



ANEXO A LA ADENDA II AL PROYECTO MODIFICADO
PARQUE EÓLICO TOSQUILLA

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202500291. Fecha Visado: 16/06/2025. Firmado Electrónicamente por el COIIM.
Nº Colegiado: 18428. Colegiado: ALEJANDRO GARCIA GALIANO. Para comprobar su validez: <https://www.coiim.es/Verificacion>. Cod. Verif.: 11523501.

	COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS INDUSTRIALES COIIM - MADRID
Nº VISADO 202500291	FECHA DE VISADO 16/06/2025
VISADO	
DOCUMENTO VISADO CON FIRMA ELECTRÓNICA	
COLEGIADO/A Nº:	NOMBRE
18428 COIIM ALEJANDRO GARCIA GALIANO	

DOCUMENTO 1 MEMORIA

DOCUMENTO 2 ANEXO 7: Cálculos Eléctricos de la RMT



ANEXO A LA ADENDA II AL PROYECTO MODIFICADO
PARQUE EÓLICO TOSQUILLA

Memoria Descriptiva

Contenido

1. Antecedentes v Obieto	1
2. Documentación.....	1
3. Conclusión	2

1. Antecedentes y Objeto

En fecha 22 de abril de 2024 se visó la Adenda II al “Parque eólico Tosquilla” en los TTMM. de Gargallo, Estercuel y Eiulve (Provincia de Teruel), con número de visado VIZA243278, suscrito por el Ingeniero Industrial D: Javier Sanz Osorio, con N° de colegiado 6134 del Colegio Oficial de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Aragón.

Se redacta el presente documento debido a que, habiendo detectado la falta del plano Unifilar en el Anexo 7: Cálculos Eléctricos de Red de Media Tensión, se ha procedido a rectificar el citado Anexo v. por medio del presente documento ‘Anexo a la Adenda II’, se procede a aportar el unifilar junto con el resto del Anexo 7 revisado a los efectos de que se incorpore al Proyecto que obra en poder del DEPARTAMENTO DE PRESIDENCIA, ECONOMÍA Y JUSTICIA DEL SERVICIO PROVINCIAL DE TERUEL.

2. Documentación

Se incluye el Anexo 7: Cálculos Eléctricos de Red de Media Tensión correspondiente a la Adenda II (n.º de visado VIZA243278) junto con el unifilar asociado a dicha red de media tensión (Anexo 2).

3. Conclusión

Con todo lo anteriormente expuesto se entiende que queda suficientemente explicada la subsanación e información aportada para el DEPARTAMENTO DE PRESIDENCIA, ECONOMÍA Y JUSTICIA DEL SERVICIO PROVINCIAL DE TERUEL. No obstante, se queda a disposición de las administraciones competentes.

Zaragoza, 13 de junio de 2025
Firmado por:

El Ingeniero Industrial
Al Servicio de Forestalia
D. Aleiandro García Galiano
Colegiado Nº 18.428 C.O.I.I.M.



ADENDA II AL PROYECTO MODIFICADO
PARQUE EÓLICO TOSQUILLA
Anexo 7 Cálculos eléctricos media tensión

ÍNDICE

1. Objeto.....	1
2. Normativa	1
3. Datos de partida.....	1
4. Parque Eólico Tosquilla	2
5. Red de media tensión	3
5.1. Red colectora de energía eléctrica	3
5.2. Red de puesta a tierra.....	7
5.3. Red de fibra óptica.....	8
6. Obra civil. Zanias.....	8
7. Dimensionado de los conductores de potencia.....	9
7.1. Cálculo de la intensidad máxima en régimen permanente	9
7.2. Cálculo de la caída de tensión en régimen permanente	9
7.3. Pérdidas en la red colectora de energía eléctrica	9
7.3.1. Pérdidas eléctricas en los conductores	9
8. Mediciones	10
9. Anexos	11
9.1. Anexo 1: Cálculos de media tensión.....	11
9.2. Anexo 2: Plano Unifilar.....	12

1. Objeto

El objeto de este documento es la justificación eléctrica de los cables de media tensión del Parque Eólico Tosquilla de 49.40 MW en los términos municipales de Gargallo, Estercuel y Eiulve (Teruel), que se ha visto modificado en la longitud de los conductores.

2. Normativa

Todos los materiales usados para el sistema de media tensión y red de tierras deben de estar de acuerdo con la normativa internacional y nacional en su versión más actualizada. Además, han de tenerse en cuenta la normativa y directivas locales.

- IEC 60364: Part 4 “Protección contra el rayo”
- IEC 60364: Part 5 “Instalaciones eléctricas de baja tensión – selección e instalación de los equipos eléctricos. Puesta a tierra y conductores de protección”
- IEC 60364: Part 6 “Verificación de la puesta a tierra”
- IEC 61400: Part 24 “Aerogeneradores – Protección contra el rayo”
- IEC 61936: Part 1 “Instalaciones eléctricas de tensión nominal superior a 1 kV en corriente alterna”
- IEC 61936: Part 2 “Sistema de tierras en instalaciones eléctricas superiores a 1 kV”
- IEC 60502-2: Cables de energía con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones asignadas de ($U_m=1.2$ kV) a 30 kV ($U_m=36$ kV) – Parte 2: Cables para tensiones asignadas de 6 kV ($U_m = 7.2$ kV) a 30 kV ($U_m = 36$ kV).

3. Datos de partida

Los siguientes documentos han sido considerados como datos de partida de esta memoria: Catálogo comercial de Prysmian con los siguientes conductores:

- RHZ1 18/30 kV 1x150 Características del cable se sección 150 mm²
- RHZ1 18/30 kV 1x240 Características del cable se sección 240 mm²
- RHZ1 18/30 kV 1x400 Características del cable se sección 400 mm²
- RHZ1 18/30 kV 1x630 Características del cable se sección 630 mm²

4. Parque Eólico Tosquilla

El Parque Eólico Tosquilla evacuará la energía eléctrica a la subestación eléctrica Guadalopillo I 400/220/30 kV.

La Tabla 1 resume los datos básicos del parque eólico.

Localización		Gargallo, Esterciel y Ejulve en la provincia de Teruel
Aerogenerador		Nordex N163-6.X
Potencia Unitaria	kW	7.000
Número de aerogeneradores a instalar		8
Potencia instalada	kW	49.400
Potencia autorizada	kW	49.400

Tabla 1 Datos generales del Parque Eólico Tosquilla.

5. Red de media tensión

Forman parte de la red eléctrica de media tensión del parque eólico:

- La red colectora de energía eléctrica
- La red de comunicaciones por fibra óptica
- La red de puesta a tierra

5.1. Red colectora de energía eléctrica

Esta red. de topología radial. tiene como función la interconexión de los aerogeneradores del parque eólico con la subestación eléctrica. y permite el transporte de la energía eléctrica generada en cada uno de ellos hasta la subestación. La Tabla 2 contiene las características eléctricas de la red.

	Unidad	Valor
Frecuencia	Hz	50
Tensión nominal	kV	30
Tensión máxima	kV	36
Tensión de ensayo a impulso	kV	170
Nivel de diseño de corriente de cortocircuito en 30 kV		
Duración del cortocircuito	s	3
Intensidad cortocircuito trifásica	kA	25
Intensidad cortocircuito fase-tierra	kA	25
Régimen de neutro		Puesta a tierra mediante reactancia
Caída de tensión máxima		No especificada

Tabla 2. Características eléctricas de la red de media tensión.

Descripción de la conexión

Cada aerogenerador del parque eólico está conectado a su correspondiente transformador instalado en el interior de la góndola de este. En el interior de cada torre se aloja el cuadro de potencia y control del aerogenerador. así como las celdas de entrada y salida de cables de media tensión procedentes de otras torres y de las celdas de protección del transformador. Todos los aerogeneradores tendrán una potencia de hasta 7 MW.

La celda de conexión de cada aerogenerador depende de la posición de este en el esquema de interconexión. Así. se consideran dos tipos de celdas:

- Tipo OL 1P: celda para aerogeneradores situados en extremo de línea.
- Tipo OL 1L 1P: celda para aerogeneradores con posición intermedia.

La conexión del parque con la subestación se realizará por medio de circuitos eléctricos enterrados en zanias dispuestas junto a los caminos. Así, los 8 aerogeneradores estudiados en este parque se disponen en 3 circuitos, agrupados de la siguiente forma:

- Circuito 1: Aerogeneradores nº TOS-05, TOS-04 v TOS-01.
- Circuito 2: Aerogeneradores nº TOS-03 v TOS-02.
- Circuito 3: Aerogeneradores nº TOS-09, TOS-07 v TOS-06.

El circuito eléctrico de Media Tensión del Parque Eólico Tosquilla se dispone en 30 kV v se conectan en un extremo a las celdas de media tensión que a su vez están conectadas con los transformadores de cada turbina, v en su otro extremo con las celdas de media tensión ubicadas en la Subestación Eléctrica Guadalquivir I 400/220/30 kV. El circuito discurre enterrado en una zanja dispuesta, en general, en paralelo a los caminos del parque para minimizar el impacto a la hora de realizar la instalación.

Características de la instalación

Las condiciones de instalación consideradas se muestran en la Tabla 3.

	Unidad	Valor
Instalación		Directamente enterrada
Temperatura del terreno	°C	25
Temperatura máxima del conductor	°C	90
Resistividad térmica del terreno	K m / W	1,5
Profundidad instalación	m	1,1
Distancia entre ternas	cm	20

Tabla 3. Características de instalación de la red eléctrica de media tensión.

El circuito estará protegido en su origen (subestación principal) mediante interruptor automático v relés adecuados que protejan la instalación contra sobrecargas v cortocircuitos.

Los conductores de la red de media tensión estarán dispuestos en zanias directamente enterrados, agrupados por ternas. En cruces de caminos, carreteras v acceso de los conductores a los aerogeneradores, el tendido de estos se realizará alojados en tubos para su protección.

Con el objeto de equilibrar los efectos de inducción entre las diferentes fases, los conductores se dispondrán en forma de triángulo equilátero, embriando o amarrando los conductores cada 8-10 m.

Especificaciones del conductor

El cable elegido para la red colectora está fabricado con conductor de aluminio, aislante de polietileno reticulado (XLPE) con bloqueo longitudinal de agua y un nivel de tensión de 18/30 kV. La elección de aluminio como material conductor responde a un criterio económico, siendo el aluminio más barato que el cobre. Las condiciones del terreno en el que se instalarán los cables, principalmente la humedad, son apropiadas para el material aislante seleccionado.

El nivel de aislamiento seleccionado es del 100%, indicado para sistemas con puesta a tierra o con protecciones que liberen cualquier falta antes de un minuto. Las especificaciones del conductor elegido para la red colectora se muestran en Tabla 4.

	Unidad	Valor
Conductor		Aluminio
Aislante		XLPE
Pantalla		Aluminio/PE
Cubierta		HDPE
Tensión nominal	kV	30
Nivel de aislamiento		100%
Temperatura nominal	°C	90
Temperatura durante cortocircuito	°C	250

Tabla 4. Características del conductor de media tensión.

Cálculo de huelgas o cocas de las secciones

Para el cálculo de las huelgas o cocas se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- 15 metros para la conexión entre la parte superior de la cimentación y las celdas de media tensión.

Por lo tanto, para el caso de secciones entre dos aerogeneradores la huelga o coca es de 30 metros.

Para el caso de sección entre aerogenerador y subestación, la huelga o coca considerada ha sido de 30 metros.

En base a los cálculos realizados, incluidos en esta memoria de cálculo, se muestran en la Tabla 5 las secciones de cable que cumplen los criterios técnicos:

- Intensidad máxima admisible en régimen permanente
- Caída de tensión máxima admisible en régimen permanente

Ante posibles variaciones en las secciones definitivas, se recalcularán los valores de caída de tensión y pérdidas eléctricas en la red colectora en base a las secciones instaladas.

Circuito	Aerogenerador origen	Aerogenerador destino	Sección (mm ²)
1	TOS-05	TOS-04	95
	TOS-04	TOS-01	240
	TOS-01	SET	630
2	TOS-03	TOS-02	150
	TOS-02	SET	400
3	TOS-09	TOS-07	95
	TOS-07	TOS-06	400
	TOS-06	SET	630

Tabla 5. Secciones de cable conductor para la red colectora de energía eléctrica.

Las secciones por las que se ha optado y sus características más importantes dadas por el fabricante son las siguientes:

CONDUCTOR: Aluminio. TRIPLE EXTRUSION: Semiconductor interior Aislamiento de Polietileno reticulado (XLPE). Semiconductor exterior PANTALLA: Hilos de aluminio. CUBIERTA: HDPE. DISEÑO MATERIALES: Según IEC60502. IEC50228.					
Sección mm ²	Intensidad máxima admisible (A)	Resistencia máxima DC a 20 °C (Ω/km)	Resistencia máxima AC a 90 °C (Ω/km)	Capacidad (μF/km)	Intensidad de cortocircuito (1s) (kA)
95	205	0.320	0.403	0.169	9.10
150	260	0.2060	0.2630	0.18	14.1
240	345	0.1250	0.1610	0.22	22.6
400	445	0.0778	0.1020	0.26	37.6
630	575	0.0469	0.0640	0.32	59.2

Tabla 6: Características del conductor utilizado en la conexión entre aerogeneradores.

5.2. Red de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra del parque eólico está formado por:

- Sistema de puesta a tierra del aerogenerador, definido por Nordex.
- Sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica del parque eólico, cuyo diseño no se encuentra en el alcance de este documento.

Ambos sistemas se conectarán con el objetivo de crear una red equipotencial que cubra toda la instalación generadora. Dicha conexión se realiza con cable de cobre desnudo, tendido a lo largo de toda la red de media tensión. La sección de dicho cable debe ser tal que, sin poner en peligro la integridad del cable, permita la circulación de la sobrecorriente producida en el peor caso, siendo éste cuando se produce una falla monofásica.

De acuerdo con el cálculo de la sección para el conductor de puesta a tierra, incluido en la memoria, la sección elegida ha sido superior al valor obtenido, su valor se incluye en la Tabla 7.

	Unidad	Valor
Cable de cobre desnudo	mm ²	70

Tabla 7: Sección del conductor de cobre desnudo para red de puesta a tierra.

5.3. Red de fibra óptica

La red de comunicación con cable de fibra óptica, destinada a establecer las comunicaciones de los aerogeneradores Nordex v el SCADA ubicado en la Subestación Eléctrica Guadalopillo 400/220/30 kV

. está formada por cable de fibra óptica conforme especificaciones de cliente.

6. Obra civil. Zanjas

Los cables que forman la red eléctrica subterránea de media tensión se instalarán en zanjas cuvas características se detallan a continuación. Se han diseñado varios tipos de zanja que se pueden ver el documento 20-2216-06701 01-011. Se exponen a continuación los dos tipos más frecuentes.

Zanja en terreno normal

Construidas a cielo abierto, con una profundidad de 1.20 a 1.50 metros v un ancho que varía en función del número de ternas que se tiendan. La Tabla 8 muestra las dimensiones de zanja según el número de ternas que contenga.

	Zanja tipo 1		Zanja tipo 2		Zanja tipo 3		Zanja tipo 4	
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Ternas		1		2		3		4
Ancho	cm	60	cm	60	cm	90	cm	120
Profundidad	cm	120	cm	120	cm	120	cm	120
	Zanja tipo 5		Zanja tipo 6		Zanja tipo 7			
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Ternas		5		6		7		
Ancho	cm	90	cm	90	cm	120		
Profundidad	cm	150	cm	150	cm	150		

Tabla 8. Dimensiones de zanjas.

Zanja en cruce de viales v canales de riego

En aquellos casos en los que el trazado de zanja cruce viales o canales de riego, la zanja se realizará de acuerdo con el documento 20-2216-06-01 01-011 protegiendo los cables mediante canalización v rellenando con hormigón dicha canalización.

7. Dimensionado de los conductores de potencia

7.1. Cálculo de la intensidad máxima en régimen permanente

Para el cálculo de la corriente eléctrica que circula por cada tramo de la red colectora de energía eléctrica, se han tomado los valores de potencia nominal, capacidad de regulación a plena carga del aerogenerador, pérdidas eléctricas en vacío y en carga del centro de transformación del aerogenerador, y las características eléctricas de la red eléctrica de media tensión (véase Tabla 2).

	Unidad	Valor
Potencia nominal	kW	7.000
Factor de potencia		0,928

Tabla 9: Especificaciones del aerogenerador Nordex N163.

La máxima corriente eléctrica que un aerogenerador inyecta a la red colectora es:

$$I_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos\varphi} = \frac{7000}{\sqrt{3} \times 30 \times 0,928} = 145,16 \text{ A}$$

Donde:

I_k corriente eléctrica máxima que circula por el tramo k en A.

P_k potencia activa nominal del aerogenerador k en kW.

U_n tensión nominal de la red de media tensión en kV.

7.2. Cálculo de la caída de tensión en régimen permanente

La caída de tensión en cada tramo de la red eléctrica de media tensión viene dada por:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_k \times L_k \times (R_k \times \cos\varphi + X_k \times \sin\varphi)$$

Donde:

ΔU caída de tensión, en kV.

I_k intensidad que circula por el tramo k, en A.

L_k longitud del tramo k, en km.

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

R_k resistencia del tramo k, en Ω/km .

X_k reactancia del tramo k, en Ω/km .

7.3. Pérdidas en la red colectora de energía eléctrica

Parte de la energía eléctrica producida por los aerogeneradores se pierde en la red colectora durante el transporte de la energía desde los generadores eléctricos hasta la subestación. Se han calculado estas pérdidas eléctricas en el caso de que todos los aerogeneradores estén trabajando a plena potencia.

7.3.1. Pérdidas eléctricas en los conductores

El valor de las pérdidas eléctricas en los conductores viene dado por la expresión:

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R_L \times L$$

Donde:

ΔP pérdidas eléctricas en el conductor, en W

I corriente eléctrica que circula por el conductor, en A

R_L resistencia eléctrica del conductor por unidad de longitud, en Ω/km

L longitud del tramo k, en km

8. Mediciones

En este capítulo se hace un resumen de las mediciones finales de cable para la ejecución de la red eléctrica subterránea de media tensión:

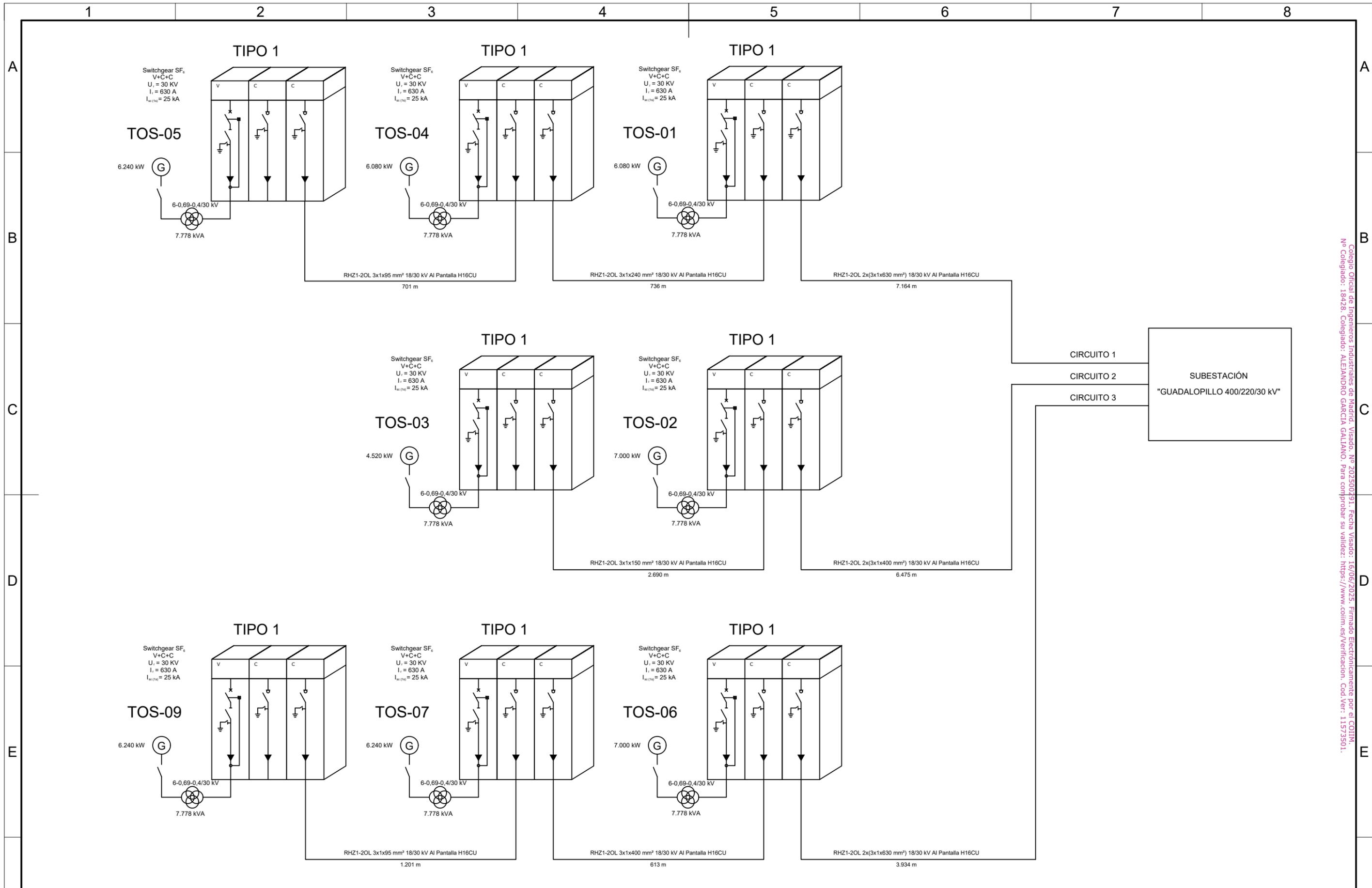
	Unidad	Valor
Conductor RHZ1 18/30 kV 1x95 mm ²	m	5.706
Conductor RHZ1 18/30 kV 1x150 mm ²	m	8.070
Conductor RHZ1 18/30 kV 1x240 mm ²	m	2.208
Conductor RHZ1 18/30 kV 1x400 mm ²	m	40.689
Conductor RHZ1 18/30 kV 1x630 mm ²	m	66.588

Tabla 10: Mediciones cables Parque Eólico Tosquilla

9. Anexos

9.1. Anexo 1: Cálculos de media tensión

9.2. Anexo 2: Plano Unifilar



Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202500391. Fecha Visado: 16/06/2025. Firmado Electrónicamente por el COIIM.
 Nº Colegiado: 18428. Colegiado: ALEJANDRO GARCIA GALLANO. Para comprobar su validez: https://www.colim.es/verificacion. Cod. Ver: 11573501.

Autor : 	Proyecto: PARQUE EÓLICO TOSQUILLA					Tipo: ADENDA II AL PROYECTO MODIFICADO	ESCALA : S/E	DIN A3	
	Plano: DIAGRAMA UNIFILAR MEDIA TENSIÓN	00 EDICIÓN ORIGINAL	16/01/24	ACG	JSP	AGL	N° Plano: TOS-231211-EE-DW-02		
		REV. DESCRIPCIÓN	Fecha	Dibujado	Revisado	Aprobado	Hoja: 1 de 1		

Todos los derechos reservados. La reproducción total o parcial de este dibujo sin autorizacion del propietario está prohibida.