PVC) tipo DMV-18
según HD 603-1.

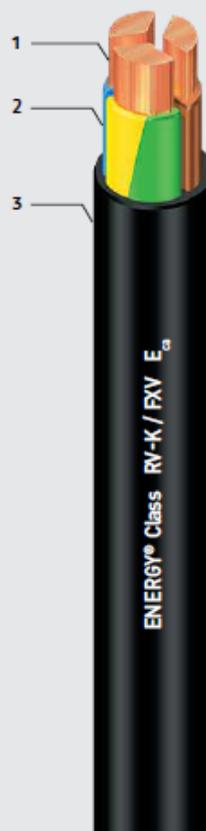
APLICACIONES

Cable flexible de distribución de energía
y control diseñado para instalaciones fijas.

Fabricado con conductores flexibles
para facilitar la instalación.

Temperatura máxima del conductor: +90 °C.
Temperatura mínima de trabajo: -25 °C.

CERTIFICACIÓN



* En azul ensayos de fuego válidos en la UE.



DESCÁRGATE LA DOP
(declaración de prestaciones)
<https://es.prysmiangroup.com/dop>

Nº DOP 000006
000007

General Cable

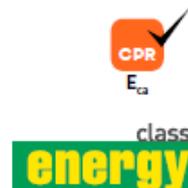
40

A brand of
Prysmian
Group

ENERGY® Class

RV-K / FXV - Estándar de PVC

0,6/1 kV



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS

Número de conductores x sección (mm²)	Diámetro nominal exterior (mm)	Peso nominal (kg/km)	Radio mínimo de curvatura (mm)	Intensidad admisible al aire (1) (A)	Intensidad admisible enterrado (2) (A)	Caída de tensión cos φ= 0,8 (mV/km)
1x1,5	5,7	45	25	21	21	27,31
1x2,5	6,1	60	25	30	27,5	14,24
1x4	6,7	75	30	40	35	8,873
1x6	7,2	95	30	52	44	5,950
1x10	8,2	140	35	72	58	3,484
1x16	9,2	195	40	97	75	2,240
1x25	10,8	285	45	122	96	1,476
1x35	11,9	380	50	153	117	1,073
1x50	13,5	520	55	188	138	0,773
1x70	15,6	715	65	243	170	0,568
1x95	17,4	925	70	298	202	0,449
1x120	19,4	1165	80	350	230	0,368
1x150	21,4	1440	90	401	260	0,311
1x185	23,3	1740	95	460	291	0,270
1x240	26,6	2295	135	545	336	0,223
1x300	30,2	2895	155	630	380	0,193
1x400	34,8	3930	175	749	430	0,164
1x500	39,1	5015	200	861	483	0,146
1x630	43,7	6585	220	990	552	0,128

(1) Instalación en bandeja al aire (40 °C).
 →XLPE3 con instalación tipo F columna 11 (1x trifásica).
 →XLPE2 con instalación tipo E columna 12 (2x, 3G monofásica).
 →XLPE3 con instalación tipo E columna 10b (3x trifásica).

(2) Instalación enterrada, directamente o bajo tubo (25 °C)
 con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K.m/W.
 →XLPE3 con instalación tipo D1/D2 (Cu) 1x, 3x trifásica.
 →XLPE2 con instalación tipo D1/D2 (Cu) 2x, 3G monofásica.

Según UNE-HD 60364-5-52 e IEC 60364-5-52.

Valores nominales sujetos a variación en función de la tolerancia de fabricación.

General Cable

A brand of
Prysmian
Group