



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW

Autor: José Javier Rueda Montes

Director: Miguel Pidre Paredes

Madrid

Julio de 2019

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

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

El autor D. José Javier Rueda Montes

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Diseño de la ingeniería de detalle de un Parque Eólico de 22.5 MW, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

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

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 13 de Julio de 2019

ACCEPTA



Fdo José Javier Rueda Montes

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

[illegible]

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño de la ingeniería de detalle de un Parque Eólico de 22,5 MW
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018/19 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.: José Javier Rueda Montes

Fecha: 16/ 07/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miguel Pidre Paredes

Fecha: 16/ 07/ 2019



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW

Autor: José Javier Rueda Montes

Director: Miguel Pidre Paredes

Madrid

Julio de 2019

DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW

Autor: Rueda Montes, José Javier.

Director: Pidre Paredes, Miguel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

Actualmente, la sociedad española se encuentra inmersa en una transición energética para cumplir con el proceso de descarbonización propuesto para 2050. Esta transición apuesta por impulsar las inversiones en energías limpias y responsables con el medio ambiente. Esta transición es especialmente importante en el sector eléctrico ya que es culpable de gran parte de emisiones de CO₂.

Gracias al desarrollo tecnológico que se ha experimentado en los últimos años fruto de las constantes apuestas por innovación en este sector, apostar por un sistema eléctrico en el que las energías renovables tengan mayor presencia no es una utopía como pueda parecer en otros sectores, como el del transporte.

Los principales motivos del auge de la energía eólica son tanto técnicos como económicos. La tecnología permite construir cada vez torres más altas, con palas de mayor diámetro, lo que se traduce en aerogeneradores de mayor potencia. Además, los costes de construcción se han reducido debido principalmente a la caída en los precios de los componentes (turbinas, reductoras, palas...).

Con este proyecto se pretende promover la energía renovable en España y, en concreto, la energía eólica. El crecimiento energético es vital en el desarrollo económico de un país, y como se ha visto, la tecnología eólica es la más eficiente a día de hoy para lograrlo debido al desarrollo técnico que está experimentando y a las ventajas económicas para los inversores.

Metodología

El objetivo principal del proyecto es diseñar las instalaciones de media tensión de un Parque Eólico y la red de comunicaciones que lo integra. Para conseguir dicho objetivo se realizan los cálculos de la instalación y se definen los equipos de media tensión.

El primer paso consiste en analizar los datos iniciales, algunos de ellos obtenidos por estudios que quedan fuera del alcance de este proyecto, como el emplazamiento del Parque y el número de aerogeneradores.

Después se procede a realizar el trazado de las zanjas eléctricas, teniendo en cuenta la localización de las máquinas y los caminos existentes; y optimizando los trazados para reducir costes.

A continuación, con las longitudes de cables y la configuración de las canalizaciones obtenidas por el trazado de zanjas, se realizan los cálculos de sección de cables atendiendo a los criterios de corriente máxima, caída de tensión y pérdida de potencia.

Una vez obtenidos todos los resultados de los cálculos se diseñan los esquemas unifilares de la instalación, tanto de la red de media tensión como de la red de comunicaciones.

Finalmente se realiza un presupuesto económico de la instalación eléctrica y un estudio económico en el que se analiza la viabilidad y rentabilidad del Parque que se ha diseñado.

Resultados

El Parque Eólico consta de 7 aerogeneradores, seis de ellos de 3.465 kW y uno de 1.700 kW y se ubica entre los municipios de Borja, Fréscano y Agón. La red de Media Tensión se proyecta a una tensión nominal de 20 kV.

Los aerogeneradores producen la energía eólica a una tensión de 690 V que, mediante un transformador ubicado en la propia góndola de la máquina, es transformada a 20 kV. En la base de los aerogeneradores se encuentran las celdas de protección que constan de seccionadores e interruptores de protección.

La red de Media Tensión subterránea se ha diseñado de carácter radial, con dos circuitos en vez de uno, por diversos motivos. Primeramente, se optimiza el tamaño de los cables lo que conlleva un ahorro del coste de los mismos. Además, se reducen las pérdidas en caso hipotético de fallo de algún aerogenerador o elemento de la red.

El cálculo de las secciones se lleva a cabo siguiendo el criterio de corriente máxima, ya que se presume es el más restrictivo. Tras obtener los resultados, se calculan las caídas de tensión en los conductores y se observa que están por debajo del límite impuesto del 3%. Además, se calculan las pérdidas de potencia por cada tramo de circuito y se obtienen menores al límite impuesto del 1%, por lo que se dan como válidas.

Las secciones finalmente obtenidas se muestran a continuación.

Línea	P (kW)	I (A)	Sección (mm ²)	I adm (A)	% carga
A1 – A2	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A2 – A3	6.930	216,3	150	225,5	95,9 %
A3 – SE	10.395	324,4	400	385,4	84,2 %
<i>Total C1</i>	<i>10.395</i>	<i>324,4</i>			<i>95,9 %</i>
A7 – A6	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A6 – A5	5.175	161,5	95	176,3	91,6 %
A5 – A4	8.640	269,6	240	299,3	90,1 %
A4 – SE	12.105	377,8	500	438,7	86,1 %
<i>Total C2</i>	<i>12.105</i>	<i>377,8</i>			<i>91,6 %</i>
TOTAL	22.500	702,2			95,9 %

Tabla 1: Cálculo de las secciones

El análisis económico llevado a cabo tiene en cuenta el coste inicial del proyecto, que se obtiene del Presupuesto General; los ingresos por la venta de electricidad y los costes de explotación del Parque. A la hora de estimar los ingresos, se han estudiado dos posibilidades: vender la energía al mercado diario o venderla bajo la modalidad PPA, con los precios de futuros.

El resultado de ambas posibilidades varía considerablemente, como también varía el riesgo en el que se incurre al elegir cada una de las opciones. El precio del mercado diario en el futuro es difícilmente predecible y puede llegar a ser muy volátil con la instalación masiva de energías renovables, por lo que la posibilidad de cerrar un PPA y asegurarse un precio razonable en el futuro a día de hoy reduce considerablemente el riesgo.

Las tasas de retorno de la inversión para cada modalidad son las siguientes:

Modalidad	TIR
Venta al mercado diario	15 %
Venta a precio fijo (PPA)	10 %

Tabla 2: Tasa de retorno del proyecto por modalidad de venta de electricidad

DESIGN OF THE DETAIL ENGINEERING FOR A WIND FARM OF 22.5 MW

PROJECT SUMMARY

Introduction

Currently, Spanish society is immersed in an ecological transition to fulfill the decarbonization requirements for 2050. This transition tries to push investments in clean and environmentally responsible sources of energy. This transition is specially key in the electric sector since it is the responsible for a high amount of CO₂ emissions.

Thanks to the technological development that has been experienced in the recent years, due to the constant research in this sector, dreaming with an electric system in which renewable energy sources have a wider presence it is not an utopia.

The main reasons for the wind energy boom are not only technical but economic also. Technology allows companies to build larger towers, with bigger blades, which means wind turbines with higher power rates. Moreover, building costs have been reduced mainly due to the reduction in the components cost (turbines, gears, blades...)

The motivation of this project is to promote renewable energy sources in Spain, and specially wind energy. Energy growth is vital for the economic growth of a country and, as it has been shown, wind technology is the most efficient one currently thanks to the technical development and the cost reduction it is experiencing.

Methodology

The main objective of the project is to design the Medium Voltage infrastructure of a wind farm and the communications network. Therefore, the network calculations and the definition of components are carried out.

Firstly, previous information is analyzed, since some of it is obtained from outside studies, as the location of the wind farm or the number of wind turbines to be installed.

Then, the layout of the wiring is designed according to the location of the wind turbines and the existing roads. The design is optimized to reduce costs.

Once the length of the wires and the configuration of the wiring has been obtained, the network calculations are carried out. The network is designed according to three criteria: maximum current, minimum voltage drop and minimum power losses.

Later, the one-line diagrams are drawn for the Medium Voltage network and for the communications network too.

Finally, the budget and the economic study are developed. The goal of this study is to analyze the economic reliability and the return on investment of the wind farm designed.

Results

The wind farm is composed of 7 wind turbines, six of them of 3.465 kW and one of 1.700 kW and it is located between municipalities of Borja, Fréscano and Agón. The Medium Voltage network is designed for 20 kV.

The wind turbines produce the energy at 690 V that, with a transformer located at the top of the tower, is transformed into 20 kV. The switchgear is located at the base of the wind turbines and it includes switches and breakers.

The Medium Voltage underground network has been designed with two branches for several reasons. First of all, the size of the wires is reduced which means a reduction in costs too. Also, the losses from the failure of an element of the network are reduced as well.

The design of the network has been carried out following the maximum current criteria, since it is the most restrictive. After obtaining the results, the voltage drops are calculated and they are within limits, 3%. Finally, the power losses in each part of the network are obtained, and they are also within limits, 1%, so the network fulfills all the requirements.

The cross-sections for the circuits are shown below.

Line	P (kW)	I (A)	Cross-section (mm ²)	I adm (A)	% load
A1 – A2	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A2 – A3	6.930	216,3	150	225,5	95,9 %
A3 – SE	10.395	324,4	400	385,4	84,2 %
<i>Total C1</i>	<i>10.395</i>	<i>324,4</i>			<i>95,9 %</i>
A7 – A6	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A6 – A5	5.175	161,5	95	176,3	91,6 %
A5 – A4	8.640	269,6	240	299,3	90,1 %
A4 – SE	12.105	377,8	500	438,7	86,1 %
<i>Total C2</i>	<i>12.105</i>	<i>377,8</i>			<i>91,6 %</i>
TOTAL	22.500	702,2			95,9 %

Table 1: Cross-section design

The economic analysis carried out takes into account the initial cost of the project, which is obtained from the General Budget; the revenues from the sale of electricity and the operational costs. When estimating the revenues, two possibilities have been studied: to sell the electricity at the spot market and to sell it through a PPA, with a fixed price.

The results for both possibilities vary considerably, as it varies too the risk associated with each of them. The price of the spot market in the future is not easily predicted and it might be very volatile with the deployment of renewable energy sources. Therefore, the possibility to close a PPA and obtain a fixed price for the energy produced reduces the risk.

The internal rate of return for each option are the following:

Option	IRR
Sale to the spot market	15 %
Sale at a fixed price (PPA)	10 %

Table 2: Project IRR by sale of electricity option chosen

Tabla de contenido

DOCUMENTO 1. MEMORIA.....	1
1 MEMORIA DESCRIPTIVA	3
1.1 Introducción	3
1.2 Energías renovables	4
1.3 La energía eólica	5
1.4 Motivación del Proyecto	6
1.5 Objetivos	7
1.6 Normativa a emplear	7
1.7 Datos de inicio.....	8
1.8 Instalaciones del Parque Eólico.....	10
2 CÁLCULOS	19
2.1 Introducción	19
2.2 Red de Media Tensión.....	19
2.3 Canalizaciones.....	25
3 ESTUDIO ECONÓMICO	27
3.1 Introducción	27
3.2 Coste inicial.....	27
3.3 Financiación	27
3.4 Ingresos.....	28
3.5 Costes de explotación.....	30
3.6 Cash Flow	31
3.7 Conclusiones.....	36
DOCUMENTO 2. PLANOS	37
PLANO 01 – SITUACIÓN INICIAL	39
PLANO 02 – ESQUEMA UNIFILAR	40
PLANO 03 – CANALIZACIONES ELÉCTRICAS - ORIGINAL	42
PLANO 04 – CANALIZACIONES ELÉCTRICAS - OPTIMIZADO	43
PLANO 05 – ESQUEMA GENERAL DE COMUNICACIONES	44
PLANO 06 – ESQUEMA DE CONEXIONADO DE LOS CABLES DE COMUNICACIONES	45
DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES.....	47
DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO	87
1 PRESUPUESTO ELÉCTRICO	89
1.1 Aerogeneradores.....	89
1.2 Red de Media Tensión.....	89
1.3 Totales.....	90
REFERENCIAS.....	91

Índice de Figuras

FIGURA 1: POTENCIA INSTALADA Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, POR TECNOLOGÍA, 2016, [1]	3
FIGURA 2: POTENCIA INSTALADA Y ENERGÍA GENERADA POR REGIÓN MUNDIAL, 2016-2022, [2]	5
FIGURA 3: DESARROLLO TECNOLÓGICO HISTÓRICO DE AEROGENERADORES DE TIERRA, [3]	6
FIGURA 4: TENDENCIA DEL COSTE DE INVERSIÓN EN AEROGENERADORES DE TIERRA, [4]	6
FIGURA 5: ESQUEMA MÓDULO 1P	12
FIGURA 6: ESQUEMA MÓDULO 0P	13
FIGURA 7: ESQUEMA MÓDULO 1L	13
FIGURA 8: ELEMENTOS DE LOS CABLES DE MEDIA TENSIÓN	15
FIGURA 9: VISTA DEL MODELO DE DIGSILENT	25
FIGURA 10: FREE CASH FLOW CON VENTA A MERCADO DIARIO	34
FIGURA 11: CASH FLOW PARA STAKEHOLDERS CON VENTA A MERCADO DIARIO	34
FIGURA 12: FREE CASH FLOW CON VENTA BAJO PPA	35
FIGURA 13: CASH FLOW PARA STAKEHOLDERS CON VENTA BAJO PPA	35

Índice de Tablas

TABLA 1: COORDENADAS DE LOS AEROGENERADORES DEL PARQUE	9
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR	11
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LAS CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	12
TABLA 4: CORRIENTE REAL POR CADA TRAMO DE LA RED	20
TABLA 5: CORRIENTES MÁXIMAS POR SECCIÓN DEL CONDUCTOR	20
TABLA 6: FACTORES DE CORRECCIÓN	21
TABLA 7: CORRIENTES ADMISIBLES POR SECCIÓN DEL CONDUCTOR	21
TABLA 8: CÁLCULO DE SECCIONES SEGÚN CRITERIO DE MÁXIMA CORRIENTE	22
TABLA 9: LONGITUDES DE LOS TRAMOS DE CIRCUITO	23
TABLA 10: CAÍDAS DE TENSIÓN EN LOS CIRCUITOS	23
TABLA 11: PÉRDIDAS DE POTENCIA EN LOS CIRCUITOS	24
TABLA 12: OPTIMIZACIÓN DEL TRAZADO DE ZANJAS	25
TABLA 13: COSTE TOTAL DEL PARQUE EÓLICO	27
TABLA 14: DATOS Y CONDICIONES DE LA FINANCIACIÓN	27
TABLA 15: CUADRO DE AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO	28
TABLA 16: ESTIMACIÓN DEL PRECIO CAPTURADO POR EL PARQUE EÓLICO	29
TABLA 17: COMPARACIÓN DE PRECIOS DE LAS DOS MODALIDADES DE VENTA DE ELECTRICIDAD	29
TABLA 18: INGRESOS DEL PARQUE	30
TABLA 19: COSTES DE EXPLOTACIÓN	31
TABLA 20: TABLA DE RESULTADOS PARA EL AÑO 1	32
TABLA 21: FREE CASH FLOW, VENTA AL MERCADO DIARIO	32
TABLA 22: CASH FLOW PARA STAKEHOLDERS, VENTA AL MERCADO DIARIO	33
TABLA 23: CUADRO RESUMEN INDICADORES ECONÓMICOS	36

DOCUMENTO 1. MEMORIA

1 Memoria descriptiva

1.1 Introducción

El desarrollo económico y social de un Estado está estrechamente ligado con el crecimiento energético de dicho país. Un aumento de la demanda eléctrica de un país indica crecimiento económico, ya que es un recurso indispensable en cualquier proceso productivo, e indica crecimiento social, ya que la electricidad se considera un recurso esencial de primera necesidad [1].

Actualmente, la sociedad española se encuentra inmersa en una transición energética para cumplir con el proceso de descarbonización propuesto para 2050. Esta transición apuesta por impulsar las inversiones en energías limpias y responsables con el medio ambiente. Esta transición es especialmente importante en el sector eléctrico ya que es culpable de gran parte de emisiones de CO₂.

Gracias al desarrollo tecnológico que se ha experimentado en los últimos años fruto de las constantes apuestas por innovación en este sector, apostar por un sistema eléctrico en el que las energías renovables tengan mayor presencia no es una utopía como pueda parecer en otros sectores, como el del transporte.

Las distintas tecnologías de energías renovables disponibles actualmente en el mundo, y en concreto en España, son muy variadas. Las más desarrolladas y que se están utilizando a día de hoy son la hidráulica, la fotovoltaica, la termosolar, la eólica y la cogeneración entre otras. Sin embargo, la investigación en este campo está avanzando a grandes pasos y no se descarta que en un futuro no muy lejano la tecnología mareomotriz o geotérmica adquieran mayor presencia que la que tienen actualmente.

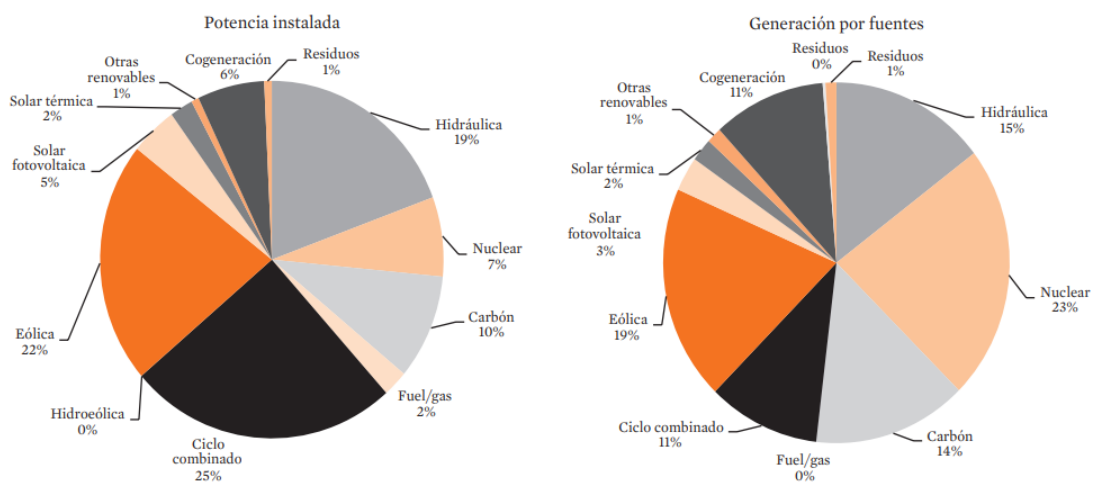


Figura 1: Potencia instalada y generación de electricidad, por tecnología, 2016, [1]

1.2 Energías renovables

A continuación, se analizan brevemente las tecnologías más utilizadas en España y se discuten sus ventajas y desventajas.

La tecnología hidráulica genera energía eléctrica de la energía potencial de grandes masas de agua, embalses y lagos. Las turbinas hidráulicas son accionadas por el flujo de agua que proviene bien de saltos de agua acumulada o bien de agua corriente. Las principales ventajas de esta tecnología son su rápida respuesta ante cambios y su no intermitencia, ya que se permite almacenar el agua para un uso futuro. Sin embargo, la instalación de este tipo de tecnología es limitado ya que en ocasiones provoca trastornos medio ambientales a la flora y fauna de la zona. Además, requiere de una gran inversión cuando no se dispone de un salto de agua natural.

La tecnología fotovoltaica aprovecha la energía directamente del sol para generar electricidad. Los paneles fotovoltaicos están compuestos de celdas fotovoltaicas que producen electricidad al incidir sobre ellas los haces de luz solar debido al efecto fotoeléctrico. La principal desventaja de esta tecnología es la intermitencia, ya que cuando la luz no incide sobre el panel no se genera nada de electricidad. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica está siendo estudiada junto con técnicas de almacenamiento de energía ya que su hibridación es muy prometedora. Los paneles solares, debido a su tecnología, generan electricidad en corriente continua, y necesitan de equipos de electrónica de potencia para evacuar esa energía a la red. Debido a esto, los costes de esta tecnología se incrementan y en ocasiones no son rentables desde el punto de vista económico.

La tecnología eólica utiliza la energía cinética del viento para hacer girar una turbina que generará energía eléctrica a través de un alternador. Dentro de la tecnología eólica hay distintos tipos de aerogeneradores, de eje vertical o de eje horizontal. Los más comunes y desarrollados por la industria son los de eje horizontal de tres palas, que se componen de una torre que sujeta la góndola en la que se encuentra la turbina, el alternador y el control. Además, también existen aerogeneradores de eje vertical, que se componen de hélices verticales, especialmente diseñados para aplicaciones de poca potencia.

Las principales ventajas de esta tecnología es la fácil obtención del recurso eólico a pesar de su intermitencia, la escasa ocupación de recursos geográficos para su instalación y la facilidad de controlar la potencia inyectada en la red a tiempo real. Además, este recurso es económicamente más viable que otras tecnologías y esto lo hace una de las opciones más recurridas a la hora de instalar tecnología renovable. Sin embargo, los aerogeneradores pueden causar un impacto en las poblaciones cercanas al igual que en el medio ambiente debido al ruido, a las sombras que provoca y al paso de aves.

1.3 La energía eólica

Debido a las características mencionadas y a las ventajas respecto a sus competidores, la tecnología eólica se posiciona como una de las opciones óptimas a la hora de instalar energía renovable.

Como se puede observar en la Figura 2, la potencia instalada de energía eólica está en constante crecimiento, siendo en el año 2016 de 466 GW. Además, se prevé que este crecimiento continúe y para el año 2022 haya 750 GW instalados.

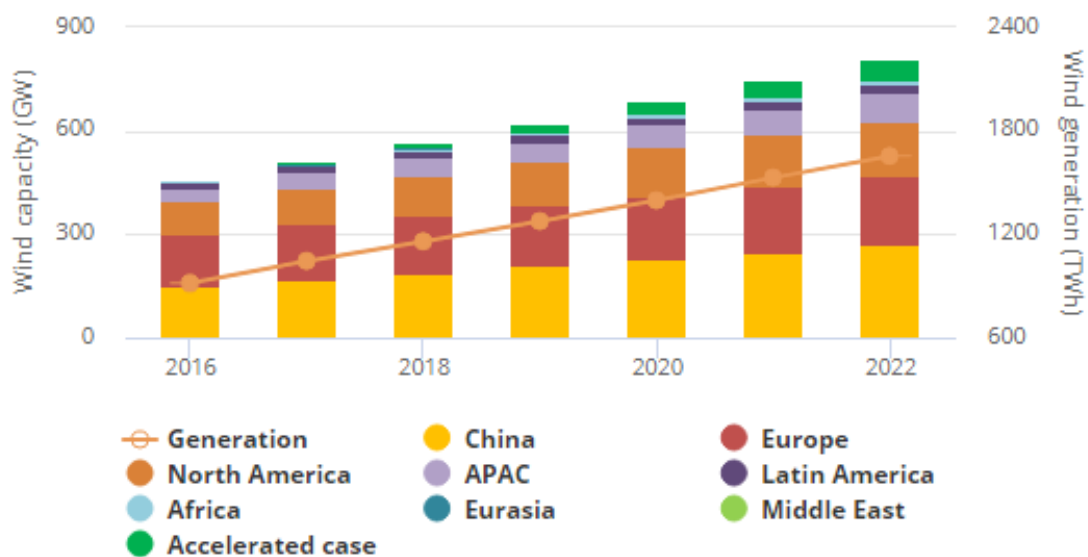


Figura 2: Potencia instalada y energía generada por región mundial, 2016-2022, [2]

Los principales motivos del auge de la energía eólica son tanto técnicos como económicos. La tecnología permite construir cada vez torres más altas, con palas de mayor diámetro, lo que se traduce en aerogeneradores de mayor potencia. Además, los costes de construcción se han reducido debido principalmente a la caída en los precios de los componentes (turbinas, reductoras, palas...). Ambos factores se pueden observar en las Figura 3 y Figura 4.

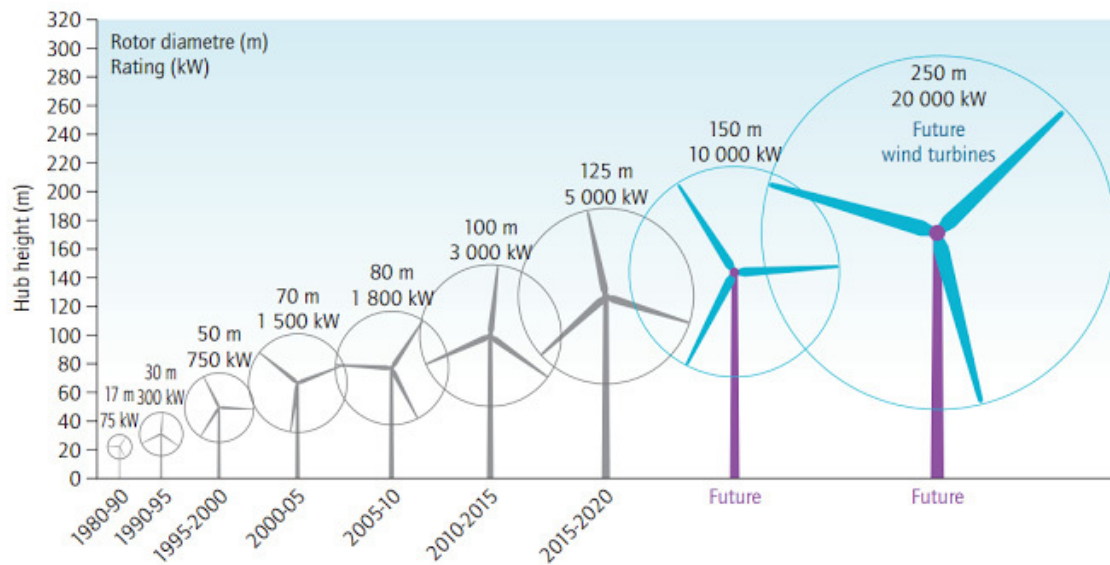


Figura 3: Desarrollo tecnológico histórico de aerogeneradores de tierra, [3]

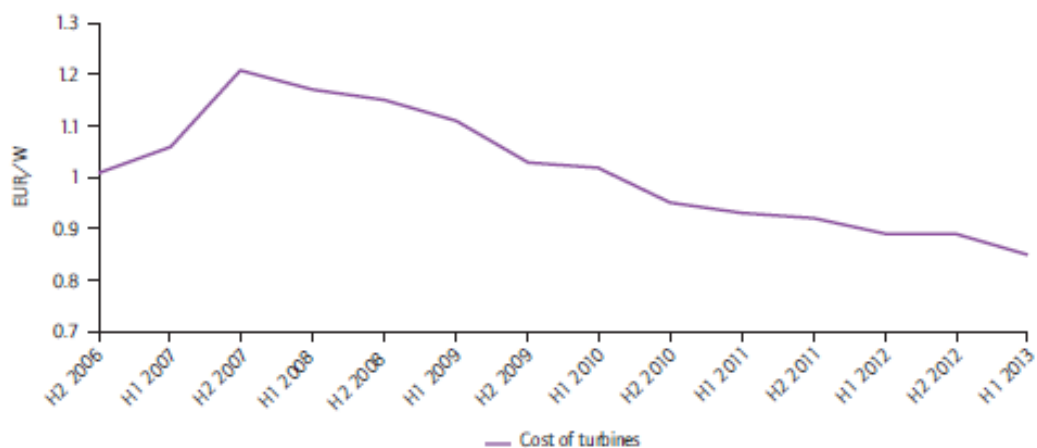


Figura 4: Tendencia del coste de inversión en aerogeneradores de tierra, [4]

1.4 Motivación del Proyecto

Con este proyecto se pretende promover la energía renovable en España y, en concreto, la energía eólica. El crecimiento energético es vital en el desarrollo económico de un país, y como se ha visto anteriormente, la tecnología eólica es la más eficiente a día de hoy para lograrlo debido al desarrollo técnico que está experimentando y a las ventajas económicas para los inversores.

1.5 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es diseñar las instalaciones de media tensión de un Parque Eólico y la red de comunicaciones que lo integra. Para conseguir dicho objetivo habrá que realizar los cálculos de la instalación y definir los equipos de media tensión.

Otros objetivos relacionados comprenden el realizar un presupuesto de la instalación eléctrica y familiarizarse con la documentación utilizada en un proyecto de ingeniería.

Como objetivos indirectos del proyecto se persigue reducir las emisiones de CO₂ en la generación de electricidad apostando así por la descarbonización de nuestra economía. Se persiguen los objetivos propuestos por la Comisión Europea para 2030 [5].

1.6 Normativa a emplear

Para el desarrollo de este Proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normas y leyes vigentes hasta el momento:

Real Decreto 413/2004	Producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
Real Decreto 842/2002	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
Real Decreto 337/2014	Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
IEC 60502	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV).

1.7 Datos de inicio

En esta sección se analizarán las consideraciones previas al Proyecto, es decir, aquellos datos que vienen dados y son ajenos al mismo.

El Parque Eólico está situado cerca del municipio de Magallón, a unos 60 kilómetros de la localidad de Zaragoza, y al oeste de la localidad de Fréscano. El emplazamiento se encuentra a una altitud de entre 325 y 400 metros sobre el nivel del mar. El Plano 01 muestra la situación geográfica del emplazamiento del Parque Eólico.

1.7.1 Criterios para elección del emplazamiento

A pesar de que la localización del sitio está fuera del alcance del proyecto, se tiene constancia de que se ha determinado atendiendo a los siguientes criterios técnicos y medioambientales.

1.7.1.1 Criterios técnicos

- Dirección y velocidad del viento: los mejores emplazamientos son aquellos perpendiculares a la dirección del viento y las zonas altas, ya que la velocidad aumenta con la altura sobre el terreno. Actualmente, la velocidad media anual para que la instalación sea rentable debe ser superior a 6 m/s.
- Potencia mínima instalable: los costes de inversión, operación y mantenimiento determinan un mínimo de potencia a partir de la cual es rentable la construcción del Parque.
- Fenómenos meteorológicos climáticos: debido a fenómenos como nieves o heladas, que afectan a la aerodinámica de las palas, se evitan emplazamientos superiores a 1500 m de altitud.

1.7.1.2 Criterios medioambientales

- Espacios protegidos: se estudia la zona para evitar dañar espacios protegidos durante la construcción del Parque.
- Espacios de interés histórico-culturales: la presencia de construcciones y elementos de interés histórico-cultural o emblemático deben tenerse en cuenta para evitar una pérdida de calidad del entorno.
- Vegetación: la presencia de vegetación suele provocar el frenado del viento y la formación de turbulencias, por lo que el Parque se debe situar en un área sin vegetación. Si hubiese vegetación se minimizarían los movimientos de tierras y se revegetaría con especies autóctonas, para evitar un gran impacto sobre el paisaje y el bosque afectado.
- Avifauna: para evitar los efectos negativos de las líneas eléctricas, la instalación de media tensión será subterránea. Además, se establecen unas distancias mínimas entre aerogeneradores para facilitar el paso de aves entre los mismos.

- Erosión: la erosión es causada principalmente por la alteración de los cursos naturales de agua y por la destrucción de cobertura vegetal. Este efecto se controla minimizando los movimientos de tierras en los puntos de mayor riesgo y evacuando controladamente las aguas pluviales a sus cursos naturales.
- Afección paisajística: los elementos que ocasionan un mayor impacto visual son los aerogeneradores, por lo que éstos presentarán formas agradables y un color no agresivo para facilitar su integración en el paisaje. La aceptación ciudadana es en general buena debido a las ventajas medioambientales y al beneficio económico que supone.
- Impacto social: las repercusiones socioeconómicas son positivas ya que la instalación del Parque supone la creación de puestos de trabajo directos e indirectos. La mayor parte posible de los trabajos de montaje y mantenimiento se realizarán con empresas locales. Además, para el conjunto de la sociedad supone un beneficio la generación eléctrica basada en energías renovables.

1.7.2 Configuración del Parque

La potencia prevista en este Parque es de 22.500 kW y está dotado de dos tipos de máquinas distintas, seis de ellas de 3.465 kW de potencia y una altura de buje de 101,5 metros; y una de 2.500 kW y 93 metros de altura de buje. A la máquina de 2.500 kW se le limita la potencia máxima a 1.700 kW por motivos administrativos, ya que la potencia del Parque no puede superar los 22.5 MW.

A partir de ahora se supondrá que este aerogenerador es de 1.700 kW, aunque técnicamente pueda dar más potencia. Los aerogeneradores del Parque y la subestación se interconectan a través de dos circuitos subterráneos de Media Tensión.

Las coordenadas de los aerogeneradores, en el sistema UTM zona 30N, son las siguientes:

Aero	UTMx	UTMy	Potencia
A1	624189.4	4636440.6	3.465 kW
A2	624373.8	4637212.2	3.465 kW
A3	624820.5	4637419.5	3.465 kW
A4	625261.9	4637600.6	3.465 kW
A5	625657.5	4637818.3	3.465 kW
A6	626105.7	4637858.3	1.700 kW
A7	626594.0	4637884.0	3.465 kW

Tabla 1: Coordenadas de los aerogeneradores del Parque

Los aerogeneradores seleccionados cuentan con un generador asíncrono doblemente alimentado, rotor bobinado y anillos rozantes. El sistema de control permite operar a velocidad variable, mediante el control de la frecuencia de las intensidades del rotor, maximizando en todo momento la potencia producida. El generador está protegido frente a cortocircuitos y sobrecargas.

El transformador es de tipo trifásico encapsulado seco y está diseñado para aplicaciones eólicas. Está situado en la parte trasera de la góndola anclado al bastidor. El riesgo de incendio es mínimo al ser de tipo seco y estar protegido contra defectos de arco.

1.8 Instalaciones del Parque Eólico

El Parque Eólico está compuesto por seis aerogeneradores de 3.465 kW y uno de 1.700 kW de potencia que generan la energía a un nivel de tensión de 690 V.

Un transformador, incluido en la góndola del aerogenerador para minimizar las pérdidas, eleva la tensión de 690 V a los 20 kV de la red de Media Tensión del Parque.

En la base de los aerogeneradores se sitúan los cuadros de protección de los aerogeneradores. Las cabinas de protección constan de varias celdas, como se explicará a continuación, y conectan los aerogeneradores entre sí y con la subestación.

La red de media tensión está compuesta por dos circuitos que evacúan la potencia de los siete aerogeneradores de manera distribuida, para optimizar los costes de la red.

Por último, junto a los cables de potencia se instala la red de comunicaciones del Parque que permite controlar la producción de los aerogeneradores y otros aspectos de los mismos. Dicha red de comunicaciones se realizará mediante fibra óptica.

A continuación, se analizan en detalle los elementos que componen la instalación eléctrica del Parque Eólico.

1.8.1 Centro de Transformación

En cada aerogenerador se instala un Centro de Transformación para verter la energía producida a la red de media tensión. Los C.T. se encuentran en el interior de las torres de las máquinas, de acuerdo al diseño del fabricante. Los Centros de Transformación se componen de un transformador y varias celdas de media tensión.

1.8.1.1 Transformador

El transformador de baja a media tensión es de encapsulado seco, tiene una tensión de salida de 20 kV y una potencia de 3.9 MVA.

Está especialmente diseñado para instalaciones eólicas y se incluye en la góndola del aerogenerador para reducir las pérdidas de potencia en el transporte de la energía. Al elevar la tensión en la góndola, la corriente que recorre los cables de la góndola a la base es reducida y las pérdidas mínimas.

Las características del aerogenerador son las siguientes:

Característica	Valor	Unidades
Tipo de transformador	Transformador trifásico de encapsulado seco	-
Grupo horario	Dyn11	-
Potencia	3900	kVA
Cos phi	0,95	-
Tensión nominal primario	20	kV
Tensión nominal secundario	0,69	kV
Frecuencia	50	Hz
Peso	< 7500	kg

Tabla 2: Características del transformador

Para la conexión del transformador, en la góndola, y la celda de media tensión, en la base de la torre, se utiliza un cable que viene incluido en el suministro del aerogenerador.

1.8.1.2 Celdas de conexión a la red de Media Tensión

Cada uno de los aerogeneradores está conectado a la red de media tensión mediante su correspondiente celda.

Las celdas están formadas por la unión de varios módulos, de reducidas dimensiones para caber en la base de la torre. Cada uno de los módulos dispone de su propia envolvente metálica y rellena de SF6 como elemento de corte y aislamiento. La envolvente debe asegurar la protección contra daños mecánicos desde el exterior.

Las principales características de las celdas son las siguientes:

Característica	Valor	Unidades
Número de celdas tipo 1L+0L+1P	5	-
Número de celdas tipo 0L+1P	2	-
Tensión nominal	24	kV
Frecuencia nominal	50	Hz
Número de fases	3	-
Intensidad máxima admisible	400 (*)	A
Intensidad de corta duración admisible	1 (*)	kA

Tabla 3: Características de las celdas de Media Tensión

(*) El cálculo se realizará en el capítulo de Cálculos, página 19.

1.8.1.2.1 Módulo de salida a transformador (1P)

Está equipada con un interruptor automático de corte en vacío y un seccionador de tres posiciones en serie con él. Tanto el interruptor automático como el seccionador disponen de indicadores de su estado de apertura o cierre.

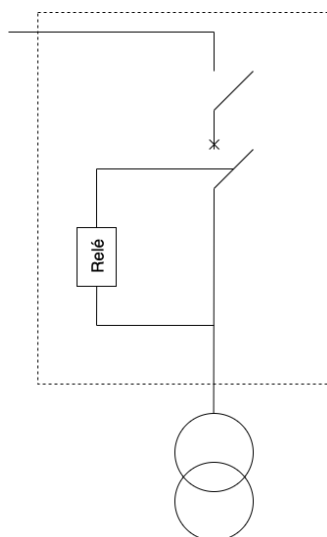


Figura 5: Esquema módulo 1P

Además, está dotada de un relé de protección autoalimentado con diversas funciones y posibilidad de disparo externo.

Las funciones de protección son las siguientes:

- Protección instantánea contra sobreintensidad de fase y fase-tierra (50-50N).
- Protección temporizada ajustable contra sobreintensidad de fase y fase-tierra (51-51N).
- Frenado de segundo armónico.

Otros elementos secundarios que incorpora el módulo son los soportes para los cables, la salida por pasatapas, el manómetro para medir la presión del gas interno y los captadores de presencia de tensión.

1.8.1.2.2 Módulo de entrada de línea (0L)

No dispone de elemento de corte, pero incluye los elementos secundarios: soportes para los cables, la salida por pasatapas, el manómetro y los captadores de tensión.

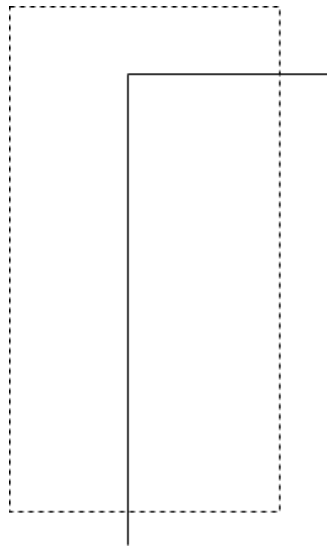


Figura 6: Esquema módulo 0P

1.8.1.2.3 Módulo de salida de línea (1L)

Está equipada con un interruptor-seccionador y no es necesaria para todos los aerogeneradores. Incluye también los elementos secundarios enumerados para los demás módulos.

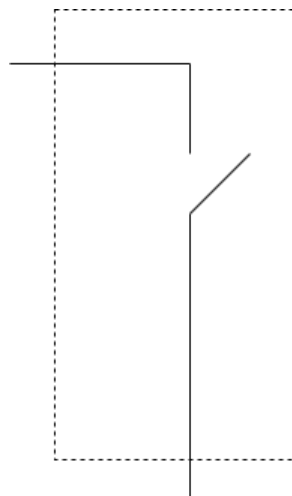


Figura 7: Esquema módulo 1L

Así, los aerogeneradores de final de línea, el A1 y A7, no llevan equipados el módulo 1L de salida de línea. Sin embargo, los demás, el A2, A3, A4, A5 y A6, llevan equipados todos los módulos descritos anteriormente.

1.8.2 Red de Media Tensión

La red de Media Tensión está proyectada para recoger la energía producida por los aerogeneradores y conectarlos a la infraestructura eléctrica existente. La red transporta la energía desde los Centros de Transformación de los aerogeneradores hasta la subestación, a un nivel de tensión de 20 kV.

La red de Media Tensión consta de dos circuitos distintos que conectan tres y cuatro aerogeneradores respectivamente. Se ha elegido esta configuración ya que optimiza el coste de los cables que transportan la energía producida por las máquinas eólicas. Al dividir la red en dos circuitos, cada circuito transporta la mitad de la energía y así se reduce la sección de cable. Además, con esta configuración se diversifica el riesgo, ya que en caso de fallo de un aerogenerador, de un cable o de cualquier elemento del Parque, la otra mitad del Parque puede seguir operando con normalidad.

El esquema unifilar de la instalación, que se encuentra en el Plano 02, muestra la configuración elegida y los dos circuitos existentes.

1.8.2.1 Cables de Media Tensión

Los cables utilizados para la interconexión de los aerogeneradores son unipolares y de aislamiento seco tipo HEPRZ1. La tensión nominal de aislamiento es de 12/20 kV.

El material del conductor es aluminio, ya que aunque presenta menor conductividad que el cobre, es más barato.

El material del aislante es etileno-propileno de alto módulo (HEPR), ya que presenta una mayor temperatura de cortocircuito que el XLPE o EPR. Además, es más barato que el EPR pues presenta menor flexibilidad, que en este caso no es necesaria.

Los cables deben ser retardantes a la llama y soportar los ensayos bajo condiciones de fuego.

A continuación, se enumeran las condiciones de utilización para determinar los valores de intensidad máxima admisible que se utilizarán para calcular las secciones en el capítulo de Cálculos, página 19.

- Temperatura del terreno: 25°C
- Resistividad térmica del terreno: 1,5 K*m/W
- Profundidad del tendido: 1 m

Los elementos que constituyen los cables se muestran en la Figura 8.

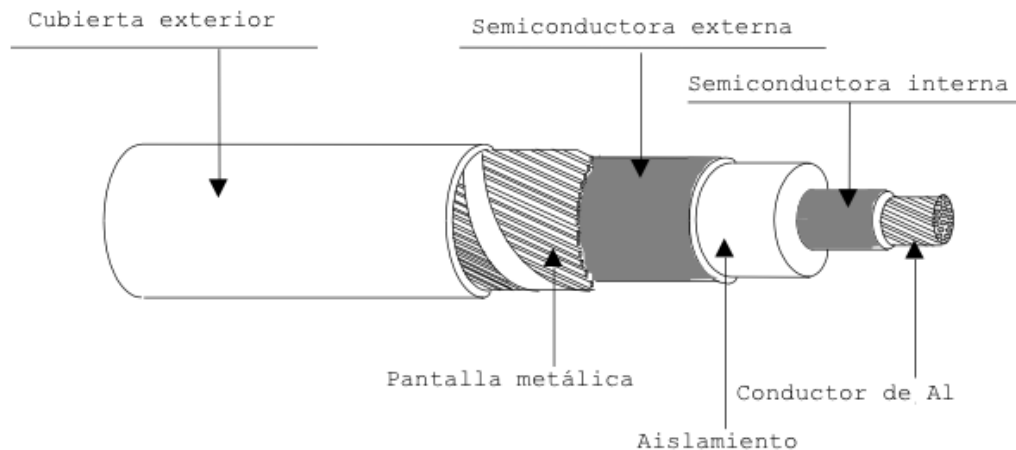


Figura 8: Elementos de los cables de Media Tensión

Los elementos del cable son los siguientes:

- Conductores: de cuerda redonda compacta de hilos de aluminio.
- Capa semiconductora interior: impide la formación de aire en contacto con el aislamiento y evita la entrada de humedad.
- Aislamiento: de etileno-propileno de alto módulo (HEPR).
- Capa semiconductora exterior: similar a la anterior.
- Pantalla: metálica de corona de hilos de cobre en hélice.
- Cubierta exterior: de Z1 modificado con aditivos repelentes de roedores y que garantice la no propagación de la llama ni del incendio. La cubierta debe ser de color rojo y llevar impreso la designación completa del cable, el año de fabricación y el nombre de la empresa fabricante.

Los cables de Media Tensión han sido diseñados y cumplen con la siguiente normativa:

- Normativa de diseño: IEC 60502.
- Emisión de humos opacos: UNE-EN 61034-1 y UNE-EN 61034-2.
- Emisión de halógenos: UNE-EN 60754-1

1.8.2.2 Canalizaciones

Los cables se instalan directamente enterrados en zanjas, siempre que sea posible, pegadas a los caminos para facilitar las labores de tendido y mantenimiento. Sin embargo, en los cruces con caminos o carreteras los cables se introducen en tubos de PVC para proteger al mismo. Dichos tubos se introducen en un banco de conductos hormigonado.

El cruce se realiza a través de canalizaciones entubadas en tubo corrugado de PVC de 200 mm de diámetro, y siempre que sea posible, en dirección perpendicular al vial. Para los cruzamientos, se dispone de un tubo de reserva como mínimo para facilitar labores de mantenimiento.

Asimismo, el acceso a los aerogeneradores se realiza con tubos del mismo tipo que en los cruzamientos.

El trazado de las zanjas que alojan los cables se ha realizado aprovechando los caminos existentes para, de esta manera, optimizar el coste de la instalación. Además, ya que en los cruzamientos se incurre en un mayor coste al tener que introducir los tubos de PVC, se ha minimizado el número de cruces necesario. Para llevar a cabo esta optimización, se ha estudiado el terreno para detectar los caminos, carreteras, cultivos y acequias presentes en la zona.

Se han evaluado dos opciones para el trazado de las zanjas, que se muestran en los Planos 03 y 04. Finalmente se ha escogido el trazado mostrado en el Plano 04 atendiendo al criterio económico de ahorro de costes. El cálculo se muestra en el capítulo de Cálculos, apartado 2.3.

Debido a que no se cuenta con herramientas cartográficas de gran detalle, el trazado no se puede realizar con un alto grado de detalle. Además, el objetivo del trazado es estimar la longitud de los cables, dato imprescindible para realizar el cálculo de la instalación, no realizar un plano civil de detalle.

1.8.2.3 Tendido

Los cables se alojan en las zanjas de dimensión variable en función del tipo de canalización que aplique. El lecho de la zanja debe ser liso y estar libre de aristas vivas, cantos y piedras. El cable se sitúa sobre una capa de 10 cm de espesor de arena limpia y suelta, exenta de sustancias orgánicas, cuyo tamaño de grano no exceda los 3 mm. Por encima del cable se instala otra capa, de iguales características, de 20 cm de espesor. Sobre estas capas, que cubren la anchura total de la zanja, se coloca una protección mecánica para evitar daños sobre el cable.

A continuación, se tiende una capa de tierra de 30 cm de espesor, exenta de piedras o cascotes, y sobre la misma se sitúa el tubo de PVC que aloja los cables de comunicaciones. Los cables de comunicaciones también están protegidos mediante una placa cerámica.

Por último, se instala una cinta de señalización a 30 cm del suelo como advertencia de la presencia de cables eléctricos de Media Tensión.

1.8.3 Red de comunicaciones

La red de comunicaciones conecta los sistemas de control de los aerogeneradores y los sistemas de medida de la subestación con el sistema de control del Parque Eólico, que estará situado en un cuarto en la subestación. Los aerogeneradores y la subestación se conectan al ordenador situado en el cuarto de control mediante un circuito de fibra óptica “full-duplex”.

La red cuenta con un sistema de alimentación ininterrumpida que asegura el suministro eléctrico durante al menos 15 minutos, tiempo suficiente para mandar un mensaje de alarma y bloquear los sistemas de control de los aerogeneradores.

La información transmitida y controlada por el ordenador local (Host Computer) comprende variables de red como la tensión de las fases, la frecuencia y las potencias activas y reactivas producidas; variables meteorológicas como la velocidad del viento y la temperatura; y variables técnicas como el estado del aerogenerador, la presencia de errores y las horas de funcionamiento.

El esquema general de la red de comunicaciones se muestra en el Plano 05. Es importante señalar que red se diseña en anillo ya que no hace falta instalar dos circuitos como en el caso de la red de Media Tensión. Además, la conexión entre los aerogeneradores es un modo alterno ya que se trata de un circuito cerrado y se tiene en cuenta la disposición geográfica de los mismos.

1.8.3.1 Cables de comunicaciones

Los cables de comunicaciones son de fibra óptica con 16 fibras monomodo (9/25 μm), para su uso en las ventanas de 850 y 1300 nm.

El núcleo de la fibra es de 9 μm y el revestimiento exterior de 125 μm .

El cable es no metálico adecuado para su uso en exteriores. Además, es resistente al agua y a prueba de roedores.

Como se ha comentado anteriormente, los cables de fibra óptica se instalan en la misma zanja que la utilizada para los cables de Media Tensión, en el interior de un tubo de polietileno de alto módulo de 40 mm de diámetro.

El esquema de conexionado de la red se muestra en el Plano 06. En este esquema se puede observar, con más detalle, la conexión de los pares de fibras monomodo en los distintos aerogeneradores. Además, se instala un cable de fibra óptica de reserva, sin conectar, para, en caso de fallo, evitar desenterrar todos los cables y paralizar la producción.

1.8.4 Red de puesta a tierra

La red de Puesta a Tierra consiste en un conductor de cobre desnudo que enlaza los sistemas de puesta a tierra de los aerogeneradores y la subestación, con el fin de que toda la infraestructura eléctrica quede protegido.

El conductor de tierra se sitúa en la zanja junto con los cables de Media Tensión. El cable de tierra se conecta a los aerogeneradores mediante unas pletinas situadas en las bases de las torres de los mismos.

Para completar la red de tierras, se instala un anillo de cobre desnudo de la misma sección que el anterior sobre las zapatas de cimentación de las torres de los aerogeneradores y varias picas de acero cobreado.

La sección del cable de tierra es de 70 mm². Este cálculo se ha realizado de forma externa con un software de carácter empresarial, por lo que dicho cálculo está fuera del alcance del proyecto. Es importante mencionar que para el cálculo de la sección de dicho conductor se ha seguido lo prescrito en la ITC MIE-RAT 13, asegurándose que las tensiones de paso y de contacto en los accesos de los aerogeneradores están por debajo de los valores permisibles.

1.8.5 Subestación

La energía producida por el Parque Eólico se evacúa a través de una Subestación, fuera del alcance de este proyecto, de 20/220 kV situada al sur del Parque.

La localización de la Subestación se ha tenido en cuenta para obtener la longitud de los cables de Media Tensión y posteriormente calcular la sección de los mismos.

2 Cálculos

2.1 Introducción

En esta sección se explican las hipótesis planteadas para la realización de los cálculos, se detallan los cálculos y se presentan los resultados obtenidos.

2.2 Red de Media Tensión

En este apartado se detalla el cálculo de la sección de los conductores de la red de media tensión del Parque atendiendo a los criterios de máxima temperatura, mínima caída de tensión y mínimas pérdidas de potencia. Además, se justifica el diámetro de los tubos en aquellos tramos en los que el circuito lo requiera.

La intensidad máxima admisible por el conductor viene dada por el fabricante del mismo, mientras que los factores de corrección a aplicar dependen de la configuración de los circuitos y del trazado de las zanjas eléctricas.

La máxima caída de tensión admisible es del 3%, como suele ser usual en este tipo de instalaciones.

La máxima potencia de pérdidas admisible se sitúa en el 1% para optimizar la producción del Parque Eólico.

2.2.1 Sección del conductor

Se describe el proceso de cálculo para un tramo de circuito y a continuación se muestran los resultados para todos los tramos para, de esta manera, agilizar la explicación.

La corriente que circula por un aerogenerador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$$

Siendo,

P: la potencia nominal del aerogenerador.

U: la tensión nominal de la red de media tensión.

$\cos\varphi$: el factor de potencia del aerogenerador.

Asumiendo un factor de potencia para los aerogeneradores razonable, de 0,925, y la tensión nominal de la red, 20 kV, la expresión queda así:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * 20kV * 0,925}$$

La intensidad que circula por los conductores de cada circuito se muestra en la Tabla 4.

Línea	P (kW)	I (A)
A1 – A2	3.465	108,1
A2 – A3	6.930	216,3
A3 – SE	10.395	324,4
<i>Total C1</i>	<i>10.395</i>	<i>324,4</i>
A7 – A6	3.465	108,1
A6 – A5	5.175	161,5
A5 – A4	8.640	269,6
A4 – SE	12.105	377,8
<i>Total C2</i>	<i>12.105</i>	<i>377,8</i>
TOTAL	22.500	702,2

Tabla 4: Corriente real por cada tramo de la red

La Tabla 5 muestra los valores de corriente máxima que soportan los conductores. Como se puede observar, cuanto mayor es la sección, mayor es la intensidad máxima, con el sobre coste que conlleva.

Sección (mm2)	I max (A)
95	215
150	275
240	365
400	470
500	535
630	605

Tabla 5: Corrientes máximas por sección del conductor

La intensidad admisible de los conductores se calcula aplicando factores de corrección a la intensidad máxima del cable. Los factores de corrección se rigen por la norma UNE 211435 [6] y dependen de las características del terreno y de la configuración del tendido.

- Temperatura del terreno: cuanto mayor es la temperatura del terreno donde van a ir enterrados los conductores, menor es la intensidad máxima que puede soportar el cable.

- Resistividad térmica del terreno: cuanta mayor es la capacidad del terreno de conducir la electricidad, menor es la corriente máxima que debe recorrer el conductor.
- Profundidad: cuanta mayor es la profundidad de enterramiento, menor es la temperatura del cable y por lo tanto puede soportar mayor corriente.
- Agrupación de circuitos: debido a la proximidad de las ternas, la intensidad máxima de los conductores puede variar.

El estudio geotécnico, que está fuera del alcance del proyecto, muestra que la temperatura del terreno es 25°C y la resistividad térmica del terreno 1.5 K·m/W.

La profundidad de la instalación depende del tendido de las zanjas y de la sección de los conductores. Como se ha explicado en el capítulo anterior, la instalación se realiza a 1 metro ya que no se atraviesa ningún cultivo y los pasos bajo acequias se realizan con canalizaciones entubadas.

Respecto a la agrupación de circuitos, se ha tenido en cuenta que todos los cables se agrupan en la entrada y salida de los aerogeneradores. A pesar de ser un tramo bastante corto del circuito, es importante tenerlo en cuenta ya que es el tramo más débil del cable y podría estropearse ahí.

Los factores de corrección que se han tenido en cuenta se muestran en la Tabla 6.

Variable		Factor de corrección
Temperatura del terreno	25°C	1
Resistividad	1,5 K·m/W	1
Agrupación	2 ternas	0,82
Profundidad	1 m	1
Total		0,82

Tabla 6: Factores de corrección

Finalmente, la intensidad admisible de los conductores se obtiene y se muestra en la Tabla 7.

Sección (mm ²)	I max (A)	Factor correc.	I adm (A)
95	215	0,82	176,3
150	275	0,82	225,5
240	365	0,82	299,3
400	470	0,82	385,4
500	535	0,82	438,7
630	605	0,82	496,1

Tabla 7: Corrientes admisibles por sección del conductor

Una vez obtenidas las corrientes admisibles para cada sección del conductor y las corrientes máximas por circuito, se obtiene la mínima sección admisible. Este proceso es iterativo y el resultado final se muestra en la Tabla 8.

Línea	P (kW)	I (A)	Sección (mm ²)	I adm (A)	% carga
A1 – A2	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A2 – A3	6.930	216,3	150	225,5	95,9 %
A3 – SE	10.395	324,4	400	385,4	84,2 %
<i>Total C1</i>	<i>10.395</i>	<i>324,4</i>			<i>95,9 %</i>
A7 – A6	3.465	108,1	95	176,3	61,3 %
A6 – A5	5.175	161,5	95	176,3	91,6 %
A5 – A4	8.640	269,6	240	299,3	90,1 %
A4 – SE	12.105	377,8	500	438,7	86,1 %
<i>Total C2</i>	<i>12.105</i>	<i>377,8</i>			<i>91,6 %</i>
TOTAL	22.500	702,2			95,9 %

Tabla 8: Cálculo de secciones según criterio de máxima corriente

En algunos casos, tramos A2 – A3 y A6 – A5, la carga del cable se aproxima a su valor admisible. Sin embargo, se dan por buenos estos resultados ya que esta situación solamente se dará en la entrada y salida de los aerogeneradores y en los momentos en los que la máquina esté trabajando a máxima potencia. Además, se encuentra dentro de los límites y la optimización de la sección permite reducir el coste de dicho tramo de cable.

2.2.2 Caída de tensión

La caída de tensión en cada tramo del circuito se obtiene con la siguiente expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L * (R * \cos(\phi) + X * \sin(\phi))$$

Siendo,

I [A]: la corriente por el circuito.

L [km]: la longitud del circuito.

R [Ω /km]: la resistencia del conductor.

X [Ω /km]: la reactancia del conductor.

$\cos \phi$: el factor de potencia de los aerogeneradores.

Las corrientes por los distintos tramos de los dos circuitos se obtienen del apartado anterior 2.2.1 y las características del conductor se obtienen del catálogo del fabricante.

Las longitudes de los circuitos se obtienen del Plano 04, y se muestran a continuación en la Tabla 9.

Línea	L (km)
A1 – A2	1,262
A2 – A3	0,700
A3 – SE	1,700
A7 – A6	0,915
A6 – A5	0,862
A5 – A4	0,736
A4 – SE	1,342

Tabla 9: Longitudes de los tramos de circuito

Las caídas de tensión en cada tramo de los circuitos se muestran en la Tabla 10.

Línea	L (km)	I (A)	R (Ω /km)	X (Ω /km)	ΔU (V)	ΔU (%)
A1 – A2	1,262	108,1	0,430	0,124	105,15	0,53 %
A2 – A3	0,700	216,3	0,277	0,118	78,94	0,39 %
A3 – SE	1,700	324,4	0,102	0,098	125,69	0,63 %
Total C1					309,79	1,55 %
A7 – A6	0,915	108,1	0,430	0,124	76,24	0,38 %
A6 – A5	0,862	161,5	0,430	0,124	107,27	0,54 %
A5 – A4	0,736	269,6	0,162	0,105	65,22	0,33 %
A4 – SE	1,342	377,8	0,084	0,096	100,26	0,50 %
Total C2					348,99	1,74 %

Tabla 10: Caídas de tensión en los circuitos

Como se puede observar, la caída de tensión es reducida y en ningún momento se acerca al límite del 3%. Esto se debe principalmente a que las longitudes de los cables son pequeñas.

Las secciones calculadas bajo el criterio de máxima corriente cumplen también con el criterio de caída de tensión.

2.2.3 Pérdidas en los conductores

Las pérdidas en los conductores se calculan mediante la siguiente expresión:

$$P_{p\acute{e}rdidas} = I^2 * R$$

Siendo,

I [A]: la corriente por el circuito.

R [Ω]: la resistencia del conductor.

Tanto los valores de intensidad como de resistencia de los conductores se han obtenido en los apartados anteriores.

La Tabla 11 muestra los resultados de pérdidas de potencia en los conductores.

Línea	L (km)	I (A)	R (Ω /km)	Pot. pérdidas (kW)	Pot. Pérdidas (%)
A1 – A2	1,262	108,1	0,430	19,04	0,55 %
A2 – A3	0,700	216,3	0,277	27,21	0,39 %
A3 – SE	1,700	324,4	0,102	54,75	0,53 %
<i>Total C1</i>				<i>101,00</i>	<i>0,97 %</i>
A7 – A6	0,915	108,1	0,430	13,80	0,40 %
A6 – A5	0,862	161,5	0,430	29,00	0,56 %
A5 – A4	0,736	269,6	0,162	26,00	0,30 %
A4 – SE	1,342	377,8	0,084	48,26	0,40 %
<i>Total C2</i>				<i>117,06</i>	<i>0,97 %</i>
TOTAL				218,06	0,97 %

Tabla 11: Pérdidas de potencia en los circuitos

Como se puede observar, las pérdidas en los circuitos son cercanos al límite del 1%. A diferencia de los criterios de corriente máxima admisible y caída de tensión, este límite no es normativo sino económico, con el único fin de optimizar la producción del Parque.

Por este motivo, se validan las secciones obtenidas ya que las pérdidas se ajustan al límite. Aunque incrementar las secciones llevaría a una reducción en las pérdidas, aumentaría el coste de la instalación ya que las secciones serían más caras.

2.2.4 Corriente de cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito se han calculado con ayuda de un software llamado DigSILENT. En el programa informático se modela el Parque para obtener los resultados con gran nivel de detalle. No solo se incluyen las características de la red de Media Tensión, como el nivel de tensión y las longitudes de los conductores, sino que se modelan los aerogeneradores y la red de Alta Tensión. En la Figura 9 se muestra una vista de este software.

3 Estudio económico

3.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla un análisis económico del Parque que se ha diseñado. Para llevarlo a cabo se tiene en cuenta el coste inicial del proyecto, que viene dado en el presupuesto; el flujo de ingresos estimados y los costes asociados por la operación del Parque. Además, se estudia la financiación del coste inicial del proyecto por parte de una entidad bancaria.

3.2 Coste inicial

Como se verá más adelante, en la sección 1.3 del Documento del Presupuesto, el coste de construcción del Parque es el siguiente:

Concepto	Coste total
Total aerogeneradores	13.223.748,40 €
Total celdas de M.T.	96.251,60 €
Total cables	231.517,21 €
Total canalizaciones	183.602,00 €
<i>Total eléctrico</i>	<i>13.735.119,21 €</i>
Total viales internos y plataformas	1.074.240,13 €
Total cimentaciones	1.113.485,76 €
<i>Total obra civil</i>	<i>2.187.725,89 €</i>
Total seguridad y salud	25.748,00 €
Total	15.948.593,10 €

Tabla 13: Coste total del Parque Eólico

3.3 Financiación

Con el objetivo de aliviar la inversión inicial a realizar por los stakeholders, se decide financiar con deuda parte del coste inicial. Las condiciones son las siguientes:

Deuda	80 %
Equity	20 %
Capital inicial	12.758.874,48 €
Tipo de interés fijo	3 %
Plazo	10 años

Tabla 14: Datos y condiciones de la financiación

Tras realizar los cálculos correspondientes, se obtiene el pago de las cuotas al banco, junto con la amortización del préstamo, que se muestran en la Tabla 15.

Períodos	Cuota	Pago intereses	Amortización del principal	Amortización acumulada	Capital pendiente
0					12.758.874,48 €
1	1.495.729,32 €	382.766,23 €	1.112.963,08 €	1.112.963,08 €	11.645.911,39 €
2	1.495.729,32 €	349.377,34 €	1.146.351,98 €	2.259.315,06 €	10.499.559,42 €
3	1.495.729,32 €	314.986,78 €	1.180.742,54 €	3.440.057,60 €	9.318.816,88 €
4	1.495.729,32 €	279.564,51 €	1.216.164,81 €	4.656.222,41 €	8.102.652,07 €
5	1.495.729,32 €	243.079,56 €	1.252.649,76 €	5.908.872,17 €	6.850.002,31 €
6	1.495.729,32 €	205.500,07 €	1.290.229,25 €	7.199.101,42 €	5.559.773,06 €
7	1.495.729,32 €	166.793,19 €	1.328.936,13 €	8.528.037,54 €	4.230.836,94 €
8	1.495.729,32 €	126.925,11 €	1.368.804,21 €	9.896.841,75 €	2.862.032,72 €
9	1.495.729,32 €	85.860,98 €	1.409.868,34 €	11.306.710,09 €	1.452.164,39 €
10	1.495.729,32 €	43.564,93 €	1.452.164,39 €	12.758.874,48 €	- €

Tabla 15: Cuadro de amortización del préstamo

3.4 Ingresos

Los ingresos que se van a obtener de la operación del Parque y venta de la electricidad producida se han estimado de dos maneras distintas.

La primera opción pasa por vender la electricidad al precio del mercado spot durante los 20 años que se estima la vida útil del Parque, mientras que la segunda opción es vender la electricidad mediante la modalidad de PPA (Power Purchase Agreement).

En la primera opción, los precios del mercado spot se han estimado teniendo en cuenta el precio medio del mercado diario durante el año 2018, 63,35 €, y aplicando una tasa incremental del 1%. Es importante mencionar que el precio al que va a vender la electricidad el Parque Eólico no tiene por qué coincidir con el precio medio de la electricidad anual. Este efecto es conocido como precio capturado y es muy relevante especialmente en proyectos solares, ya que durante el día los precios suelen ser elevados y es cuando la energía solar fotovoltaica es producida.

Para calcular el precio capturado por el Parque Eólico diseñado, primeramente ha sido necesario obtener la producción pasada de un Parque existente ubicado a menos de 5 km de la localización objetivo, en Magallón. Después, se ha obtenido el perfil de precios diarios de la página web de REE [7] y se ha calculado cual fue, durante 2016 y 2017, el precio medio anual y el precio medio del Parque de Magallón. Dichos resultados se muestran en la Tabla 16.

Año	Precio base	Precio Magallón	Ratio
2016	47,4371 €	43,8175 €	92,4 %
2017	59,3273 €	59,2077 €	99,8 %

Tabla 16: Estimación del precio capturado por el Parque Eólico

Se ha decidido utilizar como ratio la media de los dos años, un 96%.

En la segunda opción, los precios de venta se han obtenido del mercado a futuros OMIP [8]. En este mercado solo existen productos a 7 años, por lo que el precio para el resto de años se ha estimado constante. Los precios se han obtenido a cierre el 28 de Junio de 2019.

La Tabla 17 muestra la diferencia de precios para las dos modalidades distintas. Mientras que en la primera opción los precios son más elevados y continúan creciendo que en la segunda opción, es importante tener en cuenta que el riesgo que se corre al elegir esta opción es mucho más elevado. El precio del mercado spot puede variar considerablemente de aquí a 20 años, sin embargo, si se recurre a la segunda opción, se fijan los precios y se evita el riesgo de mercado.

Año	Precios mercado spot	Precios mercado a futuro
1	60,82 €	55,80 €
2	61,43 €	52,25 €
3	62,04 €	49,80 €
4	62,66 €	48,64 €
5	63,29 €	47,72 €
6	63,92 €	47,22 €
7	64,56 €	47,22 €
8	65,21 €	47,22 €
9	65,86 €	47,22 €
10	66,52 €	47,22 €
11	67,18 €	47,22 €
12	67,85 €	47,22 €
13	68,53 €	47,22 €
14	69,22 €	47,22 €
15	69,91 €	47,22 €
16	70,61 €	47,22 €
17	71,31 €	47,22 €
18	72,03 €	47,22 €
19	72,75 €	47,22 €
20	73,48 €	47,22 €

Tabla 17: Comparación de precios de las dos modalidades de venta de electricidad

La producción eléctrica estimada del Parque se ha obtenido gracias a la producción del Parque situado en Magallón. Asumiendo que la meteorología no va a cambiar apreciablemente durante los próximos años, se estiman las horas de funcionamiento ya que la geografía es la misma. Dichas horas equivalentes de funcionamiento son 3060 horas.

$$\text{Producción (MWh)} = \text{Potencia nominal (MW)} * \text{horas equivalentes (h)}$$

$$\text{Producción} = 22,5 * 3060 = 68850 \text{ MWh anual}$$

Finalmente, los ingresos obtenidos bajo cada modalidad se muestran en la Tabla 18.

Año	Precios mercado spot	Ingresos a spot	Precios mercado a futuro	Ingresos a futuro
1	60,82 €	4.187.373,28 €	55,80 €	3.841.830,00 €
2	61,43 €	4.229.247,01 €	52,25 €	3.597.412,50 €
3	62,04 €	4.271.539,48 €	49,80 €	3.428.730,00 €
4	62,66 €	4.314.254,88 €	48,64 €	3.348.864,00 €
5	63,29 €	4.357.397,42 €	47,72 €	3.285.522,00 €
6	63,92 €	4.400.971,40 €	47,22 €	3.251.097,00 €
7	64,56 €	4.444.981,11 €	47,22 €	3.251.097,00 €
8	65,21 €	4.489.430,92 €	47,22 €	3.251.097,00 €
9	65,86 €	4.534.325,23 €	47,22 €	3.251.097,00 €
10	66,52 €	4.579.668,49 €	47,22 €	3.251.097,00 €
11	67,18 €	4.625.465,17 €	47,22 €	3.251.097,00 €
12	67,85 €	4.671.719,82 €	47,22 €	3.251.097,00 €
13	68,53 €	4.718.437,02 €	47,22 €	3.251.097,00 €
14	69,22 €	4.765.621,39 €	47,22 €	3.251.097,00 €
15	69,91 €	4.813.277,60 €	47,22 €	3.251.097,00 €
16	70,61 €	4.861.410,38 €	47,22 €	3.251.097,00 €
17	71,31 €	4.910.024,48 €	47,22 €	3.251.097,00 €
18	72,03 €	4.959.124,73 €	47,22 €	3.251.097,00 €
19	72,75 €	5.008.715,98 €	47,22 €	3.251.097,00 €
20	73,48 €	5.058.803,14 €	47,22 €	3.251.097,00 €

Tabla 18: Ingresos del Parque

3.5 Costes de explotación

Como costes de explotación se han tenido en cuenta los siguientes conceptos:

- Operación y mantenimiento: 10% de los ingresos.
- Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI): 1,3% de los ingresos.
- Impuesto sobre el Valor de la Producción de Energía Eléctrica (IVPEE): 7% de los ingresos.

La Tabla 19 muestra los costes anuales de explotación del Parque.

Año	Costes de explotación
1	769.220,47 €
2	776.912,68 €
3	784.681,80 €
4	792.528,62 €
5	800.453,91 €
6	808.458,45 €
7	816.543,03 €
8	824.708,46 €
9	832.955,55 €
10	841.285,10 €
11	849.697,95 €
12	858.194,93 €
13	866.776,88 €
14	875.444,65 €
15	884.199,10 €
16	893.041,09 €
17	901.971,50 €
18	910.991,21 €
19	920.101,12 €
20	929.302,14 €

Tabla 19: Costes de explotación

Además, se calcula la depreciación a la que se ve sometido el valor del Parque construido cada año.

Según la agrupación 15 del Real Decreto 1777/2004 [9], el coeficiente lineal de depreciación de los parques eólicos es de un 8% en un período máximo de 25 años.

Para nuestro Parque, esto significa que la depreciación anual resulta en:

$$\text{Depreciación anual} = \text{Coste inicial} * \frac{8\%}{25}$$

$$\text{Depreciación anual} = 15.948.593,10\text{€} * \frac{8\%}{25} = 51.035,50 \text{ €}$$

3.6 Cash Flow

Una vez obtenidos los ingresos, costes y depreciación del Parque, se calcula el Free Cash Flow del proyecto y el Cash Flow para los stakeholders. Estos flujos de caja representan los ingresos netos que se van a obtener del proyecto en sus 20 años de vida útil.

A continuación se muestran los cálculos detallados para el año 1 bajo la modalidad de venta al mercado diario, para simplificar y aportar claridad al análisis.

Año	1
Ingresos	4.187.373,28 €
- Costes de explotación	769.220,47 €
<i>EBITDA</i>	3.418.152,81 €
- Depreciación	51.035,50 €
<i>EBIT</i>	3.367.117,31 €
- Intereses	382.766,23 €
<i>EBT</i>	2.984.351,07 €
- Impuestos (30%)	895.305,32 €
<i>Net Income</i>	2.089.045,75 €

Tabla 20: Tabla de resultados para el año 1

El Free Cash Flow se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$FCF = EBIT + Depreciación - Impuestos$$

La Tabla 21 muestra el Free Cash Flow para todos los años de duración del proyecto.

Año	Free Cash Flow
0	-15.948.593,10 €
1	2.522.847,48 €
2	2.536.757,89 €
3	2.550.607,06 €
4	2.564.388,38 €
5	2.578.094,98 €
6	2.591.719,74 €
7	2.605.255,26 €
8	2.618.693,91 €
9	2.632.027,73 €
10	2.645.248,50 €
11	2.658.347,70 €
12	2.684.778,07 €
13	2.711.472,75 €
14	2.738.434,37 €
15	2.765.665,61 €
16	2.793.169,16 €
17	2.820.947,74 €
18	2.849.004,11 €
19	2.877.341,05 €
20	2.905.961,35 €

Tabla 21: Free Cash Flow, venta al mercado diario

El Cash Flow para los stakeholders tiene en cuenta la inversión realizada por los dueños del Parque el primer año y el retorno que obtienen. Durante los primeros diez años el retorno es menor ya que se pagan las cuotas de financiación al banco pero a partir del fin del préstamo, los beneficios son íntegros para los dueños. La Tabla 22 muestra el flujo de caja.

Año	Cash Flow Stakeholders
0	-3.189.718,62 €
1	1.027.118,17 €
2	1.041.028,57 €
3	1.054.877,74 €
4	1.068.659,06 €
5	1.082.365,66 €
6	1.095.990,42 €
7	1.109.525,95 €
8	1.122.964,59 €
9	1.136.298,41 €
10	1.149.519,18 €
11	2.658.347,70 €
12	2.684.778,07 €
13	2.711.472,75 €
14	2.738.434,37 €
15	2.765.665,61 €
16	2.793.169,16 €
17	2.820.947,74 €
18	2.849.004,11 €
19	2.877.341,05 €
20	2.905.961,35 €

Tabla 22: Cash Flow para stakeholders, venta al mercado diario

A continuación se muestran los flujos de caja para las dos distintas modalidades de venta de electricidad empleadas.

Las Figura 10 y Figura 12 muestran el flujo de caja del proyecto bajo las dos modalidades de venta de electricidad. Mientras, las Figura 11 y Figura 13 muestran los flujos de caja que reciben los stakeholders del proyecto. Se puede observar que los ingresos durante los diez primeros años se ven reducidos por el pago a la entidad bancaria que ha emitido el préstamo, a costa de una menor inversión inicial.

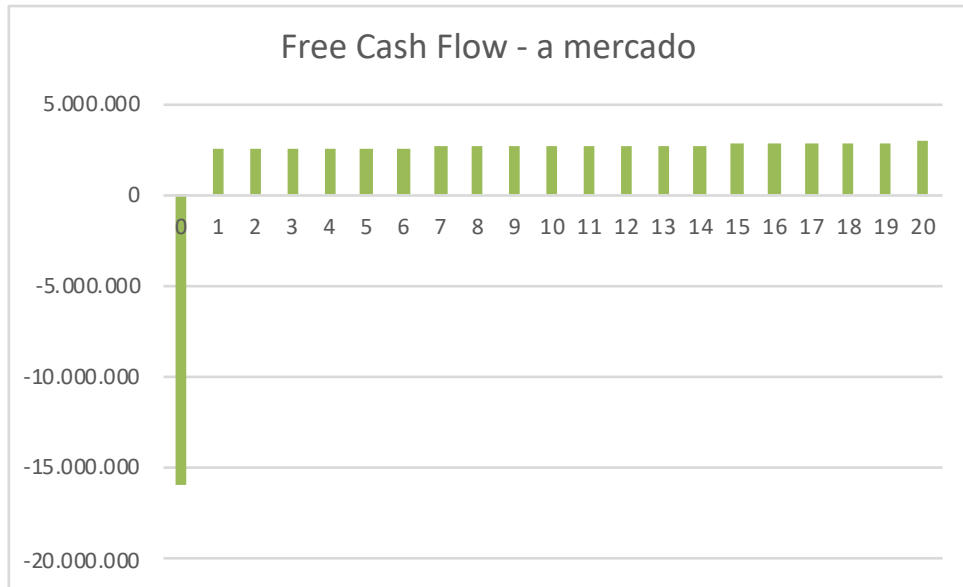


Figura 10: Free Cash Flow con venta a mercado diario

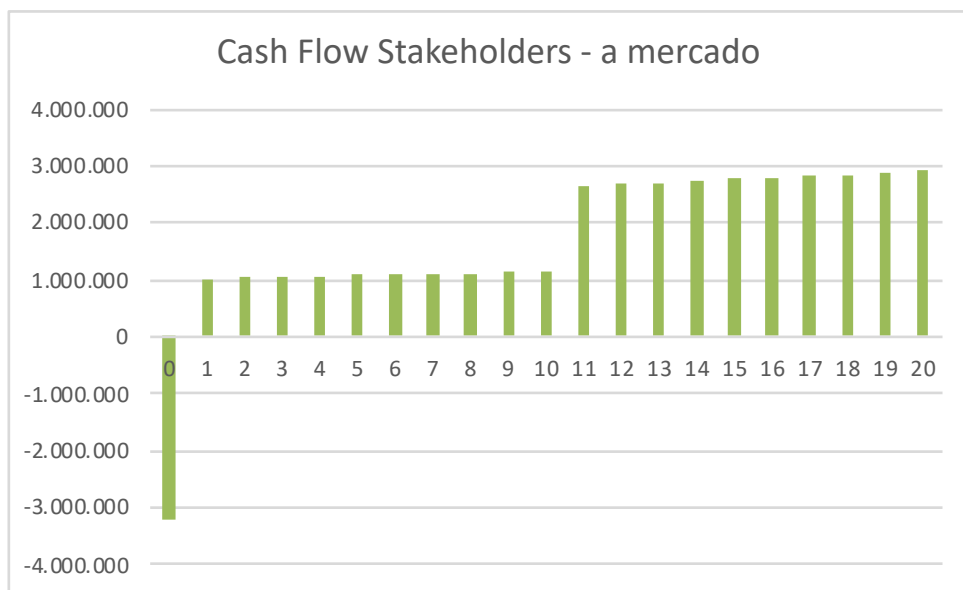


Figura 11: Cash Flow para stakeholders con venta a mercado diario

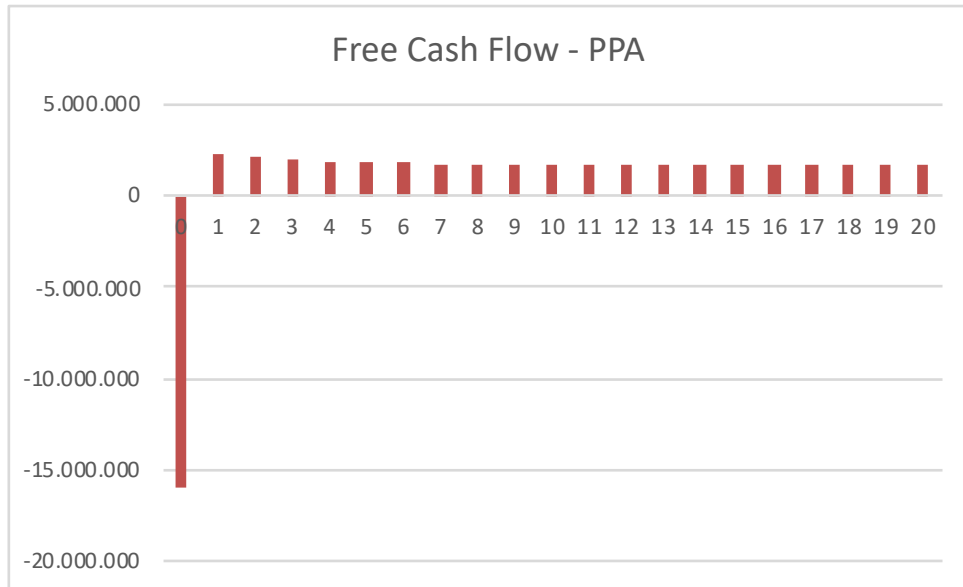


Figura 12: Free Cash Flow con venta bajo PPA

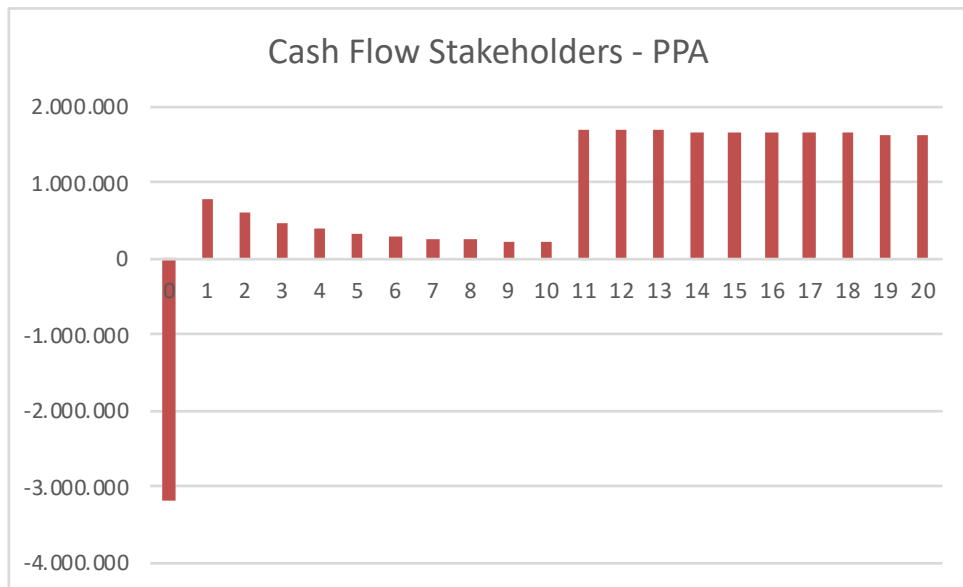


Figura 13: Cash Flow para stakeholders con venta bajo PPA

3.7 Conclusiones

Para concluir el estudio económico se calcula el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto y la Tasa Interior de Retorno (TIR). Estos dos indicadores muestran la viabilidad del proyecto, ya que permiten evaluar tanto el valor generado neto como la tasa de retorno de la inversión realizada.

Para calcular el VAN se ha tomado una tasa de retorno del 6%, teniendo en cuenta proyectos similares.

La Tabla 23 muestra los resultados.

Flujo de caja	Modalidad	VAN	TIR
<i>Free Cash Flow</i>	Venta al mercado diario	14.399.576,34 €	15%
	Venta a precio fijo (PPA)	4.965.558,16 €	10%
<i>Cash Flow para stakeholders</i>	Venta al mercado diario	16.149.752,82 €	36%
	Venta a precio fijo (PPA)	6.715.734,64 €	20%

Tabla 23: Cuadro resumen indicadores económicos

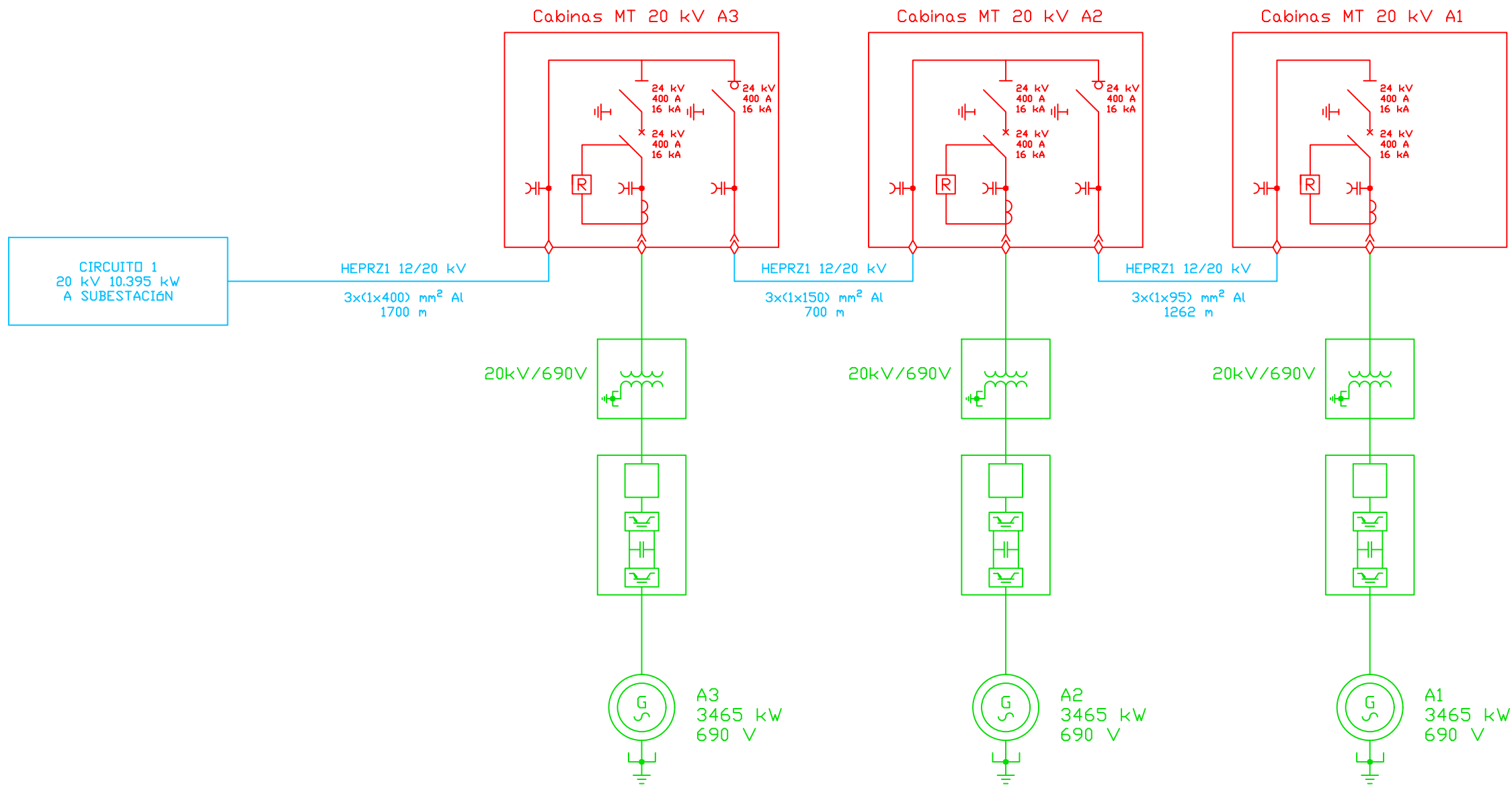
Como se puede observar, la modalidad más rentable es la venta al mercado diario. Sin embargo, esta opción presenta un mayor riesgo para los dueños del proyecto, ya que el precio en el futuro será muy volátil y es difícil de predecir. La opción de firmar un PPA a un precio fijo y asegurar de este modo un flujo de ingresos recurrente y constante se ve como una opción factible, ya que la tasa de retorno de la inversión es superior a la necesaria (6%).

DOCUMENTO 2. PLANOS

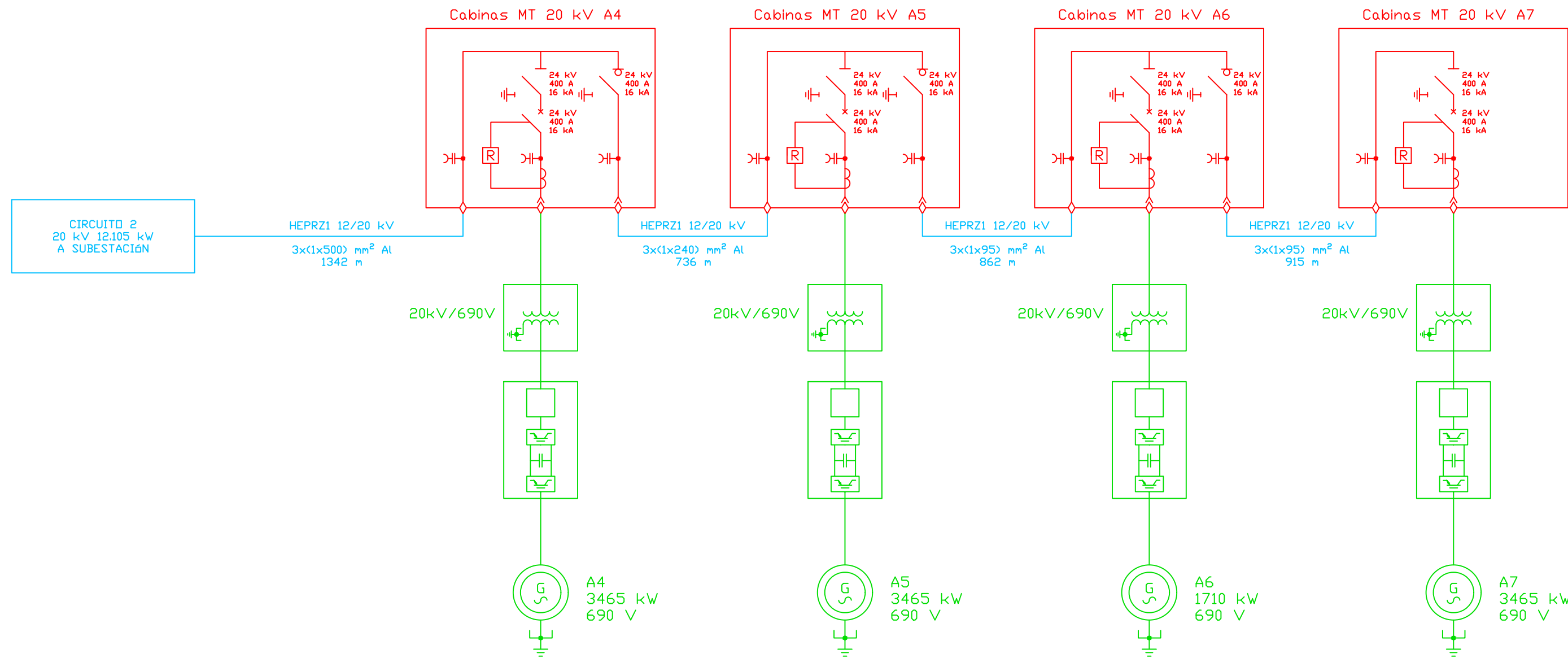
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



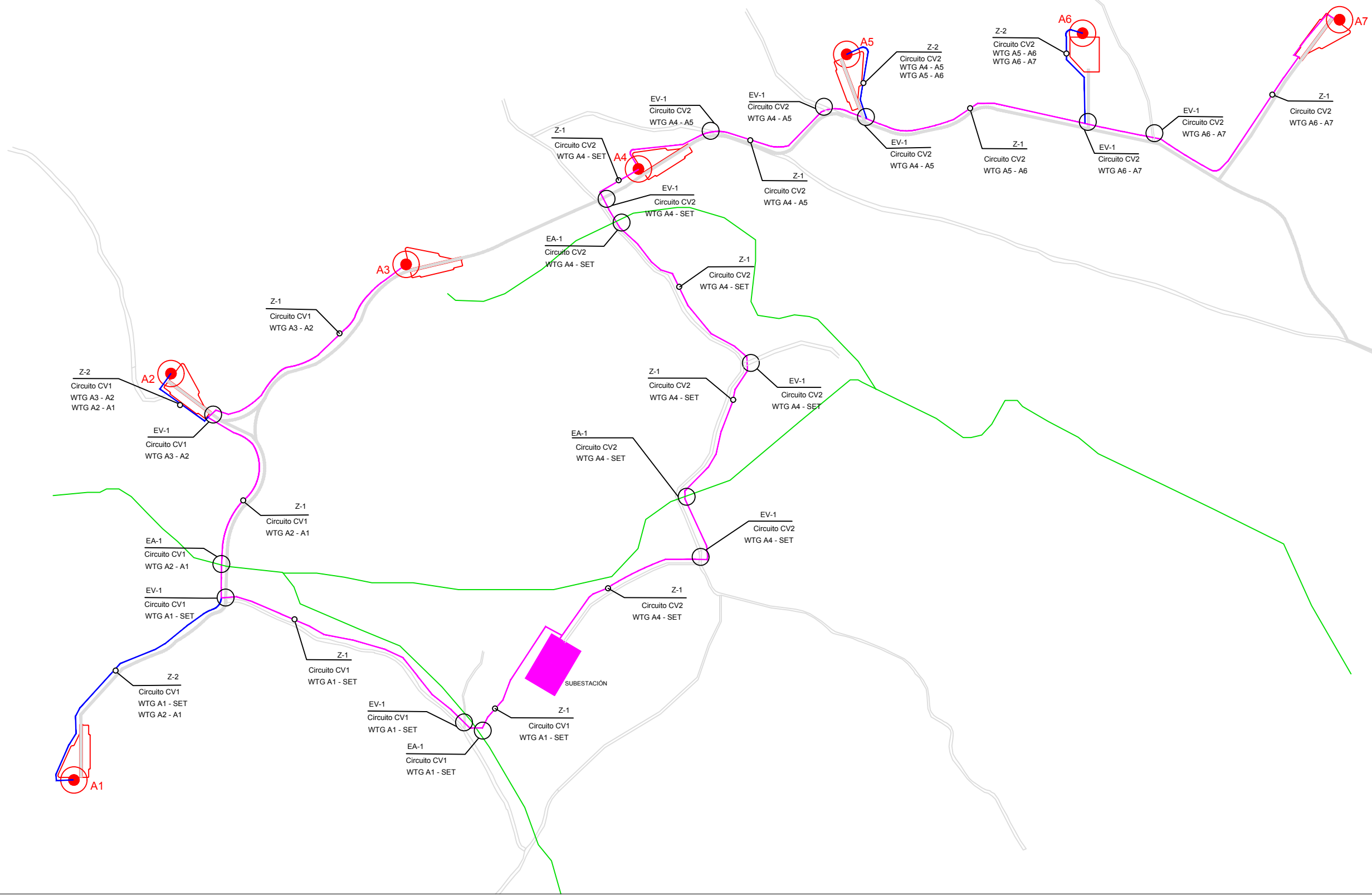
	NOMBRE:	FECHA:	NOMBRE DEL PLANO: SITUACIÓN INICIAL	
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019		
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019		
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW				
ESCALA:		FIRMA: 	Nº PLANO:	01 A3



NOMBRE:		FECHA:	NOMBRE DEL PLANO: ESQUEMA UNIFILAR CIRCUITO 1	
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019		
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019		
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW				
ESCALA:		FIRMA:	Nº PLANO:	
			02	A3



NOMBRE:		FECHA:	NOMBRE DEL PLANO: ESQUEMA UNIFILAR CIRCUITO 2		
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019			
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019			
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW					
ESCALA:		FIRMA:	Nº PLANO:	02	A3



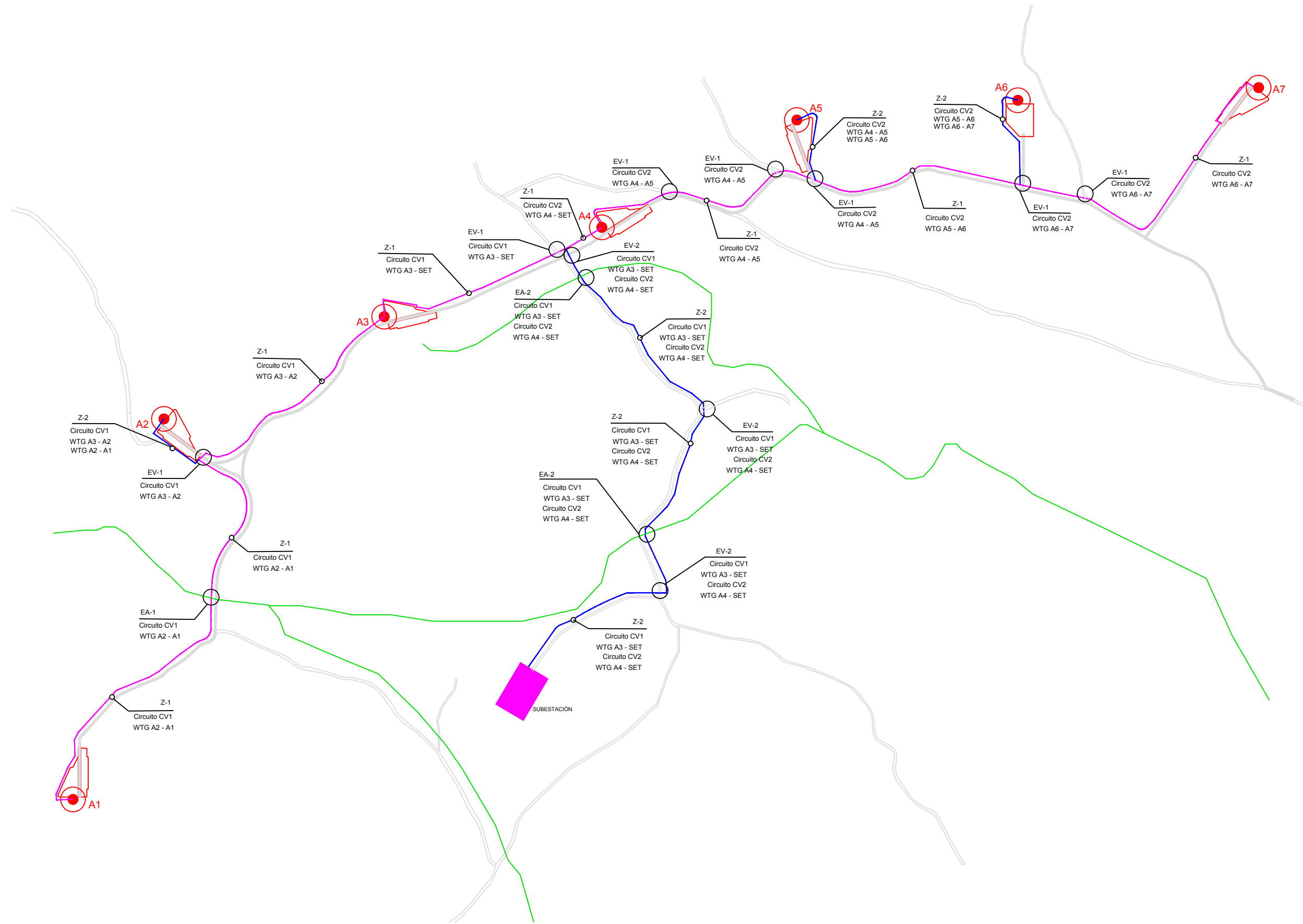
LEYENDA

- 1 Terna
- 2 Ternas
- Vial
- Acequia

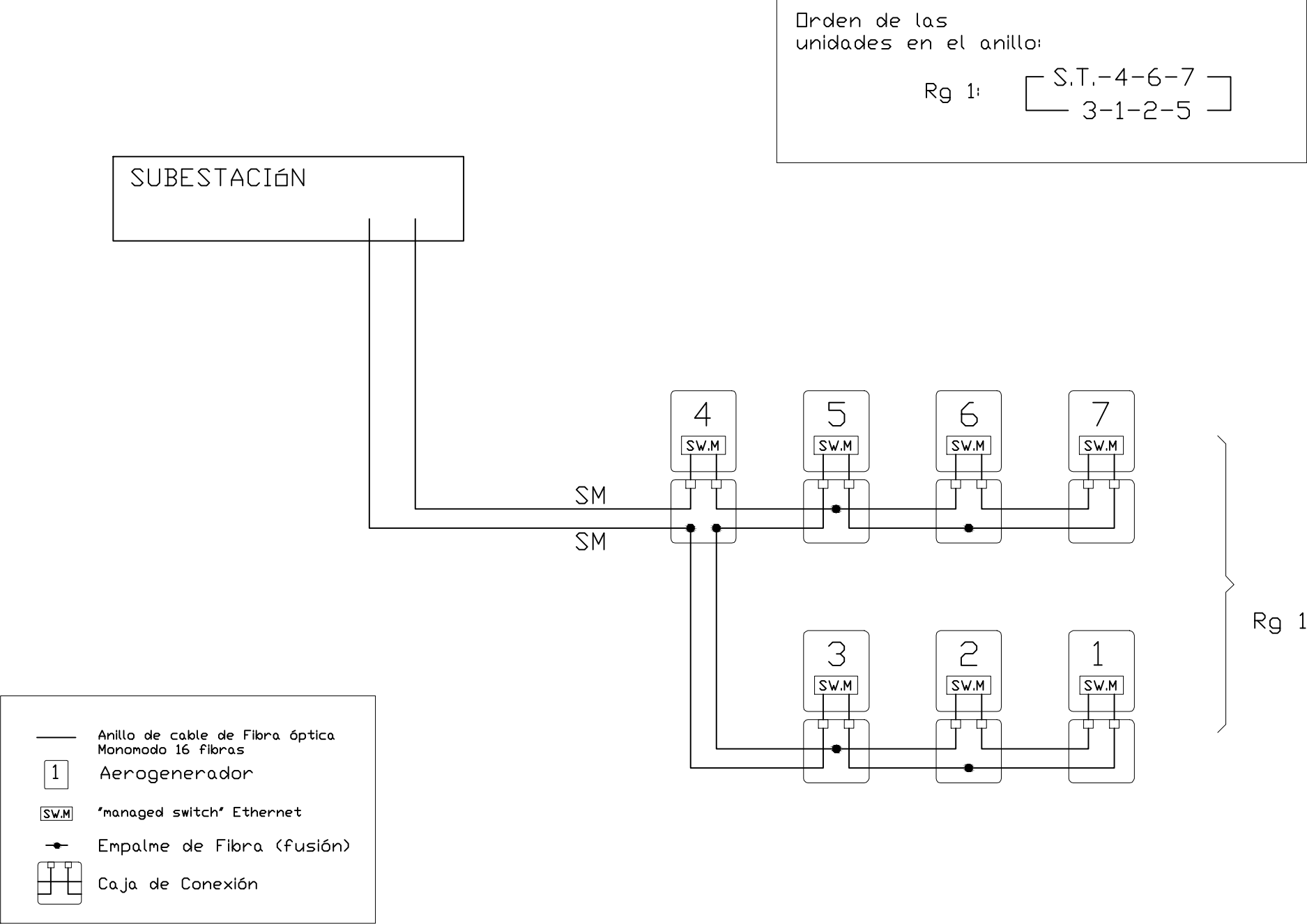
NOMBRE:		FECHA:	NOMBRE DEL PLANO: CANALIZACIONES ELÉCTRICAS ORIGINAL		
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019			
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019			
NOMBRE DEL PROYECTO:		DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW			
ESCALA:	1:4000	FIRMA:	Nº PLANO:		
			03		A3

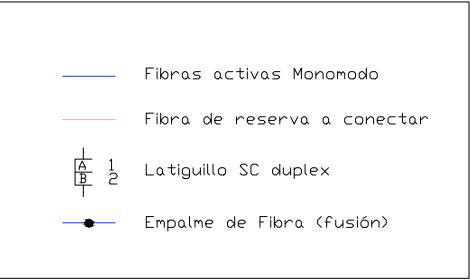
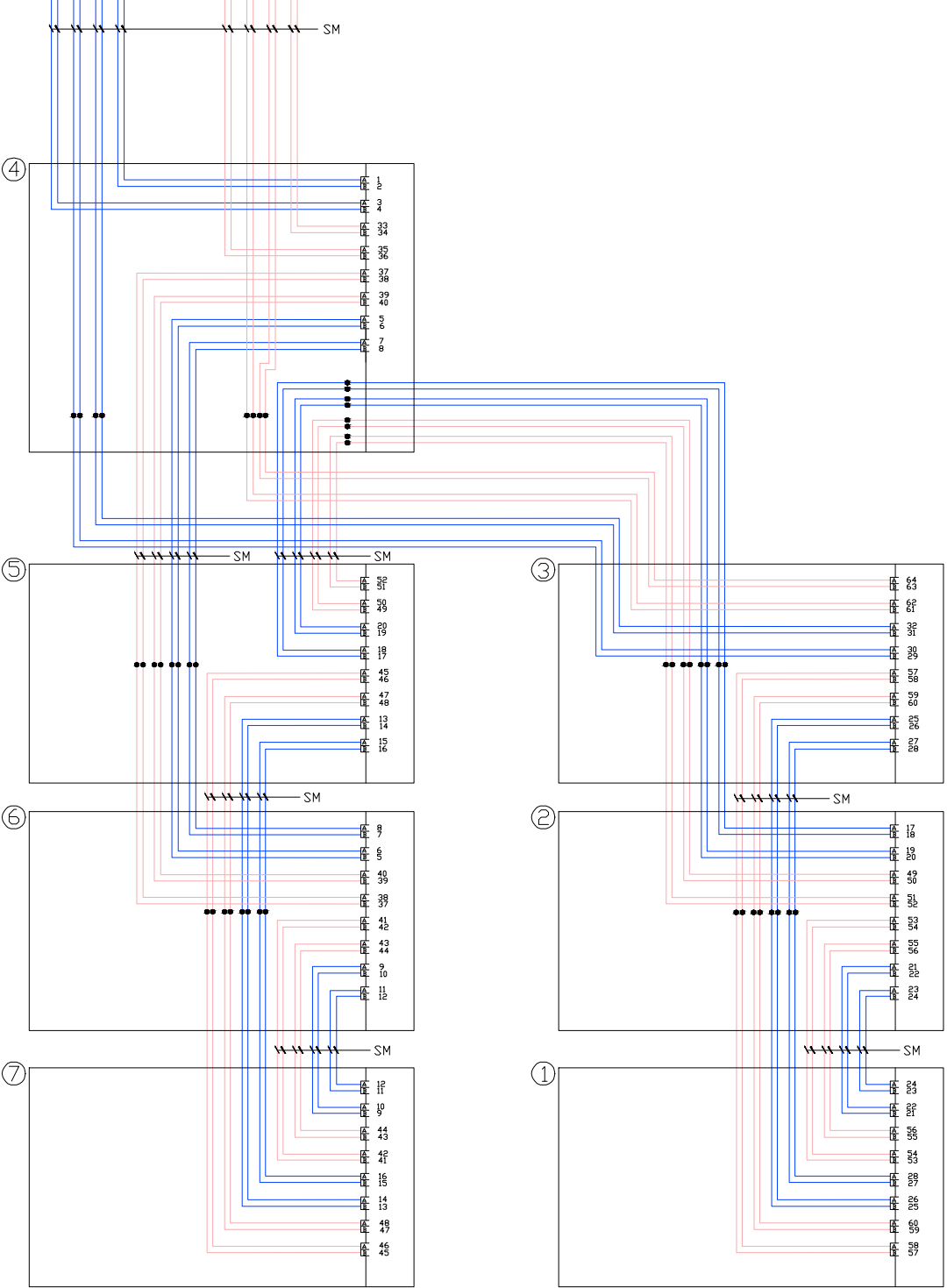
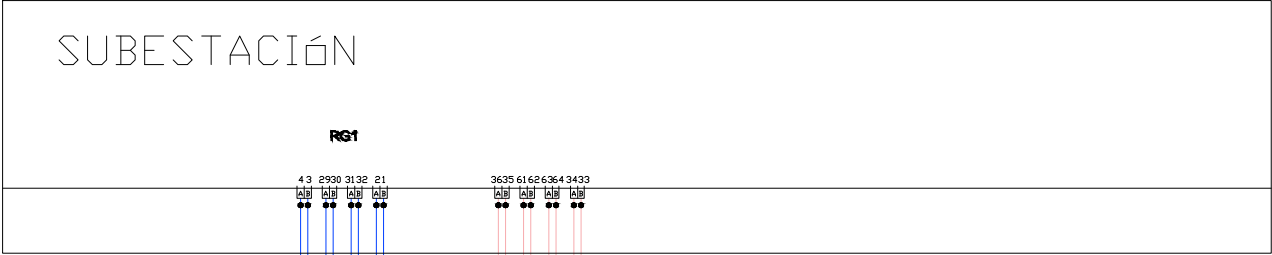
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



NOMBRE:		FECHA:	NOMBRE DEL PLANO: CANALIZACIONES ELÉCTRICAS OPTIMIZADO	
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019		
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019		
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW				
ESCALA:	1:4000	FIRMA:	Nº PLANO:	04 A3





	NOMBRE:	FECHA:	NOMBRE DEL PLANO:	
DIBUJADO:	JOSÉ JAVIER RUEDA MONTES	14/07/2019	ESQUEMA DE CONEXIONADO CABLES COMUNICACIONES	
APROBADO:	MIGUEL PIDRE PAREDES	15/07/2019		
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE UN PARQUE EÓLICO DE 22.5 MW				
ESCALA:		FIRMA:	Nº PLANO:	
			06	A3

DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETO

El presente Pliego Básico de Montaje Electromecánico tiene por objeto definir las condiciones técnicas aplicables a los trabajos de montaje electromecánico.

Se establecen condiciones técnicas para los posibles servicios a desarrollar por el CONTRATISTA, junto con las condiciones aplicables a la organización e infraestructura del CONTRATISTA en obra para la realización de los servicios con la calidad, plazo, costo y seguridad requeridos.

1.1 Ámbito de aplicación

El presente Pliego será de aplicación en la ejecución del montaje electromecánico en los aspectos técnicos de ejecución de las actividades contratadas y de organización e infraestructura del CONTRATISTA.

Este Pliego se considera aceptado por el CONTRATISTA por el sólo hecho de presentar oferta al PROPIETARIO o su representante (en adelante PROPIETARIO) para el montaje en cuestión.

1.2 Resolución de discrepancias

En caso de existir contradicciones entre este Pliego y la Especificación Técnica (ET), prevalecerá lo indicado en la E.T.

Cuando exista contradicción entre lo indicado en este Pliego o en la E.T. y lo indicado en los códigos y normas que en ellos se referencian, prevalecerán los requisitos establecidos en el Pliego y en la E.T., debiendo el CONTRATISTA informar al PROPIETARIO de cualquier discrepancia de este tipo que pueda surgir.

Si existiera contradicción entre requisitos de un mismo documento o de documentos del mismo tipo, prevalecerá el que suponga un mayor grado de exigencia.

Ante eventualidades no previstas en este Pliego, la decisión final será potestativa del PROPIETARIO.

2. ABREVIATURAS Y NORMAS

2.1 Abreviaturas

E.T. Especificación Técnica

2.2 Normas

La normativa aplicable en cada caso, Diseño, Fabricación, Montaje, inspecciones, etc., será la indicada en las especificaciones de diseño y las aprobadas por el PROPIETARIO en el Plan de Calidad del CONTRATISTA, además de las indicadas en expresamente en los capítulos de este Pliego.

Todas las normas serán consideradas en su última edición con los ademndum emitidos hasta la fecha.

3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

3.1 Generalidades

- A. El CONTRATISTA dispondrá de un sistema de calidad suficiente y realmente operativo, es decir, debidamente implantado y a ser posible de acuerdo con las normas ISO9001/ 9002/ 9003, aplicables tanto a las actividades que se realicen en taller como en obra, de forma que asegure una gestión integral de calidad de todas aquellas partes incluidas en el suministro.

Para ello, una vez adjudicado el pedido, el CONTRATISTA enviará al PROPIETARIO una copia de su Manual de Gestión o Garantía de Calidad (Quality Control Manual) que describirá todo lo referente a autoridad y responsabilidad de las personas que desarrollan actividades relacionadas con la calidad y organización, incluyendo organigrama de los diferentes departamentos.

- B. El CONTRATISTA deberá establecer e implantar un Plan de Calidad, de acuerdo con lo indicado en los puntos 3.2 y 3.3 de este Capítulo, que le permita asegurar que todas las actividades realizadas cumplen con los requisitos contractuales.
- C. El PROPIETARIO tendrá el derecho de supervisar cualquier fase de los trabajos realizados por el CONTRATISTA, para lo que éste deberá facilitar la documentación y los medios que se establecen en este Pliego y los que se acuerden con la organización del PROPIETARIO en obra, una vez aprobado el Plan de Calidad.
- D. La aceptación por parte del PROPIETARIO de cualquier inspección o la aprobación de documentación no exonerará al CONTRATISTA de ninguna responsabilidad sobre las actividades por él realizadas.
- E. Una vez finalizado el montaje, el CONTRATISTA entregará al PROPIETARIO el Expediente Final de Calidad de la obra, de acuerdo con el punto 3.4. de este Capítulo, recogiendo toda la documentación relativa a la calidad utilizada y generada durante los trabajos.

3.2 Plan de Calidad

- A. Una vez adjudicado el contrato y 20 días antes del comienzo de los trabajos, el CONTRATISTA deberá presentar, para su aprobación, un Plan de Control de Calidad para fabricación y/o montaje, que refleje de forma resumida las diferentes operaciones, incluyendo exámenes e inspecciones a realizar en cada una de ellas.
- B. El alcance de presencia del Inspector Autorizado será marcado por el PROPIETARIO en el Programa de Puntos de Inspección (PPI's).
- C. La propuesta de Plan de Control de Calidad se hará extensible, por separado y como mínimo, a cada uno de los sistemas y componentes considerados como críticos, tanto en lo referente a los perjuicios derivados de una posible fuga del fluido al exterior (recipientes sometidos a presión), como los relacionados con la disponibilidad y operatividad de la planta.

3.3 Contenido del Plan de Calidad

El plan de calidad estará constituido, como mínimo por lo siguiente:

3.3.1 Introducción

3.3.2 Objeto y alcance

Definición de los trabajos objeto del contrato y alcance de los mismos.

3.3.3 Cliente, contratista principal, ingeniería y subcontratistas:

Relación nominal de empresas relacionadas con el contrato

3.3.4 Relación de trabajos objeto del contrato:

Descripción de las actividades indicando el contratista y/o subcontratista que las realiza.

3.3.5 Medios (humanos y materiales, subcontratistas y proveedor)

3.3.6 Organización

1. Organigrama general de la empresa, resumido de tal modo que permita la definición de la forma en que se integra la Organización de la Obra en el resto de la Organización general del CONTRATISTA.
2. Organización funcional y nominal del CONTRATISTA en taller y en obra
3. Definición de las personas o puestos de la organización que actuarán como interlocutores con el PROPIETARIO.
4. Definición de las funciones y responsabilidades de cada puesto de la Organización, incluyendo currícula del personal hasta 2º nivel.

3.3.7 Normativa Aplicable

Normativa Técnica

3.3.8 Documentación de diseño

Se relacionarán los documentos que aplican de acuerdo con la documentación de petición de oferta.

3.3.9 Programas de puntos de inspección

1. Se establecerán Programas de Puntos de Inspección para controlar el proceso total de fabricación y montaje de cada componente, equipo o sistema.
2. Para cada operación incluida en cada PPI se indicará la referencia del documento, plano, especificación o norma base al cual se realizará y, siempre que sea posible, el procedimiento particular aplicable
3. En los formatos que se utilicen para desarrollar los PPI's se preverán espacios para que el PROPIETARIO pueda marcar sus puntos de inspección y para que tanto el CONTRATISTA como el PROPIETARIO puedan reflejar la aceptación de cada operación mediante firma y fecha.
4. Sobre los PPI's se marcarán las operaciones para las que se deben generar informe u otro tipo de registro con destino al Expediente Final de Calidad.

3.3.10 Listado de procedimientos aplicables

3.3.11 Procedimientos

El Manual de Procedimientos, estará constituido por todos los procedimientos que describan cómo se realizan las distintas actividades a desarrollar por el CONTRATISTA. Cada procedimiento deberá estar aprobado por el PROPIETARIO previamente a su utilización.

Los procedimientos a incluir serán los siguientes:

3.3.11.1 Procedimientos Administrativos

Se establecerán los procedimientos administrativos que se acuerden con la organización del PROPIETARIO, comprendiendo como mínimo los siguientes:

- Emisión, control y modificación del Manual de Procedimientos y de los Programas de Puntos de Inspección. Se describirán el proceso y las responsabilidades para la preparación, revisión, aprobación, distribución, control y modificación de documentos.
- Control y archivo de documentación técnica. Se describirán el proceso y responsabilidades.
- Tratamiento de anomalías. Se describirán el proceso y las responsabilidades para la Identificación de anomalías, Resolución, Definición de los responsables de las aprobaciones necesarias, incluyendo el tratamiento a seguir para obtener la aprobación por el PROPIETARIO y Proceso de seguimiento y cierre de la anomalía.
- Establecimiento, control y entrega del Expediente Final de Calidad. Se describirá el proceso a seguir y las responsabilidades, para definir los documentos que compondrán el Expediente Final de Calidad, y el procedimiento de recopilación y archivo de documentación.

3.3.11.2 Procedimientos Generales

- Procedimientos para el control de materiales y equipos. De acuerdo con lo indicado en el Capítulo 4 de este Pliego, y con el contenido mínimo allí establecido, se desarrollarán los procedimientos necesarios para la realización de las siguientes actividades:
- Adquisición de materiales por el CONTRATISTA, Recepción de materiales, Almacenamiento, Manipulación y Mantenimiento.
- Control, Almacenamiento y Conservación de materiales de Aportación.

3.3.11.3 Procedimientos de Fabricación y Montaje

- Se establecerá un procedimiento general para cada equipo, componente o sistema, en el que se describirá su proceso total de fabricación y montaje, incluyendo los controles intermedios y finales que sean necesarios.

Cada procedimiento consistirá en una descripción secuencial de las actividades a realizar y de acuerdo con el siguiente índice:

- Objeto
- Alcance
- Documentos de referencia
- Normativa Aplicable

-
- Procedimientos complementarios
 - Responsabilidades
 - Maquinaria y equipos a utilizar
 - Prerrequisitos
 - Descripción del Procedimiento, siguiendo la secuencia del montaje
 - Criterios de aceptación y rechazo
 - Cualificaciones necesarias del personal
 - Documentación a generar
 - Anexos. Formatos a utilizar para documentar las Variables utilizadas y los resultados obtenidos
- Se desarrollarán, además, procedimientos particulares para la realización de las actividades puntuales que se consideren importantes dentro del proceso general de fabricación y montaje de cada equipo, componente o sistema.

Los procedimientos deberán recoger de forma precisa y concreta los puntos fundamentales que inciden en la calidad y seguridad de fabricación y/o montaje y constituirán el documento de referencia del ejecutor y del supervisor para realizar y supervisar, respectivamente, el desarrollo del proceso o actividad, debiendo ser, por tanto, ampliamente comentados, consensuados, difundidos y asumidos antes de su aplicación.

3.3.11.4 Procedimientos de Soldadura y Cualificación de Soldadores

- Procedimiento General de Soldadura
- Procedimiento de Homologación de Soldadores
- Procedimientos Específicos de Soldadura (WPS + PQR)
- Certificados de Cualificación de Soldadores

3.3.11.5 Procedimientos de Inspecciones y Pruebas

- Se desarrollarán los procedimientos específicos necesarios para la realización de las verificaciones y controles que se determinen en los Programas de Puntos de Inspección.
- A criterio del PROPIETARIO, algunas verificaciones podrán ser realizadas sin necesidad de procedimiento, siempre que se hagan con referencia a códigos o normas en vigor aceptados, que determinen la forma de su realización. Dicha norma será incluida en el PPI correspondiente.

3.3.11.6 Procedimientos de Pruebas y Puesta en Marcha

- Se desarrollarán los procedimientos específicos necesarios para la realización de las pruebas tanto pre-operacionales como las de puesta en marcha, incluyendo los protocolos necesarios para su realización.

3.4 Inspecciones y ensayos. Alcance.

3.5 Tratamiento de desviaciones

3.6 Auditorías de su organización. Frecuencia

3.7 Control de documentación con subcontratistas

3.8 Dossier final de calidad

A. Una vez finalizadas todas las actividades de fabricación en taller o montaje en obra, el CONTRATISTA entregará al PROPIETARIO el original y dos copias del Dossier Final de Calidad de la obra, reservándose el CONTRATISTA una copia de dicho expediente en sus archivos durante un periodo de 5 años.

B. Dicho Dossier deberá ser aprobado por el PROPIETARIO, con anterioridad a su entrega definitiva.

Se realizarán entregas parciales de una copia del Dossier Final de Calidad a medida que se vaya finalizando cada actividad de montaje, conservando el CONTRATISTA los originales en sus archivos hasta la entrega definitiva del Dossier completo.

C. El Dossier Final de Calidad se estructurará en dos apartados, uno común y otro específico para cada elemento.

C1. **Apartado común**.- Incluirá al menos y según sea aplicable, lo siguiente:

1. Índice General del Dossier
2. Plan de Calidad completo
3. Especificaciones generales (si procede)
4. Planos AS-BUILT

C2. **Apartado específico** correspondiente a cada elemento (sistema, equipo singular, etc.).-Incluirá, al menos y según sea aplicable, lo siguiente:

1. Índice de Contenido.
2. Identificación del elemento a que pertenece y referencia de planos u otra documentación aplicable.
3. Especificaciones aplicables (si procede).
4. Relación de aparatos, catálogos e instrucciones de funcionamiento, instalación y mantenimiento de los mismos.
5. Programas de Puntos de Inspección cumplimentados.
6. Procedimientos de montaje y de control utilizados (o referencia de los mismos, si se han incluido en el apartado común a toda la obra).
7. Informes y protocolos del montaje (Hojas de soldadura, hojas de soportes, uniones atornilladas, fichas de tendido y conexionado de cables, etc.).
8. Informes de los ensayos, controles y pruebas requeridos en el Programa de Punto Inspección. (PPI's con croquis o plano de situación, dimensionales, Informes y grá de tratamientos térmicos, pruebas hidrostáticas, estanqueidad, funcionale: tratamientos de protección anticorrosiva).

-
9. Certificados de análisis químico y características mecánicas de todos los materiales utilizados.
 10. Certificados de los materiales de aportación
 11. Certificados de calibración de aparatos
 12. Documentación sobre las anomalías surgidas y su resolución.
 13. Relación de sub-proveedores y certificados de homologación de los mismos.
 14. Certificado de cumplimiento y custodia de que el sistema o componente correspondiente ha sido fabricado y/o montado de acuerdo con los planos, especificaciones, procedimientos, plan de calidad y demás requisitos contractuales, y qué copia del expediente final permanecerá archivada por el CONTRATISTA durante 5 años. Dicho certificado estará firmado por el Jefe de Garantía de Calidad y por el Jefe de Proyecto del CONTRATISTA.

4. CONTROL DE MATERIALES Y EQUIPOS

- A. El suministro de todos los materiales y equipos a montar, salvo indicación en contra, será por cuenta del CONTRATISTA.
- B. El CONTRATISTA será responsable de los materiales y equipos, incluyendo el personal y medios necesarios para las actividades de recepción en fábrica y en obra, almacenamiento, conservación, manipulación y transporte hasta el lugar de montaje y el mantenimiento necesario después del montaje, hasta la entrega final al PROPIETARIO.
- C. El CONTRATISTA deberá reparar satisfactoriamente, o reponer, todos los materiales y equipos que resulten dañados o inutilizados como consecuencia de una inadecuada o incompleta realización de tales actividades.
- D. El PROPIETARIO tendrá acceso y podrá ejercer su supervisión sobre todas las actividades relacionadas con la fabricación, el almacenamiento, manipulación y mantenimiento de equipos y materiales.
- E. En el Plan de Calidad de la obra, el CONTRATISTA establecerá el correspondiente procedimiento general de almacenamiento, manipulación y mantenimiento, en el que se contemplarán tanto los aspectos técnicos como de funcionamiento del almacén, con la definición completa del proceso a seguir, las condiciones técnicas y las responsabilidades para cada una de las actividades.
- F. Las fuentes radiactivas usadas en radiografías de soldaduras deberán ser almacenadas en un edificio especial que cumpla con las normas de seguridad nuclear referentes a este tipo de fuentes. La disposición y ubicación del citado edificio será sometida a la aprobación del PROPIETARIO.
- G. Los materiales de aportación deberán ser almacenados en un área acondicionada, libre de humedad y temperatura adecuada.

5. REPLANTEOS PREVIOS

- A. El CONTRATISTA será responsable de la correcta realización de los trabajos topográficos de replanteo previos al montaje electromecánico, así como de la f marcado de ejes y cotas de nivel y aportará los equipos y personal técnico ne para la ejecución de los mencionados trabajos.

-
- B. El PROPIETARIO entregará al CONTRATISTA una relación de los puntos de referencia junto con los planos generales de replanteo donde figurarán las coordenadas de los vértices y los ejes de referencia establecidos.
- C. El CONTRATISTA realizará el control de cotas, medidas, ángulos y elevaciones de los equipos a montar, así como de sus emplazamientos y situación respecto a ejes de referencia. Además, comprobará la ejecución realizada por terceros cuando ello afecte a alguna de las actividades contratadas, indicando por escrito la aceptación de las mismas.

Serán rechazados todos aquellos valores, medidas, cotas, ejes o puntos de referencia que no hayan sido obtenidos a partir de los puntos y ejes de referencia inicialmente aprobados por el PROPIETARIO.

Si aparecieran errores en la colocación, nivelación, dimensiones o alineaciones de alguna parte del trabajo, el CONTRATISTA los corregirá a su cargo. Asimismo, serán a su cargo las comprobaciones posteriores que pueda efectuar el PROPIETARIO.

6. TRABAJOS MECÁNICOS GENERALES

6.1 Soldadura

6.1.1 Alcance

Este apartado será de aplicación siempre que se deban realizar operaciones de soldadura en cualquier elemento y/o fase de montaje.

Los requisitos establecidos en este apartado son generales, siendo complementados cuando proceda, con los que aplique a cada elemento incluido en este Pliego y, en los casos necesarios, en los documentos particulares de contratación.

6.1.2 Códigos y Normas

1. La cualificación de los procedimientos de soldadura y la homologación de soldadores y operadores de soldadura, se realizará de acuerdo con el Código ASME, Sección IX (en adelante ASME IX) ó con las normas EN 287 y EN 288, y con los requisitos particulares que se dan más adelante en este apartado.
 - El resto de requisitos aplicables a la soldadura de cada elemento, incluido el alcance mínimo de ensayos no destructivos a realizar, será el más exigente entre los referidos en los códigos de diseño aplicables, este documento y la especificación técnica correspondiente.
2. Para soldaduras en tuberías de sistemas, independientemente de sus condiciones de servicio, se considerará siempre aplicable el Código ANSI/ASME B31.1 (en adelante ANSI B.31.1) así como ASME III en las que lo requieran, además de los requisitos adicionales indicados en este pliego.

Como norma general, todos los sistemas de tuberías serán soldadas a penetración completa y en aquellas tuberías cuyo $\varnothing < 2 \frac{1}{2}$ " podrán ser soldadas a socket, con sus accesorios correspondientes.

3. Para soldaduras en estructuras metálicas y elementos similares será aplicable el ANSI/AWS D1.1 (en adelante AWS D1.1), el Código Técnico de la Edificación o el Código 3.
4. Para soldaduras en tubería forzada serán aplicables las Recomendaciones de C.E

-
5. Para soldaduras en equipos singulares, tales como turbina y alternador, caldera, grúas, compuertas, etc., serán aplicables las especificaciones e instrucciones particulares del fabricante.
 6. El material de soldadura estará de acuerdo con el Código ASME, Sección II, Parte C y con los requisitos particulares que se dan más adelante en este apartado, salvo el correspondiente a equipos singulares, como turbina y alternador, caldera, grúas, compuertas, etc., para el que aplicará la especificación del fabricante.
 7. Cuando los códigos y normas aplicables no contemplen los materiales utilizados sólo se podrán tener en cuenta equivalencias de materiales aprobadas por el PROPIETARIO, previa propuesta del CONTRATISTA.

6.1.3 Procedimientos de soldadura

- A. Todos los trabajos de soldadura se llevarán a cabo de acuerdo con procedimientos escritos, homologados de acuerdo con lo indicado en el punto 6.1.2.1. debiendo de ser aprobados por el PROPIETARIO con antelación al inicio de los trabajos.
- B. Los procedimientos de soldadura se ajustarán, en cuanto a formatos a utilizar y tipo de información a contener (variables) y resultados obtenidos, a los requisitos y recomendaciones de ASME IX o EN.
- C. En los casos en que sea necesario para prevenir deformaciones, acumulación de tensiones u otros posibles efectos perjudiciales en soldaduras de espesor y/o longitud grande, los procedimientos del párrafo anterior deberán ser completados con un apartado específico en el que se contemple la secuencia de soldadura, número, orden y tamaño de cada pasada, simultaneidad de pasadas, etc.

Si en los documentos particulares de contratación o en las especificaciones aplicables no se detallasen las soldaduras cuyo procedimiento debe incluir estos aspectos, se deberá acordar en cada caso con la organización del PROPIETARIO en obra.

- D. No será necesaria la homologación de un procedimiento de soldadura, cuando ya esté homologado y aprobado por el PROPIETARIO otro procedimiento con las mismas variables esenciales, tal como éstas se definen en ASME IX.

En estos casos, todas las especificaciones (WPS) que se realicen utilizando como soporte dichos PQRS deberán ser aprobados por el propietario.

- E. En el supuesto de que el CONTRATISTA no tenga los PQRS cualificados, éstos deberán cualificarse en obra por su organización, con la única excepción siguiente:

El PROPIETARIO podrá aprobar un procedimiento que haya sido homologado por otra organización, siempre que el CONTRATISTA asuma la total responsabilidad de la homologación realizada, haciéndolo constar sobre el correspondiente registro (PQR).

- F. En todos los casos, los ensayos, tanto destructivos como no destructivos, realizados para cualificar en PQR deben estar firmados por un laboratorio o una agencia de calidad independiente o alternativamente, presenciada por el PROPIETARIO.
- G. Cuando apliquen requisitos de resiliencia se deberán tener en cuenta las variables esenciales suplementarias de ASME IX. La homologación deberá incluir ensa resiliencia en tres probetas de cada una de las tres zonas: material aportado, z transición, material base. Los valores medios obtenidos en las dos primeras deberán ser superiores a los especificados para el material base.

-
- H. En la homologación de los procedimientos de soldadura para aceros inoxidable deberá controlarse el contenido de ferrita delta en los depósitos de soldadura, de acuerdo con el diagrama Shaeffler. Los valores obtenidos deberán estar comprendidos entre el 5 y el 12%.
- I. Los procedimientos a emplear por el CONTRATISTA serán acordes con la utilización de los siguientes procesos:
1. Soldadura manual al arco con electrodos revestidos.
 2. Soldadura manual al arco con electrodo de tungsteno en atmósfera neutra.
 3. La combinación de los procesos anteriores.
 4. Soldadura semiautomática con protección de CO₂, gas inerte o mezcla de ambos gases, con electrodo macizo (no válido para soldadura de tuberías de sistemas).

Cualquier otro proceso de soldadura requerirá la aprobación expresa de la organización del PROPIETARIO en obra.

Para la realización de soldaduras en tuberías de acero inoxidable se empleará gas inerte para purgado del interior de ésta. La purga será mantenida hasta que el espesor de soldadura garantice la no influencia del ambiente interior de la tubería en la soldadura. No será necesario el purgado en las tuberías de acero al carbono.

6.1.4 Homologación de soldadores

- A. Todos los soldadores deberán estar homologados para los procedimientos de soldadura que vayan a utilizar en las posiciones necesarias para la realización de los trabajos.
- Asimismo, deberá estar homologado el personal que realice puntos de soldadura.
- B. Las homologaciones de soldadores se deberán realizar de acuerdo con los requisitos de ASME IX ó con las normas EN, teniendo en cuenta las Condiciones Particulares y otras normas de aplicación, y registrándose las variables utilizadas en la soldadura y los resultados obtenidos en los ensayos correspondientes, sobre los formatos recomendados por ASME IX
- C. La homologación de soldador y operadores de soldadura se deberá realizar en obra, siendo el CONTRATISTA el responsable de las pruebas. Para dar validez a estas pruebas debe estar presente el representante del PROPIETARIO o una agencia de calidad independiente.
- D. El CONTRATISTA asignará un símbolo o marca de identificación a cada soldador y mantendrá un registro actualizado de soldadores homologados para cada procedimiento, incluyendo las fechas de anulación y recalificación habidas para los mismos.
- E. A los soldadores que se incorporen a obra y estén en posesión del certificado de cualificación y cuya fecha de expedición sea superior a seis meses a la fecha de incorporación a la obra, les será realizada una prueba en la posición que determine el inspector de la PROPIEDAD. La prueba será calificada visualmente. Si a juicio del Inspector de la PROPIEDAD la prueba es satisfactoria sus homologaciones quedarán validadas, por el contrario, si no es satisfactoria, este deberá cualificarse de nuevo todas las posiciones necesarias para cubrir los trabajos que vaya a realizar.

6.1.5 Preparación de bordes

Como norma general, los bordes a soldar se prepararán en obra ateniéndose a lo siguiente

-
- A. El corte se puede realizar con sierra, disco abrasivo o térmico con plasma en el caso de tubería de acero inoxidable. Para la tubería de acero al carbono se permite también el empleo de soplete oxiacetilénico. En tuberías de acero aleado no está permitido el corte térmico.
 - B. Se preparará el bisel por medios mecánicos o por esmerilado. En ningún caso la porción a eliminar por mecanizado será inferior a 0,8 mm sobre la superficie del corte.
 - C. La preparación de bordes de tuberías de acero inoxidable deberá realizarse con herramientas de materiales tales que no produzcan contaminación del mismo, y serán identificadas para tal uso. Como norma general, el taller de prefabricación de este tipo de tubería debe ser físicamente distinto del de tubería de acero al carbono.
 - D. En tubería de acero al carbono galvanizado es necesario eliminar la capa de zinc por el interior y el exterior, en una extensión de 1/2" alrededor del borde preparado para soldar.

6.1.6 Material de soldadura

- A. Los materiales de soldadura a utilizar serán definidos en los procedimientos de soldadura aprobados por el PROPIETARIO.
- B. Los materiales de soldadura deberán estar certificados de acuerdo con lo requerido en la especificación o norma aplicable, con los resultados de todos los ensayos solicitados para la clasificación del material, realizados por cada lote de fabricación (tipo de certificado correspondiente a Schedule J y Class C4 según la norma AWS A5.01-SFA-5.01 de ASME II Parte C).
- C. El material de soldadura para aceros inoxidables deberá tener un contenido en ferrita delta comprendido entre el 5 y el 12%, debiendo figurar en los certificados correspondientes.
- D. El CONTRATISTA debe establecer un procedimiento para el control almacenamiento y conservación del material de soldadura.

Dicho procedimiento deberá cumplir, en cuanto a condiciones de almacenamiento y utilización, con los requisitos de la especificación o norma aplicable a cada tipo de material, con las recomendaciones del fabricante y con los requisitos generales que, para cada tipo de material, se dan en el Capítulo 4 de AWS D1.1.

El procedimiento deberá incluir asimismo la descripción del control a realizar sobre la distribución de material de soldadura a los soldadores y sobre las devoluciones de éstos, tanto desde el punto de vista de que se mantengan las condiciones adecuadas del material como de evitar confusiones entre distintas calidades de material.

El CONTRATISTA deberá proveer a los soldadores de estufas portátiles, para mantener a temperatura adecuada los materiales de aportación durante la soldadura.

6.1.7 Reparaciones

- A. El CONTRATISTA deberá confeccionar y someter a la aprobación del PROPIETARIO un procedimiento de reparación de soldaduras
- B. Todas las reparaciones de soldadura se deberán realizar por soldadores procedimientos homologados, aprobados por el PROPIETARIO.
- C. Además de otros posibles requisitos particulares que se puedan establecer en documentos contractuales, se deberán cumplir como mínimo, los siguientes criterios

-
- Finalizado el saneado se deberá inspeccionar por partículas magnéticas o líquidos penetrantes para verificar que el defecto ha desaparecido totalmente.
 - Una vez finalizada la reparación se realizará la misma inspección especificada para la soldadura original.
 - Los datos y resultados de la reparación se recogerán en un informe de reparación de soldadura.

6.1.8 Tratamiento térmico

En los casos en que sea necesario el tratamiento térmico, el CONTRATISTA deberá indicar en el procedimiento de soldadura las variables solicitadas por ASME IX, y elaborar y someter a la aprobación del PROPIETARIO un procedimiento para la realización del tratamiento térmico, definiendo detalladamente el proceso a seguir, los equipos a utilizar, la disposición de los termopares y los registros a generar.

Entre los registros a generar en cada tratamiento térmico se deberá incluir el gráfico de temperaturas-tiempo.

Se prohíbe la utilización del soplete y la antorcha en todo tratamiento térmico que se deba realizar.

6.1.9 Ensayos no destructivos

A. Cuando en los documentos particulares de contratación no se defina el alcance de ensayos no destructivos a realizar, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

1. Tuberías de sistemas

- Tuberías con soldadura a penetración completa y presión de trabajo menor de 40 kg/cm². Radiografía al 25% de las soldaduras.
- En las tuberías de aceite a presión, regulación de turbina, mando de válvulas mariposa o esférica, válvula cilíndrica y todas aquellas cuya presión de trabajo sea superior a 40 kg/cm² se realizará radiografías al 100% de las soldaduras.
- Tuberías con soldadura a enchufe (socket) serán inspeccionadas por L.P. al 25% y será realizado un muestreo de 10% de radiografía para ver soldadura y separación de tubos y accesorios.
- Tuberías con soldadura en ángulo y presión de trabajo superior a 6 kg/cm² L.P. 100% y con presión de trabajo menor de 6 kg/cm² L.P. 25%.

2. Estructura y elementos similares

- En unión de vigas o pilares estructurales por soldadura a tope con penetración completa, radiografía 100%, donde no sea posible la radiografía se utilizarán ultrasonidos.
- En soldaduras en ángulo a penetración completa en estructura resistente, ultrasonidos al 25% y L.P. o P.M. al 20%.
- Elementos metálicos diversos tales como: placas embebidas, barandillas, escaleras y en general elementos metálicos que no soporten cargas estructurales: inspección visual al 100%.

3. Embarrados eléctricos

- Soldaduras a tope con penetración completa: 25% de radiografía.

-
- Soldaduras en ángulo inspección por L.P. al 100%.
 - 4. En todos los elementos, además de lo indicado para cada uno de ellos, se realizará una inspección visual al 100% y por líquidos penetrantes o partículas magnéticas las soldaduras que por inspección visual, presenten dudas de interpretación.
 - B. Las soldaduras a incluir en los muestreos definidos anteriormente serán seleccionadas por el PROPIETARIO, salvo instrucciones expresas en contra.

En todo caso, en los muestreos se tratará de incluir soldaduras representativas de todos los procedimientos utilizados y de todos los soldadores que hayan intervenido.

- C. Cuando en una inspección por muestreo se obtengan resultados rechazables, se inspeccionarán muestras adicionales, que seleccionará el PROPIETARIO, con un alcance mínimo del muestreo anterior.

Si en la muestra adicional se vuelven a obtener resultados rechazables, se deberán inspeccionar completamente todas las soldaduras similares a las inspeccionadas originalmente.

- D. Los ensayos no destructivos de soldaduras se deberán realizar de acuerdo con procedimientos escritos, que deberán estar aprobados por el PROPIETARIO con anterioridad a su utilización. Dichos procedimientos deberán incluir la descripción detallada de la técnica de ejecución, los criterios de aceptación y los informes a generar.

Los procedimientos deberán ser específicos para cada elemento o tipo de elementos, detallando en cada caso su alcance de aplicación. En caso de que se presenten varias opciones se deberán concretar aquellos en los que serán aplicables cada una de ellas.

- E. La técnica de ejecución de los ensayos no destructivos deberá cumplir con los requisitos del Código ASME Sección V.
- F. Los criterios de aceptación de los ensayos no destructivos serán los indicados en el apartado 136.4 de ANSI B31.1 para tuberías o en el apartado 8.15 de AWS D1.1 para estructuras, excepto cuando se fijen criterios específicos en los documentos particulares de contratación o especificaciones aplicables.

Para los equipos singulares, como turbina y alternador, caldera, grúas, compuertas, etc. serán los que marque la especificación del fabricante.

- G. Siempre que exista tratamiento térmico de distensionado, la inspección visual final y, en su caso, los ensayos no destructivos, se deberán realizar después del tratamiento.
- H. El personal que realice y evalúe ensayos no destructivos deberá estar cualificado de acuerdo con la norma SNT-TC-1A de la ASNT o alternativamente, con la normativa END-G1 de la AECC.

6.2 Uniones atornilladas

6.2.1 Alcance

Este apartado será de aplicación siempre que se deban realizar uniones atornilladas en cualquier elemento y/o fase del montaje.

Los requisitos establecidos en este apartado son generales y serán completados, proceda, en los documentos particulares de contratación.

6.2.2 Procedimientos

Se deberán someter a la aprobación del PROPIETARIO los procedimientos de apriete y control de uniones que, por su características especiales, se considere oportuno redactar.

Deberá establecerse un procedimiento de verificación de calibrado de componentes para el control de uniones, como tarado de llaves dinamométricas, calibrado de manómetros, tarado de termómetros, etc.

6.2.3 Códigos y Normas

- A. El material de tornillería deberá cumplir con las normas DIN 267 y DIN 13.
- B. Las uniones atornilladas estarán de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación SE-A.

6.2.4 Materiales

Independientemente de la recepción en obra según párrafo 4.3.A. de este Pliego, el CONTRATISTA deberá realizar una comprobación de material de tornillería previamente a su utilización.

Además de la comprobación de la ausencia de daños y del tamaño nominal, se comprobará la correcta identificación del elemento de acuerdo con la calidad aplicable.

6.2.5 Realización de agujeros

Normalmente los taladros en las piezas vendrán realizados. En los casos especiales en los que sea necesario escariar algún agujero a una determinada medida, la documentación particular de contratación y/o los planos e instrucciones definirán las condiciones técnicas del mismo.

6.2.6 Fijación de tornillos ordinarios y calibrados

- A. Se dispondrán perfectamente planos y limpios los asientos de la cabeza de tornillos y tuercas.
- B. Toda la tornillería se apretará con llave dinamométrica o similar, de tal forma que cada tornillo, espárrago o bulón lleve el par de apriete que le corresponda.

6.2.7 Fijación de tornillos de alta resistencia

- A. Las superficies en contacto de los elementos a unir deberán encontrarse perfectamente planas y limpias.

Estas superficies se dejarán libres de manchas de pintura, se limpiarán de óxidos y cascarillas de laminación mediante chorro de arena, granalla de acero, decapado, etc., y se limpiarán de grasas y aceites mediante disolventes apropiados.

- B. Se emplearán en todos los casos arandelas de alta resistencia, colocadas de forma que sus caras biseladas queden en contacto con las cabezas de tornillo y tuerca.
- C. Las tuercas se apretarán utilizando los equipos específicos diseñados por el proyecto a tal fin, debiendo estar documentalmente tarados los componentes de los mismos destinados a medir la variable o variables definitorias del grado de apriete. fielmente el orden de apriete establecido por el proyecto.

6.3 Fijaciones con pernos

6.3.1 Alcance

Este apartado es de aplicación a los trabajos a realizar para la fijación de pernos de anclaje de cualquier elemento que los precise, de acuerdo con la documentación particular de contratación y los planos correspondientes.

6.3.2 Procedimientos

Se deberán someter a la aprobación del PROPIETARIO los siguientes procedimientos:

1. Procedimiento de instalación de pernos de fijación, diferenciando si es preciso, los aspectos aplicables a cada uno de los distintos tipos de pernos a instalar.
2. Procedimiento para la homologación de instaladores de pernos de expansión.

6.3.3 Códigos y Normas

Para la instalación de pernos de expansión será de aplicación el procedimiento elaborado por el CONTRATISTA y las normas y/o recomendaciones del fabricante de los mismos.

6.3.4 Materiales

Los tipos de pernos a utilizar serán los definidos en los planos de ingeniería y en ausencia de tal definición, serán utilizados los modelos HILTI:

HSL para grandes cargas

HSA resto

Cualquier otro tipo de anclaje deberá ser aprobado por la organización del PROPIETARIO en obra.

6.4 Estructuras metálicas

6.4.1 Alcance

Este apartado es de aplicación a los trabajos de montaje de las estructuras metálicas definidas en los documentos particulares de contratación y en los planos correspondientes, incluyendo, de forma orientativa y no limitativa, los siguientes tipos de estructura:

- Estructuras metálicas de edificios
- Rejillas y guías de ataguías
- Escaleras, plataformas y barandillas
- Carriles de rodadura y monocarriles
- Marcos, tapas y puertas
- Soportes en general
- Será también de aplicación a los elementos similares, considerándose como tales aquellos elementos metálicos no incluidos en la relación anterior pero cuyas características de funcionalidad, materiales, proceso de montaje, etc. sean similares a las de los elementos relacionados.

6.4.2 Códigos y Normas

El montaje de estructuras metálicas se llevará a cabo de acuerdo con todos los requisitos aplicables del Código ANSI/AWS D1.1: Structural Welding Code Steel (en adelante, denominado AWS D1.1). Edición correspondiente a la fecha del Contrato.

Serán de aplicación, asimismo, los siguientes códigos y normas:

- Normas de los materiales utilizados.
- Códigos y normas aplicables a soldadura, uniones atornilladas, fijaciones con pernos y protección anticorrosiva, según lo indicado en los apartados correspondientes de este Pliego.

6.4.3 Materiales

Los materiales a utilizar serán los definidos en los planos aprobados por ingeniería.

Todos los materiales de elementos tales como: tapas marcos, escaleras y soportes en general serán suministrados en hierro galvanizado y en aquellos materiales que no se suministren galvanizados será de aplicación lo indicado en el capítulo 9 de este documento.

6.4.4 Tolerancias dimensionales

Las tolerancias dimensionales de los conjuntos montados serán las indicadas en los planos o, en su defecto, las indicadas en los apartados 3.5. y 8.13. de AWS D1.1.

6.4.5 Controles dimensionales

- A. El alcance de los controles dimensionales a realizar será definido en cada caso en el correspondiente Programa de Puntos de Inspección, definiendo para cada uno de ellos la referencia del procedimiento y/o plano aplicable y el tipo de registro a emitir (informe específico, plano as-built, etc.).
- B. Serán necesarios procedimientos específicos para controles dimensionales siempre que se deban utilizar técnicas especiales de medida y/o siempre que, por la complejidad o importancia de las medidas a realizar, así lo estime la organización del PROPIETARIO en obra.
- C. Cuando sean necesarios, los procedimientos de control dimensional deberán recoger, al menos y según sea aplicable, lo siguiente:
 - Planos aplicables
 - Secuencia de realización
 - Equipos a utilizar
 - Comprobaciones a realizar sobre los equipos
 - Tolerancias admisibles
 - Modelo de informe a generar

6.4.6 Procedimientos

Para cada elemento dentro del alcance de este apartado, el CONTRATISTA deberá someter a la aprobación del PROPIETARIO los siguientes procedimientos:

1. Procedimiento general de montaje

-
2. Procedimientos solicitados en los apartados del Pliego específicos para soldadura, uniones atornilladas, fijaciones con pernos y protección anticorrosiva.
 3. Procedimientos de control dimensional, según lo indicado en el punto 6.4.5. anterior.

6.5 Tuberías de sistemas

6.5.1 Alcance

Este apartado es de aplicación a los trabajos de montaje de los sistemas de tuberías, incluidos todos los accesorios (válvulas, soportes, filtros, etc.), que se definen en los documentos particulares de contratación y en los planos correspondientes. En general, se incluye en este apartado todo tipo de tubería distinta de la forzada, que es objeto de un apartado específico de este Pliego.

6.5.2 Códigos y Normas

- A. El montaje de los sistemas de tuberías se llevará a cabo de acuerdo con todos los requisitos aplicables del Código ANSI/ASME B31.1: Power Piping (en adelante denominado ANSI B31.1) en la edición correspondiente a la fecha del Contrato y ASME III en aquellos sistemas que lo requieran.
- B. Siempre que sea aplicable, se tendrán en cuenta los requisitos del vigente Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

En especial se tendrá en cuenta el Registro del CONTRATISTA como instalador de equipos a presión en el organismo de Industria de la comunidad autónoma correspondiente, así como los posibles requisitos en cuanto a pruebas.

- C. Serán de aplicación, asimismo, los siguientes códigos y normas:
 - Normas de los materiales utilizados.
 - Códigos y normas aplicables a soldadura, uniones atornilladas, fijaciones con pernos y protección anticorrosiva, según lo indicado en los apartados correspondientes de este Pliego.

6.5.3 Montaje del sistema

- A. Con anterioridad al inicio del montaje de cada sistema, el CONTRATISTA deberá realizar un replanteo previo del trazado de la tubería y de la situación de los soportes y de todos los elementos intercalados o conectados a las tuberías.
- B. Antes del montaje de cada elemento, el CONTRATISTA deberá realizar una comprobación de éste, incluyendo, al menos y según sea aplicable, lo siguiente:
 1. Comprobación de características y, si procede, funcionamiento de los elementos intercalados o conectados a las tuberías, verificando en especial el correcto funcionamiento de las válvulas.
 2. Planitud de las bridas y perpendicularidad de éstas respecto al eje de los tubos.
- C. Cuando en las comprobaciones anteriores el CONTRATISTA detecte algún defecto o desviación, deberá estudiarlo y proponer a la aprobación del PROPIETARIO las posibles alternativas para su solución.
- D. El montaje de los soportes de tuberías se hará de acuerdo con las instrucciones planas y teniendo en cuenta los requisitos aplicables de este Pliego en rel

Estructuras metálicas, Fijaciones de pernos, Soldadura, Uniones atornilladas y Protección anticorrosiva.

- E. En el caso de tubería de acero inoxidable, y para conseguir la separación necesaria entre las tuberías y las estructuras metálicas del soportado, se colocarán unos casquillos de acero inoxidable o aluminio.
- F. Tratándose de tuberías embebidas, el CONTRATISTA deberá proteger adecuadamente éstas tanto durante el proceso de hormigonado, para evitar movimientos de las mismas, como después del mismo contra pinchazos o roturas en operaciones de picados de hormigón. Tales protecciones deberán ser aprobadas por el PROPIETARIO.

6.5.4 Limpieza interior

- A. El CONTRATISTA deberá realizar la limpieza interior de las tuberías y sus elementos asociados durante el montaje, procediendo posteriormente al cierre de los extremos montados mediante tapas o bridas ciegas, para impedir la entrada de cuerpos extraños en el interior.

El interior de las tuberías de aceite se limpiará mediante decapado ácido o proceso similar recomendado por el fabricante, según lo establecido en la documentación particular de contratación.

- B. Una vez finalizado el montaje y antes de la prueba hidráulica, se deberán limpiar aquellos tramos o sistemas para los que, debido a su proceso de montaje o a incidencias surgidas durante el mismo, se sospeche que puedan contener suciedad o elementos extraños, a juicio de la organización del PROPIETARIO en obra.

6.5.5 Pruebas de presión

- A. Todos los sistemas de tuberías deberán ser sometidos a una prueba de presión hidráulica o neumática según sea requerido.
- B. La presión a que se realizará la prueba será de 1,5 veces la presión de diseño, salvo indicación expresa en contra.
- C. La prueba se podrá realizar por tramos previa aprobación del PROPIETARIO. En todo caso, habrán finalizado en las partes a probar todas las actividades de montaje, incluidos los posibles tratamientos térmicos a realizar.
- D. Las pruebas se deberán realizar con todas las soldaduras accesibles para inspección y antes de aplicar la pintura.

La prueba de la tubería embebida se deberá realizar siempre antes del hormigonado de ésta.

La prueba de la tubería que vaya a ir calorifugada se deberá realizar antes de colocar el aislamiento, salvo casos excepcionales que pueda aprobar el PROPIETARIO de acuerdo con el párrafo 137.2.1. de ANSI B31.1.

- E. Para la realización de la prueba se deberán tener en cuenta los requisitos de este apartado y los aplicables de ANSI B31.1 y del Reglamento de Equipos a Presión.
- F. La prueba de cada sistema se llevará a cabo de acuerdo con un procedimiento que el CONTRATISTA deberá someter a la aprobación del PROPIETARIO antelación suficiente.

El procedimiento de prueba deberá incluir, al menos y según sea aplicable, lo siguiente

-
- Descripción del sistema a probar y si la prueba se va a realizar o no por tramos separados.
 - Definición de las partes sometidas a prueba, indicando los elementos que actuarán como frontera.
 - Elementos que deberán ser desmontados durante la prueba para evitar que sean dañados por la presión, y aislamiento, cuando sea necesario, de los equipos conectados a las tuberías.
 - Soportes auxiliares que se deban instalar para la prueba, especialmente en el caso de tuberías que se vayan a probar con fluidos de mayor densidad que aquellas para las que están proyectadas, las cuales durante la prueba estarán sometidas a esfuerzos de peso superiores a los de servicio.
 - Disposición de drenajes y venteos.
 - Disposición de manómetros para la prueba y estado de calibración de los mismos.
 - Presión de prueba para cada tramo o sistema.
 - Secuencia de subida y bajada de presión y de permanencia a cada presión para la inspección de fugas, según los requisitos mínimos del párrafo 137.4.5. de ANSI B31.1.
 - Modelo de Informe a generar en cada prueba.
 - Medidas de seguridad a tomar durante la realización de la prueba.
- G. La reparación de los defectos encontrados en la prueba se deberá realizar con procedimientos aprobados por el PROPIETARIO y de acuerdo con lo indicado en el apartado de este Pliego relativo a soldadura.
- H. Después de realizar las reparaciones necesarias se deberá repetir la prueba en las mismas condiciones de la prueba original, salvo las excepciones que pueda aprobar el PROPIETARIO según el párrafo 137.8 de ANSI B31.1.
- I. Todas las pruebas de presión se deberán realizar en presencia del PROPIETARIO o persona delegada.

6.5.6 Identificación

- A. Será responsabilidad del CONTRATISTA el traslado de marcas de los tubos, así como la identificación de líneas e isométricos.
- B. Será responsabilidad del CONTRATISTA el suministro y colocación de etiquetas con la identificación de todas y cada una de las válvulas, retenciones, válvulas de mando eléctrico, instrumentos, etc. que hayan sido montadas por él o su subcontratista, en cualquier sistema de tuberías o equipos.

6.5.7 Calorifugado

- A. El CONTRATISTA deberá realizar el calorifugado de las tuberías y elementos que lo requieran de acuerdo con el procedimiento aprobado y con los documentos particulares de contratación.
- B. Durante la colocación del calorifugado, el CONTRATISTA deberá comprobar el estado de la fibra de vidrio u otro aislante que se especifique y asegurar que se el espesor solicitado en cada tramo o elemento.

-
- C. La operación de calorifugado se realizará de acuerdo con la naturaleza del material, las instrucciones del fabricante y la buena práctica en este tipo de instalación.

6.5.8 Procedimientos

Para cada sistema dentro del alcance de ese apartado, el CONTRATISTA deberá someter a la aprobación del PROPIETARIO los siguientes procedimientos:

1. Procedimiento general de montaje de tuberías.
2. Procedimientos solicitados en los apartados de éste Pliego específicos para soldadura, uniones atornilladas, estructura metálica (soportes), fijaciones con pernos y protección anticorrosiva.
3. Procedimiento de prueba de presión
4. Procedimiento de Calorifugado

7. TRABAJOS ELÉCTRICOS GENERALES

7.1 Generalidades

7.1.1 Alcance

Este apartado será de aplicación al:

- Montaje de canalizaciones eléctricas, incluyendo en este concepto la canalización propiamente dicha, el soportado de la misma y las tapas o blindajes de protección que pudieran incluirse en el diseño.
- Tendido y conexionado de cables.
- Sistema de Puesta a Tierra
- Sistema de Iluminación y Fuerza
- Trabajos de Parque de Alta Tensión

Se establecen en este punto las instrucciones generales que deberán seguirse para la correcta preparación, ejecución y documentación de los trabajos que se lleven a cabo durante el montaje.

7.1.2 Códigos y Normas

Serán de aplicación lo que se establezca, en lo que a canalizaciones eléctricas se refiere, en los siguientes Reglamentos:

- Reglamento, vigente a la firma del Contrato, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación del Ministerio de Industria y Energía e Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, vigente a la firma del Contrato, del Ministerio de Industria y Energía e Instrucciones Técnicas Complementarias ITC.
- Instrucciones Técnicas del fabricante, aplicables a los equipos y componentes a instalar y correspondientes a almacenamiento, manipulación, montaje, ensayos y Servicio.

7.2 Canalizaciones eléctricas

7.2.1 Requisitos generales

Previamente a la instalación, el CONTRATISTA realizará un replanteo de detalle, ajustándose exactamente a la situación de bornas de equipos y a la geometría de las estructuras y del trazado en general, debiendo tener especialmente en cuenta que:

- A. El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo líneas paralelas a las verticales y horizontales de las paredes o estructuras que las soporten o delimiten.
- B. El replanteo de detalle que elabore el CONTRATISTA será presentado a la Dirección Técnica del PROPIETARIO en obra, de la que deberá obtener su aprobación antes del inicio de los trabajos.

7.2.2 Canalizaciones bajo tubo

Las canalizaciones bajo tubo podrán ser de alguno de los siguientes tipos:

- De hormigón
- De cemento
- De fibrocemento
- De plástico
- Metálicas

y podrán discurrir enterradas en zanjas, empotradas o al aire.

Normalmente, las canalizaciones de hormigón, cemento y fibrocemento, serán responsabilidad de Obra Civil y por lo tanto nos referimos, en lo que sigue, a las canalizaciones de plástico y/o metal (rígidas y flexibles) y fundamentalmente en instalación al aire.

7.2.2.1 Montaje de tubería (conduits)

- A. Normalmente, el suministro de la tubería (metálica o de plástico), se efectuará en largos comerciales y accesorios, que serán conformados por el CONTRATISTA en obra según los planos correspondientes.
- B. El corte y roscado de la tubería a la medida especificada se hará de forma que los bordes libres de los tubos queden redondeados y exentos de aristas. Para ello se emplearán herramientas apropiadas y se efectuará un mandrinado. Además se tomará la precaución, en el caso de extremos libres de tubos metálicos, de colocar protectores de boca metálicos o plásticos que eviten el dañado de la cubierta de los cables.
- C. El CONTRATISTA deberá prever, salvo indicación expresa en contra, fijaciones de doble expansión para los soportes. Asimismo, preverá elementos provisionales para la regulación de los planos de apoyo de los soportes, compensando las irregularidades locales del hormigón o estructura de apoyo.
- D. Durante el montaje de tubería en general se tomarán las precauciones necesarias para evitar que entren en los tubos agua, polvo o cualquier tipo de suciedad, agentes contaminantes, etc. Además, una vez terminado el montaje y en tanto no se pases los cables a través de los tubos, los extremos de los mismos se cerrarán con estancas.

-
- E. Los tubos se unirán entre sí mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores.
- F. Las curvas a practicar en los tubos serán continuas (radio constante) y no originarán en los mismos aplastamientos o reducciones de sección interior útil que representen más de un 2% de dicha sección en los tubos de diámetro superior a 3", ni más de 1% en los tubos de diámetro igual o inferior a 3".

A este respecto, el CONTRATISTA deberá prever la utilización de herramientas y plantillas adecuadas, tanto si el curvado se realiza en frío, como en caliente.

Durante los procesos de curvado, el CONTRATISTA deberá prever adicionalmente la adopción de las siguientes precauciones:

- Los tubos de plástico curvados en caliente se harán girar regularmente con el fin de evitar focos de calor.
- Los tubos se llenarán de arena o alternatively se utilizará muelle helicoidal interior.

Cuando no aparezcan específicamente indicados en el Proyecto, el CONTRATISTA fijará los radios de curvatura de la tubería de acuerdo con el criterio que resulte más exigente de los que a continuación se indican:

- Radio mínimo según las especificaciones del fabricante del cable.
- Radio mínimo admisible según las especificaciones del fabricante de la tubería, en el caso de que ésta vaya provista de aislamiento interior.
- Radios mínimos establecidos en el apartado 2 de la Instrucción Técnica Complementaria de Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión ITC-BT-21.

G. No se admitirán entre dos registros consecutivos más de 3 curvas en ángulo recto.

H. En alineaciones de tubos en montaje al aire no se admitirán, entre el eje del tubo y la línea que une sus puntos extremos, desviaciones superiores a las que a continuación se indican, para cada uno de los tramos rectos.

<u>Longitud del tramo (L)</u> <u>considerado (m)</u>	<u>Desviación máx.</u> <u>admisible (o/oo)</u>
$L < 1$	2
$1 \leq L < 3$	1
$3 \leq L < 6$	0,5
$L \geq 6$	0,3

I. Siempre que no se especifique en el Proyecto, la tubería rígida deberá ser interrumpida en los siguientes casos:

- En los cruces con juntas de dilatación se interrumpirán 5 centímetros aproximadamente, empalmándose posteriormente por medio de manguitos deslizantes que tengan una longitud mínima de 20 centímetros.
- En uniones a motores o a equipos sometidos a vibración que se encuentren sobre cimentaciones independientes. Dichas uniones se llevarán a cabo con un tubo flexible de 50 centímetros de longitud mínima.

-
- J. Los tubos serán identificados con etiquetas marcadas de forma indeleble, las cuales se colocarán:
- En los extremos, junto a los puntos de entrada de equipos y en los registros.
 - A ambos lados de cualquier penetración.
- K. Para la ejecución de los trabajos de montaje de tubería a los que se alude en este apartado y en lo que se refiere concretamente a soldadura y uniones atornilladas, el CONTRATISTA se ajustará a los requisitos que para cada caso hayan sido establecidos en el Capítulo 6 de "Trabajos Mecánicos Generales".

7.2.3 Canalizaciones en bandeja

- A. En el caso de que el suministro de bandeja se realice en dimensiones (largo x ancho) comerciales, el CONTRATISTA deberá presentarla y conformarla de acuerdo con los planos correspondientes.
- B. Para el corte de la bandeja a las medidas especificadas se emplearán herramientas apropiadas y se evitarán las aristas o rebabas cortantes en los bordes.
- C. El CONTRATISTA deberá prever, salvo indicación expresa en contra, fijaciones de doble expansión para los soportes. Asimismo, preverá elementos provisionales para la regulación de los planos de apoyo de los soportes, compensando las irregularidades locales del hormigón o estructura de apoyo.
- D. Para la ejecución de los trabajos de montaje de canalizaciones a los que se alude en este apartado y en lo que se refiere concretamente a soldadura y uniones atornilladas, el CONTRATISTA se ajustará a los requisitos que para cada caso hayan sido establecidos en el Capítulo 6 de "Trabajos Mecánicos Generales".
- E. Las bandejas serán identificadas por cuenta del CONTRATISTA con etiquetas marcadas de forma indeleble, las cuales se colocarán:
- En ambos extremos junto a los puntos de entrada de equipos.
 - Cada 5 m.
 - A ambos lados de cualquier penetración.

7.2.4 Documentación a generar por el CONTRATISTA

El CONTRATISTA deberá elaborar y someter a la aprobación del PROPIETARIO, antes del inicio de los trabajos, los siguientes documentos:

1. Procedimiento General de montaje de canalizaciones
2. Procedimiento para la comprobación visual y dimensional del montaje de canalizaciones.
3. Procedimientos solicitados en los apartados del Pliego específicos para soldadura, uniones atornilladas y protección anticorrosiva.
4. Programas de Puntos de Inspección. El CONTRATISTA deberá elaborar Programas de Puntos de Inspección para cada tipo de canalización, en los que como mínimo y según sea aplicables, quedarán contempladas las siguientes inspecciones:
 - a) Certificados de calidad de los materiales empleados en la construcción y/o fijación de canalizaciones.

-
- b) Inspección por muestreo del 20% de las uniones soldadas (mediante líquidos penetrantes) y de las uniones atornilladas, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo de "Trabajos Mecánicos Generales".
 - c) Inspección visual al 100% para comprobar la coincidencia del trazado e identificación de la canalización con replanteo de detalle, planos aprobados y procedimiento de identificación de canalizaciones.
 - d) Inspección visual al 100% para comprobar la ausencia de aristas cortantes, principalmente en entradas, cambios de dirección y salidas.
 - e) Control dimensional, con un muestreo del 20%, incluyendo los siguientes aspectos:
 - Radios de curvatura.
 - Aplastamiento de tubería en zonas curvadas.
 - Distancias de seguridad con otras canalizaciones.
 - Alineación de la canalización.
 - Distancia entre soportes o elementos de fijación de la canalización.

7.3 Tendido y conexionado de cables

7.3.1 Tendido de cables

7.3.1.1 Requisitos Generales para el Tendido

- A. Antes del inicio de los trabajos de tendido y partiendo del replanteo de detalle de las canalizaciones indicado en el punto 7.2.1., el CONTRATISTA elaborará un estudio de optimización de bobinas, así como un plan de tendidos, presentando ambos documentos a la organización del PROPIETARIO en Obra para su aprobación.
- B. Partiendo de los documentos indicados en el párrafo anterior, el CONTRATISTA elaborará un documento en el que quedarán reflejados todos los cables a tender, haciendo constar para cada uno de ellos, como mínimo, la siguiente información:
 - Número de identificación
 - Tipo y composición
 - Longitud prevista
 - Equipos de origen y destino
 - Número de la bobina de donde procede
- C. La información contenida en el documento citado en el párrafo anterior se pasará a fichas individuales (una por cada cable), denominadas "**fichas de tendido**", en las que se reservará espacio para los aspectos más significativos del tendido y conexionado, tales como:
 - Longitud exacta utilizada
 - Resistencia de aislamiento medida después de tendido
 - N° de regleta y borna de ambos extremos, a efectos de determinar el corte correspondiente en cada caso

-
- D. El formato de la "**ficha de tendido**" será previamente presentado al PROPIETARIO para su aprobación.
- E. En ningún caso, excepto en los considerados excepcionales que se indican al final de este párrafo, se permitirán empalmes de cables. Es decir, las conexiones se realizarán cortando trozos de longitud suficiente para evitar empalmes intermedios entre las mismas. Se considerarán casos excepcionales:
1. Conexión intermedia diseñada por proyecto.
 2. Imposibilidad de ejecución sin conexión intermedia.

En este caso se deberá contar con la aprobación del PROPIETARIO.

- F. El tendido se llevará a cabo de forma que no se produzcan daños en el cable, bien por roces con la propia canalización, o por excesiva tensión del mismo. Para evitar esto se tomarán, al menos, las siguientes precauciones:
- Los extremos de los conductos de cualquier tipo por donde haya de pasar el cable se protegerán con terminales adecuados.
 - Para facilitar el paso de los cables a través de los conductos no se emplearán grasas ni materiales que puedan perjudicar el aislamiento de los mismos. El producto que se utilice deberá contar con la aprobación del PROPIETARIO.
- G. El tiro del cable se hará con malla metálica, sin sobrepasar el esfuerzo máximo de tracción admitido en cada caso por el fabricante del cable.
- H. La longitud del cable a dejar por cada extremo para su conexión al equipo será, en general, de vez y media el recorrido interior de un hilo desde dicho extremo hasta el punto de conexión más alejado del equipo al que vaya destinado el cable.
- La longitud extra del cable admitida para la conexión a un elemento sensor, microinterruptor, etc. de un equipo, es de 1 a 2 metros de su longitud teórica de conexión, en función de la precisión de la misma en el momento del tendido.
- I. El extremo final del cable, antes de su pelado, deberá entrar libremente al equipo a través de prensa estanco o perfil de sujeción apropiado.
- J. Las etiquetas con el número de identificación o designación de los cables, se colocarán en los extremos de los mismos a la entrada de los equipos o componentes conectados.

Adicionalmente, cada 25 metros de tendido y en los cambios de dirección y pasamuros, se marcarán los cables con el número de identificación, a fin de facilitar el seguimiento de los mismos.

- K. El CONTRATISTA elaborará y someterá a la aprobación del PROPIETARIO un **Procedimiento General para el Tendido de Cables** en el que deberán reflejarse de forma convenientemente estructurada las condiciones técnicas, generales y específicas, establecidas al respecto en este Pliego, así como en los documentos particulares de contratación.

7.3.1.2 Tendido de cables por bandeja

- A. Previo al tendido de cables se realizará una limpieza de las bandejas.
- B. Se utilizarán rodillos para guiar los cables a lo largo de la bandeja y en los cambios de dirección, evitando que se produzcan daños en la cubierta exterior del cable.

-
- C. Una vez efectuado el tendido de los cables deberán ser "peinados" en la canalización de forma paralela al eje longitudinal de la misma. Asimismo, deberán ser ordenados en capas y atados a la canalización y entre sí mediante cuerda ignífuga y no higroscópica (fibra de vidrio, o similar). El atado se efectuará en todos los cambios de dirección y cada dos metros como máximo en tramos rectos.

No se permitirán cruces de cables pertenecientes a una misma capa, ni entre capas.

- D. Se prestará especial atención a la correcta ordenación en bandejas de los cables apantallados, sobre todo en lo que se refiere a corrección de vicios de pantalla.
- E. En el tendido por bandeja vertical o canalizaciones especiales, cada uno de los cables deberá sujetarse a la bandeja por medio de cuerda ignífuga o de grapas colocadas cada 0,75 metros.

7.3.1.3 Tendido de cables por tubería

Además de los requisitos generales de instalación contenidos en 7.3.1.1. el CONTRATISTA se responsabilizará de lo siguiente:

- A. Previo al tendido de los cables por el interior de tuberías, especialmente en las de fibrocemento, procederá a la limpieza interior de las mismas, utilizando para ello un disco-gálbo.
- B. Todos los cables que discurren por la misma tubería serán tendidos al mismo tiempo, formando un mazo para facilitar el tendido.
- C. No obstante lo señalado en B., se dejará introducido en la tubería un alambre guía en acero inoxidable de 3 milímetros de diámetro, con el fin de facilitar la realización de futuros tendidos.
- D. Se utilizarán los dispositivos de limitación de tensión de tendido para no dañar los componentes del cable.
- E. Identificarán los cables a la entrada y salida de la tubería.

7.3.1.4 Otros tipos de tendido

Siempre que se realicen tendidos de cable sobre canaletas, zanjass, etc., serán responsabilidad del CONTRATISTA los aspectos que a continuación se indican:

- A. Proceder a la limpieza previa de la canalización y al posterior paso de guías para el tendido de cables.
- B. Prever dispositivos de limitación de tensión de tendido para evitar el dañado de los componentes del cable.
- C. El cubrimiento de arquetas y/o canalizaciones las veces que sea necesario.
- D. La identificación, mediante el número de identificación de los extremos y puntos intermedios del cable.

7.3.2 Conexionado

- A. El CONTRATISTA elaborará y someterá a la aprobación del PROPIETARIO **Procedimiento General de Conexionado** que, apoyado en las condiciones establecidas en éste y otros documentos contractuales, contendrá, al menos, requisitos para:

-
- Pelado de cable
 - Introducción de cable al equipo
 - Identificación y pelado del hilo
 - Conexionado en borna

El PROPIETARIO estudiará dicha documentación y la devolverá al CONTRATISTA, aprobada o con los comentarios que considere oportunos, a lo cuales deberá ajustarse el CONTRATISTA para obtener la definitiva aprobación del documento.

B. Antes de proceder al conexionado definitivo de los cables a sus equipos, el CONTRATISTA llevará a cabo las siguientes operaciones y comprobaciones:

1. Procederá al pelado de los hilos, para lo que se emplearán herramientas adecuadas, con el fin de no deteriorar el hilo ni su aislamiento.
2. Efectuará una comprobación al 100% de la continuidad eléctrica entre los extremos de cada uno de los hilos que se pretendan conectar. Esta comprobación se realizará con el circuito abierto, alimentado con una batería c.c. y utilizando un aparato luminoso-acústico.
3. Realizará, asimismo, una comprobación al 100% del aislamiento entre conductores y entre cada uno de ellos con tierra.

Para la medida de la resistencia de aislamiento se utilizará un Megger capaz de proporcionar una tensión continua en vacío comprendida entre 500 y 1000 voltios, para circuitos de baja tensión y de 2500 a 5000 voltios, para circuitos de alta tensión.

El valor de la resistencia de aislamiento, medida en ohmios, se considerará aceptable cuando supere la cantidad que se obtenga al multiplicar por 1000 la tensión máxima de servicio, expresada en voltios, con un valor mínimo de 250.000 ohmios.

C. Para la realización de las comprobaciones indicadas en el párrafo anterior, el CONTRATISTA elaborará un **Procedimiento para Comprobación de la Continuidad y Aislamiento Eléctrico** que presentará al PROPIETARIO para su aprobación.

En dicho procedimiento se reflejará de forma ordenada y detallada la siguiente información:

- Aparatos y esquemas de la instalación para la comprobación de la continuidad eléctrica de los conductores.
 - Medidas a realizar de la resistencia de aislamiento.
 - Aparatos y esquemas de conexión para la realización de la medida de aislamiento.
 - Tabla de valores admisibles para la resistencia de aislamiento, en función de las diferentes tensiones de servicio que se dispongan en la Central.
 - Precauciones que deberán tomarse durante la realización de las medidas y comprobaciones.
- D. Los resultados obtenidos deberán quedar reflejados en la "**ficha de conexionado**" de cada cable, cuyo formato será previamente presentado al PROPIETARIO p aprobación.
- E. Para la conexión de los diferentes hilos, se empleará una herramienta de engas garantice el control de la presión sobre el terminal.

-
- F. El terminal a emplear en armarios eléctricos y paneles en general será del tipo de presión preaislado de punta u ojal, según exija el punto donde vaya conectado.
 - G. La conexión de los cables de alta tensión se hará siguiendo las instrucciones del fabricante de los mismos.
 - H. Paralelamente a la ejecución del conexionado, se llevará a cabo el etiquetado del cable, así como de los hilos que lo compongan, ajustándose a los siguientes requisitos:
 - 1. La etiqueta del cable se colocará en el punto de interrupción de la cubierta exterior.
 - 2. La etiqueta del cable llevará marcado con tinta indeleble su número de identificación y composición.
 - 3. Dichas etiquetas consistirán en un manguito termorretráctil. El material empleado en su fabricación contará con la aprobación del PROPIETARIO.
 - 4. La etiqueta del hilo se colocará inmediatamente antes de su conexión a las regletas de origen y destino.
 - 5. La etiqueta del hilo llevará marcado con tinta indeleble el número de identificación del cable al que pertenezca y la borna de conexión de origen y destino.
 - 6. Dichas etiquetas consistirán en un manguito tipo omega. El material empleado en su fabricación contará con la aprobación del PROPIETARIO.
 - I. Simultáneamente con el conexionado, se realizarán "in situ" las operaciones de taladrado, enhebrado del cable y apriete del prensa que deban llevarse a cabo para asegurar la estanqueidad del paso del cable o el grapado en perfiles normalizados que aseguren su firmeza.

7.4 Sistema de puesta a tierra

7.4.1 Tendido y conexionado de los circuitos de tierra

- A. El CONTRATISTA elaborará y presentará a la aprobación del PROPIETARIO un **Programa de Puntos de Inspección** y un **Procedimiento General de Tendido y Conexionado de los Circuitos de Puesta a Tierra**, cuyo alcance y contenido vendrá determinado por las condiciones o requisitos que a continuación se indican, así como por las que puedan ser establecidas a este respecto en los documentos particulares de contratación.
- B. Para la realización del tendido de los conductores de tierra, el CONTRATISTA cumplirá lo indicado a continuación:
 - 1. Tomará las medidas necesarias para que el tendido de los conductores quede perfectamente alineado con las paredes, techos o estructuras que se tomen como referencia. Asimismo, los conductores quedarán perfectamente enderezados y sin flechas.
 - 2. No se admitirá, salvo cuando fuese necesario para atravesar muros o tabiques, el empotrado del circuito de tierra. En los casos excepcionales indicados, el CONTRATISTA deberá contar con la aprobación del PROPIETARIO.
- C. Para la realización del conexionado de los cables y pletinas de tierra, el CONTRATISTA cumplirá las condiciones desarrolladas a continuación.

-
1. Las uniones entre cables o entre cables y pletinas de cobre desnudo se realizarán, según se indique en el Proyecto, de alguna de las siguientes formas: Soldadura aluminotérmica, uniones atornilladas, grapas, terminales
 2. En el caso de uniones soldadas, elaborará y presentará a la aprobación del PROPIETARIO un **Procedimiento para la realización de la Soldadura de tipo Aluminotérmico**, en el que además de quedar reflejadas las variables del proceso, se establecerán la forma y los medios para el cumplimiento de las siguientes condiciones:

2.1 Preparación de la unión:

- Se limpiarán cuidadosamente los conductores a unir hasta que éstos tengan el brillo del metal. Se podrá utilizar para esa operación lija o cepillo de acero.
- Los conductores mojados o húmedos deberán quedar perfectamente secos, pues la realización de la soldadura en tales circunstancias ocasionaría la aparición de porosidades, que harían rechazable la unión.
- Asimismo, los conductores que hubieran sido tratados con aceites o grasa serán previamente desengrasados, utilizando para ello un producto adecuado.
- Los moldes para la realización de la soldadura serán los que en cada caso (dependiendo de los materiales a unir), recomiende el fabricante aprobado.
- A cada tipo de unión corresponderá un diseño de molde. No se permitirá la colocación de suplementos en los moldes para realizar soldaduras diferentes con un mismo diseño de molde.
- Antes de realizar la soldadura, los moldes deberán limpiarse y secarse cuidadosamente.

2.2 Ejecución de la soldadura:

- Se deberán tener en cuenta las instrucciones del fabricante, las cuales se reflejarán en el procedimiento de soldadura.
 - El calor producido durante el proceso de unión no deberá provocar la fusión de ningún punto de los elementos a unir.
 - Figurarán en el procedimiento los criterios de rechazo de soldaduras, indicando que serán 100% rechazables las uniones con grietas, poros, derrames o cualquier otro fallo.
 - El máximo número de veces que se podrá emplear un mismo molde se establecerá a partir de las recomendaciones del fabricante (máximo 50 soldaduras). Como medida de seguridad adicional se llevarán a cabo muestreos, sobre un 5% de las uniones realizadas con un mismo molde.
3. Las uniones atornilladas entre pletinas o las que se realicen con grapas especiales o mediante terminales, se efectuarán observando las siguientes precauciones:
 - Se limpiarán previamente las superficies de contacto, con el fin de que la resistencia eléctrica de la unión sea mínima.
 - La limpieza indicada anteriormente se llevará a cabo de forma que no se elimine el galvanizado de las pletinas o estructuras que lleven este tratamiento.
 - El CONTRATISTA deberá dar el par de apriete adecuado a los tornillos, con el fin de asegurar la continuidad de la unión.

Además se tendrán en cuenta las disposiciones que a este respecto se establezcan en el Capítulo de "Trabajos Mecánicos Generales".

- D. Todos los cables, piezas y pletinas del sistema de puesta a tierra que queden vistos, tanto en edificios como en parques exteriores de alta tensión, se pintarán con esmalte sintético de color normalizado. El CONTRATISTA deberá elaborar y someter a la aprobación del PROPIETARIO un **Procedimiento de Protección Anticorrosiva para el sistema de puesta a tierra**.

En este punto se tendrán en cuenta las disposiciones que a este respecto se establezcan en el Capítulo específico de este Pliego correspondiente a Protección Anticorrosiva.

7.5 Sistema de iluminación y fuerza

7.5.1 Requisitos generales

- A. El Sistema de Iluminación y Fuerza comprende el montaje de todos los elementos integrantes del mismo, como son: torres de iluminación, báculos, cajas de automatismo, armarios de reactancias, receptores de luz, canalizaciones, cajas de derivación, tendido y conexionado de cables, etc.
- B. Para la realización de los trabajos de instalación de canalizaciones, así como del tendido y conexionado de cables correspondientes a este Sistema, se tendrá en cuenta lo establecido al efecto en los apartados 7.2 y 7.3 del presente capítulo de Trabajos Eléctricos Generales.
- C. Previamente al comienzo de la instalación, el CONTRATISTA llevará a cabo un replanteo y marcado de la misma, al objeto de estudiar posibles interferencias con otros equipos y proponer alternativas al PROPIETARIO en el caso de que existan dichas interferencias.

Para la realización de este replanteo se ajustará a la posición de los puntos de luz que se indiquen, bien en el Proyecto de la Obra, o bien por la Dirección Técnica del PROPIETARIO.

Se pondrá especial cuidado en conseguir que las canalizaciones y/o cables queden perfectamente paralelos a las paredes, techos o estructuras que sean tomadas como referencia a la hora de efectuar los trazados.

Normalmente las curvas del recorrido se realizan a cable descubierto, interrumpiendo el tubo 10 centímetros antes de las mismas.

El CONTRATISTA adoptará el sistema que establezca el PROPIETARIO para la introducción de los cables en las cajas o aparatos que lo requieran. Dicho sistema será, salvo que expresamente se especifique otro, uno de los que a continuación se indican:

- A través de prensaestopas metálico.
- A través de prensas cónicas de material elástico cortado al diámetro requerido.

El cable de tierra, que normalmente va por dentro de la tubería, irá grapado junto con el cable de composición de alimentación en su recorrido exterior a obra de fábrica o estructura metálica.

El CONTRATISTA preparará las plantillas que sean necesarias para la colocación de los espárragos de anclaje de las torres de iluminación o báculos.

-
- D. Serán de aplicación los procedimientos citados en los apartados 7.2 y 7.3. de este Capítulo.
- E. El CONTRATISTA deberá elaborar y presentar a la aprobación del PROPIETARIO un Programa de Puntos de Inspección para cada uno de los diferentes sistemas de iluminación a instalar

7.6 Trabajos en parque de intemperie

7.6.1 Requisitos de Instalación

Las condiciones técnicas y de operaciones a realizar que se indican en los puntos que siguen, lo son con carácter no limitativo, teniendo que efectuar, además de las indicadas, todas las necesarias para la ejecución completa del montaje contratado.

Los criterios aquí marcados serán concretados y detallados en la correspondiente documentación de los fabricantes de los equipos.

Los planes de calidad de las estructuras metálicas principales del Parque y de apoyo de aparellaje y de los transformadores de potencia serán los expuestos en los Capítulos 6 y 8 de este Pliego.

Cuando en algún equipo se deban realizar trabajos mecánicos o eléctricos generales incluidos en los Capítulos 6 y 7 de este Pliego, se deberán tener en cuenta todos los requisitos aplicables allí incluidos.

El CONTRATISTA deberá elaborar y someter a la aprobación del PROPIETARIO, como mínimo y donde sea aplicable, los siguientes procedimientos:

- Procedimiento general de montaje de embarrados.
- Procedimientos de montaje de aparellaje.
- Procedimientos de comprobaciones dimensionales.
- Procedimientos de verificaciones de funcionamiento de aparellaje.

7.6.2 Embarrados aéreos

- A. Las bobinas de cable se colocarán sobre gatos y se empezarán a desenrollar por la parte superior, extendiendo el cable sobre el terreno, de forma que no se retuerza y evitando que roce con piedras o elementos que puedan dañarlo.
- B. En el armado de cadenas se tendrá en cuenta, al abrir las aletas de los pasadores, que estos estén en perfecto estado. Antes de izar las cadenas se limpiarán los aisladores.
- C. En las barras de cable de aluminio se tendrá en cuenta al comprimir las grapas, que las palas de derivación queden en el mismo sentido sin tener que retorcer después el cable.
- D. La grasa a utilizar en las grapas de compresión, será la recomendada por el fabricante de las mismas.
- E. En cada embarrado con distinto vano o con distinta sección de cable, se ejecutará una barra de prueba con arreglo a las tablas de tensado. Una vez aprobado por el inspector del PROPIETARIO, se continuará con el resto de las barras.
- F. Antes de realizar el corte del cable se efectuarán las medidas reales de las barras; las uniones entre aparatos y se estudiará con las medidas de cable disponible e

bobina para desperdiciar lo menos posible. El corte de cada cable no sobrepasará el 5% de la medida real.

- G. Los cables se cortarán con sierra manual y se pondrán retenciones a ambos lados del corte, antes de efectuar éste.
- H. Se engrasará toda la tornillería, tanto la galvanizada, como la de acero inoxidable, antes y después de su montaje, empleando para ello grasa Molikote.
- I. El tratamiento de las superficies de contacto se hará de la forma siguiente:
 - Las superficies de contacto plateado se limpiarán con un paño suave y con disolvente (Tricloroetano). En ningún caso podrán ser cepilladas ni esmeriladas. Después de efectuada la limpieza se aplicará una ligera capa de CONTACTIN de plata.
 - Las superficies de contacto de cobre o aluminio se limpiarán con un cepillo de acero o tela esmeril. A continuación se aplicará una ligera capa de CONTACTIN de cobre o aluminio, según el material de contacto.
- J. Los cuerpos aislantes de aparatos y aisladores rígidos de toda instalación objeto de montaje deberán limpiarse antes de la puesta en servicio, eliminando toda suciedad.
- K. El apriete de todas las piezas de conexión se realizará con llave dinamométrica, siguiendo las instrucciones del fabricante en cuanto al orden y par de apriete.
- L. En todos los puntos de conexión, el cable o tubo se limpiará con cepillo de acero y tela esmeril. A las bornas de los aparatos se les pasará un paño suave y disolvente con el fin de no eliminar el plateado. En las zonas de contacto se aplicará una ligera capa de CONTACTIN de cobre, aluminio o plata según los materiales en cada caso.
- M. En los embarrados tubulares de aluminio se tendrán en cuenta las consideraciones establecidas en el Capítulo 8: "Trabajos en Equipos Singulares".

7.6.3 Soportes de aparellaje

- A. Se repasarán y engrasarán las roscas de los pernos.
- B. En el armado de soportes, nivelación y aplomado, las tolerancias admitidas son las siguientes:

Alineación ± 5 mm

Nivelación $\pm 2,5$ mm

Aplomado $\pm$ altura/1000

- C. Una vez concluido el montaje de los elementos galvanizados, se llevará a cabo una inspección de todas las superficies y se marcarán las zonas que se encuentren deterioradas como consecuencia de las operaciones de manejo, montaje o soldadura. Las zonas marcadas serán reparadas según lo indicado en el Capítulo 9 de este Pliego.

En general, para otros aspectos diferentes de los mencionados en los puntos 7.6.3.A., B. y C. la realización de los trabajos de montaje de soportes de aparellaje, se ajustará a los requisitos establecidos en el Capítulo correspondiente a "Estructuras Metálicas".

7.6.4 Aparellaje

7.6.4.1 Generalidades

El tratamiento de las superficies de contacto se hará de la forma siguiente:

-
- Las superficies de contacto plateado se limpiarán con un paño suave y con disolvente (Tricloroetano). En ningún caso podrán ser cepilladas ni esmeriladas. Después de efectuada la limpieza se aplicará una ligera capa de CONTACTIN de plata.
 - Las superficies de contacto de cobre o aluminio se limpiarán con un cepillo de acero o tela esmeril. A continuación se aplicará una ligera capa de CONTACTIN de cobre o aluminio, según el material de contacto.
 - Los suplementos metálicos de calces para nivelación, deberán ser de material inoxidable.

7.6.4.2 Transformadores

Para los trabajos de desmontaje, transporte y montaje de transformadores de potencia, se seguirán las instrucciones del fabricante y las contenidas en el Capítulo 8: "Trabajos en Equipos Singulares".

7.6.4.3 Interruptores de Alta Tensión (A.T.)

Las condiciones técnicas y operaciones a realizar serán las que indique en las instrucciones el fabricante, que dependerán en cada caso del modelo y tipo de aparato. Como referencia para realizar la oferta pueden servir las siguientes:

- Comprobación de la presión de gas antes de iniciar el montaje.
- Comprobación de los taladros de anclaje, modificándolos si fuera necesario.
- Comprobación del correcto nivelado del soporte metálico del interruptor.
- Fijación del interruptor en su bancada y nivelación del mismo.
- Comprobación del apriete de tornillos y conexiones, por si en el transporte se hubiesen aflojado.
- Montaje de los diversos elementos que componen el interruptor.
- Conexionado a tierra.
- Comprobación del sistema neumático y/o oleohidráulico.
- Conectar el tubo de aire comprimido de la cabina de control al calderín.
- Proceso de regulación y ajuste.
- Llenado de gas SF6 o aceite tratado, según el caso, y comprobación de la no existencia de fugas.
- Interconexiones eléctricas entre los cables de la manguera procedentes de la bancada a la cabina de control.
- Comprobación de la no existencia de durezas durante la maniobra con el gato.
- Comprobación de penetración de velas
- Pruebas electro-mecánicas para su funcionamiento
- Apriete final de la tornillería con llave dinamométrica, con el par indicado del fabricante.

7.6.4.4 Transformadores de Medida y Protección

- Se comprobará, antes de su montaje, el taladrado de los soportes con los de anclaje de aparatos, modificándose en caso necesario en el soporte.
- En las posiciones que vayan tres aparatos, uno por cada fase, se montarán por orden de numeración correlativo de menor a mayor, correspondiendo el menor a la fase 1.
- Antes de proceder a su montaje se medirán aislamientos. Si hubiese alguna anomalía se avisará al Inspector del PROPIETARIO. Una vez realizado el montaje y previamente a la Puesta en Servicio se volverán a realizar las pruebas de medición de aislamiento y relación de transformación en todos los transformadores. En los de intensidad se probará a su vez la polaridad. Todos los datos obtenidos se incluirán en el Expediente Final de calidad.

7.6.4.5 Seccionadores

- Se comprobará la perfecta perpendicularidad y nivelación en el montaje de las columnas aislantes y las cuchillas conductoras. Los suplementos metálicos para calces serán de material inoxidable.
- Se comprobará el taladrado de los soportes con los de anclaje de los aparatos, modificando los taladros si fuera necesario.
- Se revisará antes del izado el funcionamiento de cada polo y de las cuchillas de puesta a tierra, si las tuviese, haciendo los trabajos necesarios para su correcto funcionamiento.
- Se colocará el mando y timonería de las cuchillas principales y de las de puesta a tierra, si las tuviese, comprobando la suavidad de maniobra y penetración simultánea y correcta de los contactos, así como el enclavamiento mecánico entre unas y otras. La regulación, ajustes y tolerancias se realizarán según las instrucciones del fabricante.
- Se regularán y engrasarán los contactos auxiliares y de fin de carrera de los mandos manuales y eléctricos.
- Se realizarán pruebas de funcionamiento manuales y eléctricas y se medirá el consumo del motor en cada fase.
- Se conexionará a tierra la base de cada seccionador, realizando los taladros necesarios para la sujeción del cable de tierra.
- La tornillería se apretará con llave dinamométrica según las tablas del fabricante.
- Una vez realizadas las conexiones en alta se comprobarán los ajustes y penetración de cuchillas, efectuando las correcciones necesarias para que queden perfectamente ajustadas.
- Los contactos de las cuchillas se engrasarán con una capa fina de CONTACTIN de plata y todas las articulaciones con grasa tipo MOLIKOTE.

7.6.4.6 Pararrayos

- Se comprobará el taladrado de los soportes con los de anclaje de los aparatos, modificando los taladros del soporte si fuera necesario.
- La manipulación se realizará con los elementos adecuados, estrobos de cáñamo, siguiendo las instrucciones del fabricante. Una vez nivelados se soporten.

-
- Se comprobará y medirá el aislamiento entre la base del aparato donde lleve la puesta a tierra y el soporte, los datos obtenidos se pasarán al Dossier que se entregará al finalizar el montaje.
 - Se instalará el contador de descargas al realizar la conexión de tierra entre el contador y el pararrayos, teniendo en cuenta que debe ir aislada del soporte. La conexión de tierra entre el contador y la malla de tierra irá grapada al soporte.

7.6.4.7 Bobinas de bloqueo y equipos exteriores para alta frecuencia.

- Para el izado de las bobinas de bloqueo se tomará la precaución de utilizar estrobos de nylon, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Conexión de los puentes y derivaciones.
- El montaje de los elementos exteriores para alta frecuencia tales como: sintonizador, seccionador de puesta a tierra, bobina de drenaje y pararrayos, se instalarán tal como se indican en los planos normalizados.

8. TRABAJOS EN EQUIPOS SINGULARES

8.1 Alcance

Este capítulo es de aplicación a todos los trabajos de montaje a realizar sobre los equipos electromecánicos que se definan en la documentación particular de contratación.

8.2 Requisitos generales

Los requisitos generales que se dan a continuación se aplicarán a todos los equipos, mientras que los criterios del apartado 8.3., serán solamente orientativos para los equipos allí tratados, puesto que en otros documentos contractuales se fijarán los requisitos específicos en la forma que se describe en este apartado.

Cuando el resto de documentación contractual no establezca requisitos específicos para algún equipo, se considerará de aplicación estricta el contenido del apartado 8.3. de este Capítulo.

- A. Se considerarán de obligado cumplimiento por el CONTRATISTA todas las especificaciones e instrucciones de montaje del fabricante de los equipos, aunque se entreguen con posterioridad a la contratación de los trabajos de montaje.
- B. Será responsabilidad del CONTRATISTA el cumplimiento de dichas especificaciones e instrucciones, así como las posibles instrucciones directas recibidas de la organización del PROPIETARIO en Obra, integrándolas en los procedimientos de montaje del equipo en cuestión.

El CONTRATISTA gestionará la presencia total o parcial de supervisores de los fabricantes durante el montaje de determinados equipos.

- C. Aun cuando dicha documentación del fabricante de cada equipo incluirá, total o parcialmente, información sobre los puntos de inspección mínimos, criterios de aceptación y procedimientos a utilizar, seguirá siendo responsabilidad del CONTRATISTA el establecimiento y la obtención de la aprobación por el PROPIETARIO de los correspondientes Programas de Puntos de Inspección y Procedimientos solicitado en el Capítulo 3: Garantía de Calidad, de este Pliego.

La aprobación de dichos documentos será realizada por la organización PROPIETARIO en Obra y será necesaria antes del comienzo de los trabajos.

D. Cuando el alcance de los trabajos incluya la reparación o instalación de aparatos a presión objeto del Real Decreto 2060/2008 "Reglamento de Equipos a Presión", el CONTRATISTA deberá cumplir con todo lo dispuesto en dicho Real Decreto e instrucciones técnicas complementarias.

En particular dispondrá de:

- Homologación como reparador e instalador
 - Inscripción en el Libro de Registro de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía.
 - Libro Registro de instalación de aparatos a presión.
- E. Cuando el alcance de los trabajos incluya la reparación o montaje de instalaciones frigoríficas objeto del Real Decreto 3099/1977 "Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas", el CONTRATISTA deberá cumplir con todo lo dispuesto en dicho Real Decreto e instrucciones complementarias.

8.3 Documentación a emitir por el contratista

8.3.1 Generalidades

En este apartado se dan los criterios generales que se tendrán en cuenta en el Plan de Calidad correspondiente al montaje de equipos singulares.

Estos criterios serán concretados y detallados en la correspondiente documentación del fabricante de los equipos y/o en la documentación particular de contratación del PROPIETARIO.

Cuando en algún equipo se deban realizar trabajos mecánicos o eléctricos generales incluidos en los Capítulos 6 y 7 de este Pliego, se deberán tener en cuenta todos los requisitos aplicables allí incluidos.

El CONTRATISTA establecerá los programas de puntos de inspección tal como se indica en el apartado 3.3.7 de este documento.

Tanto los PPI's como los procedimientos específicos de cada equipo, así como los informes de resultados de los controles, certificados etc. deberán formar parte del dossier final de calidad.

8.4 Equipos

A continuación se da una relación, de forma orientativa y no limitativa, de equipos singulares a los que se refiere este apartado:

- Turbinas
- Condensadores
- Alternadores
- Calderas
- Calentadores
- Recalentadores
- Transformadores
- Ventiladores

-
- Compuertas y Ataguías
 - Válvulas
 - Blindajes metálicos de circuito hidráulico
 - Grúas
 - Cables de potencia
 - Embarrados
 - Celdas, paneles y transformadores de S.A.
 - Baterías y equipo asociado
 - Equipos diversos
 - Motobombas:
 - Agotamiento
 - Refrigeración
 - Extinción de incendios
 - Varios
 - Compresores y calderines:
 - Servicios
 - Maniobra
 - Frenado
 - Equipos de aire acondicionado
 - Filtros generales
 - Polipastos
 - Ascensores
 - Otros Equipos

9. TRABAJOS DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA

9.1 Generalidades

Es criterio del PROPIETARIO efectuar las fases principales de los trabajos de protección anticorrosiva en taller, por lo que será norma general que todas las superficies metálicas que deben ser protegidas contra la corrosión habrán de enviarse a obra galvanizadas o con un tratamiento de pintado en taller, a excepción de las zonas afectadas por la soldadura en Obra.

Durante el pintado de taller, en función de lo dispuesto en las especificaciones de proyecto para las diversas estructuras y equipos, habrán sido aplicadas desde capas de imprimación hasta tratamientos anticorrosivos completos.

Consiguientemente, los trabajos de protección anticorrosiva que deba efectuar el CONTRATISTA estarán relacionados con el parcheo de capas de pintura o galvanizado

dañadas, el tratamiento de zonas afectadas por soldadura y la aplicación de las capas correspondientes al tratamiento de pintura de terminación.

No obstante, en previsión de que pudieran suministrarse materiales sin ninguna clase de protección anticorrosiva o hubiera que retocar zonas dañadas, será considerada también la aplicación de imprimaciones anticorrosivas en obra para lo cual el CONTRATISTA cumplirá lo indicado en la E.T.

9.2 Procedimientos

El CONTRATISTA deberá elaborar un procedimiento que recoja los sistemas de protección anticorrosiva a utilizar. Dicho procedimiento cumplirá con los requisitos de la E.T., y deberá ser aprobado por el PROPIETARIO.

10. PUESTA EN MARCHA

El proceso de puesta en marcha de una Central se desarrolla en tres fases principales.

- Primera fase: Pruebas locales.

Consiste en la puesta en servicio de equipos singulares, normalmente con mando local y de las pruebas finales de ciertos equipos o partes de los mismos.

- Segunda fase: Comprobación de circuitos de fuerza y control.

Se trata de la comprobación funcional de la interconexión de fuerza y control general de la instalación.

- Tercera fase: Prueba de Grupos.

En esta fase se comprueba el funcionamiento conjunto de los equipos asociados al Grupo que se va a probar y los comunes con otros, en el caso de que exista más de un Grupo.

10.1 Realización de pruebas de puesta en marcha

De acuerdo con las instrucciones recibidas de la Dirección Técnica del PROPIETARIO en obra, el CONTRATISTA se responsabilizará de la Puesta en Marcha de las instalaciones.

El CONTRATISTA dispondrá un equipo con capacidad técnica probada, para el desarrollo de las pruebas. Este equipo se compondrá de personal eléctrico y mecánico dirigido por un responsable de la categoría adecuada y deberá ser aprobado por el PROPIETARIO.

Será por cuenta del CONTRATISTA la aportación de medios y medidas de seguridad necesarios para la realización de las pruebas de puesta en marcha. Asimismo el CONTRATISTA dispondrá de una oficina técnica para la delineación de formatos específicos para comprobaciones, toma de da en marcha.

DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO

1 Presupuesto eléctrico

En este apartado se detallan los costes de los diferentes elementos que constituyen parte de la instalación eléctrica que se ha diseñado. Más adelante, se añadirán los conceptos relativos al coste de la obra civil para así completar el coste total del Parque Eólico.

1.1 Aerogeneradores

Concepto	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Coste total
Aerogenerador 3.465 kW	6,00	ud	1.005.895,90 €	6.035.375,40 €
Sistemas de control aerogenerador 3.465 kW	6,00	ud	922.080,70 €	5.532.484,20 €
Aerogenerador 1.700 kW	1,00	ud	896.002,95 €	896.002,95 €
Sistemas de control Aerogenerador 1.700 kW	1,00	ud	753.340,85 €	753.340,85 €
Instalaciones B.T. aerogeneradores, incluida la puesta a tierra	7,00	ud	935,00 €	6.545,00 €
Total				13.223.748,40 €

1.2 Red de Media Tensión

1.2.1 Celdas

Concepto	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Coste total
Celda de M.T. 0L+1P, incluido el conexionado de cables	2,00	ud	10.617,55 €	21.235,10 €
Celda de M.T. 0L+1P+1L, incluido el conexionado de cables	5,00	ud	15.003,30 €	75.016,50 €
Total				96.251,60 €

1.2.2 Cables

Concepto	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Coste total
Cable Al HEPRZ1 1x95 mm2	9117,00	m	7,47 €	68.103,99 €
Cable Al HEPRZ1 1x150 mm2	2100,00	m	7,92 €	16.632,00 €
Cable Al HEPRZ1 1x240 mm2	2208,00	m	9,11 €	20.114,88 €
Cable Al HEPRZ1 1x400 mm2	5100,00	m	10,02 €	51.102,00 €
Cable Al HEPRZ1 1x500 mm2	4026,00	m	11,45 €	46.097,70 €
Cable cobre desnudo 70 mm2	7622,00	m	3,00 €	22.551,00 €
Fibra Monomodo 9/125µm	7517,00	m	0,92 €	6.915,64 €
Total				231.517,21 €

1.2.3 Canalizaciones

Concepto	Cantidad	Unidad	Coste unitario	Coste total
Zanja Z1: canalización eléctrica de un circuito, incluida la parte proporcional de arquetas	6065,00	m	22,00 €	133.430,00 €
Zanja Z2: canalización eléctrica de dos circuitos, incluida la parte proporcional de arquetas	1452,00	m	25,00 €	36.300,00 €
Zanja EV1: cruce de caminos, incluida la parte proporcional de arquetas	42,00	m	58,00 €	2.436,00 €
Zanja EV2: cruce de caminos, incluida la parte proporcional de arquetas	18,00	m	66,00 €	1.188,00 €
Zanja EA1: cruce de acequias, incluida la parte proporcional de arquetas	6,00	m	60,00 €	360,00 €
Zanja EA2: cruce de acequias, incluida la parte proporcional de arquetas	12,00	m	68,00 €	816,00 €
Zanja EC1: entubado bajo cimentación del aerogenerador, incluida la parte proporcional de arquetas	36,00	m	168,00 €	6.048,00 €
Zanja EC2: entubado bajo cimentación del aerogenerador, incluida la parte proporcional de arquetas	18,00	m	168,00 €	3.024,00 €
Total				183.602,00 €

1.3 Totales

Concepto	Coste total
Total aerogeneradores	13.223.748,40 €
Total celdas de M.T.	96.251,60 €
Total cables	231.517,21 €
Total canalizaciones	183.602,00 €
<i>Total eléctrico</i>	<i>13.735.119,21 €</i>
Total viales internos y plataformas	1.074.240,13 €
Total cimentaciones	1.113.485,76 €
<i>Total obra civil</i>	<i>2.187.725,89 €</i>
Total seguridad y salud	25.748,00 €
Total	15.948.593,10 €

Referencias

- [1] Consejo Económico y Social España, «El sector eléctrico en España,» 2017.
- [2] International Energy Agency, «Renewables 2017,» 2017.
- [3] U. Govindarajan, V. Ramachandaramurthy, S. Oli y P. Kasinathan, «Conceptual Framework of Antecedents to Trends on Permanent Magnet Synchronous Generators for Wind Energy Conversion System,» 2017.
- [4] International Energy Agency, «Technology Roadmap - Wind Energy 2013,» 2013.
- [5] European Comission, «2030 Climate & Energy Framework,» October 2014. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en#tab-0-0.
- [6] UNE, «Guía para la elección de cables eléctricos de tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV para circuitos de distribución de energía eléctrica».
- [7] REE, «ESIOS. Mercados y precios,» [En línea]. Available: <https://www.esios.ree.es/es/mercados-y-precios>.
- [8] OMIP, «SPEL Base Futures - Year,» [En línea]. Available: <https://www.omip.pt/en/dados-mercado?date=2019-07-13&product=EL&zone=ES&instrument=FTB>.
- [9] Boletín Oficial del Estado, «RD 1777/2004».