

MODIFICACIÓN DEL PROYECTO

LAAT 220 KV SC DE SET RUEDA ESTE 220/30 KV

A SET PRE-RUEDA 400/220KV

COLEGIO NACIONAL DE INGENIEROS ICAI. VISADO nº: 0506/22. Fecha: 04/11/2022. Firmado electrónicamente por el COLEGIO NACIONAL DE INGENIEROS ICAI. Autenticidad verificable mediante CSV: FVKFWJW8NDSQIC2L
Autenticidad verificable a través de la página: <https://gestordocumentos.icali.es/ValidarCSV.aspx>



VISADO

VISADO: 0506/22 - Fecha: 4/11/2022
Documento sellado con firma electrónica




FERNANDEZ DE BORDONS, RAMON (FIRMA)
Soy el autor de este documento
Femab SL (Grupo Sisener Ingenieros) - San
Sebastián de los Reyes (Madrid) - 91 4057562 /
Colegiado Ing del ICAI nº 1813/1024
2022.11.04 12:30:31 +01'00'

INDICE

1. MEMORIA	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objeto	3
1.3. Peticionario y compañía suministradora	3
1.4. Normativa aplicable	3
1.5. Emplazamiento	4
1.6. Descripción del trazado de la línea	5
1.6.1. Relación cruzamientos proyecto	8
1.6.2. Relación paralelismos proyecto	14
1.7. Relación de Organismos afectados	15
1.7.1. Relación cruzamientos y paralelismos por Organismos afectados	15
1.7.1.1. Confederación Hidrográfica del Ebro	15
1.7.1.2. Dirección General de Carreteras del Gobierno de Aragón	15
1.7.1.3. Endesa Distribución Eléctrica S.L.	16
1.7.1.4. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)	16
1.7.1.5. Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA)	16
1.7.1.6. Telefónica S.A.	17
1.8. Coordenadas de los apoyos de la línea	18
1.9. Descripción de la instalación	19
1.9.1. Características generales	19
1.9.2. Características de los materiales	20
1.9.2.1. Conductor	20
1.9.2.2. Cable tierra	20
1.9.2.3. Aislamiento	21
1.9.2.4. Herrajes	22
1.9.2.5. Apoyos y cimentaciones	22
1.9.2.6. Puesta a tierra	30
1.9.2.7. Numeración y aviso de peligro	30
1.9.2.8. Antivibradores	31
1.9.2.9. Dispositivos salvapájaros	31
1.10. Cálculos	32
1.10.1. Cálculo eléctrico	32
1.10.1.1. Características generales	32
1.10.1.2. Características del conductor	32
1.10.1.3. Condiciones ambientales del proyecto	33
1.10.1.4. Resistencia	33
1.10.1.5. Reactancia	34
1.10.1.6. Susceptancia	35
1.10.1.7. Conductancia	36
1.10.1.8. Ecuaciones de parámetros distribuidos de la línea	36
1.10.1.9. Impedancias secuenciales	37
1.10.1.10. Equivalente en π de la línea	41
1.10.1.11. Caída de tensión	41

1.10.1.12. Potencia máxima de transporte	43
1.10.1.1. Efecto corona	45
1.10.1.2. Pérdidas de potencia	47
1.10.1.3. Campo Eléctrico en las proximidades de la línea	48
1.10.1.4. Nivel de ruido audible	49
1.10.1.5. Potencia de transporte en función de temperatura.....	50
1.10.1.6. Potencia máxima de transporte por estaciones del año	56
1.10.1.7. Aislamiento.....	58
1.10.2. Cálculo mecánico de conductores	61
1.10.2.1. Características de la línea	61
1.10.2.2. Características del conductor	61
1.10.2.3. Acciones consideradas	61
1.10.2.4. Hipótesis de partida	62
1.10.2.5. Hipótesis de cálculo	63
1.10.2.6. Vano ideal de regulación	64
1.10.2.7. Comparación de hipótesis	67
1.10.2.8. Tabla de regulación	69
1.10.2.9. Distancias.....	79
1.10.3. Distancia entre conductores.....	85
1.10.4. Cálculo mecánico del cable de fibra óptica.....	86
1.10.4.1. Características de la línea	86
1.10.4.2. Características del cable de fibra óptica	86
1.10.4.3. Acciones consideradas	86
1.10.4.4. Hipótesis de partida	87
1.10.4.5. Hipótesis de cálculo	87
1.10.4.6. Vano ideal de regulación	89
1.10.4.7. Comparación de hipótesis	92
1.10.4.8. Tabla de regulación	94
1.10.5. Cálculo mecánico de apoyos	107
1.10.5.1. Hipótesis normales	107
1.10.5.2. Hipótesis anormales	115
1.10.5.3. Tablas de resultados.....	118
1.10.6. Cálculo mecánico de cimentaciones.....	133
1.10.6.1. Comprobación al arranque	133
1.10.6.2. Comprobación a la compresión	133
1.10.6.3. Cimentaciones fraccionadas	134
1.10.6.4. Cimentaciones monobloque	137
1.10.6.5. Dimensiones propuestas	139
1.10.7. Puesta a tierra	140
1.10.7.1. Electrodo de puesta a tierra	141
1.10.7.2. Línea de tierra	142
1.11. Prescripciones especiales	144
1.11.1. Cruzamientos	144
1.11.1.1. Líneas eléctricas y de telecomunicación	144

1.11.1.2. Terreno, caminos, sendas y cursos de agua no navegables	145
1.11.1.3. Carreteras y ferrocarriles sin electrificar	145
1.11.1.4. Cañadas, coladas y vías pecuarias	145
1.11.1.5. Ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses	145
1.11.2. Paralelismos	146
1.11.2.1. Líneas eléctricas aéreas	146
1.11.2.2. Ferrocarriles electrificados	146
1.12. Seguridad y Salud	147
1.13. Relación de Bienes y Derecho Afectados	147
1.14. Cronograma	147
1.15. Conclusión	149
2. PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS	150
2.1. Objeto y campo de aplicación	151
2.2. Normativa aplicable	151
2.3. Replanteo y medición	151
2.4. Ejecución del trabajo	151
2.4.1. Líneas Aéreas	151
2.4.1.1. Accesos a la situación de los apoyos	151
2.4.1.2. Trabajos en los cruzamientos	151
2.4.1.3. Apertura de pozos	152
2.4.1.4. Transporte y acopio a pie de pozo	152
2.4.1.5. Cimentaciones	153
2.4.1.6. Armado de apoyos	154
2.4.1.7. Protección de las superficies metálicas	154
2.4.1.8. Izado de apoyos	154
2.4.1.9. Tendido, empalme, tensado y retencionado	154
2.4.1.10. Reposición del terreno	158
2.4.1.11. Numeración de apoyos. Avisos de peligro eléctrico	158
2.4.1.12. Puesta a tierra	158
2.5. Materiales	158
2.5.1. Apoyos	159
2.5.2. Herrajes	159
2.5.3. Aisladores	159
2.5.4. Conductor	159
2.5.5. Salvapájaros	159
2.5.6. Señalizaciones diurnas (bolas)	159
2.6. Recepción de obra	159
2.6.1. Calidad de cimentaciones	160
2.6.2. Tolerancias de ejecución	160
2.6.2.1. Desplazamiento de apoyos sobre su alineación.	160
2.6.2.2. Desplazamiento de un apoyo sobre el perfil longitudinal	160
2.6.2.3. Verticalidad de los apoyos.	160
2.6.2.4. Altura de flechas.	160
2.6.2.5. Estado y colocación de los aisladores y herrajes.	160

2.6.2.6. Distancias a masa.....	161
2.7. Plan de seguridad y salud de la obra.	161
2.8. Planning de ejecución de la obra.	161
2.9. Dirección de obra.....	161
3. PLANOS.....	163
3.1. Lista de planos.....	164
4. PRESUPUESTO	165
4.1. Presupuesto.....	166
4.1.1. Suministro equipos eléctricos	166
4.1.2. Montaje equipos eléctricos.....	168
4.1.3. Obra Civil.....	170
4.1.4. Resumen de presupuestos	171
5. ANEXOS	172
ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	173
ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS	174
RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS	175

1. MEMORIA

1.1. Antecedentes

Compañía Energética Aragonesa de Renovable, SL, en adelante CEAR, con C.I.F. B-99371239, es una sociedad cuyo objeto es el desarrollo de proyectos de energías renovables.

CEAR proyecta desarrollar la línea aérea de alta tensión LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV que transcurre por los términos municipales de Épila, Lumpiaque y Rueda de Jalón, provincia de Zaragoza.

Esta línea parte desde la subestación SET RUEDA ESTE 220/30 kV, en la que evacúan los proyectos PE Rueda Sur Wind 3 (45MW) y FV Rueda Sur Solar 2 (23MWp/20,6MW) ambos desarrollados por CEAR, transportando la energía producida a través de un simple circuito de 220kV en el lado este hasta el apoyo nº DC1 en el cual se une otra línea de 220 kV en el lado oeste denominada LAAT 220 kV SET RUEDA OESTE 220/30 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV, la cual transporta la energía generada por los proyectos PE Rueda Sur Wind 1, PE Rueda Sur Wind 2 y FV Rueda Sur Solar 1, todos desarrollados por CEAR. Ambas líneas forman una Y, de forma que los circuitos Este y Oeste, convergen en un punto donde el apoyo cambia para albergar en un mismo trazado un doble circuito hasta la entrada sur de la subestación SET PRE-RUEDA 400/220 kV. La entrada sur de los circuitos Este y Oeste a dicha subestación, se produce en dos posiciones en barras 220kV, una para cada uno de ellos.

Asimismo, y de forma análoga, la subestación PRE-RUEDA se comparte con otros proyectos procedentes del Grupo Jorge y cuya conexión a la misma se realiza de forma simétrica desde el norte. Finalmente, de la SET PRE-RUEDA, sale una línea de 400kV hasta la Subestación de conexión Rueda de Jalón 400kV (REE). Tanto la SET PRE-RUEDA como la LAAT 400kV son objeto de otros proyectos.

Tras el proceso de exposición pública del PROYECTO LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV, CEAR recibe una serie de comentarios y alegaciones de los organismos afectados que provocan la necesidad de realizar una modificación del trazado propuesto inicialmente.

El proyecto LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV fue firmado por el Ingeniero Javier Sanz Osorio colegiado nº 6.134 del Colegio Oficial de Peritos e Ingenieros Técnicos de Aragón y visado con fecha 10/12/2020 bajo el número VIZA207335. Su presupuesto ascendía a 1.468.261,51 euros. Las infraestructuras descritas en esta modificación de proyecto sustituyen a las del proyecto original.

La compañía CEAR inició en diciembre de 2020 el procedimiento de solicitud Administrativa Previa y de Construcción y la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto SET RUEDA ESTE 30/220 kV y LAAT 220 kV DESDE SET RUEDA ESTE – SET PRE-RUEDA 220/400 kV (correspondiéndole el número de expediente “**AT 2021/002**”). Junto a la solicitud se adjuntaron tanto el proyecto técnico administrativo de la LAAT 220 kV DESDE SET RUEDA ESTE – SET PRE-RUEDA 220/400 kV, como su correspondiente Estudio de impacto ambiental-EsIA.

Posteriormente, CEAR solicita el cambio de titularidad del proyecto a favor de la sociedad vehículo RUEDA SUR Wind 3, S.L. con CIF B-06825566; a lo que la Dirección General de Energía y Minas del Gobierno de Aragón muestra su conformidad.

El presente documento supone una modificación del trazado de dicha línea planteada en el PROYECTO DE LAAT 220 kV SC SET RUEDA ESTE 220/30 kV– SET PRE-RUEDA 400/220 kV.

1.2. Objeto

El objeto del presente DOCUMENTO incluye el estudio, descripción y valoración de la modificación realizada en el proyecto de la LAAT 220 kV SC SET RUEDA ESTE 220/30 kV - SET PRE RUEDA 400/220 kV y que permita la evacuación de la energía eléctrica generada en los parques PE Rueda Sur Wind 3 (45MW) y PFV Rueda Sur Solar 2 (20,6 MW).

Esta MODIFICACIÓN está de acuerdo con lo dispuesto en la ley 24/2013 de 26 de diciembre del Sector Eléctrico, para informar a la Administración sobre las características de la línea a fin de obtener las correspondientes autorizaciones.

A tal efecto, la MODIFICACIÓN DEL PROYECTO tiene en cuenta las normas que el ministerio de Industria y Energía da en el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, conforme Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero de 2008 por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

El objeto de la presente MODIFICACIÓN DEL PROYECTO es obtener su Autorización Administrativa Previa y Aprobación como Proyecto de Ejecución.

1.3. Peticionario y compañía suministradora

El petitionerio del proyecto es sociedad RUEDA SUR WIND 3, S.L. con C.I.F B-06825558, el cuál resultará titular de la instalación una vez obtenga de la Administración competente las respectivas autorizaciones.

RUEDA SUR WIND 3, S.L.

CIF: B-06825558

Domicilio social: Paseo Sagasta 72, 4º izda. Zaragoza (50006)

Persona de contacto: Cristina Forastieri

Teléfono de contacto: 976 235 502

e-mail: cristina@cear-renovables.com

1.4. Normativa aplicable

- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITCRAT 01 a 23.
- RD 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

- Normalización Nacional. Normas UNE y especificaciones técnicas de obligado cumplimiento según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 02.
- Recomendaciones UNESA
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión.
- Recomendaciones CIGRÉ
- Recomendaciones IEEE
- Normativa IEC
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1997 sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en las obras
- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados y Ordenanzas Municipales.

1.5. Emplazamiento

Tal como se muestra en el plano de situación la instalación está ubicada en la provincia de Zaragoza, y discurre por los términos municipales de Épila, Lumpiaque y Rueda de Jalón.

1.6. Descripción del trazado de la línea

La línea aérea original objeto del PROYECTO LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV presentaba una longitud total aproximada de 7.645 metros.

La línea aérea objeto de esta MODIFICACIÓN DE PROYECTO, tiene una longitud de 7.967,35 metros. Su origen es SET RUEDA ESTE 220/30 kV (coordenadas X=644.343 Y=4.607.446 / UTM ETRS89 Huso 30), y el final de la línea será SET PRE-RUEDA 400/220 kV (coordenadas X=642.305 Y=4.612.068 / UTM ETRS89 Huso 30).

El trazado discurre desde la SET RUEDA ESTE y se compone de 13 vértices hasta llegar a la SET PRE-RUEDA.

La línea de evacuación LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV comparte el final de su trazado, de 3.628,76 metros de longitud, con la línea de evacuación LAAT 220 kV SET RUEDA OESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV.

Tras el estudio de Relación de Bienes y Derechos Afectados las superficies afectadas por la instalación de la línea son de 38.400,00 m² de superficie de ocupación temporal y de 79.795,24 m² de superficie de ocupación permanente.

La línea objeto de esta MODIFICACIÓN DE PROYECTO produce una afección en su vano N°24 entre los apoyos DC10 y DC11 sobre una línea de 45 kV de Endesa Distribución Eléctrica S.L. al realizar el cruzamiento.

Este cruzamiento no se ha tenido en cuenta en la presente MODIFICACIÓN DE PROYECTO debido a que dicha línea de Endesa Distribución Eléctrica S.L. va a ser retranqueada de tal manera que no se produzca afección sobre la misma.

A continuación se describe la línea por tramos:

- **Tramo N°1:** SET RUEDA ESTE 220/30kV a apoyo N° DC1 LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE– SET PRE RUEDA.
 - Trazado aéreo de 4.338,59 metros de longitud.
 - Conductor AAAC A3 400.
 - Configuración simple circuito simplex en tresbolillo.
- **Tramo N°2:** Apoyo N° DC1 LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE - SET PRE-RUEDA a SET PRE RUEDA 400/220kV.
 - Trazado aéreo de 3.628,76 metros de longitud.
 - Conductor AAAC A3 400.
 - Configuración doble circuito simplex en bandera para el tramo de doble circuito en donde la línea comparte apoyos con la LAAT 220kV SET RUEDA OESTE 220/30kV – SET PRE-RUEDA 400/220kV, siendo el segundo circuito el de la LAAT 220kV SET RUEDA ESTE 220/30kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV.

A continuación se muestran los municipios por los que discurre la línea y los cruza-
mientos que existen en cada municipio por alineaciones:

Provincia: ZARAGOZA

Término municipal: Épila

Longitud: 4.522,35 m

Nº Alineación	Apoyo inicial	Apoyo final	Ángulo con siguiente alineación (g)	Longitud (m)	Cruzamientos
1	PÓRTICO	SC1	160,19	48,82	-
2	SC1	SC2	215,60	383,83	Nº1 COLADA CABEZO DE PUTIÑO Nº2 COLADA CABEZO DE PUTIÑO Nº3 CAMINO S/N
3	SC2	SC3	168,16	403,42	Nº4 CAMINO S/N Nº5 ARROYO S/N Nº6 CAMINO S/N
4	SC3	SC5	226,97	552,63	Nº7 ARROYO S/N Nº8 LMT 15 KV Nº9 REGATO S/N Nº10 CAMINO S/N Nº11 ACEQUIA DEL MOLINAR Nº12 LMT 15 KV
5	SC5	SC8	263,31	1.124,28	Nº13 LÍNEA TELECOMUNICACIONES Nº14 REGATO S/N Nº15 CRTA. A-2304 PK:4.488 Nº16 CAMINO S/N Nº17 REGATO S/N Nº18 REGATO S/N Nº19 RÍO JALÓN Nº20 REGATO S/N Nº21 CAMINO S/N Nº22 CRTA. A-122 PK:24.034 Nº23 LÍNEA TELECOMUNICACIONES
6	SC8	SC10	145,21	676,34	Nº24 CAMINO S/N Nº25 REGATO S/N Nº26 REGATO S/N Nº27 REGATO S/N Nº28 CAMINO S/N Nº29 REGATO S/N Nº30 REGATO S/N Nº31 CAMINO S/N Nº32 REGATO S/N Nº33 REGATO S/N
7	SC10	SC13	224,95	918,84	Nº34 REGATO S/N Nº35 FERROCARRIL ZARAGOZA-ARCOS DE JALÓN- MADRID CHAMARTÍN Nº36 REGATO S/N Nº37 ACEQUIA DE MARECA Nº38 ACEQUIA S/N Nº39 CAMINO SANTUARIO RODANAS Nº40 LMT 15 KV Nº41 CAMINO S/N Nº42 CAMINO S/N
8	SC13	DC1	256,92	229,43	Nº43 CAMINO CABEZO BLANCO
9	DC1	DC4	-	184,76	-

Provincia: ZARAGOZA

Término municipal: Lumpiaque

Longitud: 2.155,89 m

Nº Alineación	Apoyo inicial	Apoyo final	Ángulo con siguiente alineación (g)	Longitud (m)	Cruzamientos
9	DC1	DC4	226,44	968,50	Nº44 CAMINO DEL CARRASCAL Nº45 ACEQUIA S/N Nº46 ACEQUIA S/N Nº47 CRTA- A-122 PK:21.458 Nº48 ACEQUIA S/N Nº49 BARRANCO DEL RANÉ Nº50 CAMINO DEL CEMENTERIO Nº51 CAMINO S/N
10	DC4	DC5	165,16	265,20	Nº52 CAMINO DEL COLLADO Nº53 CAMINO S/N
11	DC5	DC6	221,73	254,50	Nº54 CRTA. A-122 PK:20.725 Nº55 CAMINO S/N Nº56 CAMINO S/N
12	DC6	DC9	-	667,69	Nº57 CAMINO S/N Nº58 CAMINO DE LAS HERAS

Provincia: ZARAGOZA

Término municipal: Rueda de Jalón

Longitud: 1.289,11 m

Nº Alineación	Apoyo inicial	Apoyo final	Ángulo con siguiente alineación (g)	Longitud (m)	Cruzamientos
12	DC6	DC9	263,95	484,91	Nº59 CAMINO DEL PLANO
13	DC9	DC11	138,17	770,70	Nº60 LMT 15 KV Nº61 ARROYO S/N Nº62 CRTA. A-1303 PL:30.879 Nº63 VEREDA DE RUEDA DE JALÓN A HOYA REDONDA O DE LA ANDRESA Nº64 CAMINO DE LA CONDESA DE PEDROLA
14	DC11	PÓRTICO	-	33,50	-

Para la redacción de este proyecto se ha realizado un trabajo de campo, consistente en un estudio de trazado y unas mediciones de campo de precisión con equipos GPS diferencial. Para la validar los cruces con las líneas existentes se han medido las alturas de estas líneas, utilizado los medios adecuados.

Los trabajos han consistido en:

ESTUDIO DE TRAZADO LAT

- Estudio de alternativas de trazado, considerando la legislación española aplicable.
- Selección del trazado más adecuado en campo, considerando los condicionantes ambientales que se han identificado.
- Se han considerado los condicionantes impuestos por las infraestructuras existentes.
- Definición y estaquillado de los vértices de la línea, comprobando insitu si existen instalaciones y construcciones que puedan condicionar el trazado de la línea, y comprobando que se ubican en lugares accesibles.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

- Ubicación de los vértices de la línea, y de los puntos de cruce con infraestructuras, con GPS
- Medición de las alturas de los cables de las líneas que cruza el trazado.

1.6.1. Relación cruzamientos proyecto

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
1	SC1	SC2	383,83	-	-	7,00	13,65	COLADA CABEZO DE PUTIÑO	INSTITUTO ARAGONES DE GESTION AMBIENTAL	644.236	4.607.491
2	SC1	SC2	383,83	-	-	7,00	10,98	COLADA CABEZO DE PUTIÑO	INSTITUTO ARAGONES DE GESTION AMBIENTAL	644.158	4.607.502
3	SC1	SC2	383,83	-	-	7,00	15,67	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	644.004	4.607.525
4	SC2	SC3	403,42	-	-	7,00	14,01	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	643.820	4.607.580
5	SC2	SC3	403,42	88,40	-	7,00	16,34	ARROYO S/N	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	643.654	4.607.649
6	SC2	SC3	403,42	-	-	7,00	16,88	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	643.634	4.607.657
7	SC3	SC4	245,30	36,60	-	7,00	17,89	ARROYO S/N	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	643.383	4.607.671
8	SC3	SC4	245,30	17,60	6,60	4,50	6,72	LMT 15 KV	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELECTRICA S.L.	643.329	4.607.665
9	SC4	SC5	307,33	-	-	7,00	14,94	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	643.210	4.607.652
10	SC4	SC5	307,33	-	-	7,00	17,55	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	643.093	4.607.639

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
11	SC4	SC5	307,33	-	-	7,00	17,55	ACEQUIA DEL MOLINAR	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	643.085	4.607.638
12	SC4	SC5	307,33	50,90	54,20	4,50	6,82	LMT 15 KV	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA S.L.	643.057	4.607.635
13	SC5	SC6	284,50	85,80	24,20	3,20	18,37	LÍNEA TELECOMUNICACIONES	TELEFÓNICA DE ESPAÑA S.A.	642.924	4.607.656
14	SC5	SC6	284,50	-	-	7,00	23,42	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.910	4.607.661
15	SC5	SC6	284,50	93,20	-	9,20	26,06	CRTA. A-2304 PK:4.488	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGÓN	642.861	4.607.677
16	SC6	SC7	696,80	-	-	7,00	23,77	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.643	4.607.747
17	SC6	SC7	696,80	-	-	7,00	16,77	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.585	4.607.766
18	SC6	SC7	696,80	-	-	7,00	10,55	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.563	4.607.773
19	SC6	SC7	696,80	320,30	-	7,00	8,61	RÍO JALÓN	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	642.420	4.607.820
20	SC6	SC7	696,80	-	-	7,00	8,74	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.350	4.607.843
21	SC6	SC7	696,80	-	-	7,00	22,28	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	642.186	4.607.896

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
22	SC6	SC7	696,80	74,50	-	9,20	24,50	CRTA. A-122 PK:24.034	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGÓN	642.150	4.607.908
23	SC6	SC7	696,80	14,00	8,40	3,20	26,72	LÍNEA TELECOMUNICACIONES	TELEFÓNICA DE ESPAÑA S.A.	642.086	4.607.929
24	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	17,27	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.929	4.608.008
25	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	11,87	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.900	4.608.115
26	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	12,30	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.883	4.608.178
27	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	12,24	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.877	4.608.200
28	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	14,28	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.864	4.608.248
29	SC8	SC9	322,90	-	-	7,00	17,91	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.859	4.608.268
30	SC9	SC10	353,40	-	-	7,00	11,66	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.829	4.608.379
31	SC9	SC10	353,40	-	-	7,00	12,53	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.796	4.608.504
32	SC9	SC10	353,40	-	-	7,00	18,12	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.777	4.608.574
33	SC9	SC10	353,40	-	-	7,00	19,20	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.776	4.608.576
34	SC10	SC11	252,70	-	-	7,00	23,08	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.738	4.608.642

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
35	SC10	SC11	252,70	95,60	-	5,20	6,95	LÍNEA FERROCARRIL ZARAGOZA-ARCOS DE JALÓN-MADRID CHAMARTÍN	ADMINISTRADOS DE ESTRUCTURAS FERROVIARIAS	641.665	4.608.677
36	SC11	SC12	338,20	-	-	7,00	19,01	REGATO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.505	4.608.754
37	SC11	SC12	338,20	-	-	7,00	13,95	ACEQUIA DE MARECA	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.342	4.608.832
38	SC11	SC12	338,20	-	-	7,00	19,12	ACEQUIA S/N	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	641.279	4.608.862
39	SC11	SC12	338,20	-	-	7,00	20,98	CAMINO SANTUARIO DE RODANAS	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.254	4.608.875
40	SC12	SC13	243,50	20,10	14,30	4,50	7,31	LMT 15 KV	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA S.L.	641.211	4.608.895
41	SC12	SC13	243,50	-	-	7,00	20,28	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.188	4.608.906
42	SC12	SC13	243,50	-	-	7,00	19,97	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	641.021	4.608.986
43	SC13	DC1	224,95	-	-	7,00	14,35	CAMINO CABEZO BLANCO	AYUNTAMIENTO DE ÉPILA	640.788	4.609.191
44	DC2	DC3	379,70	-	-	7,00	12,89	CAMINO DEL CARRASCAL	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.850	4.609.632
45	DC2	DC3	379,70	-	-	7,00	18,66	ACEQUIA S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.868	4.609.740

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
46	DC3	DC4	521,80	-	-	7,00	16,34	ACEQUIA S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.897	4.609.919
47	DC3	DC4	521,80	91,30	-	9,20	12,19	CRTA. A-122 PK:21.458	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGON	640.912	4.610.009
48	DC3	DC4	521,80	-	-	7,00	12,21	ACEQUIA S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.915	4.610.020
49	DC3	DC4	521,80	-	-	7,00	13,41	BARRANCO DE RANÉ	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	640.918	4.610.041
50	DC3	DC4	521,80	-	-	7,00	14,11	CAMINO DEL CEMENTERIO	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.942	4.610.191
51	DC3	DC4	521,80	-	-	7,00	14,72	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	640.949	4.610.238
52	DC4	DC5	265,20	-	-	7,00	21,40	CAMINO DEL COLLADO	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.050	4.610.467
53	DC4	DC5	265,20	-	-	7,00	20,83	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.059	4.610.480
54	DC5	DC6	254,50	68,90	-	9,20	12,90	CRTA. A-122 PK:20.725	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGÓN	641.113	4.610.650
55	DC5	DC6	254,50	-	-	7,00	13,01	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.113	4.610.665
56	DC5	DC6	254,50	-	-	7,00	10,37	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.114	4.610.701

Nº Cruzamiento	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Longitud vano (m)	Distancia al apoyo más próximo (m)	Distancia al apoyo de la línea que cruza (m)	Distancia vertical teórica (m)	Distancia vertical real (m)	Afección	Organismo propietario	Coordenadas U.T.M.	
										X	Y
57	DC6	DC7	359,80	-	-	7,00	16,64	CAMINO S/N	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.185	4.610.986
58	DC6	DC7	359,80	-	-	7,00	14,67	CAMINO DE LAS HERAS	AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE	641.215	4.611.063
59	DC8	DC9	437,10	-	-	7,00	11,70	CAMINO DEL PLANO	AYUNTAMIENTO DE RUEDA DE JALÓN	641.439	4.611.640
60	DC9	DC10	365,20	61,60	65,00	4,50	8,19	LMT 15 KV	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA S.L.	641.604	4.611.901
61	DC9	DC10	365,20	-	-	7,00	16,14	ARROYO S/N	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	641.629	4.611.906
62	DC9	DC10	365,20	85,60	-	9,20	14,40	CRTA. A-1303 PK:30.879	DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGÓN	641.777	4.611.935
63	DC9	DC10	365,20	-	-	7,00	14,84	VEREDA DE RUEDA DE JALÓN A HOYA REDONDA	INSTITUTO ARAGONES DE GESTIÓN AMBIENTAL	641.783	4.611.937
64	DC9	DC10	365,20	-	-	7,00	22,44	CAMINO DE LA CONDESA DE PEDROLA	AYUNTAMIENTO DE RUEDA DE JALÓN	641.870	4.611.954

1.6.2. Relación paralelismos proyecto

Nº PARALELISMO	ENTRE APOYOS	LONG. AFECCIÓN (m)	ALTURA APOYO MAYOR (m)	D _{MINIMA} (m)	TIPO DE PARALELISMO	ORGANISMO PROPIETARIO
1	DC1-DC9	2.824,58	41,50	70,16	AVE MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA	ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
2	DC6-DC9	1.152,60	41,50	63,90	LMT 15 KV	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA S.L.

1.7. Relación de Organismos afectados

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL GOBIERNO DE ARAGÓN
- ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA, S.L
- ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS (ADIF)
- INSTITUTO ARAGONES DE GESTIÓN AMBIENTAL (INAGA)
- TELEFÓNICA S.A.
- AYUNTAMIENTO DE ÉPILA
- AYUNTAMIENTO DE LUMPIAQUE
- AYUNTAMIENTO DE RUEDA DE JALÓN

1.7.1. Relación cruzamientos y paralelismos por Organismos afectados

1.7.1.1. Confederación Hidrográfica del Ebro

1.7.1.1.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
5	SC2 – SC3	403,42	ARROYO S/N
7	SC3 – SC4	245,30	ARROYO S/N
11	SC4 – SC5	307,30	ACEQUIA DEL MOLINAR
19	SC6 – SC7	696,80	RÍO JALÓN
38	SC11 – SC12	338,20	ACEQUIA S/N
49	DC3 – DC4	521,80	BARRANCO DE RANÉ
61	DC9 – DC10	365,20	ARROYO S/N

1.7.1.2. Dirección General de Carreteras del Gobierno de Aragón

1.7.1.2.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
15	SC5 – SC6	284,50	CRTA. A-2304 PK: 4,488
22	SC6 – SC7	696,80	CRTA. A-122 PK: 24,034
47	DC3 – DC4	521,80	CRTA. A-122 PK: 21,458
54	DC5 – DC6	254,50	CRTA. A-122 PK: 20,725
62	DC9 – DC10	365,20	CRTA. A-1303 PK: 30,879

1.7.1.3. Endesa Distribución Eléctrica S.L.

1.7.1.3.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
8	SC3 – SC4	245,30	LMT 15 KV
12	SC4 – SC5	307,33	LMT 15 KV
40	SC12 – SC13	243,50	LMT 15 KV
60	DC9 – DC10	365,20	LMT 15 KV

1.7.1.3.2. Paralelismos

Nº PARALELISMO	ENTRE APOYOS	LONG. AFECCIÓN (m)	DIST. MÍNIMA (m)	ELEMENTO PARALELO
2	DC6 – DC9	1.152,60	63,90	LMT 15 KV

1.7.1.4. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)

1.7.1.4.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
35	SC10 – SC11	252,70	FERROCARRIL ZARAGOZA- ARCOS DE JALÓN-MADRID CHAMARTÍN PK:297.574

1.7.1.4.2. Paralelismos

Nº PARALELISMO	ENTRE APOYOS	LON. AFECCIÓN (m)	Distancia mínima (m)	ELEMENTO PARALELO
1	DC1 – DC9	2.824,58	70,16	AVE MADRID- ZARAGOZA- BARCELONA

1.7.1.5. Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA)

1.7.1.5.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
1	SC1 – SC2	383,83	COLADA CABEZO DE PUTIÑO
2	SC1 – SC2	383,83	COLADA CABEZO DE PUTIÑO
63	DC9 – DC10	365,20	VEREDA DE RUEDA DE JALÓN A HOYA REDONDA

1.7.1.6. Telefónica S.A.

1.7.1.6.1. Cruzamientos

Nº CRUZAMIENTO	ENTRE APOYOS	VANO (m)	ELEMENTO QUE SE CRUZA
13	SC5 – SC6	284,50	LÍNEA TELECOMUNICACIONES
23	SC6 – SC7	696,80	LÍNEA TELECOMUNICACIONES

1.8. Coordenadas de los apoyos de la línea

En la siguiente tabla se muestran las coordenadas de los apoyos de la línea en proyección UTM utilizando el Datum ETRS-89 en el huso 30. Las cotas de los apoyos de la línea referidas al nivel medio del mar se muestran en la siguiente tabla:

Nº Apoyo	Tipo	X UTM	Y UTM	Z
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PÓRTICO	644.343	4.607.446	347,50
SC1	FL	644.308	4.607.480	346,53
SC2	AG-AM	643.928	4.607.536	345,90
SC3	AG-AM	643.555	4.607.690	332,15
SC4	AL-S	643.311	4.607.663	317,06
SC5	AG-AM	643.006	4.607.629	312,95
SC6	AL-AM	642.735	4.607.717	305,23
SC7	AL-AM	642.073	4.607.933	306,99
SC8	AG-AM	641.937	4.607.977	308,46
SC9	AL-S	641.855	4.608.281	305,80
SC10	AG-AM	641.762	4.608.630	307,92
SC11	AL-AM	641.534	4.608.740	306,62
SC12	AL-S	641.229	4.608.887	315,03
SC13	AG-AM	640.993	4.609.029	326,72
DC1	FL	640.780	4.609.200	333,81
DC2	AL-S	640.820	4.609.447	335,17
DC3	AL-AM	640.881	4.609.822	317,13
DC4	AG-AM	640.965	4.610.337	343,68
DC5	AG-AM	641.110	4.610.559	326,97
DC6	AG-AM	641.118	4.610.814	327,27
DC7	AL-S	641.248	4.611.149	328,13
DC8	AL-S	641.377	4.611.480	328,51
DC9	AG-AM	641.536	4.611.888	324,07
DC10	AL-S	641.894	4.611.959	320,39
DC11	FL	642.292	4.612.037	310,54
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PÓRTICO	642.305	4.612.068	311,43

1.9. Descripción de la instalación

La instalación queda definida por las siguientes características:

1.9.1. Características generales

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Frecuencia (Hz)	50
Tensión nominal (KV)	220
Tensión más elevada de la red (KV)	245,0
Categoría.....	Especial
Nº de circuitos tramo Nº1	1
Nº de circuitos tramo Nº2.....	2
Nº de conductores aéreos por fase.....	1
Tipo de conductor aéreo	AAAC A3 400
Tipo de cable de tierra	OPGW 48 43D58Z
Número de cables de tierra.....	1
Potencia máxima de transporte en aéreo (MW).....	348,10
Número de apoyos	24
Longitud total (m).....	7.967,35
Longitud tramo Nº1 (m).....	4.338,59
Longitud tramo Nº2 (m).....	3.628,76
Zona de aplicación.....	ZONA A
Tipo de aislamiento.....	Cadenas de aisladores de vidrio
Apoyos	CO e IC
Cimentaciones.....	Hormigón Armado
Puesta a tierra	Picas de toma de tierra doble o Anillo difusor
Nº Apoyos alineación/Tipo	7 / CO
Nº Apoyos ángulo/Tipo	10 / CO e IC
Nº Apoyos amarre/Tipo.....	4 / CO e IC
Nº Apoyos fin de línea/Tipo.....	3 / IC

1.9.2. Características de los materiales

1.9.2.1. Conductor

Las características del conductor aéreo son las siguientes:

Son cables formados por varios alambres de aleación de aluminio, con sus conductores cableados en capas concéntricas. Todos los alambres que forman el cable poseen el mismo diámetro.

Tipo	AAAC A3 400
Norma	IEC 61089
Material	Aleación de Aluminio
Nº alambres y diámetro (mm)	37x4,00
Diámetro cable completo (mm)	28,00
Sección total (mm ²)	465,00
Peso (daN/m)	1,2557
Carga de rotura (daN)	14.640
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	5.589
Coeficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	23,0 10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica a 20°C (Ω/Km)	0,0721
Intensidad máxima admisible (A)	915

1.9.2.2. Cable tierra

Las características del cable de guarda son las siguientes:

Tipo	OPGW-48 FO 43D58Z
Sección total (mm ²)	S _a = 100,3
Diámetro total (mm)	d _a = 14,3
Peso (daN/m)	p = 0,574
Carga de rotura (daN)	C _r = 8.440
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	E = 11.830
Coeficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	α = 14,1 10 ⁻⁶

1.9.2.3. Aislamiento

Se utilizarán cadenas de aisladores de vidrio templado de tipo caperuza y vástago según norma UNE 21 114 y UNE 21 124.

Se considera un nivel de contaminación medio (II), definiendo como adecuada una línea de fuga nominal de 20 mm/kV (según ITC-LAT-07). Este nivel de contaminación es equivalente a:

- Zonas con industria que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción.
- Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvias.

Dada la tensión más elevada de la línea (245 kV), la línea de fuga mínima en la línea será de 4.900 mm (245 kV x 20 mm/kV, según ITC-LAT-07). Esta longitud será inferior a la línea de fuga que presentan las cadenas de aisladores utilizadas en este proyecto.

El tipo de aislador seleccionado tanto para apoyos de suspensión como de amarre es:

Denominación	U-160-BS
Material dieléctrico	Vidrio
Norma de fabricación y ensayo:	IEC 60120
Diámetro dieléctrico.....	280 mm
Paso.....	146 mm
Línea de fuga	380 mm
Carga de rotura	16kN
Peso aprox.	5,9 kg

En estructuras de amarre en ángulo se emplearán cadenas de suspensión adicionales en el circuito exterior al ángulo para asegurar la distancia del puente flojo.

Las cadenas de aisladores serán:

Suspensión:

Cadena de 14 aisladores para 220 kV tipo U -160-BS con grapa de suspensión armada, con una carga de rotura de 160kN, línea de fuga total de 5.320 mm (superior a 4.900 mm), una tensión soportada a impulso tipo rayo de 1.095 kV, a 50Hz en seco de 675 kV y a 50Hz en lluvia de 510 kV. La longitud de la cadena de suspensión es de 2,454 metros y su peso de 136,00 kilogramos.

Amarre:

Cadena de 14 aisladores para 220 kV tipo U-160-BS con grapa de compresión, con una carga de rotura de 160kN, línea de fuga total de 5.320 mm (superior a 4.900 mm), una tensión soportada a impulso tipo rayo de 1.095 kV, a 50Hz en seco de 675 kV y a 50Hz en lluvia de 510 kV. La longitud de la cadena de amarre es de 2,468 metros y su peso de 132,45 kilogramos.

En el apartado PLANOS se puede ver la disposición de cadenas adoptadas.

1.9.2.4. Herrajes

Las características de los herrajes serán las mismas que se especifican en el apartado "5.5.1.3. HERRAJES" perteneciente al apartado "5.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN AÉREA" del "DOCUMENTO: MEMORIA" del PROYECTO LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE a SET PRE-RUEDA.

Los herrajes son hierro forjado galvanizado en caliente y todos estarán adecuadamente protegidos contra la corrosión.

Los herrajes estarán dimensionados para que la cadena cinemática que soporta cada cable soporte los esfuerzos máximos descritos en la Norma UNE 21 006, superando los coeficientes de seguridad reglamentarios.

Estos herrajes cumplirán lo indicado en la norma UNE 21 006.

1.9.2.5. Apoyos y cimentaciones

Se considera la elaboración de diseños de apoyos de suspensión, amarre y fin de línea, que permitan ajustarse a las diferentes condiciones del trazado y de la geografía del lugar. En concreto para esta línea las estructuras propuestas, denominadas tipo CO e IC, serán torres metálicas de acero galvanizado, enrejadas y auto soportadas de simple y doble circuito y de resistencia adecuada al esfuerzo que hayan de soportar.

Son estructuras de sección cuadrada compuestas de cabeza prismática recta y fuste de geometría tronco piramidal, construidas con perfiles angulares galvanizados, unidos mediante tornillería.

La cabeza será recta de 1,50 metros (CO) y 2,50 metros (IC) de ancho, y dispondrá de cúpula para colocación del cable de protección y comunicaciones.

La línea está compuesta por estructuras de tres tipos, según su función: fin de línea, amarre (de ángulo o en alineación) y de suspensión.

Fin de Línea:

Los apoyos con función de fin de línea serán del tipo IC S1C para el tramo de simple circuito y, IC N2DC D=4,90 E=3,50 para el tramo de doble circuito en donde la línea comparte apoyos con la LAAT 220kV SET RUEDA OESTE 220/30 kV a SET PRE-RUEDA 400/220 kV.

En los apoyos IC S1C la distancia vertical entre fases será de 5,80 metros, el ancho de sus crucetas será 4,50 metros en sus crucetas superiores y 5,00 metros en su cruceta inferior. Para amarrar el cable de comunicaciones y protección, estos apoyos contarán con una cruceta de 7,20 metros de altura.

Los apoyos IC N2DC D=4,90 E=3,50 tendrán una distancia vertical de 5,50 metros entre fases, sus crucetas superior e inferior contarán con una altura de 5,00 metros mientras que la intermedia será de 6,00 metros La cúpula en donde se amarraran los cables de comunicaciones y protección tendrá una altura de 4,90 metros y un ancho de crucetas de 3,50 metros.

Amarre:

Los apoyos con función de amarre (ángulo y alineación) serán del tipo CO S1563 para el tramo de simple circuito y del tipo CO N388 D=3,30 E=3,00 e IC N2DC D=4,90 E=3,50 para el tramo de doble circuito en donde la línea comparte apoyos con la LAAT 220kV SET RUEDA OESTE 220/30 kV a SET PRE-RUEDA 400/220 kV.

En los apoyos tipo CO S1563, contarán con una distancia vertical entre fases de 3,30 metros sus crucetas superiores tendrán una anchura de 4,10 metros mientras que su cruceta inferior será de 4,30 metros de anchura. La altura de la cúpula será de 5,90 metros.

Los del tipo CO N388 D= 3,30 E=3,00 tendrán 5,50 metros de distancia vertical entre fases y sus crucetas contarán con una anchura de 4,90 metros. Para amarrar los cables de comunicaciones y protección, tendrán una cruceta de 3,30 metros de alto y sus crucetas serán de 3,00 metros de ancho.

Los apoyos IC N2DC D=4,90 E=3,50 tendrán una distancia vertical de 5,50 metros entre fases, sus crucetas superior e inferior contarán con una altura de 5,00 metros mientras que la intermedia será de 6,00 metros. La cúpula en donde se amarraran los cables de comunicaciones y protección tendrá una altura de 4,90 metros y un ancho de crucetas de 3,50 metros.

El apoyo DC9 de ángulo del tipo IC N2DC D=4,90 E=3,50 irá equipado con crucetas especiales cuadradas en la línea exterior al ángulo para mantener las distancias mínimas a masa que establece el reglamento. Estas crucetas especiales tendrán las mismas dimensiones que las descritas anteriormente para este tipo de silueta.

Suspensión:

Los apoyos con función de suspensión serán de dos tipos: CO S1561 (tramo simple circuito) y CO N388DC D=3,30 E=3,00 (tramo de doble circuito en donde la línea comparte apoyos con la LAAT 220kV SET RUEDA OESTE 220/30 kV a SET PRE-RUEDA 400/220 kV).

Los apoyos tipo CO S1561, contarán con una distancia vertical entre fases de 3,30 metros, sus crucetas superiores tendrán una anchura de 4,10 metros, mientras que su cruceta inferior será de 4,30 metros de anchura. Contarán con una cúpula de 4,30 metros de altura.

Los del tipo CO N388 D= 3,30 E=3,00 tendrán 5,50 metros de distancia vertical entre fases y sus crucetas contarán con una anchura de 4,90 metros. Para amarrar los cables de comunicaciones y protección, tendrán una cruceta de 3,30 metros de alto y sus crucetas serán de 3,00 metros de ancho.

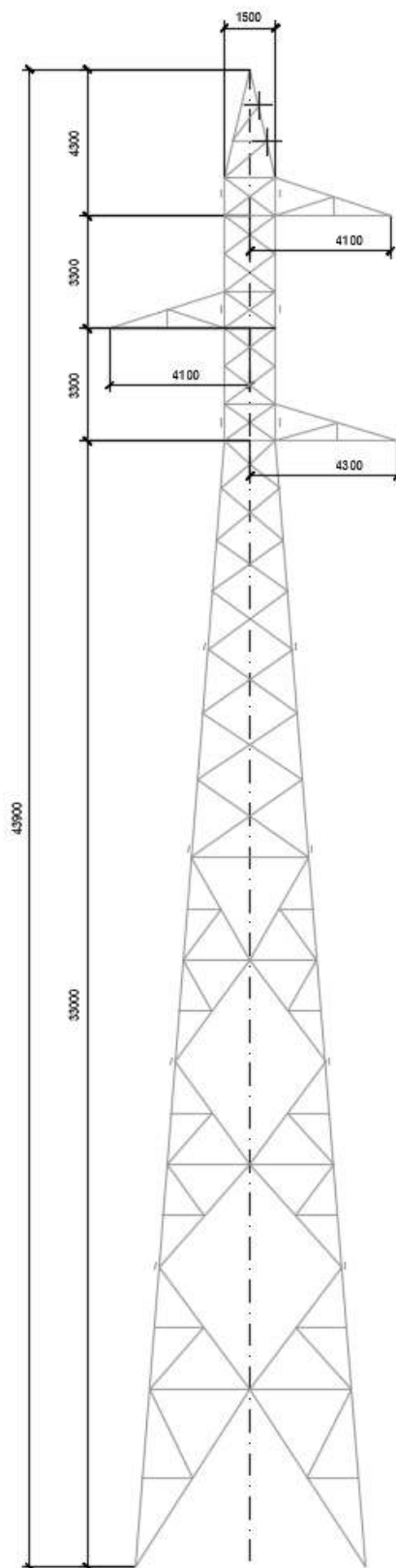
La selección del modelo de apoyo se ha realizado para que su geometría cumpla con las distancias reglamentarias, para el conductor, condiciones de diseño y las hipótesis de cálculo aplicables al proyecto. El esfuerzo máximo específico de cada apoyo debe cumplir con el árbol de cargas que viene reflejado posteriormente en el proyecto.

La cimentación será fraccionada en cuatro macizos independientes para todos los apoyos. Las cimentaciones fraccionadas estarán constituidas por un bloque de hormigón armado por cada uno de los anclajes del apoyo al terreno, debiendo asumir los esfuerzos de tracción o compresión que recibe el apoyo.

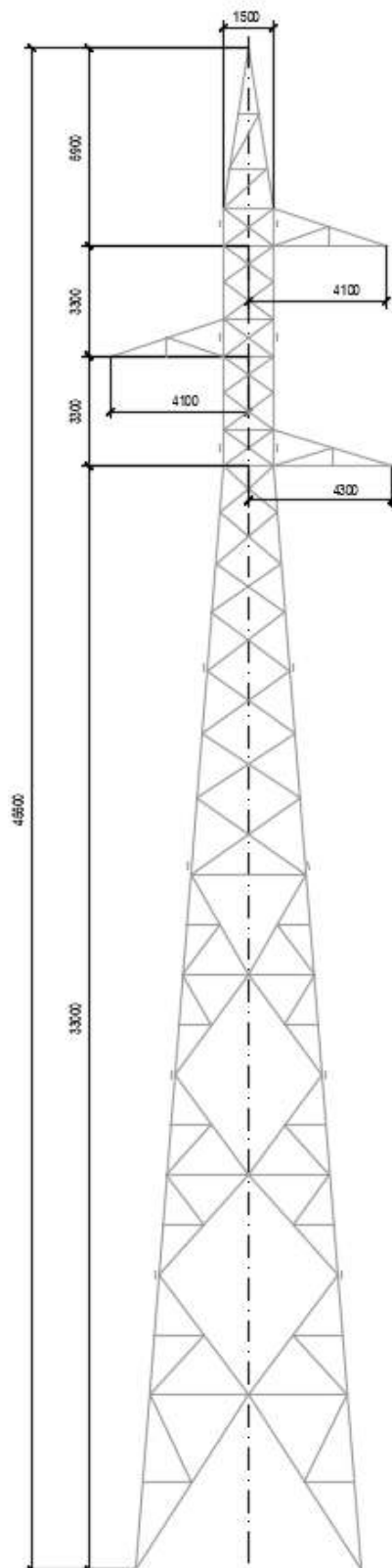
Cada bloque de cimentación se elevará sobre el terreno con objeto de proteger los extremos inferiores de los montantes y sus uniones; dichos zócalos terminarán en punta para facilitar así mismo la evacuación del agua de lluvia.

A continuación se presentan los esquemas de los apoyos tipo:

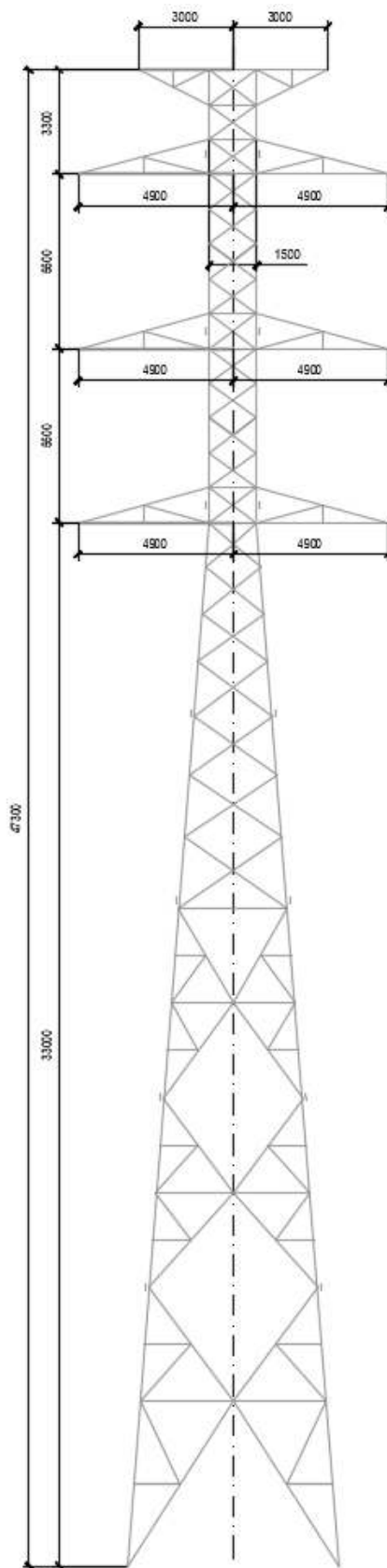
Apoyo CO S1561:



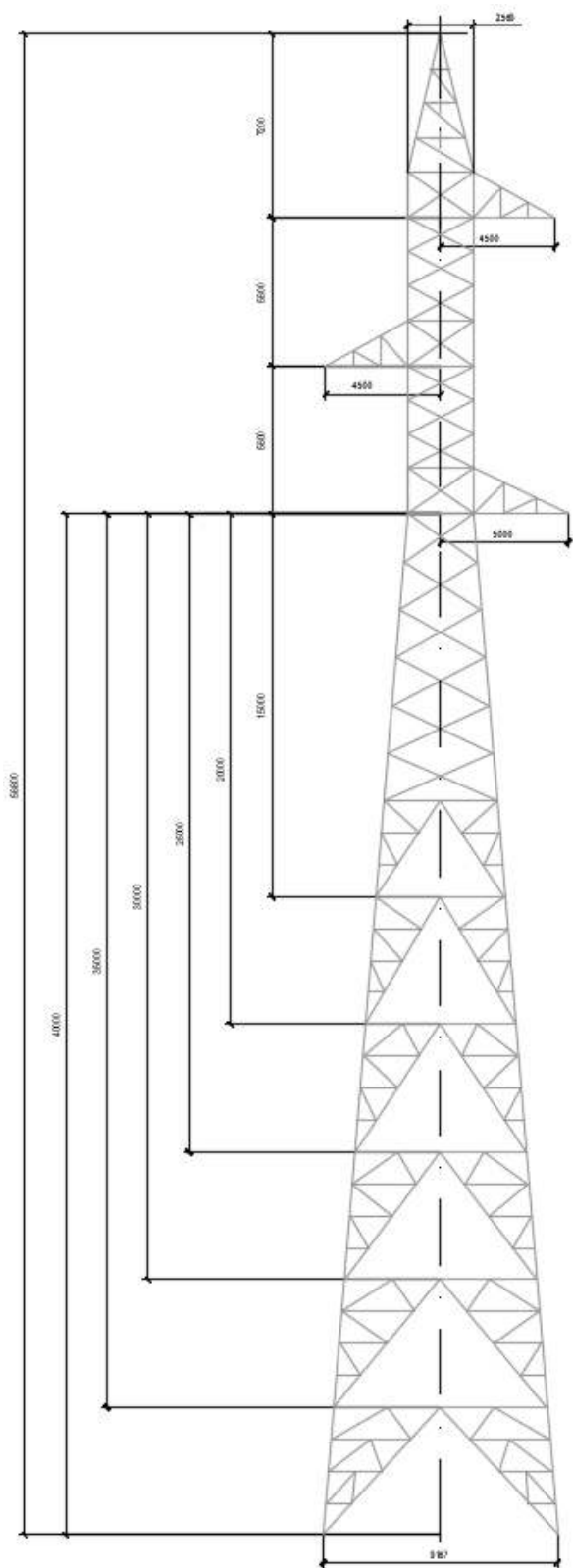
Apoyo CO S1563:



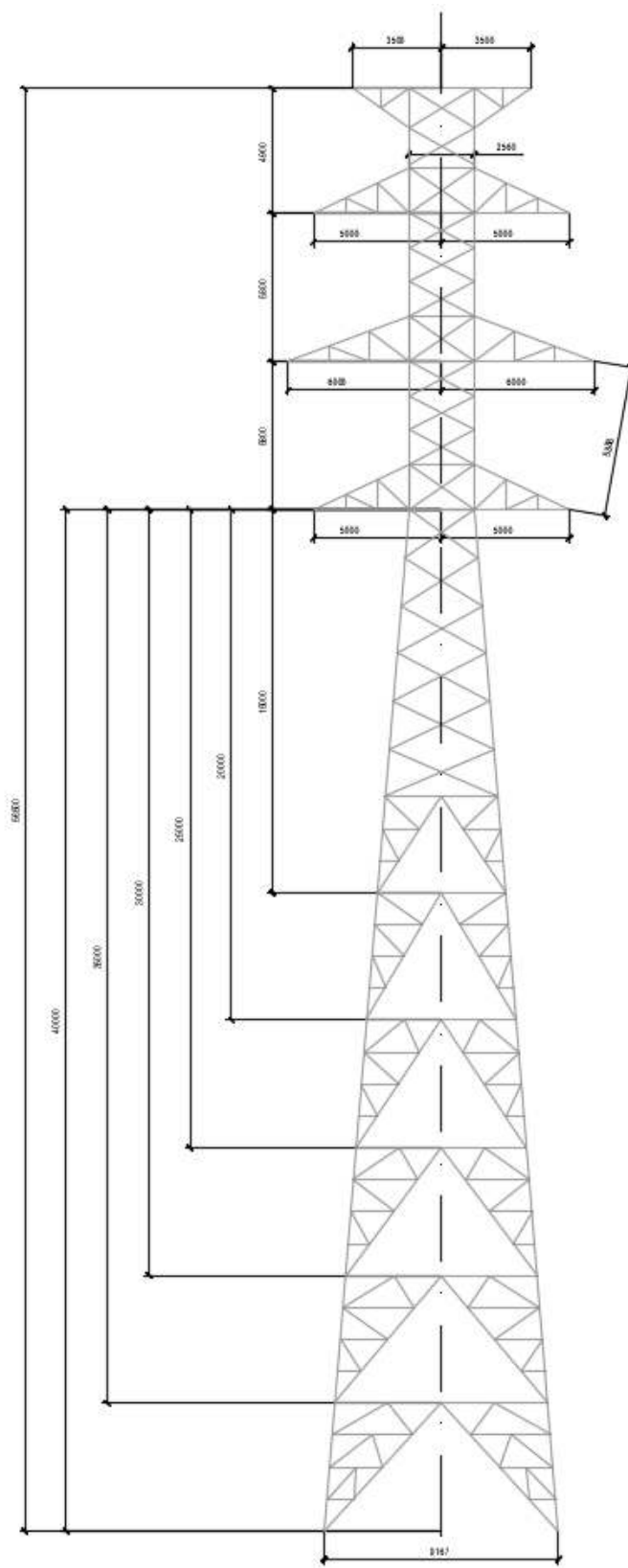
Apoyo CO N388DC D=3.30 E=3.00



Apoyo IC S1C



Apoyo IC N2DC D=4,90 E=3,50



1.9.2.5.1. Apoyos CONDOR (CO)

Son apoyos tronco-piramidales de sección cuadrada contruidos con perfiles angulares galvanizados, unidos mediante tornillería.

La cabeza es recta de 1,50 metros de ancho. El fuste tronco piramidal se ancla al terreno con cimentación independiente en cada pata.

1.9.2.5.2. Apoyos ÍCARO (IC)

Son apoyos tronco-piramidales de sección cuadrada contruidos con perfiles angulares galvanizados, unidos mediante tornillería.

La cabeza es recta de 2,50 metros de ancho. El fuste tronco piramidal se ancla al terreno con cimentación independiente de sección cuadrada o circular.

1.9.2.6. Puesta a tierra

La puesta a tierra de los apoyos se especifica en el apartado “5.5.1.5. PUESTA A TIERRA” perteneciente al apartado “5.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN AÉREA” del “DOCUMENTO: MEMORIA” del PROYECTO LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE a SET PRE-RUEDA.

En apoyos en zonas no frecuentadas los apoyos se pondrán a tierra mediante electrodos de difusión vertical.

En zonas frecuentadas se instalará puesta a tierra en anillo adecuada a lo prescrito en el RLAT RD 223/2008 ITC- LAT 07.

Dado que la mayoría de los apoyos se han considerado en zonas no frecuentadas, se pondrán a tierra mediante electrodos de difusión vertical. En caso de que durante la construcción se identifique que el terreno tiene una alta resistividad, se podrá mejorar la puesta a tierra mediante anillos que unan los electrodos de difusión vertical.

1.9.2.7. Numeración y aviso de peligro

La numeración y aviso de peligro de los apoyos se especifica en el apartado “5.5.1.6. NUMERACIÓN Y AVISO DE PELIGRO” perteneciente al apartado “5.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN AÉREA” del “DOCUMENTO: MEMORIA” del PROYECTO LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE a SET PRE-RUEDA.

Todos los apoyos irán provistos de una placa de señalización, situada a una altura visible y legible desde el suelo a una distancia mínima de 2 metros.

1.9.2.8. Antivibradores

Las características de los antivibradores serán las mismas que figuran en el apartado “5.5.1.7. ANTIVIBRADORES” perteneciente al apartado “5.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN AÉREA” del “DOCUMENTO: MEMORIA” del PROYECTO LAAT 220 KV SET RUEDA ESTE a SET PRE-RUEDA.

Se colocarán amortiguadores del tipo Stockbridge en los conductores de fase, y el cable de protección y comunicaciones.

Estos antivibradores están formados por un cuerpo central de aleación de aluminio, un cable portador de 19 alambres de acero galvanizado y dos contrapesos de acero forjado galvanizado.

El número de antivibradores a utilizar dependerá de la longitud del vano y será en general dos a cada lado del apoyo si la longitud del vano es superior a 450 metros y de uno a cada lado del apoyo si esta longitud es inferior.

1.9.2.9. Dispositivos salvapájaros

Se instalarán dispositivos salvapájaros homologados para evitar riesgos de choques contra los cables de la línea de evacuación. Estos dispositivos estarán formados por espirales de PVC rígido de 1 m de longitud y 30 cm de diámetro, de color blanco, rojo o naranja reflectante, e irán montados preferentemente en el cable de protección cada 5,0 metros conforme a lo estipulado en la declaración de impacto ambiental.

1.10. Cálculos

Seguidamente se justifican los elementos que componen las instalaciones proyectadas.

1.10.1. Cálculo eléctrico

La potencia máxima prevista de transportar por la línea aérea es de 65,6 MW, por lo que todos los cálculos eléctricos se realizarán con esta potencia. Bajo estas condiciones, la potencia transporte máxima que puede circular en las condiciones de diseño tiene un valor de 348,10 MW.

1.10.1.1. Características generales

Tensión nominal (kV)	U = 220
Longitud de la línea (km)	L = 7,967
Número de circuitos tramo 1	n = 1
Número de circuitos tramo 2	n = 2
Número de conductores por fase	n' = 1
Distancia entre conductores del haz (mm)	D = 400
Frecuencia (Hz)	f = 50
Zona de aplicación	ZONA A

1.10.1.2. Características del conductor

Material	Aleación de aluminio
Sección total (mm ²)	S _a = 465,00
Nº alambres y diámetro (mm)	37 x 4,00
Diámetro total (mm)	d _a = 28,00
Resistencia eléctrica en c.c. a 20 °C (Ω/km)	R ₂₀ = 0,0721
Densidad de corriente Aluminio (A/mm ²)	d _c = 1,970

1.10.1.3. Condiciones ambientales del proyecto

Los factores ambientales que influyen en la capacidad de transporte son: temperatura, radiación solar y velocidad del viento.

Como condiciones ambientales se han tomado las registradas en estaciones meteorológicas ubicadas en Zaragoza.

Radiación verano (W/m ²)	438
Radiación invierno (W/m ²)	369
Temperatura Máxima Verano (°C)	31
Temperatura Máxima Invierno (°C)	11
Mínima Velocidad del Viento (m/s)	0,6

Los criterios ambientales de diseño que se han tomado son las siguientes:

Temperatura de Operación (°C)	85
Coeficiente de rugosidad del conductor	0,85
Coeficiente meteorológico	0,95

1.10.1.4. Resistencia

La resistencia del conductor, por unidad de longitud, en corriente alterna y a la temperatura vendrá dada por la siguiente expresión:

$$R_{\theta} = R'_{\theta} \cdot (1 + y_s) \quad \Omega/\text{km}$$

Donde:

R_{θ} : Resistencia del conductor con corriente alterna a la temperatura θ °C (Ω/km)

R'_{θ} : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura θ °C (Ω/km)

y_s : Factor de efecto pelicular

El cálculo del factor de efecto pelicular se realiza según la teoría de Kelvin con la ecuación:

$$y_s = \frac{x_s^2}{192 + 0.8x_s^2}$$

Siendo:

$$x_s = \frac{8\pi f 10^{-7}}{R'_{\theta}}$$

Donde:

f : Frecuencia (50Hz)

R'_{θ} Resistencia a la temperatura θ

El valor de la resistencia por unidad de longitud en corriente continua a la temperatura θ vendrá dado por la siguiente expresión:

$$R'_{\theta} = R'_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)]$$

donde:

- R'_{θ} : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura θ °C (Ω/km)
- R'_{20} : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura de 20 °C (Ω/km)
- α_{20} : Coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura (°C)
- θ : Temperatura de servicio (85 °C)

Se obtiene:

$$R'_{\theta} = 0,0909 \Omega/\text{km}$$

$$y_s = 0,0098$$

Se obtiene un valor unitario de:

$$R_{\theta} = 0,0918 \Omega/\text{km}$$

Para la longitud de la línea (7,967 km):

$$R = 0,7314 \Omega$$

1.10.1.5. Reactancia

1.10.1.5.1. Distancia media geométrica entre conductores:

La distancia media geométrica de los conductores en la línea es variable a lo largo de ella. Para calcular una distancia media aproximada se utiliza la distancia media geométrica de las crucetas ponderadas con el vano a ambos lados:

$$\overline{DMG} = \frac{\sum_i DMG_i e_{oi}}{L}$$

donde:

- DMG_i : Distancia media geométrica de la cruceta i (m)
- e_{oi} : Eolovano del apoyo i (m)
- L : Longitud total de la línea (m)

Dadas las diferentes configuraciones de cada uno de los tramos descritos, la distancia media geométrica será diferente para cada uno de los mismos. Así, se calcula la distancia media geométrica para cada uno de los tramos.

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se determina la DMG para un simple circuito trifásico:

$$DMG_1 = 8,076 \text{ m}$$

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se determina la DMG para un doble circuito trifásico:

$$DMG_2 = 8,697 \text{ m}$$

1.10.1.5.2. Reactancia kilométrica:

La reactancia del conducto, por unidad de longitud, en corriente alterna y a las condiciones de diseño indicadas vendrá dada por la siguiente expresión:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot n'} + 4,6 \cdot \log \left(\frac{D_m}{r_{eq}} \right) \right] \cdot 10^{-4}$$

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se obtiene un valor unitario de:

$$X = 0,4152 \, \Omega/\text{km}$$

Para la longitud de la línea (4,339 km):

$$X = 1,8015 \, \Omega$$

$$\text{siendo } r_{eq} = \sqrt[n']{\frac{d_a}{2} \Delta^{(n'-1)}} = 0,014 \, \text{m}$$

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se obtiene un valor unitario de:

$$X = 0,4198 \, \Omega/\text{km}$$

Para la longitud de la línea (3,629 km):

$$X = 1,5235 \, \Omega$$

$$\text{siendo } r_{eq} = \sqrt[n']{\frac{d_a}{2} \Delta^{(n'-1)}} = 0,014 \, \text{m}$$

1.10.1.6. Susceptancia

La susceptancia de la línea por unidad de longitud y por fase se calcula según la expresión:

$$B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot n \cdot \left[\frac{24,2}{\log \left(\frac{D_m}{r_{eq}} \right)} \right] \cdot 10^{-9}$$

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se obtiene un valor unitario de:

$$B = 2,7535 \, \mu\text{S}/\text{km}$$

Para la longitud de la línea (4,339 km):

$$B = 11,9464 \, \mu\text{S}$$

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

Se obtiene un valor unitario de:

$$B = 2,7218 \mu\text{S/km}$$

Para la longitud de la línea (3,629 km):

$$B = 9,8774 \mu\text{S}$$

1.10.1.7. Conductancia

$$G = \frac{P_1}{U^2} \cdot 10^{-3} \text{ S/km}$$

Se obtiene un valor unitario de:

$$G = 0,00286 \mu\text{S /km}$$

Para la longitud de la línea (7,967 km):

$$G = 0,0228 \mu\text{S}$$

En donde:

P_1 : Pérdida de potencia por fase debida a la conductancia de los aisladores (kW/km)

U : Tensión nominal compuesta de la línea (kV)

1.10.1.8. Ecuaciones de parámetros distribuidos de la línea

Las ecuaciones de parámetros distribuidos de la línea vendrán dadas por las siguientes expresiones:

$$\frac{U_1}{\sqrt{3}} = \text{ch}(\gamma l) \frac{U_2}{\sqrt{3}} + (Z_c \text{sh}(\gamma l)) I_2 \quad (\text{kV})$$

$$I_1 = \frac{1}{Z_c} \text{sh}(\gamma l) \frac{U_2}{\sqrt{3}} + \text{ch}(\gamma l) I_2 \quad (\text{kA})$$

$$\frac{U_2}{\sqrt{3}} = \text{ch}(\gamma l) \frac{U_1}{\sqrt{3}} - (Z_c \text{sh}(\gamma l)) I_1 \quad (\text{kV})$$

$$I_2 = -\frac{1}{Z_c} \text{sh}(\gamma l) \frac{U_1}{\sqrt{3}} + \text{ch}(\gamma l) I_1 \quad (\text{kA})$$

siendo:

$$Z_c = \sqrt{\frac{(R + jX)}{(G + jB)}} \quad \text{Impedancia característica de la línea } (\Omega)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + jX)(G + jB)} \quad \text{Constante de propagación de la línea } (\text{km})^{-1}$$

U_1 Tensión compuesta en el extremo generador (kV).

U_2 Tensión compuesta en el extremo receptor (kV).

I_1 Intensidad de línea en el extremo generador (kA).

I_2 Intensidad de línea en el extremo receptor (kA).

l Longitud de la línea (km).

Los valores de Z_c y γ obtenidos son

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

$$\gamma = (0,1181 + j1,076) 10^{-3} \text{ km}^{-1}$$

$$Z_c = (390,654 + j42,470) \Omega$$

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

$$\gamma = (0,1168 + j1,075) 10^{-3} \text{ km}^{-1}$$

$$Z_c = (395,068 + j42,481) \Omega$$

1.10.1.9. Impedancias secuenciales

El cálculo de las impedancias secuenciales se calcula mediante la teoría de Carson.

Se considerará un conductor ficticio que representará el terreno con un radio equivalente de 1m.

La resistencia de este conductor ficticio por unidad de longitud y la distancia equivalente entre conductores y cable de tierra y este conductor ficticio vendrán dados por las siguientes expresiones:

$$R_d = 9.86910^{-4} f \quad (\Omega/\text{km})$$

$$D_d = 25.6587 \left(\frac{p}{f} \right)^{0.25} (m)$$

Siendo f la frecuencia (50 Hz), p la resistividad del terreno (100 Ω/m) y $k = 2 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.

Para el cálculo de la matriz de impedancias de secuencia, se evalúa la siguiente ecuación matricial:

$$Z_{012} = A^{-1} Z_{abc} A$$

Debido a que los circuitos son independientes la matriz A es la siguiente:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -0.5 - 0.866j & -0.5 + 0.866j \\ 1 & -0.5 + 0.866j & -0.5 - 0.866j \end{pmatrix}$$

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

La matriz de impedancias es:

$$Z_{abc_{ii}} = R_i + R_{terr} + j \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_e}{r_{eq}} \right)$$

$$Z_{abc_{ij}} = R_{terr} + j \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_e}{d_{ij}} \right)$$

$$Z = \begin{pmatrix} 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.291j & 0.049 + 0.311j & 0.049 + 0.275j \\ 0.049 + 0.291j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.293j & 0.049 + 0.294j \\ 0.049 + 0.311j & 0.049 + 0.293j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.318j \\ 0.049 + 0.275j & 0.049 + 0.294j & 0.049 + 0.318j & 0.399 + 0.74j \end{pmatrix} \cdot \frac{\Omega}{km}$$

La matriz de impedancias de secuencia es:

$$Z_{012} = A^{-1} Z_{abc} A$$

$$Z_{012} = \begin{pmatrix} 0.29 + 0.985j & -0.016 - 1.67j \times 10^{-4} & 0.016 + 6.917j \times 10^{-3} \\ 0.016 + 6.918j \times 10^{-3} & 0.092 + 0.399j & 0.011 - 5.353j \times 10^{-3} \\ -0.016 - 1.672j \times 10^{-4} & -0.011 - 5.315j \times 10^{-3} & 0.092 + 0.399j \end{pmatrix} \cdot \frac{\Omega}{km}$$

Dada la longitud de la línea:

Impedancia de secuencia directa (Ω).....**0,399 + j 1,732**

Impedancia de secuencia inversa (Ω).....**0,399 + j 1,732**

Impedancia de secuencia homopolar (Ω)**1,258 + j 4,272**

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

La matriz de impedancias es:

$$Z = \begin{pmatrix} 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.286j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.279j & 0.049 + 0.261j & 0.049 + 0.262j \\ 0.049 + 0.286j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.261j & 0.049 + 0.279j & 0.049 + 0.254j \\ 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.278j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.286j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.291j \\ 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.286j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.274j \\ 0.049 + 0.279j & 0.049 + 0.261j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.278j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.286j & 0.049 + 0.346j \\ 0.049 + 0.261j & 0.049 + 0.279j & 0.049 + 0.278j & 0.049 + 0.322j & 0.049 + 0.286j & 0.141 + 0.698j & 0.049 + 0.295j \\ 0.049 + 0.262j & 0.049 + 0.254j & 0.049 + 0.291j & 0.049 + 0.274j & 0.049 + 0.346j & 0.049 + 0.295j & 0.399 + 0.74j \end{pmatrix} \cdot \frac{\Omega}{km}$$

La matriz de impedancias de secuencia es:

$$Z_{012} = \begin{pmatrix} 0.275 + 1.024i & -0.002 + 0.016i & -0.001 + 0.009i & 0.194 + 0.557i & -0.005 + 0.025i & -0.004 + 0.034i \\ -0.001 + 0.009i & 0.092 + 0.402i & 0.021 - 0.017i & -0.006 - 0.019i & -0.017 - 0.019i & -0.020 + 0.011i \\ -0.002 + 0.016i & -0.021 - 0.018i & 0.092 + 0.402i & 0.003 - 0.011i & 0.021 + 0.011i & 0.017 - 0.020i \\ 0.194 + 0.557i & 0.003 - 0.011i & -0.006 - 0.019i & 0.299 + 0.953i & -0.034 + 0.015i & 0.023 + 0.026i \\ -0.004 + 0.034i & 0.017 - 0.020i & -0.020 + 0.011i & 0.023 + 0.026i & 0.093 + 0.401i & 0.025 - 0.010i \\ -0.005 + 0.025i & 0.021 + 0.011i & -0.017 - 0.019i & -0.034 + 0.015i & -0.024 - 0.009i & 0.093 + 0.401i \end{pmatrix} \cdot \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Dada la longitud de la línea:

Impedancia de secuencia directa (Ω).....**0,334 + j 1,459**

Impedancia de secuencia inversa (Ω).....**0,334 + j 1,459**

Impedancia de secuencia homopolar (Ω)**0,998 + j 3,715**

Para el cálculo de las admitancias de secuencia se recurre a la matriz de capacidades de línea. Esta matriz es inversa a la matriz de coeficientes de potencial que se estudia más adelante en este proyecto.

$$C_{abc} = \lambda^{-1}$$

Y para la matriz de capacidades de secuencia se recurre a la misma matriz A.

$$C_{012} = A^{-1} C_{abc} A$$

Para la matriz de admitancias de secuencia se multiplica por la pulsación y el complejo j:

$$Y_{012} = j 2 \pi f C_{012}$$

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

$$Y_{012} = \begin{pmatrix} 1.5203i & 0.0824 + 0.0668i & -0.0824 + 0.0668i \\ -0.0824 + 0.0668i & 0.0000 + 2.6935i & 0.0693 - 0.0624i \\ 0.0824 + 0.0668i & -0.0693 - 0.0624i & -0.0000 + 2.6935i \end{pmatrix} \cdot \frac{\mu S}{\text{km}}$$

Dada la longitud de la línea:

Susceptancia de secuencia directa (μS) 11,686

Susceptancia de secuencia inversa (μS) 11,686

Susceptancia de secuencia homopolar (μS) 6,596

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

$$Y_{012} = \begin{pmatrix} 1.893i & 0.039 - 0.069i & -0.039 - 0.069i & -0.701i & -0.066 - 0.075i & 0.066 - 0.075i \\ -0.039 - 0.069i & 2.78i & -0.139 + 0.105i & -0.015 + 0.105i & 0.119 + 0.112i & 0.114 - 0.063i \\ 0.039 - 0.069i & 0.139 + 0.105i & 2.78i & 0.015 + 0.105i & -0.114 - 0.063i & -0.119 + 0.112i \\ -0.701i & 0.015 + 0.105i & -0.015 + 0.105i & 1.901i & 0.117 - 0.014i & -0.117 - 0.014i \\ 0.066 - 0.075i & -0.119 + 0.112i & 0.114 - 0.063i & -0.117 - 0.014i & 2.79i & -0.144 + 0.068i \\ -0.066 - 0.075i & -0.114 - 0.063i & 0.119 + 0.112i & 0.117 - 0.014i & 0.144 + 0.068i & 2.79i \end{pmatrix} \cdot \frac{\mu S}{km}$$

Dada la longitud de la línea:

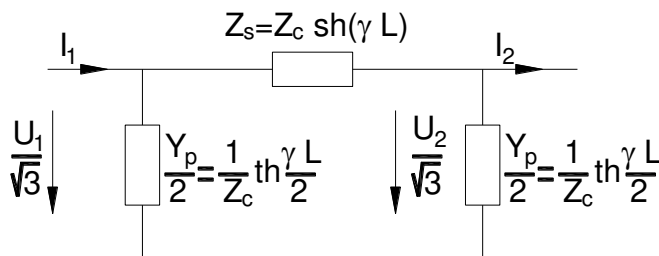
Susceptancia de secuencia directa (μS) 10,088

Susceptancia de secuencia inversa (μS) 10,088

Susceptancia de secuencia homopolar (μS) 6,869

1.10.1.10. Equivalente en π de la línea

Las ecuaciones de parámetros distribuidos de la línea se representarán físicamente mediante el siguiente cuadripolo eléctrico en π :



1.10.1.11. Caída de tensión

Los cálculos de caída de tensión se realizan utilizando el equivalente en π de la línea. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_2|} 100 \text{ (\%)}$$

siendo:

$$U_2 = U_2 \angle 0 \text{ (kV)}$$

$$\frac{U_1}{\sqrt{3}} = \text{ch}(\gamma l) \frac{U_2}{\sqrt{3}} + (Z_c \text{sh}(\gamma l)) I_2 \text{ (kV)}$$

donde :

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} |U_2| \cos(\varphi)} \angle \varphi \text{ (kA)}$$

$$I_1 = \frac{\text{sh}(\gamma l)}{Z_c} \frac{U_2}{\sqrt{3}} + \text{ch}(\gamma l) I_2 \text{ (kA)}$$

siendo:

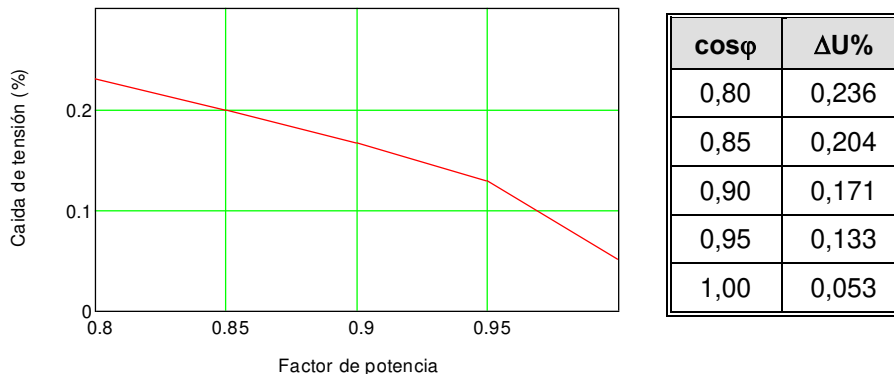
P: Potencia activa que transporta la línea (MW).

$\cos \varphi$: Factor de potencia de la carga receptora.

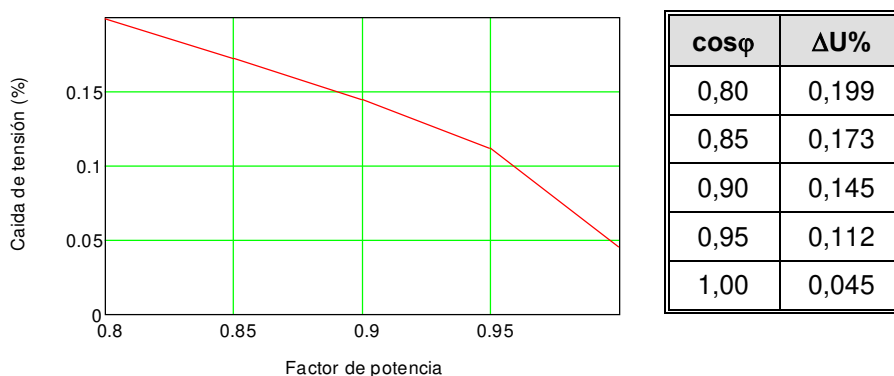
U_2 : Tensión compuesta de la línea en el extremo receptor (kV).

Los resultados obtenidos para los distintos factores de potencia son:

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° X LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)



- **Tramo 2** (Apoyo N° X LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)



Así, la caída de tensión de la línea completa se obtiene del resultado de la suma algebraica de las caídas de tensión de cada uno de los tramos en que se compone la totalidad de la línea:

$\cos\phi$	$\Delta U\%$
0,80	0,435
0,85	0,377
0,90	0,316
0,95	0,245
1,00	0,098

1.10.1.12. Potencia máxima de transporte

Se ha estudiado la potencia máxima de transporte según el RLAT (2008). No obstante, tal y como contempla el reglamento de líneas, en apartados posteriores, se ha estudiado también la capacidad de transporte, según el límite térmico, para las condiciones climáticas consideradas en este proyecto.

1.10.1.12.1. Densidad de corriente

La densidad máxima de corriente en régimen permanente para corriente alterna y frecuencia de 50 Hz se deduce de la tabla 11 del RLAT y de los coeficientes de reducción contenidos en el artículo 4.2.1 del mismo.

CONDUCTOR	AAAC A3 400
DENSIDAD DE CORRIENTE (A/mm ²)	1,97
CORRIENTE MÁXIMA (A)	915

1.10.1.12.2. Potencia máxima admisible de transporte

La potencia máxima que puede transportar la línea vendrá limitada por la intensidad máxima admisible del conductor o por la caída de tensión máxima que se fije y que, en general, no deberá exceder del 5 %.

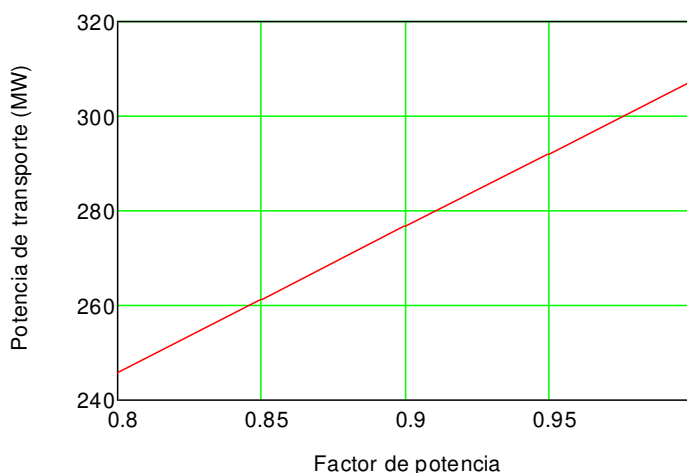
La máxima potencia de transporte de la línea se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_{\max} = n' \cdot n \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{\text{adm}} \cdot \cos\varphi \text{ (MW)}$$

siendo:

- n: Número de circuitos
- n': Número de conductores por fase
- U: Tensión nominal compuesta de la línea (kV)
- I_{adm}: Intensidad máxima admisible del conductor (kA)
- cosφ: Factor de potencia de la carga receptora

La potencia máxima de transporte en función del factor de potencia se muestra a continuación:



Cosφ	P _{MAX} (MW)
0,80	245,94
0,85	261,31
0,90	276,68
0,95	292,05
1,00	307,42

1.10.1.1. Efecto corona

De acuerdo con el apartado 4 de la ITC-LAT 07, en líneas de tensión nominal superior a 66 kV debe comprobarse el comportamiento de los conductores frente al efecto corona. Por ello, en el presente apartado se determina la tensión crítica disruptiva de aparición del efecto corona al objeto de verificar que los resultados obtenidos son inferiores a los valores a partir de los cuales se produce dicha perturbación.

La tensión a la cual el campo eléctrico producido es igual a la rigidez dieléctrica del aire se calculará mediante la siguiente expresión:

$$U_d = \frac{29.8}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{3} m_a \cdot m_c \cdot \delta \cdot \text{radio} \ln \left(\frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \right)$$

- U_d : Tensión crítica disruptiva
- m_c : Coeficiente de rugosidad del conductor, comprendido entre 0,83 y 0,87 para el caso de conductores cableados. En el presente proyecto se considera un valor de 0,85.
- m_a : Coeficiente meteorológico o “factor de mal tiempo”, que toma en consideración el efecto de la humedad sobre la tensión crítica disruptiva, U_d . En el caso más desfavorable, en verano, se supone un valor de 0,95.
- RMG: Radio Medio Geométrico del conductor, en cm. Se puede tomar con la suficiente aproximación igual al radio del conductor en circuitos simples.
- DMG: Distancia Media Geométrica entre ejes de fases, en cm.
- r : Radio del conductor en cm
- δ : factor corrector de la densidad del aire en función de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura. Este factor resulta directamente proporcional a la presión barométrica e inversamente proporcional a la temperatura absoluta del aire. Se determina a través de la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{273 + 25}{76} \cdot \frac{h}{273 + t} = \frac{3,921 \cdot h}{273 + t}$$

donde:

- t = Temperatura máxima correspondiente a la altitud del punto considerado, en °C (en el presente proyecto se considera la temperatura medida en verano de 31 °C).
- h = Presión barométrica en cm de columna de mercurio a la altura (media) de la línea. Esta presión, dependiente de la altitud sobre el nivel del mar en el punto considerado, habitualmente se determina a través de la fórmula de Halley:

$$\log h = \log 76 - \frac{y}{18.336} \Rightarrow h = 10^{\log 76 - \frac{y}{18.336}}$$

considerando “y” a la altitud sobre el nivel del mar (m).

En el caso de haces múltiples, el valor obtenido para un conductor único se divide por un factor β :

$$\beta = \frac{1 + (n-1) \cdot \frac{r}{R}}{n}$$

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

La cota máxima aproximada del tramo es de 355 metros, por lo que se aplica dicho valor para el cálculo del factor corrector de la densidad del aire.

Con todo, se obtiene el siguiente resultado:

$$\delta = 0,963$$

$$U_c = 252,612 \text{ kV}$$

En las condiciones habituales de funcionamiento de la instalación, la tensión máxima eficaz será de 245 kV, inferior a la tensión crítica disruptiva calculada, por lo cual en dichas condiciones **“no se producirá efecto corona”**.

- **Tramo 2** (Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)

La cota máxima aproximada del tramo es de 350 metros, por lo que se aplica dicho valor para el cálculo del factor corrector de la densidad del aire.

Con todo, se obtiene el siguiente resultado:

$$\delta = 0,963$$

$$U_c = 255,555 \text{ kV}$$

En las condiciones habituales de funcionamiento de la instalación, la tensión máxima eficaz será de 245 kV, inferior a la tensión crítica disruptiva calculada, por lo cual en dichas condiciones **“no se producirá efecto corona”**.

1.10.1.1.1. Pérdidas de potencia debidas al efecto corona

Como el gradiente de potencial en la superficie de los conductores es menos que el gradiente de potencial crítico, no se producirá efecto corona.

Las pérdidas de potencia debidas al efecto corona serán, por tanto, **nulas**.

1.10.1.2. Pérdidas de potencia

Las pérdidas de potencia en la línea son las debidas al efecto Joule.

Las pérdidas por efecto Joule dependen de la intensidad de corriente de la línea y del estado de los aisladores y vendrán dadas por la siguiente expresión:

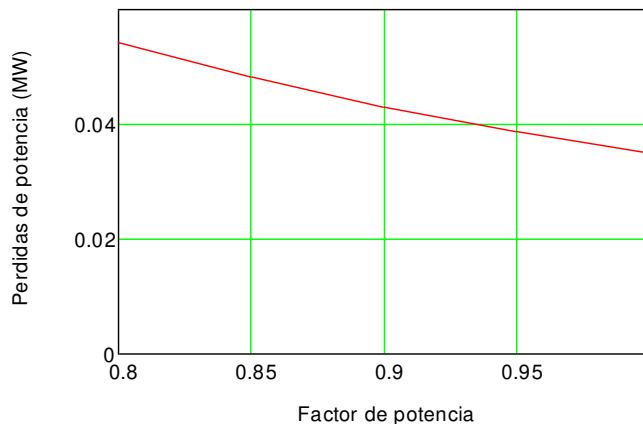
$$P_j = \sqrt{3} \cdot \text{Re} |U_1 \cdot I_1^* - U_2 \cdot I_2^*| \text{ (MW)}$$

siendo:

- U_1 : Tensión en el extremo emisor (kV)
- I_1 : Intensidad en el extremo emisor (kA)
- U_2 : Tensión en el extremo receptor (kV)
- I_2 : Intensidad en el extremo receptor (kA)

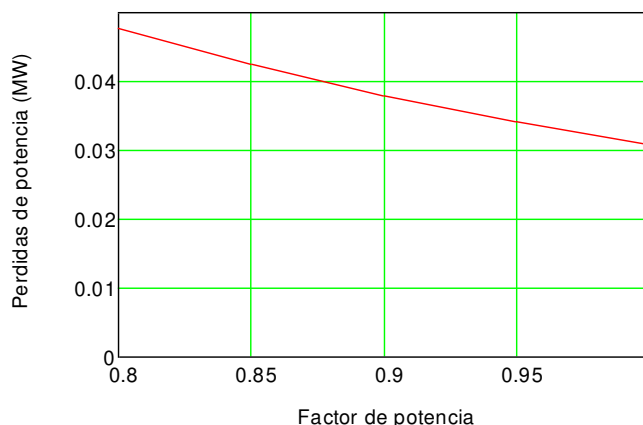
Las pérdidas de potencia totales en la línea serán la suma de las dos:

- **Tramo 1** (SET RUEDA ESTE 220/30 kV – Apoyo N° DC1 LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV)



Cosφ	ΔP (MW)	ΔP (%)
0,80	0,060	0,085
0,85	0,050	0,075
0,90	0,040	0,067
0,95	0,040	0,061
1,00	0,040	0,055

- **Tramo 2** (Apoyo N° X LAAT 220 kV SET RUEDA ESTE 220/30 kV – SET PRE-RUEDA 400/220 kV - SET PRE-RUEDA 400/220 kV)



Cosφ	ΔP (MW)	ΔP (%)
0,80	0,050	0,071
0,85	0,040	0,063
0,90	0,040	0,056
0,95	0,030	0,051
1,00	0,030	0,046

Así, las pérdidas de potencia de potencia de la línea completa se obtienen del resultado de la suma algebraica de las pérdidas de cada uno de los tramos en que se compone la totalidad de la línea:

Cosφ	ΔP (MW)	ΔP (%)
0,80	0,110	0,156
0,85	0,090	0,138
0,90	0,080	0,123
0,95	0,070	0,112
1,00	0,070	0,101

1.10.1.3. Campo Eléctrico en las proximidades de la línea

El cálculo del campo eléctrico se efectúa a partir del método de simulación de cargas. En este método se simula cada conductor con una carga lineal en el centro del mismo. El vector con la carga de cada uno de los conductores está evaluado y es el siguiente:

$$q = \begin{pmatrix} 2.686 \times 10^3 + 194.489j \\ -1.255 \times 10^3 + 2.071j \times 10^3 \\ -1.55 \times 10^3 - 2.193j \times 10^3 \\ 129.413 + 208.575j \end{pmatrix} \cdot \frac{\mu C}{km}$$

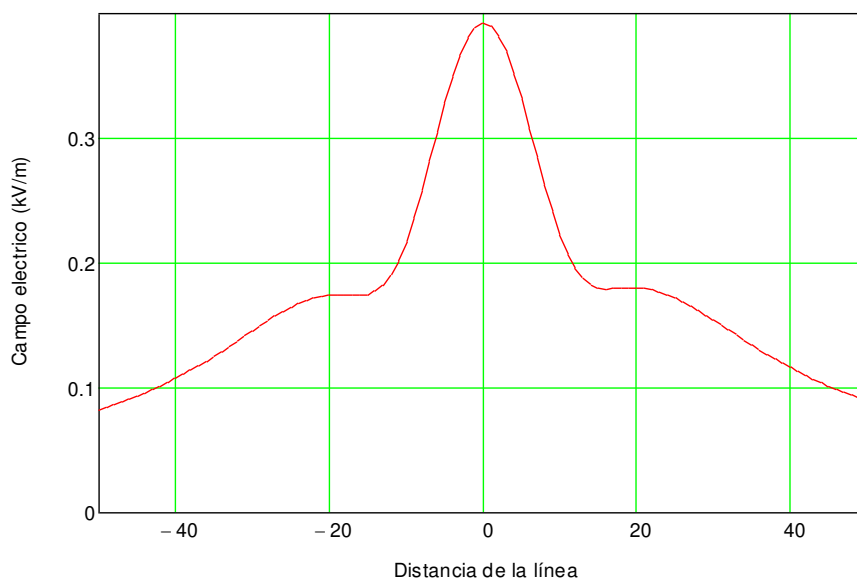
El campo eléctrico vectorial en cualquier punto del espacio es la resultante de las contribuciones de las cargas de los conductores:

$$\vec{E}_T = \frac{1}{2\pi \epsilon_o} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} \vec{r}_i$$

Donde

- ϵ_o Es la permitividad relativa del aire
- q_i Es la carga del conductor i
- r_i Es la distancia entre el conductor y el punto considerado

El módulo del campo eléctrico a 50 metros a cada lado del eje de la línea y a 2 metros por encima del suelo se representa en la siguiente gráfica:



Como se puede observar el máximo valor de campo eléctrico es inferior al recomendado para la exposición de personas, para campos eléctricos de 50 Hz que se puede establecer en 5kV/m.

1.10.1.4. Nivel de ruido audible

Se ha implementado la metodología desarrollada por el Electric Power Research Institute, la cual permite llevar en consideración tanto la propagación como la absorción de las ondas esféricas de sonido en el aire, y además llevar incluido el rango de frecuencias concebidas al umbral auditivo humano, permitiendo así, la contrastación de los valores teóricos con mediciones realizadas en la escala de ponderación A (dB(A)).

La metodología permite evaluar el ruido audible total, como una superposición del ruido audible producido por cada conductor, para condiciones de lluvia.

Primero se ha de obtener la potencia acústica en el periodo de lluvia por medio de:

$$A1 = 20\log(n') + 44\log(100d) - \frac{655}{E_n} + K_{nn} \quad (dB)$$

Donde

- n' Es el número de subconductores por haz
- d Es el diámetro del conductor (m)
- E_n Es el gradiente máximo de potencial en la superficie del conductor (kV/cm)
- K_{nn} Es un factor de corrección que depende del número de subconductores

Posteriormente se incluyen los efectos tanto de propagación como de absorción en el aire, dando como resultado:

$$P(20\mu Pa)_i = A1 - 10\log(r_i) - 0.02r_i$$

Donde

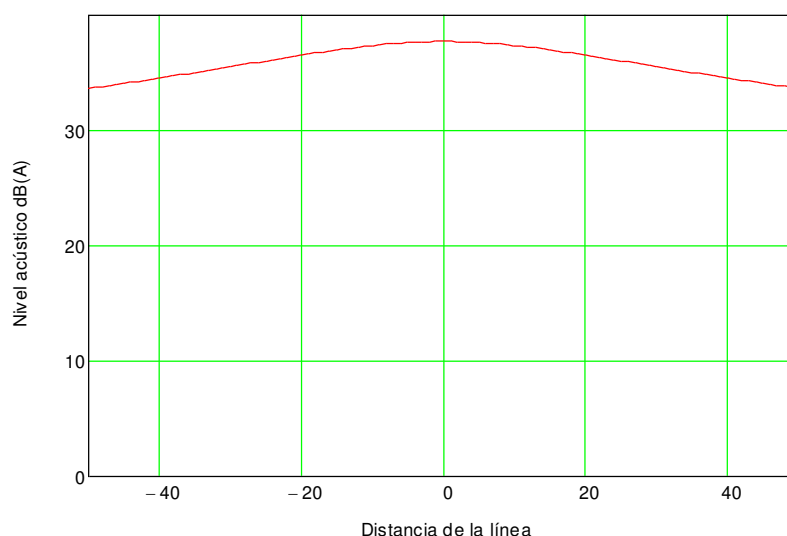
$P(20\mu Pa)_i$ Es la referencia tomada para el nivel de presión sonora

r_i Es la distancia entre el punto considerado y el conductor (m)

Por último, se suman las contribuciones de todos los conductores, mediante la siguiente ecuación:

$$P_{total}(dB) = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{P_i}{10}}$$

En la siguiente gráfica se puede observar el nivel de ruido que se puede presentar en la línea con lluvia, en posiciones que van desde los 50 metros a un lado de la línea hasta el otro.



Como se puede ver en las gráficas, los valores de ruido audible son considerablemente inferiores a los 52,5 dB (A) a 30 metros de la línea, valor considerado como límite para resultar molestas a las personas.

1.10.1.5. Potencia de transporte en función de temperatura

La potencia que puede transportar la línea se puede calcular, además, con el balance térmico en el conductor, dadas las temperaturas ambiente y temperatura máxima del cable.

Para realizar el cálculo se ha utilizado un método desarrollado en el CIGRE del grupo de trabajo 12 denominado "THERMAL BEHAVIOUR OF OVERHEAD CONDUCTORS".

Para la resolución del problema se cuenta con el balance térmico en el conductor, esto es que el calor generado sea igual al calor evacuado en régimen permanente

$$Q_{gen} = Q_{ced}$$

El calor es generado por cuatro motivos: El efecto Joule en el conductor, efectos magnéticos (como efecto pelicular), radiación solar sobre el conductor y las pérdidas por efecto corona. En cuanto al calor cedido se estudia la radiación al medio ambiente, la convección ya sea natural o forzada y por último efecto de evaporación de agua.

$$Q_J + Q_M + Q_S + Q_i = Q_c + Q_r + Q_w$$

1.10.1.5.1. Calor aportado por radiación solar

La radiación solar sobre el cable tiene en cuenta tanto la directa como la difusa. Se puede escribir:

$$Q_S = \alpha_s S D_c$$

siendo:

- α_s Absorbidad del conductor con un valor de 0,5
- S Radiación solar global, se estima un valor de 438 W/m² para verano, y un valor de 369W/m² en invierno.
- D_c Diámetro del conductor (m)

por lo tanto el calor aportado por el sol al cable es:

$$Q_S = \begin{pmatrix} 6.1 \\ 6.0 \\ 5.2 \\ 5.2 \end{pmatrix} \cdot \frac{W}{m}$$

1.10.1.5.2. Calor aportado por efecto corona

El aporte de calor por efecto corona es solamente significativa con los altos gradientes superficiales del tensión que están presentes durante la precipitación suele haber vientos y existe mucha refrigeración por evaporación del agua. Debido a este hecho, y al hecho de que el cálculo se realiza para evaluar la potencia máxima de las líneas no se considera necesario incluir las fórmulas para el cálculo del calentamiento por efecto corona.

$$Q_i = 0 \text{ W/m}$$

1.10.1.5.3. Calor cedido por radiación

Debido al hecho de que la pérdida de radiación es una pequeña fracción del total de la pérdida de calor, especialmente con convección forzada, a menudo es suficientemente preciso escribir:

$$Q_r = \pi D_c \varepsilon \sigma_b (T_c^4 - T_{amb}^4)$$

siendo:

- ε_s Emisividad del conductor con un valor de 0,5
- σ_b Constante de Stefan-Boltzmann de valor 5,67 10⁻⁸ W/m² K⁴
- T_c Es la temperatura del conductor en régimen permanente 85 °C
- T_{amb} Es la temperatura ambiente máxima en función de la época del año.

Para los siguientes valores de temperatura ambiente:

$$\theta_l = \begin{pmatrix} 31 \\ 22 \\ 11 \\ 20 \end{pmatrix} .^{\circ}\text{C}$$

Se obtiene un valor de calor cedido por radiación para cada una de las estaciones del año de:

$$Q_r = \begin{pmatrix} 19.7 \\ 22.1 \\ 24.7 \\ 22.6 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

1.10.1.5.4. Enfriamiento por evaporación

El enfriamiento por evaporación no se altera significativamente con el vapor de agua que está presente en el aire o con las gotitas de agua que va arrastrado en la corriente de aire alrededor del conductor. Los efectos del enfriamiento por evaporación son generalmente ignorados, y por lo tanto no son tratadas en el presente documento.

$$Q_w = 0 \text{ W/m}$$

1.10.1.5.5. Calor cedido por convección

La superficie caliente del conductor calienta el aire adyacente, y la densidad del aire caliente se reduce, por lo tanto, provocando el ascenso de este aire en el caso de convección natural ($V = 0$), o que será arrastrado en caso de convección forzada ($V \neq 0$). Aire frío reemplaza el aire caliente, refrigerando el conductor.

En el caso que nos ocupa donde las velocidades de viento son pequeñas, se calculará tanto la convección forzada como la natural y se elegirá el mayor valor del coeficiente de transmisión del calor por convección dado por ambos casos.

En cualquier caso la forma de calcular será:

$$Q_c = \pi \lambda_f (T_c - T_{\text{amb}}) Nu$$

donde:

- λ_f Conductividad térmica del aire que se encuentra en las proximidades del conductor
- Nu Número de Nusselt, que se calculará en función del tipo de convección, forzada o natural

1.10.1.5.5.1. Convección forzada

En rangos de operación normales se puede decir:

$$Nu = B_1 Re^n$$

Los valores de B_1 y n están en función de la rugosidad del conductor, y esta se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Rf = \frac{d}{2(D_c - d)}$$

Siendo:

d El diámetro del hilo exterior al cable 3,08 mm

El valor obtenido de la rugosidad es 0,063, y por tanto los valores obtenidos son:

$$B_1 = 0,641$$

$$n = 0,471$$

El número de Reynolds para una corriente de aire se puede calcular como:

$$Re = \frac{\rho_r D_c v}{\nu_f}$$

Donde:

ρ_r La densidad relativa del aire

v La velocidad del viento 0,6 m/s para el caso de estudio

ν_f La viscosidad cinemática del aire (m^2/s)

Los valores obtenidos son diferentes para distintas estaciones del año, ya que las propiedades del aire son función de la temperatura, de este modo se tienen valores del número de Reynolds para las cuatro estaciones:

$$Re_i = \begin{pmatrix} 867.2 \\ 887.5 \\ 913.6 \\ 892.1 \end{pmatrix}$$

Los valores del número de Nusselt para el flujo de aire perpendicular al cable son:

$$Nu_f = \begin{pmatrix} 15.514 \\ 15.683 \\ 15.899 \\ 15.722 \end{pmatrix}$$

La dirección del viento juega un papel importante en la eficacia de la refrigeración por convección forzada. El número de Nusselt varía en función del ángulo de ataque δ , respecto al eje del conductor, de la siguiente manera:

$$Nu_{\delta} = Nu_{90} (A_1 + B_2 \sin \delta^{m_1})$$

Donde:

- δ El ángulo de ataque del viento respecto al cable, normalmente se emplean 45° cuando no hay una dirección específica de viento
- A_1 Valor adimensional igual a 0,42
- B_2 Valor adimensional igual a 0,58
- m_1 Valor adimensional igual a 0,90

Por tanto los valores del número de Nusselt para el flujo de aire real son:

$$Nu_{\delta} = \begin{pmatrix} 13.103 \\ 13.246 \\ 13.428 \\ 13.279 \end{pmatrix}$$

1.10.1.5.5.2. Convección natural

El número de Nusselt para enfriamiento por convección natural depende del producto de los números de Grashof y Prandtl:

$$Nu = A_2 (Gr Pr)^{m_2}$$

El número de Prandtl es:

$$Pr = \frac{c\mu}{\lambda_f}$$

Donde:

- c Es el calor específico del aire a presión constante en J/kg K
- μ Es la viscosidad dinámica del aire en kg/m s
- λ_f Conductividad térmica del aire que se encuentra en las proximidades del conductor

Por tanto el número es únicamente función de la temperatura y de este modo se obtienen cuatro valores para las cuatro estaciones del año:

$$Pr = \begin{pmatrix} 0.7005 \\ 0.7016 \\ 0.7030 \\ 0.7019 \end{pmatrix}$$

Y se define el número de Grashof:

$$Gr = \frac{D_c^3 (T_c - T_{amb}) g}{T_{av} \nu_f}$$

Donde:

- g Es la aceleración de la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$
- T_{av} Es la temperatura del aire que rodea al cable, en K
- ν_f La viscosidad cinemática del aire (m^2/s)
- D_c Es el diámetro exterior del conductor
- T_c Es la temperatura del conductor en régimen permanente 85°C
- T_{amb} Es la temperatura ambiente que es función de la estación del año

Los valores obtenidos son:

$$Gr = \begin{pmatrix} 26790 \\ 31255 \\ 36712 \\ 32247 \end{pmatrix}$$

Los valores de las constantes A_2 y m_2 están en función del rango del producto $GrPr$ y para los valores del proyecto:

$$A_2 = 0,48$$

$$m_2 = 0,25$$

El número de Nusselt para enfriamiento por convección natural es:

$$Nu_n = \begin{pmatrix} 5.618 \\ 5.841 \\ 6.084 \\ 5.887 \end{pmatrix}$$

Como se expuso anteriormente para el calor cedido por convección natural se utilizará el máximo valor del número de Nusselt de convección natural y forzada, para el caso del proyecto que nos ocupa los valores son:

$$Nu = \begin{pmatrix} 13.103 \\ 13.246 \\ 13.428 \\ 13.279 \end{pmatrix}$$

$$Q_C = \begin{pmatrix} 63.074 \\ 73.543 \\ 86.335 \\ 75.868 \end{pmatrix} \cdot \frac{W}{m}$$

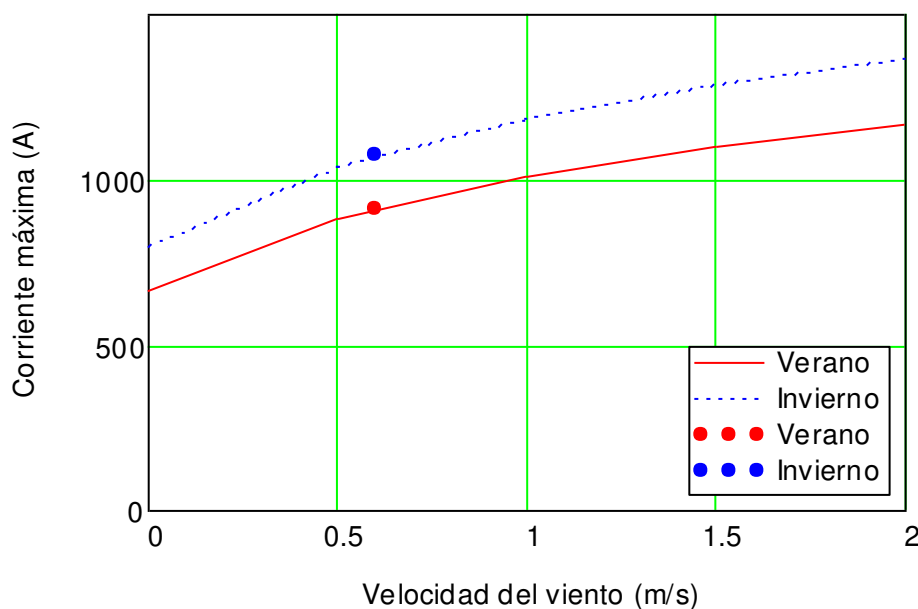
1.10.1.6. Potencia máxima de transporte por estaciones del año

La corriente máxima obtenida del balance térmico y teniendo en cuenta los efectos magnéticos sobre el conductor se puede poner como:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{Q_r + Q_c - Q_s}{R_{\theta_{ca}}}}$$

Dados los valores del proyecto, para cada una de las estaciones del año:

$$I_{\text{in}} = \begin{pmatrix} 913.5 \\ 987.8 \\ 1.1 \times 10^3 \\ 1 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ A}$$



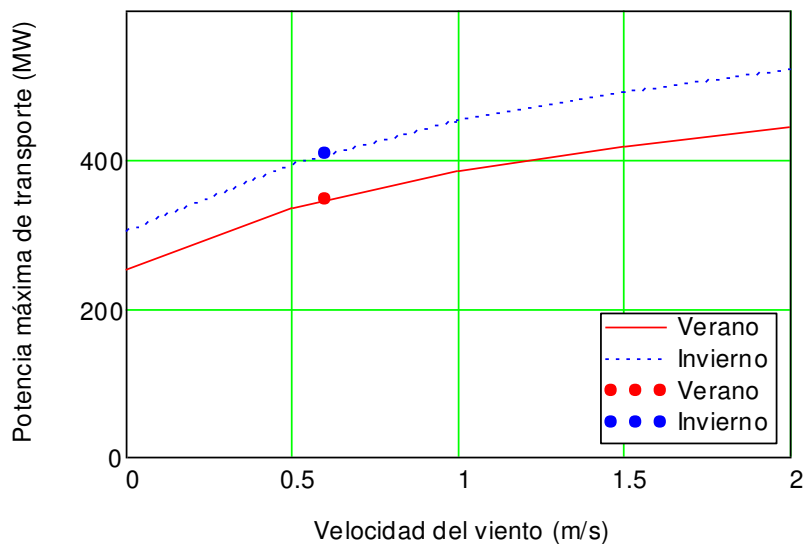
Y dada la tensión de la línea, la potencia máxima de transporte del tramo aéreo (para las condiciones estudiadas como más desfavorables, para un factor de potencia $\cos\varphi=1$ y para las estaciones de invierno y verano) es:

$$P_{\text{MAX}} = \begin{pmatrix} 348.1 \\ 376.4 \\ 409.3 \\ 384.1 \end{pmatrix} \cdot \text{MW}$$

Verano: 348,1 MW / Invierno: 409,3 MW

Estos valores están calculados para una velocidad del viento de 0,6 m/s.

En la tabla adjunta, se indica la variación de la potencia máxima de transporte del tramo aéreo, en las estaciones de invierno y verano en función de la variación de la velocidad del viento.



1.10.1.7. Aislamiento

Se establece un nivel de aislamiento mínimo, tal como se indica en la Tabla 12 del apartado 4.4 Coordinación de aislamiento dentro de la ITC-LAT 07 del Reglamento de líneas de Alta tensión, que se recoge en la siguiente tabla:

Tensión nominal (kV)	220
Tensión más elevada (kV eficaces)	245
Tensión de ensayo a impulso tipo rayo (kV cresta)	1.050

Este nivel de aislamiento se tomará como base para la determinación de los niveles de aislamiento de las cadenas de aisladores utilizadas en el proyecto.

Se considera un nivel de contaminación medio (II), definiendo como adecuada una línea de fuga nominal de 20 mm/kV (según ITC-LAT-07). Este nivel de contaminación es equivalente a:

- Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción.
- Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia.

El aislamiento se realizará mediante cadenas de aisladores de vidrio del tipo caperuza y vástago con la siguiente composición, tal y como se muestra en los planos:

El aislamiento se realizará mediante cadenas de aisladores de vidrio del tipo caperuza y vástago con la siguiente composición, tal y como se muestra en los planos:

TENSIÓN (kV)	CONDUCTOR	SUSPENSIÓN	AMARRE
220	AAAC A3 400	14	14

Las características de los elementos de aislador son:

DENOMINACIÓN	U-160-B
Carga de rotura electromecánica (daN)	16.000
Diámetro nominal (mm)	280
Paso nominal (mm)	146
Línea de fuga (mm)	380
Acoplamiento (UNE 21 009)	20
Peso aproximado (kg)	5,9

Las características eléctricas de las cadenas de aisladores se ajustarán a lo establecido en las normas UNE-EN 60305, UNE-EN 60433, CEI 383 y CEI 815 y se indican en la siguiente tabla:

Tensión (kV)	Tipo aislador	Nº Aisladores	Tensión soportada 50 Hz seco (kV)	Tensión soportada 50 Hz bajo lluvia (kV)	Tensión soportada impulso tipo rayo 1,2/50µs (kV)	Línea de fuga (m)
220	U 160-B	14	675	510	1.095	5,320

Las características mecánicas de las cadenas de suspensión utilizadas son las reflejadas en la siguiente tabla:

Tensión (kV)	Tipo aislador	Nº Aisladores	Carga de rotura (daN)	Longitud aprox. (mm)	Peso aprox. (daN)
220	U 160-B	14	16.000	2.454	133,280

Las características mecánicas de las cadenas de amarre utilizadas son las reflejadas en la siguiente tabla:

Tensión (kV)	Tipo aislador	Nº Aisladores	Carga de rotura (daN)	Longitud aprox. (mm)	Peso aprox. (daN)
220	U 160-B	14	16.000	2.468	129,80

El esfuerzo que soporta cada una de las cadenas del proyecto, así como el coeficiente de seguridad que tiene, se muestra en la siguiente tabla:

Nº Apoyo	Tipo	Esfuerzo cadena (daN)	Esfuerzo admisible (daN)	C.S.
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PÓRTICO	500	16.000	31,99
SC1-A	FL	509	16.000	31,41
SC1-B	FL	4.807	16.000	3,33
SC2-A	AG-AM	4.800	16.000	3,33
SC2-B	AG-AM	4.858	16.000	3,29
SC3-A	AG-AM	4.812	16.000	3,32
SC3-B	AG-AM	4.653	16.000	3,44
SC4	AL-S	2.337	16.000	6,85
SC5-A	AG-AM	4.642	16.000	3,45
SC5-B	AG-AM	4.642	16.000	3,45
SC6-A	AL-AM	4.646	16.000	3,44
SC6-B	AL-AM	4.943	16.000	3,24
SC7-A	AL-AM	4.948	16.000	3,23

Nº Apoyo	Tipo	Esfuerzo cadena (daN)	Esfuerzo admisible (daN)	C.S.
SC7-B	AL-AM	4.389	16.000	3,65
SC8-A	AG-AM	4.353	16.000	3,68
SC8-B	AG-AM	4.751	16.000	3,37
SC9	AL-S	2.386	16.000	6,71
SC10-A	AG-AM	4.753	16.000	3,37
SC10-B	AG-AM	4.586	16.000	3,49
SC11-A	AL-AM	4.582	16.000	3,49
SC11-B	AL-AM	4.718	16.000	3,39
SC12	AL-S	2.389	16.000	6,70
SC13-A	AG-AM	4.754	16.000	3,37
SC-13B	AG-AM	4.545	16.000	3,52
DC1-A	FL	4.530	16.000	3,53
DC1-B	FL	4.713	16.000	3,39
DC2	AL-S	2.399	16.000	6,67
DC3-A	AL-AM	4.716	16.000	3,39
DC3-B	AL-AM	4.894	16.000	3,27
DC4-A	AG-AM	4.950	16.000	3,23
DC4-B	AG-AM	4.647	16.000	3,44
DC5-A	AG-AM	4.596	16.000	3,48
DC5-B	AG-AM	4.587	16.000	3,49
DC6-A	AG-AM	4.588	16.000	3,49
DC6-B	AG-AM	4.805	16.000	3,33
DC7	AL-S	2.425	16.000	6,60
DC8	AL-S	2.432	16.000	6,58
DC9-A	AG-AM	4.815	16.000	3,32
DC9-B	AG-AM	4.812	16.000	3,33
DC10	AL-S	2.432	16.000	6,58
DC11-A	FL	4.799	16.000	3,33
DC11-B	FL	529	16.000	30,22
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PORTICO	509	16.000	31,45

1.10.2. Cálculo mecánico de conductores

Este apartado se refiere al estudio de las condiciones en que deben tenderse los conductores y los esfuerzos que estos provocan en los apoyos.

1.10.2.1. Características de la línea

Tensión nominal (kV)	U = 220
Categoría.....	Especial
Zona de aplicación	ZONA A
Longitud de la línea (km)	L = 7.967
Velocidad del viento (km/h).....	V = 140
Longitud cadena aisladores (m).....	l = 2,703
Peso de la cadena de aisladores (daN)	P = 132,4

1.10.2.2. Características del conductor

Las características mecánicas del conductor son:

Tipo	AAAC A3 400
Norma.....	IEC 61089
Material.....	Aleación de aluminio
Sección total (mm ²)	S _a = 465,00
Nº alambres y diámetro (mm)	37 x 4,00
Diámetro total (mm)	d _a = 28,00
Peso (daN/m)	p = 1,2557
Carga de rotura (daN).....	C _r = 14.640
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	E = 5.589
Coeficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	α = 23,0 10 ⁻⁶

1.10.2.3. Acciones consideradas

1.10.2.3.1. Cargas permanentes

Según la ITC-07 en su punto 3.1.1 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión, se considera la carga vertical debida al peso propio del conductor.

Peso del conductor (daN/m)	p _c = 1,256
----------------------------------	------------------------

1.10.2.3.2. Acción del viento

Según la ITC-07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión, se considerará la presión del viento sobre el conductor en función del diámetro del mismo. Se ha considerado una velocidad máxima de viento de 140km/h.

Acción del viento horizontal (daN/m)	p _v = 1,906
--------------------------------------------	------------------------

1.10.2.4. Hipótesis de partida

1.10.2.4.1. Límite estático

La tensión máxima de los conductores es la indicada en la siguiente tabla:

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	COEF.SEGURIDAD Cs	TENSIÓN MÁXIMA(daN)
AAAC A3 400	14.640,00	3,00	4.880,00
AAAC A3 400	14.640,00	4,00	3.660,00
AAAC A3 400	14.640,00	5,00	2.928,00
AAAC A3 400	14.640,00	14,64	1.000,00
AAAC A3 400	14.640,00	29,28	500,00
AAAC A3 400	14.640,00	0,00	0,00

1.10.2.4.2. Límite dinámico

Los fenómenos vibratorios se tendrán presente en las siguientes hipótesis de carga:

1.10.2.4.2.1. Hipótesis CHS (Cold Hours Stress)

La hipótesis de carga CHS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en condiciones de tensión más elevada que es probable que ocurra periódicamente (0 °C en la zona A) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un % de la carga de rotura en estas condiciones.

El valor de tense CHS empleado en las tablas de cálculo mecánico es el indicado en la siguiente tabla

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	TENSE CHS (daN)	% ROTURA
AAAC A3 400	14.640,00	3.367,20	23,00

1.10.2.4.2.2. Hipótesis EDS (Every Day Stress)

La hipótesis de carga EDS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en condiciones de temperatura normales (15 °C para todas zonas) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un % de la carga de rotura.

El valor de tense EDS empleado en las tablas de cálculo mecánico será el indicado en la siguiente tabla:

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	TENSE EDS (daN)	% ROTURA
AAAC A3 400	14.640,00	3.074,40	21,00

1.10.2.5. Hipótesis de cálculo

1.10.2.5.1. Tracción máxima admisible

Según la tabla 4 de la Instrucción Técnica Complementaria 07 del actual Reglamento de Líneas de Alta Tensión los conductores deberán resistir las sobrecargas siguientes:

ZONA A: Peso propio y sobrecarga de viento de 140km/h a -5°C

$$p_c = \sqrt{p_c^2 + p_{v120}^2}$$

$$p_v = 2,282 \text{ daN/m}$$

$$\theta_v = -5^{\circ}\text{C}$$

1.10.2.5.2. Hipótesis de flecha máxima

Según el actual Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión (Art. 27.- 3), se determinará la flecha máxima de los conductores o cables de tierra en las hipótesis siguientes:

Hipótesis de viento: Acción del peso propio y una sobrecarga de viento de 120km/h a la temperatura de 15°C .

$$p_{2v} = \sqrt{p_c^2 + p_v^2}$$

$$p_{2v} = 1,880 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2v} = 15^{\circ}\text{C}$$

Hipótesis de temperatura: Acción del peso propio a la temperatura de 85°C .

$$p_{2t} = p_c$$

$$p_{2t} = 1,256 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2t} = 85^{\circ}\text{C}$$

1.10.2.5.3. Hipótesis de flecha mínima

ZONA A: Peso propio sin sobrecarga a -5°C

$$p_{2t} = p_c$$

$$p_{2t} = 1,256 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2t} = -5^{\circ}\text{C}$$

1.10.2.6. Vano ideal de regulación

El comportamiento de la componente horizontal de la tensión del cable en un cantón de la línea se puede asemejar al comportamiento del mismo cable en un único vano llamado vano ideal de regulación.

Siendo:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^2}{a_i}}$$

$$a_i' = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad (m)$$

donde:

a_i : Longitud del vano i medido en la dirección longitudinal (m).

b_i : Desnivel del vano i medido en la dirección vertical (m).

El vano ideal de regulación se determinará mediante la siguiente expresión:

$$a_r = k \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum \frac{a_i'^2}{a_i}}} \quad (m)$$

Operando de esta forma se obtienen las tablas siguientes:

VANOS IDEALES DE REGULACION CONDUCTOR AAAC A3 400

Cantón N°	Apoyo Inicial	Apoyo Final	Longitud Cantón (m)	Vano de Regulación (m)	k	Tense flecha máx (daN)	Tense Flecha mínima (daN)	P. flecha máxima (m)	P. flecha mínima (m)
1	PÓRTICO SET RUEDA ESTE	SC1	48,8	48,8	1,003404	200,2	284,5	156,3	222,2
2	SC1	SC2	383,8	383,8	1,000020	2.029,0	3.376,1	1.584,5	2.636,5
3	SC2	SC3	403,4	403,4	1,000862	2.073,4	3.344,8	1.619,2	2.612,1
4	SC3	SC5	552,6	281,5	1,000260	1.737,7	3.588,2	1.357,0	2.802,2
5	SC5	SC6	284,5	284,5	1,000012	1.747,9	3.580,8	1.365,1	2.796,4
6	SC6	SC7	696,8	696,8	1,000003	2.428,9	2.971,2	1.896,8	2.320,4
7	SC7	SC8	143,0	143,0	1,002764	1.128,3	3.950,8	881,2	3.085,4
8	SC8	SC10	676,3	340,7	1,000259	1.918,4	3.455,8	1.498,2	2.698,8
9	SC10	SC11	252,7	252,7	1,000013	1.635,3	3.661,2	1.277,0	2.859,2
10	SC11	SC13	667,2	333,7	1,000629	1.898,7	3.470,2	1.482,7	2.710,0
11	SC13	DC1	228,9	228,9	1,000230	1.542,3	3.724,5	1.204,4	2.908,6
12	DC1	DC3	630,5	334,4	1,001051	1.900,4	3.468,8	1.484,1	2.709,0
13	DC3	DC4	521,8	521,8	1,000853	2.273,6	3.161,7	1.775,5	2.469,1
14	DC4	DC5	265,2	265,2	1,001982	1.679,8	3.629,2	1.311,8	2.834,2
15	DC5	DC6	254,5	254,5	1,000001	1.642,1	3.656,5	1.282,4	2.855,5
16	DC6	DC9	1.152,6	389,8	1,000012	2.042,9	3.366,2	1.595,4	2.628,8
17	DC9	DC11	770,6	386,9	1,000172	2.036,1	3.371,1	1.590,1	2.632,6

Cantón Nº	Apoyo Inicial	Apoyo Final	Longitud Cantón (m)	Vano de Regulación (m)	k	Tense flecha máx (daN)	Tense Flecha mínima (daN)	P. flecha máxima (m)	P. flecha mínima (m)
18	DC11	PÓRTICO SET PRE-RUEDA	33,6	33,6	1,036124	158,4	292,0	123,7	228,1

1.10.2.7. Comparación de hipótesis

1.10.2.7.1. Tensión mecánica

Partiendo de la tensión, temperatura y carga total correspondientes al valor de la tensión máxima adoptado, se calcula con la ayuda de la ecuación de cambio de condiciones, las tensiones respectivas a las hipótesis citadas en el apartado anterior.

Dicha ecuación es:

$$T_2^2 \cdot \left[T_2 \cdot \frac{A \cdot a^2 \cdot p_1^2}{T_1^2} + B \cdot (\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = A \cdot a^2 \cdot p_2^2$$

siendo:

T_1	Tensión del cable en condiciones iniciales en daN
q_1	Temperatura del cable en condiciones iniciales en °C
p_1	Carga del cable en condiciones iniciales, en daN/m
T_2, q_2, p_2	Los mismos conceptos anteriores en condiciones finales
a	Vano de cálculo (m)
A	$\frac{S_a \cdot E}{24}$
B	$S \cdot E \cdot \alpha \text{ daN} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

1.10.2.7.2. Flecha

El cálculo de flechas se obtiene mediante la expresión:

$$f = \frac{T_0}{p_a} \cdot \left(\cosh \left(\frac{a \cdot p_a}{2 \cdot T_0} \right) - 1 \right)$$

siendo:

p_a	Peso aparente del cable (daN/m).
T_0	Componente horizontal de la tensión del cable correspondiente al vano de regulación (daN).
a	Longitud del vano (m).

Con el valor de p_a y T de cada vano de regulación obtenido en las siguientes hipótesis:

Flecha máxima: aquella que resulte mayor de la comparación de las condiciones siguientes:

- Temperatura $\theta_2 = 85^\circ\text{C}$ sin sobrecarga
- Temperatura $\theta_2 = 15^\circ\text{C}$ y sobrecarga de viento

Flecha mínima:

- Temperatura $\theta_2 = -5^\circ\text{C}$ sin sobrecarga

se obtienen los parámetros de la catenaria de las curvas de replanteo correspondientes a la flecha máxima y mínima respectivamente.

CALCULO MECANICO DEL CONDUCTOR AAAC A3 400

Nº Cantón	Tensión inicial	Vano reg. (m)	-5°C		85°C		-5°C + V (140km/h)		15°C + V (140km/h)		-5°C + V/2		CHS a 0°C		EDS a 15°C		Ten. máxima	
			T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	%	T	%	T	C.S.
1	500,0	48,8	285	1,34	200	1,91	500	1,37	454	1,51	352	1,35	277	1,89	257	1,76	500	29,28
2	4.880,0	383,8	3.376	6,99	2.029	11,64	4.783	8,84	4.349	9,73	3.843	7,65	3.253	22,22	2.928	20,00	4.783	3,06
3	4.880,0	403,4	3.345	7,79	2.073	12,58	4.807	9,72	4.394	10,64	3.830	8,48	3.230	22,06	2.928	20,00	4.807	3,05
4	4.880,0	281,5	3.588	3,54	1.738	7,31	4.627	4,92	4.056	5,61	3.922	4,03	3.406	23,26	2.928	20,00	4.627	3,16
5	4.880,0	284,5	3.581	3,62	1.748	7,42	4.633	5,02	4.067	5,71	3.920	4,12	3.400	23,23	2.928	20,00	4.633	3,16
6	4.880,0	696,8	2.971	26,21	2.429	32,09	4.880	28,62	4.683	29,83	3.593	27,01	2.932	20,03	2.823	19,28	4.880	3,00
7	4.880,0	143,0	3.951	0,83	1.128	2,90	4.342	1,35	3.476	1,69	4.061	1,00	3.682	25,15	2.928	20,00	4.342	3,37
8	4.880,0	340,7	3.456	5,38	1.918	9,69	4.723	7,06	4.238	7,87	3.873	5,98	3.310	22,61	2.928	20,00	4.723	3,10
9	4.880,0	252,7	3.661	2,79	1.635	6,25	4.575	4,01	3.955	4,63	3.950	3,23	3.460	23,63	2.928	20,00	4.575	3,20
10	4.880,0	333,7	3.470	5,14	1.899	9,40	4.712	6,78	4.218	7,58	3.878	5,73	3.320	22,68	2.928	20,00	4.712	3,11
11	4.880,0	228,9	3.724	2,25	1.542	5,44	4.528	3,32	3.864	3,89	3.974	2,63	3.507	23,96	2.928	20,00	4.528	3,23
12	4.880,0	334,4	3.469	5,16	1.900	9,43	4.713	6,81	4.219	7,61	3.877	5,76	3.319	22,67	2.928	20,00	4.713	3,11
13	4.880,0	521,8	3.162	13,80	2.274	19,20	4.880	16,03	4.575	17,10	3.731	14,57	3.090	21,10	2.894	19,77	4.880	3,00
14	4.880,0	265,2	3.629	3,10	1.680	6,71	4.595	4,39	3.998	5,05	3.937	3,57	3.436	23,47	2.928	20,00	4.595	3,19
15	4.880,0	254,5	3.656	2,84	1.642	6,32	4.578	4,06	3.962	4,69	3.948	3,27	3.456	23,61	2.928	20,00	4.578	3,20
16	4.880,0	389,8	3.366	7,23	2.043	11,92	4.791	9,11	4.364	10,00	3.839	7,90	3.245	22,17	2.928	20,00	4.791	3,06
17	4.880,0	386,9	3.371	7,11	2.036	11,78	4.787	8,98	4.356	9,87	3.841	7,78	3.249	22,19	2.928	20,00	4.787	3,06
18	500,0	33,6	292	0,62	158	1,14	500	0,65	413	0,78	359	0,63	275	1,88	237	1,62	500	29,28

1.10.2.8. Tabla de regulación

Las tablas de regulación indican las flechas con las que debe ser instalado el cable en función de la temperatura y sin actuar sobrecarga alguna.

La tensión a que se ve sometido un cable en un punto determinado de la catenaria vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T = T_0 ch \left(\frac{x}{H} \right) \text{ (daN)}$$

siendo:

- T Tensión del cable (daN).
- T_0 Componente horizontal de la tensión del cable (daN).
- H Parámetro de la catenaria (m).
- x Coordenada en el eje x del cable (m).

La dirección de esta tensión en este punto será tangente a la catenaria.

La tensión en el punto medio de un vano no nivelado vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T_m = T_0 ch \left(\frac{x_m}{H} \right) \text{ (daN)}$$

donde:

$$x_m = H \arg sh \left[\frac{\frac{b}{2H}}{sh \frac{a}{2H}} \right] \text{ (m)}$$

siendo:

- T_m Tensión del cable en el punto medio del vano (daN).
- T_0 Componente horizontal de la tensión del cable (daN).
- H Parámetro de la catenaria (m).
- x_m Coordenada en el eje x del punto medio del vano (m).
- a Longitud del vano medido en la dirección longitudinal (m).
- b Desnivel del vano medido en la dirección vertical (m).

Las flechas de cada vano del cantón se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{T_{mi}}{p} \left[ch \left(\frac{a_i}{2 \cdot H} \right) - 1 \right] \text{ (m)}$$

donde:

- f : Flecha (m).
- T_{mi} : Tensión del cable en el punto medio del vano i (daN).
- H : Parámetro de la catenaria (m).

p: Fuerza por unidad de longitud o peso aparente (daN/m).

a_i: Longitud del vano i medido en la dirección longitudinal (m).

Operando de esta forma, se obtiene el cuadro de valores siguiente:

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 1 ZONA A

APOYO INICIAL N°: PÓRTICO SET RUEDA ESTE

VANO DE REGULACIÓN: 48,8m

APOYO FINAL N°: SC1

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		48,8
		4,0
		0-1
0	276,9	1,384
5	269,8	1,421
10	263,2	1,456
15	257,1	1,491
20	251,3	1,525
25	246,0	1,558
30	240,9	1,591
35	236,2	1,623
40	231,7	1,655
45	227,4	1,686
50	223,4	1,716

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 2 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC1

VANO DE REGULACIÓN: 383,8m

APOYO FINAL N°: SC2

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		383,8
		-2,4
		1-2
0	3.252,5	7,253
5	3.136,9	7,521
10	3.028,9	7,789
15	2.928,0	8,058
20	2.833,7	8,327
25	2.745,6	8,594
30	2.663,2	8,861
35	2.586,0	9,125
40	2.513,8	9,388
45	2.446,1	9,648
50	2.382,5	9,906

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 3 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC2

VANO DE REGULACIÓN: 403,4m

APOYO FINAL N°: SC3

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		403,4	
		-16,8	
0	3.230,2	8,076	
5	3.122,8	8,354	
10	3.022,2	8,632	
15	2.928,0	8,910	
20	2.839,8	9,188	
25	2.757,1	9,464	
30	2.679,6	9,738	
35	2.606,8	10,010	
40	2.538,4	10,280	
45	2.474,1	10,548	
50	2.413,6	10,813	

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 4 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC3

VANO DE REGULACIÓN: 281,5m

APOYO FINAL N°: SC5

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		245,3	307,3
		-8,3	0,9
0	3.405,8	2,830	4,440
5	3.235,1	2,979	4,675
10	3.075,8	3,133	4,917
15	2.928,0	3,292	5,166
20	2.791,2	3,453	5,419
25	2.665,0	3,617	5,676
30	2.548,7	3,782	5,935
35	2.441,7	3,948	6,196
40	2.343,2	4,114	6,456
45	2.252,7	4,279	6,716
50	2.169,3	4,444	6,974

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 5 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC5

VANO DE REGULACIÓN: 284,5m

APOYO FINAL N°: SC6

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		284,5
		1,4
		5-6
0	3.400,4	3,811
5	3.231,5	4,010
10	3.074,1	4,215
15	2.928,0	4,426
20	2.792,8	4,640
25	2.667,9	4,858
30	2.552,9	5,077
35	2.447,0	5,297
40	2.349,5	5,517
45	2.259,7	5,736
50	2.177,1	5,954

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 6 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC6

VANO DE REGULACIÓN: 696,8m

APOYO FINAL N°: SC7

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		696,8
		1,8
		6-7
0	2.932,3	26,554
5	2.894,8	26,900
10	2.858,4	27,243
15	2.823,3	27,584
20	2.789,2	27,922
25	2.756,3	28,257
30	2.724,4	28,590
35	2.693,4	28,920
40	2.663,4	29,248
45	2.634,2	29,573
50	2.606,0	29,895

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 7 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC7

VANO DE REGULACIÓN: 143,0m

APOYO FINAL N°: SC8

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		143,0
		-10,6
		7-8
0	3.682,4	0,891
5	3.421,3	0,959
10	3.169,2	1,036
15	2.928,0	1,121
20	2.699,6	1,216
25	2.485,9	1,320
30	2.288,8	1,434
35	2.109,2	1,556
40	1.947,7	1,685
45	1.804,1	1,819
50	1.677,2	1,957

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 8 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC8

VANO DE REGULACIÓN: 340,7m

APOYO FINAL N°: SC10

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		314,4 362,0
		-7,9 7,4
		8-9 9-10
0	3.309,7	4,783 6,340
5	3.173,3	4,988 6,613
10	3.046,3	5,197 6,889
15	2.928,0	5,407 7,168
20	2.818,1	5,618 7,447
25	2.716,0	5,829 7,728
30	2.621,1	6,040 8,008
35	2.532,9	6,251 8,287
40	2.450,9	6,460 8,565
45	2.374,5	6,668 8,841
50	2.303,4	6,874 9,114

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 9 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC10

VANO DE REGULACIÓN: 252,7m

APOYO FINAL N°: SC11

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		252,7	
		-1,3	
		10-11	
0	3.459,8	2,954	
5	3.270,2	3,125	
10	3.092,9	3,305	
15	2.928,0	3,491	
20	2.775,5	3,683	
25	2.635,0	3,879	
30	2.506,0	4,079	
35	2.387,8	4,281	
40	2.279,8	4,484	
45	2.181,0	4,687	
50	2.090,7	4,890	

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 10 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC11

VANO DE REGULACIÓN: 333,7m

APOYO FINAL N°: SC13

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		338,2	328,9
		9,2	13,9
		11-12	12-13
0	3.320,1	5,520	5,223
5	3.180,0	5,763	5,453
10	3.049,4	6,010	5,687
15	2.928,0	6,259	5,923
20	2.815,2	6,510	6,160
25	2.710,5	6,762	6,398
30	2.613,4	7,014	6,636
35	2.523,2	7,265	6,874
40	2.439,4	7,515	7,110
45	2.361,5	7,763	7,345
50	2.289,1	8,009	7,578

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 11 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC13

VANO DE REGULACIÓN: 228,9m

APOYO FINAL N°: DC1

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		228,9
		-4,9
0	3.507,1	2,392
5	3.301,4	2,542
10	3.108,2	2,700
15	2.928,0	2,866
20	2.761,1	3,039
25	2.607,3	3,218
30	2.466,5	3,402
35	2.337,9	3,590
40	2.220,8	3,779
45	2.114,4	3,969
50	2.017,8	4,160

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 12 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC1

VANO DE REGULACIÓN: 334,4m

APOYO FINAL N°: DC3

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		250,8 379,7
		11,1 -17,8
0	3.319,1	3,037 6,963
5	3.179,3	3,171 7,270
10	3.049,1	3,306 7,581
15	2.928,0	3,443 7,895
20	2.815,5	3,581 8,211
25	2.711,0	3,719 8,527
30	2.614,1	3,857 8,844
35	2.524,1	3,994 9,160
40	2.440,5	4,131 9,474
45	2.362,7	4,267 9,786
50	2.290,4	4,402 10,096

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 13 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC3

VANO DE REGULACIÓN: 521,8m

APOYO FINAL N°: DC4

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		521,8
		21,6
0	3.089,5	14,130
5	3.021,1	14,451
10	2.956,1	14,770
15	2.894,3	15,085
20	2.835,5	15,399
25	2.779,6	15,709
30	2.726,3	16,017
35	2.675,5	16,322
40	2.627,0	16,624
45	2.580,6	16,924
50	2.536,3	17,220

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 14 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC4

VANO DE REGULACIÓN: 265,2m

APOYO FINAL N°: DC5

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		265,2
		-16,7
0	3.436,1	3,284
5	3.254,7	3,467
10	3.085,4	3,658
15	2.928,0	3,854
20	2.782,4	4,056
25	2.648,2	4,262
30	2.524,8	4,470
35	2.411,6	4,680
40	2.307,7	4,891
45	2.212,5	5,102
50	2.125,2	5,312

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 15 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC5

VANO DE REGULACIÓN: 254,5m

APOYO FINAL N°: DC6

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		254,5
		0,3
		5-6
0	3.456,2	3,000
5	3.267,9	3,173
10	3.091,7	3,354
15	2.928,0	3,541
20	2.776,5	3,735
25	2.637,0	3,932
30	2.508,8	4,133
35	2.391,4	4,336
40	2.284,0	4,540
45	2.185,8	4,745
50	2.096,0	4,948

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 16 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC6

VANO DE REGULACIÓN: 389,8m

APOYO FINAL N°: DC9

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)		
		Longitud del vano (m)		
		Desnivel (m)		
		Apoyos del vano		
		359,8	355,6	437,1
		2,8	0,4	-1,4
		6-7	7-8	8-9
0	3.245,4	6,389	6,240	9,429
5	3.132,4	6,620	6,465	9,770
10	3.026,8	6,851	6,691	10,111
15	2.928,0	7,082	6,917	10,453
20	2.835,6	7,313	7,143	10,794
25	2.749,2	7,544	7,367	11,134
30	2.668,4	7,772	7,591	11,472
35	2.592,6	8,000	7,813	11,808
40	2.521,6	8,225	8,033	12,141
45	2.454,9	8,449	8,252	12,471
50	2.392,3	8,671	8,468	12,799

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 17 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC9

VANO DE REGULACIÓN: 386,9m

APOYO FINAL N°: DC11

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		365,2	405,4
		-4,1	-9,4
0	3.248,9	9-10	10-11
		6,574	8,103
		6,814	8,399
		7,055	8,696
		7,295	8,993
		7,536	9,289
		7,776	9,584
		8,014	9,878
		8,251	10,170
		8,486	10,460
		8,719	10,748
		8,950	11,032

CONDUCTOR AAAC A3 400 - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 18 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC11

VANO DE REGULACIÓN: 33,6m

APOYO FINAL N°: PÓRTICO SET PRE-RUEDA

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		33,6	
		-9,1	
0	274,9	11-12	0,680
			0,718
			0,755
			0,790
			0,823
			0,856
			0,887
			0,918
			0,947
			0,976
			1,004

1.10.2.9. Distancias

Se consideran tres tipos de distancias eléctricas:

- D_{el} Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento o rápido. Previene descargas eléctricas entre las partes en tensión y objetos a potencial de tierra, en condiciones de explotación normal de la red. Las condiciones normales incluyen operaciones de enganche, aparición de rayos y sobretensiones resultantes de faltas en la red.
- D_{pp} Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. Esta distancia previene las descargas eléctricas entre fases durante maniobras y sobretensiones de rayos
- a_{som} Valor mínimo de la distancia de descarga de la cadena de aisladores, definida como la distancia más corta en línea recta entre las partes en tensión y las partes puestas a tierra. La probabilidad de descarga a través de la mínima distancia interna a_{som} debe ser siempre mayor que la descarga a través de algún objeto externo o persona. Por este motivo, las distancias externas mínimas de seguridad ($D_{add} + D_{el}$) deben ser siempre superiores a $1,1 a_{som}$.

Los valores para la tensión nominal de 220kV son los siguientes:

Tensión más elevada U_s (kV)	D_{el} (m)	D_{pp} (m)
245,0	1,70	2,00

1.10.2.9.1. Distancias entre conductores a partes puestas a tierra

Según la ITC-07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión la distancia mínima de los conductores y sus partes puestas en tensión y los apoyos no será inferior a D_{el} , con un mínimo de 0,2m.

$$D_{el} = 1,70 \text{ m} \quad d_{\min} = 1,70 \text{ m}$$

1.10.2.9.2. Distancia de seguridad en apoyos de alineación

El ángulo de inclinación de las cadenas de suspensión vendrá dado por la expresión:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_t + \frac{F_{ta}}{2}}{P + \frac{P_a}{2} + P_c}$$

siendo:

- F_t Fuerza debida a una presión de viento mitad actuando sobre los conductores a ambos lados del apoyo, a la que se añade en los apoyos de ángulo la componente horizontal de las fuerzas de tracción transmitida (daN)
- F_{ta} Fuerza debida a la presión del viento actuando sobre la cadena de aisladores con presión de viento mitad (daN)
- P Componente vertical de las fuerzas transmitidas por el conductor situado en los vanos contiguos al apoyo (daN)
- P_a Peso de la cadena de aisladores y herrajes (daN)
- P_c Peso de los contrapesos que eventualmente se hayan instalado (daN)

Teniendo en cuenta que puede presentarse el caso de apoyos en donde el gravivano sea inferior al eolovano y despreciando el peso y la fuerza que ejerce el viento sobre la cadena de aisladores, la desviación de la cadena de aisladores será:

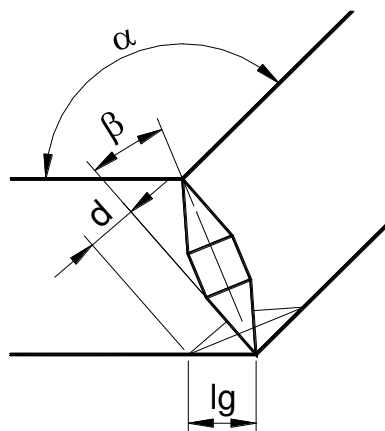
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_t e_o}{P g_r}$$

siendo:

- e_o : Eolovano en hipótesis de viento en el apoyo estudiado
- g_r : Gravivano en hipótesis de viento en el apoyo estudiado

1.10.2.9.3. Cálculo de la distancia a masa en apoyos tipo ángulo

En los apoyos tipo ángulo la distancia entre los conductores en tensión y el apoyo puesto a tierra se puede calcular de la siguiente forma:



$$d = lg \operatorname{sen} \left(\frac{\alpha}{2} - \beta \right)$$

siendo:

- lg: Longitud de la cadena de amarre (m)
- α: Ángulo de la línea
- β: Semiángulo de la cruceta

donde:

$$\beta = a \tan \left(\frac{f/2}{br - f/2} \right)$$

siendo:

- f: Fuste del apoyo
- br: Brazo más corto de la cruceta

Se ha realizado el cálculo de esta distancia para todos los apoyos tipo ángulo de la línea. En la tabla de distancia a masa se muestra los resultados de este cálculo aplicado a la línea.

1.10.2.9.4. Tabla de resultados

En la tabla siguiente se puede ver la inclinación de la cadena de cada apoyo de alineación y la distancia de seguridad a masa de todos los apoyos de la línea:

Nº Apoyo	Tipo Apoyo	Inclinación cadena	Distancia mínima conductores (m)	Distancia mínima puente flojo (m)	Distancia a masa (m)	Porcentaje de superación
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PÓRTICO	---	---	---	1,70	---
SC1	FL	---	---	2,18	1,70	28,41%
SC2	AG-AM	---	2,32	1,79	1,70	5,53%
SC3	AG-AM	---	2,20	1,79	1,70	5,53%
SC4	AL-S	31,65°	2,06	---	1,70	21,30%
SC5	AG-AM	---	2,24	1,79	1,70	5,53%
SC6	AL-AM	---	---	1,79	1,70	5,53%
SC7	AL-AM	---	---	1,79	1,70	5,53%
SC8	AG-AM	---	1,86	2,31	1,70	9,39%
SC9	AL-S	32,51°	2,03	---	1,70	19,48%
SC10	AG-AM	---	1,96	2,31	1,70	15,52%
SC11	AL-AM	---	---	1,79	1,70	5,53%
SC12	AL-S	27,58°	2,18	---	1,70	27,94%
SC13	AG-AM	---	2,26	1,79	1,70	5,53%
DC1	FL	---	---	2,31	1,70	35,65%
DC2	AL-S	17,27°	2,34	---	1,70	37,85%
DC3	AL-AM	---	---	2,31	1,70	35,65%
DC4	AG-AM	---	2,12	2,16	1,70	24,59%
DC5	AG-AM	---	2,03	2,01	1,70	17,99%
DC6	AG-AM	---	2,16	2,25	1,70	27,26%
DC7	AL-S	25,00°	2,22	---	1,70	30,83%
DC8	AL-S	25,56°	2,21	---	1,70	30,22%
DC9	AG-AM	---	2,27	2,31	1,70	33,53%
DC10	AL-S	24,70°	2,23	---	1,70	31,14%
DC11	FL	---	---	2,31	1,70	35,65%
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PÓRTICO	---	---	---	1,70	---

1.10.2.9.5. Distancia de seguridad de los conductores al terreno

Según el apartado 5.5 de la ITC-07 del Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión la altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, caminos, sendas y cursos de agua no navegables a una altura mínima de:

$$h_{\min} = D_{\text{add}} + D_{\text{el}} = 5,3 \text{ m} + D_{\text{el}} = (5,3 + 1,70) \text{ m} = 7,00 \text{ m}$$

No obstante, en lugares de difícil acceso esta distancia podrá ser reducida en un metro

La distancia de los conductores al terreno en las condiciones más desfavorables se muestra en la siguiente tabla:

Vano	Apoyo anterior	Apoyo posterior	Flecha máxima (m)	Distancia mínima (m)	Distancia al terreno (m)
1	PÓRTICO SET RUEDA ESTE	SC1	1,92	7,00	14,55
2	SC1	SC2	11,64	7,00	9,61
3	SC2	SC3	12,59	7,00	11,64
4	SC3	SC4	5,55	7,00	13,42
5	SC4	SC5	8,71	7,00	14,85
6	SC5	SC6	7,42	7,00	23,42
7	SC6	SC7	32,09	7,00	7,96
8	SC7	SC8	2,91	7,00	23,94
9	SC8	SC9	8,26	7,00	11,87
10	SC9	SC10	10,95	7,00	11,33
11	SC10	SC11	6,25	7,00	13,25
12	SC11	SC12	9,66	7,00	13,95
13	SC12	SC13	9,14	7,00	17,48
14	SC13	DC1	5,44	7,00	9,37
15	DC1	DC2	5,31	7,00	10,12
16	DC2	DC3	12,17	7,00	9,89
17	DC3	DC4	19,22	7,00	11,09
18	DC4	DC5	6,72	7,00	12,05
19	DC5	DC6	6,32	7,00	10,37
20	DC6	DC7	10,16	7,00	10,64
21	DC7	DC8	9,92	7,00	9,82
22	DC8	DC9	14,99	7,00	11,70
23	DC9	DC10	10,50	7,00	13,40
24	DC10	DC11	12,94	7,00	9,51
25	DC11	PÓRTICO SET PRE-RUEDA	1,18	7,00	15,00

1.10.2.9.6. Distancia de los conductores entre sí

De acuerdo con lo establecido en el punto 5.4.1 de la ITC 07 del Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión, teniendo presente los efectos de las oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de nieve acumulada sobre ellos, la distancia de los conductores vendrá dada por la siguiente expresión:

$$D = K \sqrt{f_{\max} + L} + K' D_{pp}$$

siendo:

- D Distancia mínima entre conductores (m)
- f_{\max} Flecha máxima (m)
- D_{pp} Distancia mínima aérea especificada definida anteriormente
- L Longitud de la cadena (m)
- K Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento
- K' Coeficiente en función de la categoría de la línea

El ángulo de oscilación de los conductores se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \arctg \frac{p_v}{p_c}$$

Calculando la presión de viento para una velocidad de 120km/h. Para el citado ángulo de oscilación, el Reglamento de Líneas de Alta Tensión da un valor de:

1.10.3. Distancia entre conductores

 Categoría: 2ª $\mu = 47,55^\circ$ $K = 0,65$ $K' = 0,85$

Nº Apoyo	K	Flecha máxima (m)		Hipótesis	L (m)	Dis. mín (m)	Dis. Real (m)	Porcent aje sup.
		v. anterior	v. posterior					
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	0,60	0,000	1,916	Temper.	0,000	2,531
SC1	0,60	1,916	11,636	Temper.	0,000	3,747	10,740	65,11%
SC2	0,60	11,636	12,591	Temper.	0,000	3,829	6,603	42,01%
SC3	0,60	12,591	5,549	Temper.	0,000	3,829	6,603	42,01%
SC4	0,60	5,549	8,710	Temper.	2,454	3,705	6,603	43,89%
SC5	0,60	8,710	7,418	Temper.	0,000	3,471	6,603	47,44%
SC6	0,65	5,714	29,829	Viento	0,000	5,250	6,603	20,49%
SC7	0,65	29,829	1,693	Viento	0,000	5,250	6,603	20,49%
SC8	0,60	2,910	8,256	Temper.	0,000	3,424	6,602	48,14%
SC9	0,60	8,256	10,947	Temper.	2,454	3,896	6,603	40,99%
SC10	0,60	10,947	6,254	Temper.	0,000	3,685	6,603	44,18%
SC11	0,60	6,254	9,659	Temper.	0,000	3,565	6,603	46,01%
SC12	0,60	9,659	9,139	Temper.	2,454	3,788	6,603	42,63%
SC13	0,60	9,139	5,444	Temper.	0,000	3,514	6,603	46,78%
DC1	0,60	5,444	5,306	Temper.	0,000	3,082	5,886	47,63%
DC2	0,60	5,306	12,173	Temper.	2,454	3,995	5,500	27,37%
DC3	0,65	9,826	17,115	Viento	0,000	4,389	5,886	25,43%
DC4	0,65	17,115	5,062	Viento	0,000	4,389	5,882	25,38%
DC5	0,60	6,722	6,318	Temper.	0,000	3,256	5,879	44,63%
DC6	0,60	6,318	10,156	Temper.	0,000	3,612	5,883	38,60%
DC7	0,65	8,523	8,324	Viento	2,454	3,854	5,500	29,94%
DC8	0,65	8,324	12,580	Viento	2,454	4,220	5,500	23,27%
DC9	0,60	14,993	10,497	Temper.	0,000	4,023	5,866	31,41%
DC10	0,65	8,793	10,840	Viento	2,454	4,070	5,500	26,00%
DC11	0,60	12,941	1,181	Temper.	0,000	3,858	5,867	34,24%
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	0,60	1,181	0,000	Temper.	0,000	2,352

1.10.4. Cálculo mecánico del cable de fibra óptica

Este apartado se refiere al estudio de las condiciones en que debe tenderse el cable de fibra óptica y los esfuerzos que este provoca en los apoyos.

1.10.4.1. Características de la línea

Tensión nominal (kV)	U = 220
Categoría.....	Categoría especial
Zona de aplicación	ZONA A
Longitud de la línea (km)	L = 7,945
Velocidad del viento (km/h).....	V = 140
Longitud cadena aisladores (m).....	l = 2,468
Peso de la cadena de aisladores (daN)	P = 133,2

1.10.4.2. Características del cable de fibra óptica

Las características mecánicas del cable de fibra óptica son:

Tipo	OPGW-48 FO 43D58Z
Sección total (mm ²)	S _a = 100,3
Diámetro total (mm)	d _a = 14,30
Peso (daN/m)	p = 0,574
Carga de rotura (daN).....	C _r = 8.440
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	E = 11.830
Coefficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	α = 14,1 10 ⁻⁶

1.10.4.3. Acciones consideradas

1.10.4.3.1. Cargas permanentes

Según la ITC-07 en su punto 3.1.1 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión, se considera la carga vertical debida al peso propio del cable de fibra óptica.

Peso del cable de fibra óptica (daN/m)	p _c = 0,574
----------------------------------------------	------------------------

1.10.4.3.2. Acción del viento

Según la ITC-07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión, se considerará la presión del viento sobre el cable de fibra óptica en función del diámetro del mismo. Se ha considerado una velocidad máxima de viento de 140km/h.

Acción del viento horizontal (daN/m)	p _v = 1,168
--------------------------------------------	------------------------

1.10.4.4. Hipótesis de partida

1.10.4.4.1. Límite estático

La tensión máxima de los cables de fibra óptica es la indicada en la siguiente tabla:

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	COEF.SEGURIDAD Cs	TENSIÓN MÁXIMA(daN)
OPGW 48 43D58Z	8.440	3,00	2.813
OPGW 48 43D58Z	8.440	3,50	2.411
OPGW 48 43D58Z	8.440	4,00	2.110
OPGW 48 43D58Z	8.440	5,00	1.688
OPGW 48 43D58Z	8.440	11,25	750
OPGW 48 43D58Z	8.440	24,11	350

1.10.4.4.2. Límite dinámico

Los fenómenos vibratorios se tendrán presente en las siguientes hipótesis de carga:

1.10.4.4.2.1. Hipótesis CHS (Cold Hours Stress)

La hipótesis de carga CHS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en condiciones de tensión más elevada que es probable que ocurra periódicamente (0 °C en la zona A) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un % de la carga de rotura en estas condiciones.

El valor de tense CHS empleado en las tablas de cálculo mecánico es el indicado en la siguiente tabla

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	TENSE CHS (daN)	% ROTURA
OPGW 48 43D58Z	8.440	2.150	25,47

1.10.4.4.2.2. Hipótesis EDS (Every Day Stress)

La hipótesis de carga EDS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en condiciones de temperatura normales (15 °C para todas zonas) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un % de la carga de rotura.

El valor de tense EDS empleado en las tablas de cálculo mecánico será el indicado en la siguiente tabla:

CONDUCTOR	CARGA DE ROTURA (daN)	TENSE EDS (daN)	% ROTURA
OPGW 48 43D58Z	8.440	1.403	16,62

1.10.4.5. Hipótesis de cálculo

1.10.4.5.1. Tracción máxima admisible

Según la tabla 4 de la Instrucción Técnica Complementaria 07 del actual Reglamento de Líneas de Alta Tensión los cables de fibra óptica deberán resistir las sobrecargas siguientes:

ZONA A: Peso propio y sobrecarga de viento de 140 km/h a -5°C

$$p_c = \sqrt{p_c^2 + p_v^2}$$

$$p_v = 1,032 \text{ daN/m}$$

$$\theta_v = -5^{\circ}\text{C}$$

1.10.4.5.2. Hipótesis de flecha máxima

Según la ITC-07 del actual Reglamento de Líneas de Alta Tensión (Apartado 3.2.3), se determinará la flecha máxima de los conductores o cables de tierra en las hipótesis siguientes:

Hipótesis de viento: Acción del peso propio y una sobrecarga de viento de 120km/h a la temperatura de 15°C .

$$p_{2v} = \sqrt{p_c^2 + p_v^2}$$

$$p_{2v} = 1,032 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2v} = 15^{\circ}\text{C}$$

Hipótesis de temperatura: Acción del peso propio a la temperatura de 50°C .

$$p_{2t} = p_c$$

$$p_{2t} = 0,574 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2t} = 50^{\circ}\text{C}$$

1.10.4.5.3. Hipótesis de flecha mínima

ZONA A: Peso propio sin sobrecarga a -5°C

$$p_{2B} = p_c$$

$$p_{2B} = 0,574 \text{ daN/m}$$

$$\theta_{2B} = -5^{\circ}\text{C}$$

1.10.4.6. Vano ideal de regulación

El comportamiento de la componente horizontal de la tensión del cable en un cantón de la línea se puede asemejar al comportamiento del mismo cable en un único vano llamado vano ideal de regulación.

Siendo:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^2}{a_i}}$$

$$a_i' = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad (m)$$

donde:

a_i : Longitud del vano i medido en la dirección longitudinal (m).

b_i : Desnivel del vano i medido en la dirección vertical (m).

El vano ideal de regulación se determinará mediante la siguiente expresión:

$$a_r = k \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum \frac{a_i'^2}{a_i}}} \quad (m)$$

Operando de esta forma se obtienen las tablas siguientes:

VANOS IDEALES DE REGULACION CABLE OPGW 48 43D58Z

Cantón Nº	Apoyo Inicial	Apoyo Final	Longitud Cantón (m)	Vano regulación (m)	k	Tense de flecha máxima (daN)	Tense Flecha mínima (daN)	P. flecha máxima (m)	P. flecha mínima (m)
1	PÓRTICO SET RUEDA ESTE	SC1	48,8	48,8	1,003404	129,0	164,1	224,8	286,0
2	SC1	SC2	383,8	383,8	1,000020	2.373,3	1.535,8	1.823,9	2.675,7
3	SC2	SC3	403,4	403,4	1,000862	2.406,4	1.527,4	1.849,3	2.661,0
4	SC3	SC5	552,6	281,5	1,000260	2.163,7	1.591,5	1.662,7	2.772,7
5	SC5	SC6	284,5	284,5	1,000012	2.170,9	1.589,6	1.668,3	2.769,3
6	SC6	SC7	696,8	696,8	1,000003	2.743,5	1.448,3	2.108,3	2.523,2
7	SC7	SC8	143,0	143,0	1,002764	1.774,4	1.685,2	1.363,6	2.935,9
8	SC8	SC10	676,3	340,7	1,000259	2.291,8	1.557,0	1.761,2	2.712,6
9	SC10	SC11	252,7	252,7	1,000013	2.093,8	1.610,3	1.609,0	2.805,5
10	SC11	SC13	667,2	333,7	1,000629	2.277,3	1.560,8	1.750,1	2.719,2
11	SC13	DC1	228,9	228,9	1,000230	2.031,7	1.626,6	1.561,3	2.833,8
12	DC1	DC3	630,5	334,4	1,001051	2.278,4	1.560,5	1.750,9	2.718,6
13	DC3	DC4	521,8	521,8	1,000853	2.577,6	1.488,0	1.980,8	2.592,3
14	DC4	DC5	265,2	265,2	1,001982	2.123,1	1.602,1	1.631,6	2.791,1
15	DC5	DC6	254,5	254,5	1,000001	2.098,4	1.609,1	1.612,6	2.803,3
16	DC6	DC9	1.152,6	389,8	1,000012	2.383,8	1.533,2	1.831,9	2.671,1
17	DC9	DC11	770,6	386,9	1,000172	2.378,6	1.534,5	1.827,9	2.673,3

Cantón Nº	Apoyo Inicial	Apoyo Final	Longitud Cantón (m)	Vano regulación (m)	k	Tense de flecha máxima (daN)	Tense Flecha mínima (daN)	P. flecha máxima (m)	P. flecha mínima (m)
18	DC11	PÓRTICO SET PRE-RUEDA	33,6	33,6	1,036124	110,9	178,1	193,2	310,2

1.10.4.7. Comparación de hipótesis

1.10.4.7.1. Tensión mecánica

Partiendo de la tensión, temperatura y carga total correspondientes al valor de la tensión máxima adoptado, se calcula con la ayuda de la ecuación de cambio de condiciones, las tensiones respectivas a las hipótesis citadas en el apartado anterior.

Dicha ecuación es:

$$T_2^2 \cdot \left[T_2 \cdot \frac{A \cdot a^2 \cdot p_1^2}{T_1^2} + B \cdot (\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = A \cdot a^2 \cdot p_2^2$$

siendo:

T_1	Tensión del cable en condiciones iniciales en daN
q_1	Temperatura del cable en condiciones iniciales en °C
p_1	Carga del cable en condiciones iniciales, en daN/m
T_2, q_2, p_2	Los mismos conceptos anteriores en condiciones finales
a	Vano de cálculo (m)
A	$\frac{S_a \cdot E}{24}$
B	$S \cdot E \cdot \alpha \text{ daN} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

1.10.4.7.2. Flecha

El cálculo de flechas se obtiene mediante la expresión:

$$f = \frac{T_0}{p_a} \cdot \left(\cosh \left(\frac{a \cdot p_a}{2 \cdot T_0} \right) - 1 \right)$$

siendo:

p_a	Peso aparente del cable (daN/m).
T_0	Componente horizontal de la tensión del cable correspondiente al vano de regulación (daN).
a	Longitud del vano (m).

Con el valor de p_a y T de cada vano de regulación obtenido en las siguientes hipótesis:

Flecha máxima: aquella que resulte mayor de la comparación de las condiciones siguientes:

- Temperatura $\theta_2 = 85^\circ\text{C}$ sin sobrecarga
- Temperatura $\theta_2 = 15^\circ\text{C}$ y sobrecarga de viento

Flecha mínima:

- Temperatura $\theta_2 = -5^\circ\text{C}$ sin sobrecarga

se obtienen los parámetros de la catenaria de las curvas de replanteo correspondientes a la flecha máxima y mínima respectivamente.

CALCULO MECANICO DEL CABLE DE TIERRA OPGW 48 43D58Z

Nº Cantón	Tensión inicial	Vano reg. (m)	-5°C		50°C		-5°C + V (140km/h)		15°C + V (140km/h)		-5°C + V/2		CHS a 0°C		EDS a 15°C		Ten. máxima	
			T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	%	T	%	T	C.S.
1	350,0	48,8	164	1,04	129	1,33	350	1,11	321	1,21	229	1,07	160	1,89	148	1,76	350	24,11
2	2.813,3	383,8	1.536	6,89	1.217	8,69	2.497	9,61	2.373	10,11	1.888	7,99	1.501	17,78	1.403	16,62	2.497	3,38
3	2.813,3	403,4	1.527	7,65	1.228	9,52	2.525	10,49	2.406	11,01	1.894	8,80	1.494	17,71	1.403	16,62	2.525	3,34
4	2.813,3	281,5	1.592	3,57	1.145	4,97	2.317	5,57	2.164	5,96	1.850	4,39	1.541	18,26	1.403	16,62	2.317	3,64
5	2.813,3	284,5	1.590	3,65	1.148	5,06	2.323	5,67	2.171	6,07	1.851	4,48	1.540	18,25	1.403	16,62	2.323	3,63
6	2.813,3	696,8	1.448	24,09	1.317	26,50	2.813	28,13	2.743	28,85	1.943	25,63	1.435	17,00	1.397	16,55	2.813	3,00
7	2.813,3	143,0	1.685	0,87	989	1,48	1.995	1,67	1.774	1,87	1.781	1,18	1.612	19,11	1.403	16,62	1.995	4,23
8	2.813,3	340,7	1.557	5,35	1.191	7,00	2.427	7,78	2.292	8,24	1.873	6,34	1.516	17,96	1.403	16,62	2.427	3,48
9	2.813,3	252,7	1.610	2,84	1.119	4,09	2.258	4,60	2.094	4,96	1.837	3,56	1.555	18,43	1.403	16,62	2.258	3,74
10	2.813,3	333,7	1.561	5,12	1.186	6,74	2.414	7,51	2.277	7,96	1.871	6,10	1.519	18,00	1.403	16,62	2.414	3,50
11	2.813,3	228,9	1.627	2,31	1.095	3,43	2.205	3,87	2.032	4,20	1.825	2,94	1.568	18,57	1.403	16,62	2.205	3,83
12	2.813,3	334,4	1.560	5,14	1.186	6,77	2.415	7,54	2.278	7,99	1.871	6,12	1.519	17,99	1.403	16,62	2.415	3,49
13	2.813,3	521,8	1.488	13,14	1.278	15,30	2.673	16,59	2.578	17,21	1.923	14,50	1.466	17,37	1.403	16,62	2.673	3,16
14	2.813,3	265,2	1.602	3,15	1.131	4,47	2.282	5,02	2.123	5,39	1.842	3,91	1.549	18,36	1.403	16,62	2.282	3,70
15	2.813,3	254,5	1.609	2,89	1.121	4,15	2.262	4,66	2.098	5,02	1.837	3,61	1.555	18,42	1.403	16,62	2.262	3,73
16	2.813,3	389,8	1.533	7,11	1.221	8,93	2.506	9,87	2.384	10,38	1.890	8,23	1.499	17,76	1.403	16,62	2.506	3,37
17	2.813,3	386,9	1.534	7,00	1.219	8,81	2.501	9,74	2.379	10,24	1.889	8,11	1.500	17,77	1.403	16,62	2.501	3,37
18	350,0	33,6	178	0,45	111	0,73	350	0,52	297	0,62	240	0,48	167	1,98	143	1,69	350	24,11

1.10.4.8. Tabla de regulación

Las tablas de regulación indican las flechas con las que debe ser instalado el cable en función de la temperatura y sin actuar sobrecarga alguna.

La tensión a que se ve sometido un cable en un punto determinado de la catenaria vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T = T_0 ch \left(\frac{x}{H} \right) \text{ (daN)}$$

siendo:

- T Tensión del cable (daN).
- T_0 Componente horizontal de la tensión del cable (daN).
- H Parámetro de la catenaria (m).
- x Coordenada en el eje x del cable (m).

La dirección de esta tensión en este punto será tangente a la catenaria.

La tensión en el punto medio de un vano no nivelado vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T_m = T_0 ch \left(\frac{x_m}{H} \right) \text{ (daN)}$$

donde:

$$x_m = H \arg sh \left[\frac{\frac{b}{2H}}{sh \frac{a}{2H}} \right] \text{ (m)}$$

siendo:

- T_m Tensión del cable en el punto medio del vano (daN).
- T_0 Componente horizontal de la tensión del cable (daN).
- H Parámetro de la catenaria (m).
- x_m Coordenada en el eje x del punto medio del vano (m).
- a Longitud del vano medido en la dirección longitudinal (m).
- b Desnivel del vano medido en la dirección vertical (m).

Las flechas de cada vano del cantón se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{T_{mi}}{p} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{a_i}{2 \cdot H} \right) - 1 \right] \quad (\text{m})$$

donde:

- f: Flecha (m).
- T_{mi} : Tensión del cable en el punto medio del vano i (daN).
- H: Parámetro de la catenaria (m).
- p: Fuerza por unidad de longitud o peso aparente (daN/m).
- a_i : Longitud del vano i medido en la dirección longitudinal (m).

Operando de esta forma, se obtiene el cuadro de valores siguiente:

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 1 ZONA A

APOYO INICIAL N°: PÓRTICO SET RUEDA ESTE

VANO DE REGULACIÓN: 48,8m

APOYO FINAL N°: SC1

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		48,8
		19,8
		0-1
0	159,8	1,156
5	155,7	1,186
10	152,0	1,215
15	148,4	1,244
20	145,1	1,272
25	142,0	1,300
30	139,1	1,327
35	136,4	1,354
40	133,8	1,380
45	131,4	1,406
50	129,0	1,432

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 2 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC1

VANO DE REGULACIÓN: 383,8m

APOYO FINAL N°: SC2

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		383,8
		-8,7
		1-2
0	1.500,6	7,049
5	1.466,7	7,212
10	1.434,2	7,376
15	1.403,0	7,540
20	1.373,1	7,704
25	1.344,4	7,869
30	1.316,8	8,034
35	1.290,4	8,198
40	1.265,1	8,363
45	1.240,8	8,527
50	1.217,4	8,691

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 3 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC2

VANO DE REGULACIÓN: 403,4m

APOYO FINAL N°: SC3

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		403,4	
		-16,8	
0	1.494,4	7,825	
5	1.462,7	7,994	
10	1.432,3	8,165	
15	1.403,0	8,335	
20	1.374,9	8,506	
25	1.347,9	8,676	
30	1.322,0	8,847	
35	1.297,1	9,017	
40	1.273,1	9,186	
45	1.250,1	9,356	
50	1.228,0	9,524	

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 4 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC3

VANO DE REGULACIÓN: 281,5m

APOYO FINAL N°: SC5

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		245,3	307,3
		-7,5	0,1
0	1.541,5	2,802	4,398
5	1.493,4	2,893	4,540
10	1.447,2	2,985	4,685
15	1.403,0	3,079	4,832
20	1.360,7	3,175	4,982
25	1.320,3	3,272	5,135
30	1.281,8	3,370	5,289
35	1.245,1	3,470	5,445
40	1.210,2	3,570	5,603
45	1.177,0	3,671	5,761
50	1.145,4	3,772	5,920

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 5 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC5

VANO DE REGULACIÓN: 284,5m

APOYO FINAL N°: SC6

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		284,5
		1,4
0	1.540,1	3,772
5	1.492,4	3,892
10	1.446,8	4,015
15	1.403,0	4,140
20	1.361,2	4,268
25	1.321,2	4,397
30	1.283,1	4,527
35	1.246,8	4,659
40	1.212,2	4,792
45	1.179,3	4,926
50	1.148,0	5,061

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 6 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC6

VANO DE REGULACIÓN: 696,8m

APOYO FINAL N°: SC7

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		696,8
		1,8
0	1.435,0	24,316
5	1.422,0	24,540
10	1.409,2	24,762
15	1.396,8	24,983
20	1.384,7	25,203
25	1.372,8	25,422
30	1.361,1	25,640
35	1.349,8	25,857
40	1.338,6	26,073
45	1.327,7	26,288
50	1.317,1	26,502

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 7 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC7

VANO DE REGULACIÓN: 143,0m

APOYO FINAL N°: SC8

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		143,0	
		-10,6	
		7-8	
0	1.612,5	0,912	
5	1.541,1	0,955	
10	1.471,2	1,000	
15	1.403,0	1,049	
20	1.336,7	1,101	
25	1.272,4	1,156	
30	1.210,4	1,215	
35	1.150,9	1,278	
40	1.094,0	1,345	
45	1.040,0	1,415	
50	989,0	1,488	

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 8 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC8

VANO DE REGULACIÓN: 339,2m

APOYO FINAL N°: SC10

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		314,4	362,0
		-7,1	6,5
		8-9	9-10
0	1.516,1	4,680	6,204
5	1.476,8	4,805	6,369
10	1.439,1	4,930	6,536
15	1.403,0	5,057	6,705
20	1.368,4	5,185	6,874
25	1.335,4	5,314	7,044
30	1.303,8	5,443	7,215
35	1.273,5	5,572	7,387
40	1.244,6	5,701	7,559
45	1.217,0	5,831	7,730
50	1.190,6	5,960	7,902

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 9 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC10

VANO DE REGULACIÓN: 252,7m

APOYO FINAL N°: SC11

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		252,7	
		-1,3	
		10-11	
0	1.555,5	2,945	
5	1.502,6	3,049	
10	1.451,8	3,156	
15	1.403,0	3,265	
20	1.356,3	3,378	
25	1.311,8	3,493	
30	1.269,2	3,610	
35	1.228,8	3,729	
40	1.190,3	3,849	
45	1.153,9	3,971	
50	1.119,2	4,094	

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 10 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC11

VANO DE REGULACIÓN: 291,6m

APOYO FINAL N°: SC13

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		338,2	328,9
		10,0	13,1
		11-12	12-13
0	1.518,8	5,409	5,117
5	1.478,6	5,556	5,256
10	1.440,0	5,705	5,397
15	1.403,0	5,856	5,540
20	1.367,6	6,007	5,683
25	1.333,8	6,160	5,828
30	1.301,4	6,313	5,973
35	1.270,5	6,467	6,118
40	1.240,9	6,621	6,264
45	1.212,7	6,776	6,410
50	1.185,7	6,930	6,556

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 11 ZONA A

APOYO INICIAL N°: SC13

VANO DE REGULACIÓN: 228,9m

APOYO FINAL N°: DC1

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		228,9	
		1,4	
		13-14	
0	1.567,7	2,399	
5	1.510,7	2,489	
10	1.455,8	2,583	
15	1.403,0	2,680	
20	1.352,4	2,781	
25	1.304,0	2,884	
30	1.257,9	2,990	
35	1.213,9	3,098	
40	1.172,2	3,208	
45	1.132,7	3,320	
50	1.095,3	3,434	

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 11 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC1

VANO DE REGULACIÓN: 334,4m

APOYO FINAL N°: DC3

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		250,8	379,7
		11,4	-18,0
		1-2	2-3
0	1.518,6	2,976	6,823
5	1.478,4	3,057	7,008
10	1.439,9	3,138	7,196
15	1.403,0	3,221	7,385
20	1.367,7	3,304	7,576
25	1.333,9	3,388	7,768
30	1.301,6	3,472	7,961
35	1.270,8	3,556	8,155
40	1.241,3	3,641	8,349
45	1.213,1	3,725	8,543
50	1.186,2	3,810	8,737

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 12 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC3

VANO DE REGULACIÓN: 521,8m

APOYO FINAL N°: DC4

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		521,8
		21,6
0	1.465,7	13,350
5	1.444,1	13,550
10	1.423,2	13,749
15	1.403,0	13,948
20	1.383,4	14,146
25	1.364,5	14,342
30	1.346,1	14,538
35	1.328,3	14,733
40	1.311,1	14,927
45	1.294,4	15,121
50	1.278,2	15,313

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 13 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC4

VANO DE REGULACIÓN: 265,2m

APOYO FINAL N°: DC5

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		265,2
		-16,7
0	1.549,3	3,265
5	1.498,5	3,376
10	1.449,8	3,489
15	1.403,0	3,606
20	1.358,3	3,724
25	1.315,5	3,845
30	1.274,8	3,968
35	1.236,0	4,093
40	1.199,1	4,219
45	1.164,0	4,346
50	1.130,8	4,474

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 14 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC5

VANO DE REGULACIÓN: 254,5m

APOYO FINAL N°: DC6

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)
		Longitud del vano (m)
		Desnivel (m)
		Apoyos del vano
		254,5
		0,3
		5-6
0	1.554,6	2,990
5	1.502,0	3,094
10	1.451,5	3,202
15	1.403,0	3,313
20	1.356,6	3,426
25	1.312,3	3,542
30	1.270,1	3,660
35	1.229,9	3,779
40	1.191,7	3,901
45	1.155,4	4,023
50	1.121,0	4,147

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 15 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC6

VANO DE REGULACIÓN: 389,8m

APOYO FINAL N°: DC9

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)		
		Longitud del vano (m)		
		Desnivel (m)		
		Apoyos del vano		
		359,8	355,6	437,1
		3,1	0,4	-1,6
		6-7	7-8	8-9
0	1.498,6	6,202	6,057	9,153
5	1.465,4	6,343	6,195	9,361
10	1.433,6	6,484	6,332	9,569
15	1.403,0	6,625	6,471	9,778
20	1.373,6	6,767	6,609	9,987
25	1.345,5	6,909	6,748	10,196
30	1.318,4	7,051	6,886	10,406
35	1.292,5	7,192	7,024	10,615
40	1.267,6	7,334	7,162	10,824
45	1.243,7	7,475	7,300	11,032
50	1.220,8	7,615	7,438	11,240

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 16 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC9

VANO DE REGULACIÓN: 386,9m

APOYO FINAL N°: DC11

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		365,2	405,4
		-3,9	-9,6
		9-10	
		10-11	
		6,385	7,870
		6,531	8,050
		6,677	8,231
		6,824	8,412
		6,972	8,594
		7,119	8,776
		7,267	8,958
		7,414	9,139
		7,562	9,321
		7,708	9,502
		7,855	9,683

CABLE OPGW 48 43D58Z - TABLA DE REGULACIÓN

Cantón N°: 17 ZONA A

APOYO INICIAL N°: DC11

VANO DE REGULACIÓN: 33,6m

APOYO FINAL N°: PÓRTICO SET PRE-RUEDA

TEMPERATURA (°C)	TENSE (daN)	FLECHA MÁXIMA (m)	
		Longitud del vano (m)	
		Desnivel (m)	
		Apoyos del vano	
		33,6	
		-22,6	
		11-12	
		0,583	
		0,617	
		0,650	
		0,682	
		0,713	
		0,743	
		0,772	
		0,800	
		0,827	
		0,853	
		0,879	

1.10.4.8.1. Distancia de los conductores y el cable de tierra

De acuerdo con lo establecido en el punto 5.4.1 de la ITC 07 del Reglamento de líneas eléctricas, teniendo presente los efectos de las oscilaciones de los conductores y cables de tierra debida al viento y al desprendimiento de nieve acumulada sobre ellos, la distancia de los conductores vendrá dada por la siguiente expresión:

$$D = K \sqrt{f_{\max} + L} + K' D_{pp}$$

siendo:

- D Distancia mínima entre conductor y cable de tierra (m)
- f_{\max} Flecha máxima del conductor o cable de tierra (m)
- D_{pp} Distancia mínima aérea especificada definida anteriormente
- L Longitud de la cadena (m)
- K Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento
- K' Coeficiente en función de la categoría de la línea

El ángulo de oscilación de los conductores se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \arctg \frac{p_v}{p_c}$$

Calculando la presión de viento para una velocidad de 120km/h.

Debido a que existen dos conductores se empleará el valor de K mayor de ambos. También en el caso de la flecha máxima se empleará la mayor, esto es la del conductor que normalmente tendrá mayor flecha que el cable de tierra al estar tendido por encima. Para el citado ángulo de oscilación, el Reglamento de Líneas de Alta Tensión da un valor de:

Categoría: 2ª

$$\mu_c = 47,55^\circ \quad K_c = 0,65$$

$$\mu_t = 56,22^\circ \quad K_t = 0,65 \quad K' = 0,85$$

Nº Apoyo	K		F.cond (m)		F.cable (m)		Hipótesis	L (m)	d. mín (m)	d. Real (m)	% sup.
	cond.	cable	v. ant	v. post	v. ant	v. post					
SC1	0,65	0,65	1,514	9,729	1,304	10,109	Viento	0,000	3,767	8,377	55,04%
SC2	0,65	0,65	9,729	10,649	10,109	11,021	Viento	0,000	3,858	7,282	47,02%
SC3	0,65	0,65	10,649	4,261	11,021	4,527	Viento	0,000	3,858	7,223	46,59%
SC4	0,65	0,65	4,261	6,687	4,527	7,106	Viento	2,454	3,710	8,007	53,67%
SC5	0,60	0,60	8,710	7,418	5,920	5,061	Temper.	0,000	3,471	7,244	52,09%
SC6	0,65	0,65	5,714	29,829	6,068	28,852	Viento	0,000	5,250	7,301	28,09%
SC7	0,65	0,65	29,829	1,693	28,852	1,880	Viento	0,000	5,250	7,301	28,09%
SC8	0,60	0,60	2,910	8,256	1,488	5,960	Temper.	0,000	3,424	7,007	51,13%
SC9	0,65	0,65	6,699	8,882	7,021	9,309	Viento	2,454	3,929	8,007	50,92%
SC10	0,60	0,60	10,947	6,254	7,902	4,094	Temper.	0,000	3,685	7,077	47,93%
SC11	0,60	0,60	6,254	9,659	4,094	6,930	Temper.	0,000	3,565	7,301	51,17%
SC12	0,65	0,65	7,793	7,374	8,182	7,740	Viento	2,454	3,820	8,007	52,29%
SC13	0,60	0,60	9,139	5,444	6,556	3,434	Temper.	0,000	3,514	7,253	51,55%
DC1	0,60	0,60	0,000	5,306	0,000	3,810	Temper.	0,000	3,082	5,124	39,85%

Nº Apoyo	K		F.cond (m)		F.cable (m)		Hipótesis	L (m)	d. mín (m)	d. Real (m)	% sup.
	cond.	cable	v. ant	v. post	v. ant	v. post					
DC2	0,65	0,65	4,285	9,826	4,497	10,315	Viento	2,454	4,023	6,060	33,61%
DC3	0,65	0,65	9,826	17,115	10,315	17,220	Viento	0,000	4,397	5,124	14,19%
DC4	0,65	0,65	17,115	5,062	17,220	5,403	Viento	0,000	4,397	5,115	14,03%
DC5	0,60	0,60	6,722	6,318	4,474	4,147	Temper.	0,000	3,256	5,108	36,27%
DC6	0,65	0,65	4,693	8,523	5,023	8,843	Viento	0,000	3,633	5,118	29,02%
DC7	0,65	0,65	8,523	8,324	8,843	8,636	Viento	2,454	3,885	6,060	35,89%
DC8	0,65	0,65	8,324	12,580	8,636	13,053	Viento	2,454	4,260	6,060	29,70%
DC9	0,65	0,65	12,580	8,793	13,053	9,129	Viento	0,000	4,048	5,073	20,20%
DC10	0,65	0,65	8,793	10,840	9,129	11,254	Viento	2,454	4,107	6,060	32,23%
DC11	0,65	0,65	10,840	0,811	11,254	0,744	Viento	0,000	3,881	5,076	23,56%

1.10.5. Cálculo mecánico de apoyos

Los cálculos mecánicos de apoyos se realizan de forma individual y para cada una de las distintas hipótesis de carga que establece la ITC 07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión.

Estos cálculos incluyen para cada hipótesis los esfuerzos individuales que cada conductor y cable transmiten a la cruceta y a la cúpula de tierra y el esfuerzo equivalente de todos ellos sobre el apoyo.

Los esfuerzos se referencian en un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal a derechas (longitudinal, transversal, vertical).

Las distintas hipótesis de carga a considerar en el cálculo mecánico de apoyos serán las establecidas en las tablas 5 a 8 de la ITC-07 del RLAT siendo las siguientes:

- Hipótesis normales
- Hipótesis anormales

1.10.5.1. Hipótesis normales

Las hipótesis normales a considerar con las correspondientes sobrecargas a aplicar en cada una de ellas según la zona de aplicación A son las indicadas en la siguiente tabla:

TIPO APOYO	ZONA A	
	1ª HIPÓTESIS: VIENTO	
Suspensión de alineación o Suspensión de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Esfuerzo de viento sobre conductores (3.1.2) y apoyos en caso de ángulo Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	No aplica
Amarre de alineación o Amarre de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Esfuerzo de viento sobre conductores (3.1.2) y apoyos en caso de ángulo Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	No aplica
Anclaje de alineación o Anclaje de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Esfuerzo de viento sobre conductores (3.1.2) y apoyos en caso de ángulo Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	No aplica
Fin de línea	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Esfuerzo de viento sobre conductores y apoyos (3.1.2)
	L	Desequilibrio de tracciones (3.1.4.4)

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo Longitudinal

T = Esfuerzo transversal

El coeficiente de seguridad no será inferior a 1,5 en el caso de en apoyos y crucetas metálicas respecto al límite de fluencia.

1.10.5.1.1. Esfuerzos verticales

1.10.5.1.1.1. Teoría del Gravivano

El cálculo de los esfuerzos verticales que conductores y cables transmiten a las cruces y a la cúpula de tierra se realiza mediante la teoría del gravivano.

Se denomina gravivano a la longitud de vano que hay que considerar para determinar los esfuerzos verticales que debido a los pesos aparentes de conductores y cables se transmiten al apoyo.

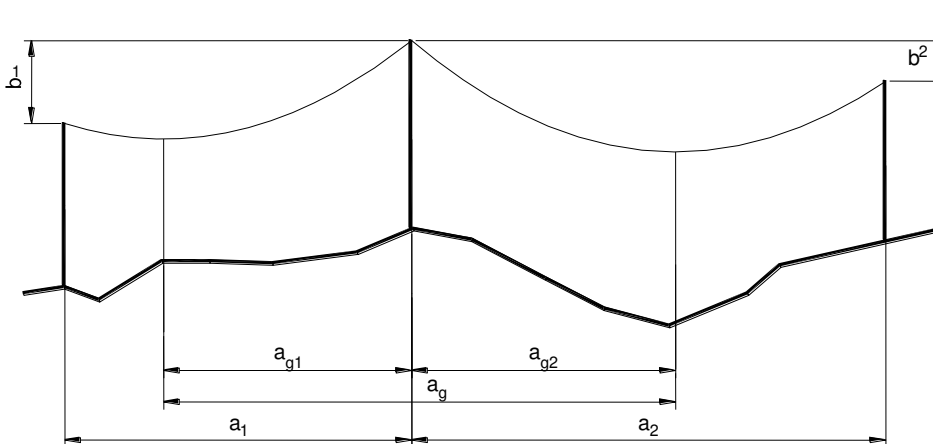
Dicha longitud viene determinada por la distancia horizontal que existe entre los vértices de las catenarias de los vanos contiguos al apoyo (a_g).

El vértice de la catenaria modifica su situación con respecto a cada apoyo en función del parámetro de la catenaria, que varía con la temperatura y con el coeficiente de sobrecarga de cada hipótesis.

Para cada hipótesis normal y para cada apoyo se determina el valor del gravivano del conductor y cable de tierra.

Adicionalmente también se calcula el gravivano del conductor para la hipótesis de mínima flecha con el objeto de evitar el posible ahorcamiento en las cadenas de suspensión.

En el dibujo se pueden observar los tramos de la catenaria que intervienen en la determinación del gravivano de un apoyo.



En los apoyos de anclaje se tendrá presente la diferencia del parámetro de la catenaria en cada semigravivano.

$$a_g = a_{g1} + a_{g2} \quad (m)$$

$$a_{g1} = a_1 - H_1 \left(\arg \operatorname{th} \frac{\left(\operatorname{ch} \frac{a_1}{H_1} \right) - 1}{\operatorname{sh} \frac{a_1}{H_1}} - \arg \operatorname{sh} \frac{\frac{b_1}{H_1}}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 \frac{a_1}{H_1} - \left(\left(\operatorname{ch} \frac{a_1}{H_1} \right) - 1 \right)^2}} \right)$$

$$a_{g2} = H_2 \left(\arg \operatorname{th} \frac{\left(\operatorname{ch} \frac{a_2}{H_2} \right) - 1}{\operatorname{sh} \frac{a_2}{H_2}} - \arg \operatorname{sh} \frac{\frac{b_2}{H_2}}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 \frac{a_2}{H_2} - \left(\left(\operatorname{ch} \frac{a_2}{H_2} \right) - 1 \right)^2}} \right)$$

Siendo el criterio de signos para b_1 y b_2 el siguiente:

$$b_1 > 0 \quad \text{si } y_{b1} - y_{a1} > 0$$

$$b_1 < 0 \quad \text{si } y_{b1} - y_{a1} < 0$$

$$b_2 > 0 \quad \text{si } y_{b2} - y_{a2} > 0$$

$$b_2 < 0 \quad \text{si } y_{b2} - y_{a2} < 0$$

Conocido el gravivano se determinan los esfuerzos verticales que el conductor y el cable transmiten sobre cruceta y cúpula de tierra respectivamente.

$$P = P_A + P_B \quad (\text{daN})$$

$$P = p_a \left(H_1 \operatorname{sh} \frac{a_{g1}}{H_1} + H_2 \operatorname{sh} \frac{a_{g2}}{H_2} \right) \quad (\text{daN})$$

siendo:

- P Esfuerzo vertical que el cable o conductor transmite a la cruceta o cúpula de tierra (daN).
- P_A Esfuerzo vertical que el cable o conductor del vano anterior al apoyo transmite a la cruceta o cúpula de tierra (daN).
- P_B Esfuerzo vertical que el cable o conductor del vano posterior al apoyo transmite a la cruceta o cúpula de tierra (daN).
- p_a Peso aparente del cable o conductor (daN/m).
- a_g Gravivano del cable o conductor (m).
- H_1 Parámetro de la catenaria del cable o conductor en el vano anterior al apoyo (m).
- H_2 Parámetro de la catenaria del cable o conductor en el vano posterior al apoyo (m).

1.10.5.1.1.2. Cargas permanentes

De acuerdo con el apartado 3.1.1 de la ITC-07 del RLEAT se consideran como cargas permanentes las cargas verticales debidas al peso propio de conductores, cables de tierra, aisladores y herrajes, apoyos y cimentaciones.

1.10.5.1.1.3. Fuerzas del viento sobre los componentes de las líneas aéreas

De acuerdo con el apartado 3.1.2 de la ITC-07 del RLEAT se considera un viento de 140km/h que se supone horizontal actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

1.10.5.1.1.4. Sobrecargas motivadas por el viento

De acuerdo con el apartado 3.1.2 de la ITC-07 del RLEAT los conductores y cables se consideran sometidos a una sobrecarga horizontal transversal por viento por unidad de longitud, cuyo valor será:

$$p_v = q d \cdot 10^{-3} \text{ (daN/m)}$$

siendo:

d Diámetro del conductor o cable (mm).

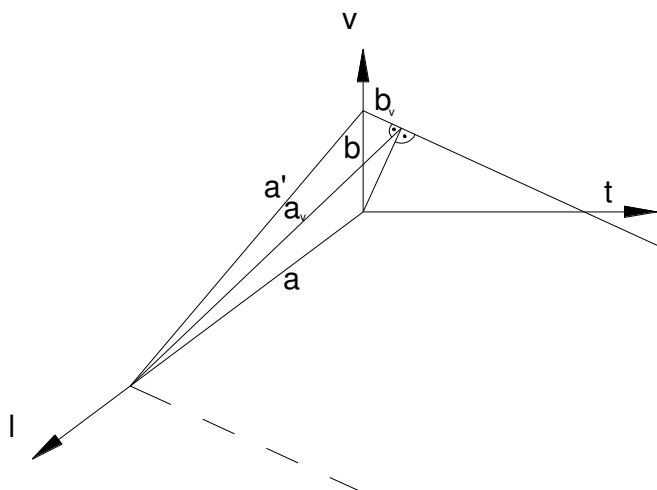
q Presión de viento

$$q = 60 \left(\frac{v}{120} \right)^2 \text{ para conductores } d < 16 \text{ mm}$$

$$q = 50 \left(\frac{v}{120} \right)^2 \text{ para conductores } d > 16 \text{ mm}$$

Al no ser las fuerzas debidas al viento por unidad de longitud coplanarias con el plano vertical, la catenaria se sitúa en el plano resultante de las fuerzas (γ).

Para poder aplicar la teoría del gravivano habrá que considerar las proyecciones de a y b sobre el plano que contiene a la catenaria (γ).



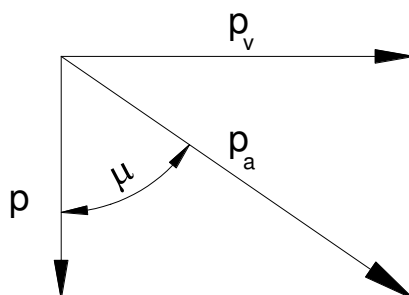
$$b_v = b \cos(\mu) \text{ (m)}$$

$$a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = \sqrt{a^2 + b^2 \sin^2(\mu)} \text{ (m)}$$

$$\mu = \tan^{-1} \left(\frac{p_v}{p} \right)$$

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ (m)}$$

siendo:



b_v Proyección de b sobre el plano que contiene la catenaria (m).

a_v Proyección de a sobre el plano que contiene la catenaria (m).

Una vez aplicada la teoría del gravivano para referenciar el valor del esfuerzo vertical en el sistema de coordenadas principal se proyecta el valor del mismo sobre el plano vertical.

$$P = P' \cos (\mu) \text{ (daN)}$$

donde:

P' Esfuerzo vertical que el conductor o cable transmiten a la cruceta o cúpula de tierra referido al sistema de coordenadas secundario (plano que contiene la catenaria) (daN).

P Esfuerzo vertical que el conductor o cable transmiten a la cruceta o cúpula de tierra referido al sistema de coordenadas principal (plano vertical) (daN).

1.10.5.1.1.5. Sobrecargas motivadas por el hielo

No se consideran sobrecargas de hielo en zona A.

1.10.5.1.2. Esfuerzos horizontales longitudinales y transversales

1.10.5.1.2.1. Teoría del Eolovano

Para el cálculo de los esfuerzos horizontales transversales (F_t) que los conductores y cables transmiten a las crucetas y a la cúpula de tierra se emplea la teoría del eolovano.

Se define el eolovano como la longitud de vano horizontal a considerar para la determinación del esfuerzo transversal que, debido a la acción del viento, los conductores y cables transmiten al apoyo. Esta longitud queda determinada por la semisuma de los dos vanos contiguos al apoyo.

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ (m)}$$

siendo:

- a_v Longitud del eolovano medido en la dirección longitudinal (m).
- a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).
- a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

1.10.5.1.2.2. Apoyos de alineación y anclaje, con cadena de suspensión y amarre.

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor o cable de tierra, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 5 y 6, de la ITC-07 del RLEAT mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = 0 \text{ (daN)}$$

$$F_t = p_v a_v \text{ (daN)}$$

siendo:

- a_v Longitud del eolovano medido en la dirección longitudinal (m).
- p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

b) Hipótesis del hielo:

No se considera esta hipótesis en zona A.

1.10.5.1.2.3. Apoyos de ángulo con cadena de suspensión o amarre y anclaje.

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de tierra, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 5 y 6, de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = 0 \text{ (daN)}$$

$$F_t = p_v \frac{a_1 + a_2}{2} \left| \sin \frac{\alpha}{2} \right| + 2 \max [T_{0v1}, T_{0v2}] \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| \text{ (daN)}$$

siendo:

T_{0v1}, T_{0v2} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de viento en los vanos anterior y posterior al apoyo (daN).

p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medida en la dirección longitudinal (m).

a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medida en la dirección longitudinal (m).

α Ángulo en grados sexagesimales que forman las alineaciones, medido en sentido horario desde la alineación anterior a la alineación posterior

b) Hipótesis de hielo:

No se considera esta hipótesis en zona A.

1.10.5.1.2.4. Apoyos de fin de línea

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de tierra, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 6, de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = T_{0v} \text{ (daN)}$$

$$F_t = p_v \frac{a_1}{2} \text{ (daN)}$$

siendo:

T_{0v} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de viento (N).

p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

a_1 Longitud del vano del apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

b) Hipótesis del hielo:

No se considera esta hipótesis en zona A.

La diferencia de esfuerzo en el apoyo es:

1.10.5.1.3. Esfuerzo equivalente en el apoyo

Los distintos esfuerzos que los conductores y cables de tierra transmiten al apoyo en las hipótesis normales pueden representarse mediante un único esfuerzo aplicado en un punto del mismo (x_{equi} , y_{equi}) en donde las distintas componentes de este esfuerzo se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$F_{lequi} = \frac{\sum_1^n F_{li} y_i}{y_{equi}} \quad (\text{daN})$$

$$F_{tequi} = \frac{\sum_1^n F_{ti} y_i + F_{vi} x_i}{y_{equi}} \quad (\text{daN})$$

$$F_{vequi} = \sum_1^n F_{vi} \quad (\text{daN})$$

donde:

F_{lequi} Componente longitudinal del esfuerzo equivalente (daN).

F_{tequi} Componente transversal del esfuerzo equivalente (daN).

F_{vequi} Componente vertical del esfuerzo equivalente (daN).

1.10.5.2. Hipótesis anormales

Las hipótesis anormales a considerar con las correspondientes sobrecargas a aplicar en cada una de ellas son las indicadas en la siguiente tabla:

TIPO APOYO	ZONA A			
	3ª HIPÓTESIS: DESEQUILIBRIO		4ª HIPÓTESIS: ROTURA CONDUCTORES	
Suspensión de alineación o Suspensión de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	Desequilibrio de tracciones (3.1.4.1)	L	Rotura de conductores y cables de tierra (3.1.5.1)
Amarre de alineación o Amarre de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	Desequilibrio de tracciones (3.1.4.1)	L	Rotura de conductores y cables de tierra (3.1.5.2)
Anclaje de alineación o Anclaje de ángulo	V	Cargas permanentes (3.1.1)	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)	T	Alineación: No aplica Ángulo: Resultante de ángulo (3.1.6)
	L	Desequilibrio de tracciones (3.1.4.1)	L	Rotura de conductores y cables de tierra (3.1.5.3)
Fin de línea	V	No Aplica	V	Cargas permanentes (3.1.1)
	T	No Aplica	T	No Aplica
	L	No Aplica	L	Rotura de conductores y cables de tierra (3.1.5.4)

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo Longitudinal

T = Esfuerzo transversal

El coeficiente de seguridad no será inferior a 1,2 en el caso de en apoyos y crucetas metálicas respecto al límite de fluencia.

1.10.5.2.1. Esfuerzos verticales

Los esfuerzos verticales para hipótesis anormales se calculan con el mismo procedimiento indicado en el apartado anterior, teniendo en cuenta que para la hipótesis de rotura de conductor se considerará que el conductor o cable de tierra roto no ejerce esfuerzo vertical. El resto de conductores se calculará con el mismo gravivano que las hipótesis anteriores.

1.10.5.2.2. Esfuerzos horizontales longitudinales

1.10.5.2.2.1. Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de suspensión

a) Desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que cada conductor o cable de tierra, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.4.1 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = 0,15 T_0 \text{ (daN)}$$

Siendo:

T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en la citada hipótesis (daN).

Este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores al apoyo.

b) Rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que debidos a la rotura de un conductor o cable de tierra, se transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.5.1 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = 0,5 T_0 \text{ (daN)}$$

siendo:

T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable (daN).

En apoyos de ángulo con cadena de suspensión se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

1.10.5.2.2.2. Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que cada conductor o cable de tierra, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.4.2 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = 0,25 \max [T_{01}, T_{02}] \text{ (daN)}$$

siendo:

T_{01}, T_{02} Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

Este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores al apoyo.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que debidos a la rotura de un conductor o cable de tierra, se transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.5.2 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = \max [T_{01}, T_{02}] \text{ (daN)}$$

siendo:

$T_{01}T_{02}$ Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

1.10.5.2.2.3. Apoyos de anclaje

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que cada conductor o cable de tierra, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.4.3 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = 0,5 \max [T_{01}, T_{02}] (\text{daN})$$

siendo:

$T_{01}T_{02}$ Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

Este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores al apoyo.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_I) que debidos a la rotura de un conductor o cable de tierra, se transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.5.3 de la ITC-07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_I = \max [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN}) \text{ para } n' = 1 \text{ conductores normales}$$

$$F_I = \max [T_{01}, T_{02}] n' 50\% \quad (\text{daN}) \text{ para } n' > 1 \text{ conductores en haz}$$

siendo:

$T_{01}T_{02}$ Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

n' Número de conductores por fase

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

1.10.5.2.2.4. Apoyos de fin de línea

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

En apoyos fin de línea no se considera la hipótesis

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) que debidos a la rotura de un conductor, serán los mismos que en el apartado anterior, pero suponiendo, en el caso de las líneas con haces múltiples, los conductores sometidos a la tensión mecánica que les corresponda:

$$F_l = T_0 n' \text{ (daN)}$$

siendo:

T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable (daN).

n' Número de conductores por fase

1.10.5.2.3. Esfuerzo equivalente en el apoyo

1.10.5.2.3.1. Desequilibrio de tracciones

Los distintos esfuerzos que los conductores y cable de tierra transmiten al apoyo en la hipótesis de desequilibrio de tracciones pueden representarse mediante un único esfuerzo aplicado en un punto del mismo (x_{equi} , y_{equi}) en donde las distintas componentes de este esfuerzo se calcularán según lo establecido en el apartado anterior.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

1.10.5.2.3.2. Rotura de conductores

La sollicitación que la rotura de un conductor transmite al apoyo se representa mediante un momento torsor en la dirección del eje vertical y un esfuerzo vertical aplicado en un punto del mismo (x_{equi} , y_{equi}) calculados según las siguientes expresiones:

$$M_{tequi} = F_{li} x_i \text{ (daN m)}$$

$$F_{vequi} = \sum_1^n F_{vi} \text{ (daN)}$$

El momento torsor se representa mediante un esfuerzo aplicado en un punto del apoyo a una distancia d del eje vertical. El valor de este esfuerzo equivalente se calcula según la siguiente expresión:

$$F_{lequi} = \frac{M_{tequi}}{d} \text{ (daN)}$$

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

1.10.5.3. Tablas de resultados

A continuación se reflejan los resultados obtenidos para en el cálculo mecánico de apoyos, así como los coeficientes de seguridad de apoyos y crucetas referidos a cada hipótesis.

CARACTERÍSTICAS DE LOS APOYOS

Nº apoyo	Tipo de apoyo	Angulo apoyo(g)	Cota apoyo (m)	Altura punto Engrape (m)	Vano anterior (m)	Vano posterior (m)	Tense máx.(daN)	
							AAAC A3 400	OPGW 48 43D58Z
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PORTICO	0,00	347,50	15,00	-----	48,8	500,0	350,0
SC1	FL	160,19	346,53	20,00	48,8	383,8	4.783,4	2.496,8
SC2	AG-AM	215,60	345,90	18,20	383,8	403,4	4.806,9	2.525,2
SC3	AG-AM	168,16	332,15	15,20	403,4	245,3	4.806,9	2.525,2
SC4	AL-S	0,00	317,06	21,95	245,3	307,3	4.627,2	2.317,0
SC5	AG-AM	226,97	312,95	27,00	307,3	284,5	4.632,8	2.323,2
SC6	AL-AM	0,00	305,23	36,11	284,5	696,8	4.880,0	2.813,3
SC7	AL-AM	0,00	306,99	36,11	696,8	143,0	4.880,0	2.813,3
SC8	AG-AM	263,31	308,46	24,00	143,0	314,4	4.723,3	2.426,6
SC9	AL-S	0,00	305,80	18,75	314,4	362,0	4.723,3	2.426,6
SC10	AG-AM	145,21	307,92	24,00	362,0	252,7	4.723,3	2.426,6
SC11	AL-AM	0,00	306,62	24,00	252,7	338,2	4.712,3	2.414,1
SC12	AL-S	0,00	315,03	24,75	338,2	328,9	4.712,3	2.414,1
SC13	AG-AM	224,95	326,72	27,00	328,9	228,9	4.712,3	2.414,1
DC1	FL	0,00	333,81	15,00	-----	250,8	4.712,9	2.415,0
DC2	AL-S	0,00	335,17	24,75	250,8	379,7	4.712,9	2.415,0
DC3	AL-AM	0,00	317,13	25,00	379,7	521,8	4.880,0	2.672,7

Nº apoyo	Tipo de apoyo	Angulo apoyo(g)	Cota apoyo (m)	Altura punto Engrape (m)	Vano anterior (m)	Vano posterior (m)	Tense máx.(daN)	
							AAAC A3 400	OPGW 48 43D58Z
DC4	AG-AM	226,44	343,68	20,00	521,8	265,2	4.880,0	2.672,7
DC5	AG-AM	165,15	326,97	20,00	265,2	254,5	4.595,4	2.282,2
DC6	AG-AM	221,73	327,27	20,00	254,5	359,8	4.791,0	2.505,8
DC7	AL-S	0,00	328,13	21,95	359,8	355,6	4.791,0	2.505,8
DC8	AL-S	0,00	328,51	21,95	355,6	437,1	4.791,0	2.505,8
DC9	AG-AM	263,95	324,07	25,00	437,1	365,2	4.791,0	2.505,8
DC10	AL-S	0,00	320,39	24,55	365,2	405,4	4.787,1	2.501,3
DC11	FL	138,17	310,54	25,00	405,4	33,6	4.787,1	2.501,3
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PÓRTICO	0,00	311,43	15,00	33,6	-----	500,0	350,0

CÁLCULO DE EOLOVANOS Y GRAVIVANOS

Apoyo N°	Eolovano (m)	Gravivano (m)		
		Hipótesis 1ª (VIENTO)		Flecha mínima (0°C)
		AAAC A3 400	OPGW 48 43D58Z	AAAC A3 400
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	24,4	14,4	-23,5	6,1
SC1	216,3	234,1	284,7	251,8
SC2	393,6	435,5	410,7	486,1
SC3	324,4	314,5	313,2	311,6
SC4	276,3	234,8	252,3	172,4
SC5	295,9	294,1	292,6	290,9
SC6	490,6	494,8	493,7	499,8
SC7	419,9	503,1	474,3	656,9
SC8	228,7	179,4	197,1	67,5
SC9	338,2	286,2	305,3	215,4
SC10	307,3	336,8	326,5	377,3
SC11	295,5	258,9	267,6	207,4
SC12	333,6	316,4	325,7	292,4
SC13	278,9	351,5	307,4	456,8
DC1	125,4	74,7	88,4	5,5
DC2	315,3	420,3	391,9	563,0

Apoyo N°	Eolovano (m)	Gravivano (m)		
		Hipótesis 1ª (VIENTO)		Flecha mínima (0°C)
		AAAC A3 400	OPGW 48 43D58Z	AAAC A3 400
DC3	450,7	348,8	375,2	222,3
DC4	393,5	514,0	480,9	675,6
DC5	259,9	188,4	210,4	78,2
DC6	307,2	299,7	301,2	290,2
DC7	357,7	366,0	364,6	375,7
DC8	396,4	401,9	401,2	407,9
DC9	401,2	411,3	407,8	423,1
DC10	385,3	399,7	397,2	417,0
DC11	219,5	226,0	280,3	221,2
PÓRTICO SET PRE RUEDA	16,8	-16,0	-62,5	-44,6

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CRUCETA - CONDUCTOR AAAC A3 400

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PORTICO	282	500	47				282	500			500	
SC1	FL	564	4.783	412								3.615	1.169
SC2	AG-AM	822		1.925				822	1.193	1.028	585	4.771	588
SC3	AG-AM	667		2.998				667	1.164	2.082	470	4.657	1.190
SC4	AL-S	437		527				437	694		329	2.314	
SC5	AG-AM	641		2.512				641	1.132	1.705	465	4.529	974
SC6	AL-AM	898		935				898	1.220		708	4.880	
SC7	AL-AM	908		800				908	1.220		716	4.880	
SC8	AG-AM	494		4.942				494	1.038	3.943	503	4.151	2.253
SC9	AL-S	502		644				502	708		338	2.362	
SC10	AG-AM	695		4.526				695	1.073	3.448	526	4.293	1.970
SC11	AL-AM	596		563				596	1.178		441	4.712	
SC12	AL-S	541		636				541	707		393	2.356	
SC13	AG-AM	714		2.366				714	1.156	1.606	537	4.622	917
DC1 (*)	FL	740	4.713	3.972							543	4.713	3.650
DC2	AL-S	674		601				674	707		448	2.356	
DC3	AL-AM	711		859				711	1.220		536	4.880	
DC4	AG-AM	922		2.762				922	1.194	1.760	662	4.775	1.006
DC5	AG-AM	505		2.980				505	1.106	2.174	425	4.424	1.242
DC6	AG-AM	648		2.213				648	1.180	1.424	483	4.721	814
DC7	AL-S	605		682				605	719		378	2.395	
DC8	AL-S	651		755				651	719		421	2.395	
DC9	AG-AM	791		5.378				791	1.050	4.036	540	4.199	2.307

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
DC10	AL-S	648		734				648	718		431	2.394	
DC11	FL	553	4.787	418								3.133	1.654
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PÓRTICO	243	500	32				243	500			500	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CUPULA DE TIERRA - CABLE OPGW 48 43D58Z

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
PÓRTICO SET RUEDA ESTE	PORTICO	-10	350	29					350			350	
SC1	FL	166	2.497	253								1.887	610
SC2	AG-AM	239		1.077				239	627	540	139	2.506	309
SC3	AG-AM	183		1.629				183	612	1.094	99	2.447	625
SC4	AL-S	148		323				148	348		91	2.317	
SC5	AG-AM	171		1.323				171	568	855	91	2.271	488
SC6	AL-AM	286		573				286	703		202	2.813	
SC7	AL-AM	275		490				275	818		205	2.813	
SC8	AG-AM	116		2.582				116	533	2.025	104	2.133	1.157
SC9	AL-S	178		395				178	364		99	2.427	
SC10	AG-AM	190		2.383				190	551	1.772	116	2.205	1.012
SC11	AL-AM	157		345				157	604		86	2.414	
SC12	AL-S	190		390				190	362		114	2.414	
SC13	AG-AM	179		1.266				179	592	823	116	2.368	470
DC1 (*)	FL	125	2.415	2.093							215	2.463	2.239
DC2	AL-S	228		368				228	362		135	2.415	
DC3	AL-AM	218		526				218	668		132	2.673	
DC4	AG-AM	279		1.561				279	654	964	175	2.615	551
DC5	AG-AM	124		1.537				124	549	1.080	76	2.197	617
DC6	AG-AM	176		1.210				176	617	745	102	2.469	426
DC7	AL-S	212		418				212	376		111	2.506	
DC8	AL-S	233		463				233	376		131	2.506	

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
DC9	AG-AM	237		2.881				237	549	2.111	127	2.196	1.206
DC10	AL-S	231		450				231	375		131	2.501	
DC11	FL	164	2.501	256								1.637	864
PÓRTICO SET PRE-RUEDA	PÓRTICO	-33	350	20					350			350	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CRUCETA – ALINEACIÓN EN SUSPENSIÓN - CONDUCTOR AAAC A3 400

ZONA A

N° APOYO	TIPO APOYO	1° Hipótesis			2° Hipótesis			3° Hipótesis			4° Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC4	AL-S	437		527				437	694		329	2.314	
SC9	AL-S	502		644				502	708		338	2.362	
SC12	AL-S	541		636				541	707		393	2.356	
DC2	AL-S	674		601				674	707		448	2.356	
DC7	AL-S	605		682				605	719		378	2.395	
DC8	AL-S	651		755				651	719		421	2.395	
DC10	AL-S	648		734				648	718		431	2.394	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CUPULA DE TIERRA – ALINEACIÓN EN SUSPENSIÓN - CABLE OPGW 48 43D58Z

ZONA A

N° APOYO	TIPO APOYO	1° Hipótesis			2° Hipótesis			3° Hipótesis			4° Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC4	AL-S	148		323				148	348		91	2.317	
SC9	AL-S	178		395				178	364		99	2.427	
SC12	AL-S	190		390				190	362		114	2.414	
DC2	AL-S	228		368				228	362		135	2.415	
DC7	AL-S	212		418				212	376		111	2.506	
DC8	AL-S	233		463				233	376		131	2.506	
DC10	AL-S	231		450				231	375		131	2.501	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CRUCETA – ALINEACIÓN EN AMARRE - CONDUCTOR AAAC A3 400

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC6	AL-AM	898		935				898	1.220		708	4.880	
SC7	AL-AM	908		800				908	1.220		716	4.880	
SC11	AL-AM	596		563				596	1.178		441	4.712	
DC3	AL-AM	711		859				711	1.220		536	4.880	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CUPULA DE TIERRA – ALINEACIÓN EN AMARRE - CABLE OPGW 48 43D58Z

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC6	AL-AM	286		573				286	703		202	2.813	
SC7	AL-AM	275		490				275	818		205	2.813	
SC11	AL-AM	157		345				157	604		86	2.414	
DC3	AL-AM	218		526				218	668		132	2.673	

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CRUCETA – FIN DE LÍNEA - CONDUCTOR AAAC A3 400

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC1	FL	564	4.783	412								3.615	1.169
DC1 (*)	FL	740	4.713	3.972							543	4.713	3.650
DC11	FL	553	4.787	418								3.133	1.654

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CUPULA DE TIERRA – FIN DE LÍNEA - CABLE OPGW 48 43D58Z

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC1	FL	166	2.497	253								1.887	610
DC1 (*)	FL	125	2.415	2.093							215	2.463	2.239
DC11	FL	164	2.501	256								1.637	864

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CRUCETA – ÁNGULO - CONDUCTOR AAAC A3 400

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC2	AG-AM	822		1.925				822	1.193	1.028	585	4.771	588
SC3	AG-AM	667		2.998				667	1.164	2.082	470	4.657	1.190
SC5	AG-AM	641		2.512				641	1.132	1.705	465	4.529	974
SC8	AG-AM	494		4.942				494	1.038	3.943	503	4.151	2.253
SC10	AG-AM	695		4.526				695	1.073	3.448	526	4.293	1.970
SC13	AG-AM	714		2.366				714	1.156	1.606	537	4.622	917
DC4	AG-AM	922		2.762				922	1.194	1.760	662	4.775	1.006
DC5	AG-AM	505		2.980				505	1.106	2.174	425	4.424	1.242
DC6	AG-AM	648		2.213				648	1.180	1.424	483	4.721	814
DC9	AG-AM	791		5.378				791	1.050	4.036	540	4.199	2.307

SOLICITACIONES COMBINADAS EN CUPULA DE TIERRA – ÁNGULO - CABLE OPGW 48 43D58Z

ZONA A

Nº APOYO	TIPO APOYO	1º Hipótesis			2º Hipótesis			3º Hipótesis			4º Hipótesis		
		Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft	Fv	FI	Ft
SC2	AG-AM	239		1.077				239	627	540	139	2.506	309
SC3	AG-AM	183		1.629				183	612	1.094	99	2.447	625
SC5	AG-AM	171		1.323				171	568	855	91	2.271	488
SC8	AG-AM	116		2.582				116	533	2.025	104	2.133	1.157
SC10	AG-AM	190		2.383				190	551	1.772	116	2.205	1.012
SC13	AG-AM	179		1.266				179	592	823	116	2.368	470
DC4	AG-AM	279		1.561				279	654	964	175	2.615	551
DC5	AG-AM	124		1.537				124	549	1.080	76	2.197	617
DC6	AG-AM	176		1.210				176	617	745	102	2.469	426
DC9	AG-AM	237		2.881				237	549	2.111	127	2.196	1.206

*Los esfuerzos del apoyo aparecen reflejados en el plano FE-21000033-11.

RESUMEN DE APOYOS - CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

Nº APOYO	TIPO APOYO	Denominación	Hi (m)	Hm (m)	Hs (m)	Ht (m)	Hu (m)	Brazo Cruc. (m)
SC1	FL	IC-20/55000 S1C	20,00	25,80	31,60	38,80	25,80	4,50
SC2	AG-AM	CO-18/27000 S1563	18,20	21,50	24,80	30,70	21,50	4,30
SC3	AG-AM	CO-15/27000 S1563	15,20	18,50	21,80	27,70	18,50	4,30
SC4	AL-S	CO-24/7000 S1561	24,40	27,70	31,00	35,30	27,70	4,30
SC5	AG-AM	CO-27/27000 S1563	27,00	30,30	33,60	39,50	30,30	4,30
SC6	AL-AM	CO-36/27000 S1563	36,11	39,41	42,71	48,61	39,41	4,30
SC7	AL-AM	CO-36/27000 S1563	36,11	39,41	42,71	48,61	39,41	4,30
SC8	AG-AM	CO-24/33000 S1563	24,00	27,30	30,60	36,50	27,30	4,30
SC9	AL-S	CO-21/7000 S1561	21,20	24,50	27,80	32,10	24,50	4,30
SC10	AG-AM	CO-24/33000 S1563	24,00	27,30	30,60	36,50	27,30	4,30
SC11	AL-AM	CO-24/27000 S1563	24,00	27,30	30,60	36,50	27,30	4,30
SC12	AL-S	CO-27/7000 S1561	27,20	30,50	33,80	38,10	30,50	4,30
SC13	AG-AM	CO-27/33000 S1563	27,00	30,30	33,60	39,50	30,30	4,30
DC1	FL	IC-15/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	15,00	20,80	26,60	31,50	20,80	6,00
DC2	AL-S	CO-27/12000 N388DC D=3.3 E=3	27,20	32,70	38,20	41,50	32,70	4,90
DC3	AL-AM	IC-25/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	25,00	30,80	36,60	41,50	30,80	6,00
DC4	AG-AM	IC-20/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	20,00	25,80	31,60	36,50	25,80	6,00
DC5	AG-AM	IC-20/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	20,00	25,80	31,60	36,50	25,80	6,00
DC6	AG-AM	IC-20/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	20,00	25,80	31,60	36,50	25,80	6,00
DC7	AL-S	CO-24/12000 N388DC D=3.3 E=3	24,40	29,90	35,40	38,70	29,90	4,90
DC8	AL-S	CO-24/12000 N388DC D=3.3 E=3	24,40	29,90	35,40	38,70	29,90	4,90
DC9	AG-AM	IC-25/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	25,00	30,80	36,60	41,50	30,80	6,00
DC10	AL-S	CO-27/27000 N388DC D=3.3 E=3	27,00	32,50	38,00	41,30	32,50	4,90
DC11	FL	IC-25/55000 N2DC D=4.9 E=3.5	25,00	30,80	36,60	41,50	30,80	6,00

siendo:

H_i Altura de la cruceta inferior (m).
 H_m Altura de la cruceta media (m).
 H_s Altura de la cruceta superior (m).
 H_u Punto de aplicación para cálculo de esfuerzos (m).
 H_t Altura total de la estructura (m).

1.10.6. Cálculo mecánico de cimentaciones

Las cimentaciones serán fraccionadas.

En las cimentaciones cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones verticales del terreno, de acuerdo con lo establecido en el apdo. 1 del Art. 31 del Reglamento de líneas eléctricas, el coeficiente de seguridad al vuelco para las distintas hipótesis no será inferior a los siguientes valores:

- Hipótesis normales 1,50
- Hipótesis anormales 1,20

En las cimentaciones cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones horizontales del terreno de acuerdo con lo establecido en el apdo. 2 del Reglamento de líneas eléctricas, la tangente del ángulo de giro al alcanzar el equilibrio no será superior a 0,01, siendo el coeficiente de seguridad al vuelco para las distintas hipótesis no inferiores a los siguientes valores:

- Para $0 < \frac{M_{ch}}{M_{cv}} \leq 1$ 1,50
- Para $\frac{M_{ch}}{M_{cv}} > 1$ 1,50

Siendo:

M_{ch} : Momento estabilizador debido a las reacciones horizontales del terreno sobre las paredes del macizo (daN m)

M_{cv} : Momento estabilizador debido a las reacciones verticales del terreno sobre el fondo del macizo (daNm)

Estos coeficientes de seguridad se verán aumentados un 25% para las hipótesis normales en aquellos apoyos que intervengan en cruzamientos con otras líneas o con vías de comunicación y paso sobre zonas urbanas.

Las tensiones máximas que la cimentación transmite al terreno no excederán los valores máximos fijados para el mismo.

1.10.6.1. Comprobación al arranque

Se considerarán todas las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo:

- Peso propio de la cimentación
- Peso de las tierras que arrastraría el macizo de hormigón al ser arrancado

Se comprobará que el coeficiente de estabilidad de la cimentación, definido como la relación entre las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo y la carga nominal de arranque, no sea inferior a 1,5 para las hipótesis normales y 1,2 para las hipótesis eventuales.

1.10.6.2. Comprobación a la compresión

Se considerarán todas las cargas de compresión que la cimentación transmite al terreno:

- Peso propio de la cimentación

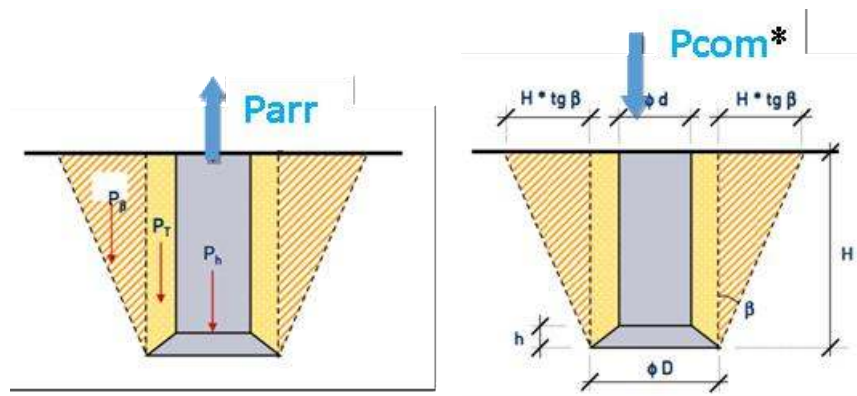
- Peso de las tierras que actúan sobre la solera de la cimentación
- Carga de compresión ejercida por el apoyo

1.10.6.3. Cimentaciones fraccionadas

Las cimentaciones fraccionadas están constituidas por cuatro macizos de hormigón armado, de forma troncocónica en la parte inferior y de sección cuadrada en la parte superior.

Este tipo de cimentaciones deben de absorber las cargas de compresión y arranque que el apoyo transmite al suelo. De los cuatro macizos constituyentes de la cimentación, para un determinado esfuerzo transversal o longitudinal aplicado al apoyo, dos de ellos trabajan al arranque y los otros a la compresión. El cálculo de las cargas de compresión y de arranque está basado en el método del talud natural o ángulo de arranque de tierras.

Para el cálculo se deberán conocer las máximas reacciones en la base transmitidas por cada apoyo, mayoradas con el coeficiente de seguridad correspondiente al tipo de carga. El fabricante del apoyo deberá facilitar el valor máximo de las reacciones mayoradas, al arranque (P_{arr}) y a la compresión (P_{com}), obtenidas a partir del árbol de cargas y los esfuerzos de viento que actúan sobre cada estructura, además de los coeficientes de seguridad aplicados en cada caso.



El peso del apoyo está implícito en la reacción a tracción en la base.

1.10.6.3.1. Comprobación al arranque:

El esfuerzo estabilizador P_e (daN) para equilibrar el arranque (P_{arr}) viene dado por la expresión:

$$P_e = \frac{P_a}{4} + P_h + P_t + P_\beta$$

siendo:

- P_e Esfuerzo estabilizador (daN)
- P_a Peso del apoyo (daN)
- P_h Peso del bloque de hormigón (daN)
- P_t Peso de tierras que gravitan sobre el hormigón (daN)
- P_β Peso de tierras que serían arrancadas según el ángulo natural del terreno o ángulo de fricción del mismo (daN)

Las fuerzas que se oponen a la salida del macizo del terreno vienen definidas por:

- Peso del macizo

$$P_h = \delta_h \cdot \left[(H - h) \cdot d^2 + \frac{h}{3} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \right]$$

- $\frac{1}{4}$ parte del peso del apoyo
- Peso de la tierra que gravita sobre la cimentación

$$P_t = \delta_T \cdot \left(H \cdot D^2 - \frac{P_h}{\delta_h} \right)$$

- Peso de la tierra comprendida en un tronco de cono cuya superficie está limitada por una generatriz que partiendo de la arista inferior del macizo tiene una inclinación hacia el exterior definida por el ángulo de arranque β .

$$P_\beta = \delta_T \cdot \left[\frac{H}{3} \cdot \left[(D + 2 \cdot H \cdot \tan \beta)^2 + D \cdot (D + 2 \cdot H \cdot \tan \beta) + D^2 \right] - H \cdot D^2 \right]$$

siendo:

- δ_h Peso específico del hormigón
- δ_T Peso específico del terreno (daN/m³)
- D Diámetro de la base tronco-piramidal (m)
- d Diámetro de la base recta (m)
- H Altura de la cimentación (m)
- h Altura de la campana (m)
- β Ángulo de arranque del terreno

Si la reacción P_{arr} esta mayorada, la cimentación estará validada si:

$$P_{arr} \leq P_e$$

1.10.6.3.2. Comprobación a la compresión:

Se calculará la σ_c (daN/cm²) transmitida por la cimentación al terreno, considerando que las acciones que contribuyen a la compresión son:

- C: la reacción en la base del apoyo a compresión (sin mayorar)
- P_h Peso del bloque de hormigón (daN)
- P_a Peso del apoyo (daN)
- P_t Peso de tierras que gravitan sobre hormigón (daN)

$$\sigma_c = \frac{C + \frac{P_a}{4} + P_h + P_t}{S}$$

siendo

S Superficie de la base del macizo (cm²)

El valor de σ_c debe resultar inferior o igual al marcado en el reglamento para cada tipo de terreno.

El coeficiente de seguridad al vuelco viene dado por la expresión:

$$C_s = \frac{P_e}{P_{arr}}$$

En este caso se ha considerado un ángulo de arranque del terreno de 30,0°, una densidad del terreno de 1.700daN/m³ y una densidad del hormigón de 2.156daN/m³.

El valor de la resistencia mecánica del terreno es 3,50daN/cm².

Con estos valores se calculan las siguientes tablas, donde se pueden ver los coeficientes de seguridad al arranque y a compresión de las cimentaciones para las distintas hipótesis reglamentarias.

1.10.6.4. Cimentaciones monobloque

Las cimentaciones monobloque serán de forma prismática recta de sección cuadrada.

El dimensionamiento de las mismas se realizará por la formulación de Sulzberger.

El momento de vuelco de la cimentación vendrá dado por la siguiente expresión:

$$M_v = F \left(H_t + \frac{2}{3} \cdot h \right) \text{ daN m}$$

siendo:

- M_v : Momento al vuelco (daN m)
- F : Esfuerzo horizontal resultante de la sollicitación combinada (daN)
- P : Esfuerzo vertical resultante de la sollicitación combinada en la que se incluye peso propio del apoyo, peso propio del macizo de hormigón y esfuerzos verticales de conductores (daN)
- H_t : Altura sobre el terreno del punto de aplicación del esfuerzo resultante (m)
- h : Profundidad de la cimentación (m)

El momento estabilizador vendrá dado por la siguiente expresión:

$$M_e = \frac{bh^3}{36} C_h \operatorname{tg} \alpha + Pa \left(0,5 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P}{2a^2 b C_k \operatorname{tg} \alpha}} \right) \text{ (daN m)}$$

$$M_e = M_{eh} + M_{ev}$$

siendo:

- M_e : Momento estabilizador (daN m).
- M_{eh} : Momento estabilizador debido a las reacciones horizontales del terreno sobre las paredes del macizo (daN m).
- M_{ev} : Momento estabilizador debido a las reacciones verticales del terreno sobre el fondo del macizo (daN m).
- a : Anchura del macizo en la dirección longitudinal del esfuerzo F (m).
- b : Anchura del macizo en la dirección transversal del esfuerzo F (m).
- h : Profundidad del macizo (m).
- C_h : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a h metros de profundidad (daN/m³).
- C_k : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a k metros de profundidad (daN/m³).
- P : Esfuerzo vertical resultante en la que se incluye peso propio del apoyo, peso propio del macizo de hormigón y esfuerzos verticales de conductores (daN).
- α : Ángulo de rotación admisible (°).

Las tensiones transmitidas por la cimentación al terreno vendrán dadas por las siguientes expresiones:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{2 \cdot C_k \cdot P \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}{b}} \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_3 = \frac{\text{tg}(\alpha) \cdot C_h \cdot h}{3} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_3}{3} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

El coeficiente de seguridad al vuelco vendrá dado por la expresión:

$$C_s = \frac{M_e}{M_v}$$

1.10.6.5. Dimensiones propuestas

Las estructuras propuestas tienen previstas unas cimentaciones que se describen a continuación.

Las dimensiones de la geometría de estas cimentaciones son solo una referencia, y se deberán validar una vez que se tengan datos obtenidos del estudio geotécnico del terreno, y las reacciones en la base mayoradas del fabricante.

Para el cálculo de estas cimentaciones se ha considerado un terreno normal ($\sigma_{adm} = 10$ daN/cm² / $\beta = 30^\circ$).

Apoyo N°	Tipo de apoyo	Cimentación fraccionada (m)					V excav. (m³)	V horm. (m³)
		d	D	h	H	B		
SC1	FL	1,40	2,55	1,15	4,10	6,14	41,56	43,64
SC2	AG-AM	1,30	1,85	0,55	3,55	4,85	25,80	27,49
SC3	AG-AM	1,20	1,80	0,60	3,55	4,32	22,48	23,92
SC4	AL-S	0,90	1,30	0,40	2,60	5,00	9,08	9,89
SC5	AG-AM	1,30	1,90	0,60	3,65	6,40	26,84	28,53
SC6	AL-AM	1,34	2,36	1,02	3,46	7,75	31,55	32,98
SC7	AL-AM	1,34	2,36	1,02	3,46	7,75	31,55	32,98
SC8	AG-AM	1,30	2,05	0,75	3,80	5,92	29,16	30,85
SC9	AL-S	0,90	1,30	0,40	2,55	4,60	8,92	9,73
SC10	AG-AM	1,30	2,05	0,75	3,80	5,92	29,16	30,85
SC11	AL-AM	1,30	1,90	0,60	3,60	5,92	26,48	28,17
SC12	AL-S	0,90	1,40	0,50	2,55	5,50	9,32	10,13
SC13	AG-AM	1,35	2,10	0,75	3,80	6,40	31,32	33,14
DC1	FL	1,40	2,45	1,05	4,05	5,30	39,48	41,45
DC2	AL-S	1,00	1,40	0,40	2,90	6,40	12,32	13,32
DC3	AL-AM	1,40	2,60	1,20	4,15	6,97	42,92	45,07
DC4	AG-AM	1,40	2,55	1,15	4,10	6,14	41,56	43,64
DC5	AG-AM	1,40	2,55	1,15	4,10	6,14	41,56	43,64
DC6	AG-AM	1,40	2,55	1,15	4,10	6,14	41,56	43,64
DC7	AL-S	1,00	1,40	0,40	2,85	5,92	12,12	13,12
DC8	AL-S	1,00	1,40	0,40	2,85	5,92	12,12	13,12
DC9	AG-AM	1,40	2,60	1,20	4,15	6,97	42,92	45,07
DC10	AL-S	1,30	1,90	0,60	3,65	6,40	26,84	28,53
DC11	FL	1,40	2,60	1,20	4,15	6,97	42,92	45,07

1.10.7. Puesta a tierra

Los apoyos, se conectarán a tierra teniendo presente lo especificado en el apartado 7 de la ITC-07 del Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión.

Todos los apoyos metálicos, al ser de material conductor, deberán conectarse a tierra mediante una conexión específica. Los elementos que constituyen la instalación de puesta a tierra son:

- Electrodo de puesta a tierra
- Línea de tierra

Para poder identificar los apoyos en los que se debe garantizar los valores admisibles de las tensiones de contacto, se establece la siguiente clasificación de los apoyos según su ubicación:

- Apoyos NO frecuentados: son los situados en lugares que no son de acceso público o donde el acceso de personas es poco frecuente. Básicamente los apoyos no frecuentados serán los situados en bosques, monte bajo, explotaciones agrícolas o ganaderas, zonas alejadas de los núcleos urbanos, etc.
- Apoyos Frecuentados: Son los situados en lugares de acceso público y donde la presencia de personas ajenas a la instalación eléctrica es frecuente: donde se espere que las personas se queden durante tiempo relativamente largo, algunas horas al día durante varias semanas, o por un tiempo corto pero muchas veces al día.

Básicamente se considerarán apoyos frecuentados los situados en:

- Casco urbano y parques urbanos públicos.
- Zonas próximas a viviendas.
- Polígonos industriales.
- Áreas públicas destinadas al ocio, como parques deportivos, zoológicos, ferias y otras instalaciones análogas.
- Zonas de equipamientos comunitarios, tanto públicos como privados, tales como hipermercados, hospitales, centros de enseñanza, etc.

Los apoyos del presente proyecto, según su ubicación, son en su mayoría NO FRECUENTADOS.

El diseño del sistema de puesta a tierra cumple los siguientes criterios básicos:

- Resistencia a los esfuerzos mecánicos y a la corrosión.
- Resistencia a los esfuerzos mecánicos y a la corrosión.
- Resistencia desde un punto de vista térmico.
- Garantizar la seguridad de las personas con respecto a tensiones que aparezcan durante una falta a tierra.
- Proteger de daños a propiedades y equipos y garantizar la fiabilidad de la línea.
- Estos requisitos dependen fundamentalmente de:
- Método de puesta a tierra del neutro de la red: neutro aislado, neutro puesto a tierra mediante impedancia o neutro rígido a tierra.

- Del tipo de apoyo en función de su ubicación: apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados y del material constituyente del apoyo: conductor o no conductor.

1.10.7.1. Electrodo de puesta a tierra

Se utilizarán como electrodos de puesta a tierra:

- Electrodo de difusión vertical para apoyos no frecuentados
- Anillo cerrado de cobre para apoyos frecuentados

En la siguiente tabla se exponen las características de la puesta a tierra de los distintos apoyos en función de su tensión y ubicación:

Nº Apoyo	Tipo Apoyo	Frecuentado	Maniobra	Paso A/S	Tipo PAT
SC1	FL	No	No	No	Pica Doble
SC2	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
SC3	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
SC4	AL-S	No	No	No	Pica Doble
SC5	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
SC6	AL-AM	No	No	No	Pica Doble
SC7	AL-AM	No	No	No	Pica Doble
SC8	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
SC9	AL-S	No	No	No	Pica Doble
SC10	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
SC11	AL-AM	No	No	No	Pica Doble
SC12	AL-S	No	No	No	Pica Doble
SC13	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
DC1	FL	No	No	No	Pica Doble
DC2	AL-S	No	No	No	Pica Doble
DC3	AL-AM	No	No	No	Pica Doble
DC4	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
DC5	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
DC6	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
DC7	AL-S	No	No	No	Pica Doble
DC8	AL-S	No	No	No	Pica Doble
DC9	AG-AM	No	No	No	Pica Doble
DC10	AL-S	No	No	No	Pica Doble
DC11	FL	No	No	No	Pica Doble

1.10.7.1.1. Electrodo de difusión vertical

Se utilizará como electrodo de difusión vertical pica con alma de acero y recubrimiento de cobre de 2 metros de longitud.

El extremo superior de cada pica quedará al menos a 0,50 metros por debajo de la superficie del terreno. A esta profundidad irá también la línea de tierra que conecte las picas con el apoyo.

La puesta a tierra doble se realizará mediante dos picas de puesta a tierra situadas a ambos lados del apoyo y perpendicularmente a la dirección de la línea.

1.10.7.2. Línea de tierra

Estará constituida por un doble cable de acero galvanizado de 50 mm² de sección.

Los apoyos de la línea de 45 kV dispondrán de dos líneas de tierra situadas en lados opuestos del apoyo.

La corriente de cortocircuito máxima admitida por la línea de tierra en función de la duración del defecto y de las características de los conductores de puesta a tierra, a efectos de no sobrepasar la temperatura máxima permisible, considerando el proceso adiabático, se calculará mediante la siguiente expresión:

$$I_{th} = k \cdot \frac{S}{\sqrt{t}}$$

donde:

$$k = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c}{\rho_{cc} \cdot \alpha} \cdot \ln \frac{1 + \alpha \cdot (\theta_2 - 20)}{1 + \alpha \cdot (\theta_1 - 20)}}$$

siendo:

- I_{th} : Corriente de cortocircuito térmica equivalente (A)
- S : Sección del conductor (mm²)
- t : Tiempo de duración de la falta (s)
- γ : Densidad del conductor (kg/m³)
- c : Calor específico del conductor (J/kg °C)
- ρ_{cc} : Resistividad del conductor en corriente continua a 20 °C (Ω m)
- α : Coeficiente de variación de la resistividad del conductor con la temperatura (°C⁻¹)
- θ_1 : Temperatura inicial del conductor (°C)
- θ_2 : Temperatura final del conductor (°C)

Si se considera la temperatura inicial de 40 °C y una temperatura máxima de 300 °C, para un defecto de una duración de 0,5 s, las corrientes de cortocircuito térmicas equivalentes máximas admisibles serán:

SECCIÓN (MM ²)	I _{TH} (KA)
2x50	7,96
2x(2x50)	15,92

La unión de los conductores de acero con la estructura metálica del apoyo se realizará mediante grapa sobre estructura para dos cables.

La unión entre la línea de tierra y los electrodos de puesta a tierra se realizará mediante bridas con estribos para dos cables en el caso de unión a pica de acero-cobre o mediante soldadura aluminotérmica en caso de unión a anillo cerrado de cobre.

1.11. Prescripciones especiales

1.11.1. Cruzamientos

1.11.1.1. Líneas eléctricas y de telecomunicación

En los cruces de líneas eléctricas se situará a mayor altura la de tensión más elevada, y en el caso de igual tensión, la que se instale con posterioridad. En todo caso, siempre que fuera preciso sobre elevar la línea preexistente, será de cargo del nuevo concesionario la modificación de la línea ya instalada. Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los apoyos de la línea más elevada, pero la distancia entre los conductores de la línea inferior y las partes más próximas de los apoyos de la superior no será menor de:

$$D_{lin} = D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el}$$

Con un mínimo de:

- 2 metros para líneas de tensión nominal hasta 45kV
- 3 metros para líneas de tensión nominal hasta 66kV
- 4 metros para líneas de tensión nominal hasta 132kV
- 5 metros para líneas de tensión nominal hasta 220kV
- 7 metros para líneas de tensión nominal hasta 400kV

y considerándose los conductores bajo la máxima desviación bajo la acción del viento.

La mínima distancia vertical entre los conductores de ambas líneas, en las condiciones más desfavorables, no deberá ser inferior a:

$$D_{FF} = D_{add} + D_{pp}$$

Tensión nominal (kV)	Dadd (m)	
	Distancia apoyo línea superior al punto cruce < 25m	Distancia apoyo punto línea superior al cruce > 25m
De 3 a 30	1,8	2,5
De 45 o 66	2,5	
De 110 a 150	3	
220	3,5	
400	4	

La distancia mínima vertical entre los conductores de fase de la línea superior y los cables de tierra de la línea inferior, no deberá ser inferior a

$$D_{FT} = D_{add} + D_{el} = 1,5 \text{ m} + D_{el}$$

con un mínimo de 2 metros.

Esta comprobación se realizará con los conductores de fase de la línea superior en condiciones de flecha máxima establecidos en el proyecto.

Con los conductores de fase o cables de guarda de la línea eléctrica inferior sin sobrecarga a la temperatura mínima según la zona.

1.11.1.2. Terreno, caminos, sendas y cursos de agua no navegables

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su flecha máxima vertical según las hipótesis de temperatura y de hielo, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficies de agua no navegables, a una altura mínima de:

$$D = D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el}$$

con un mínimo de 6 metros.

1.11.1.3. Carreteras y ferrocarriles sin electrificar

La altura mínima de los conductores sobre la rasante de la carretera o sobre las cabezas de carriles en el caso de ferrocarriles sin electrificar será de:

$$D_{ctra} = D_{add} + D_{el}$$

con un mínimo de 7 metros.

D_{add} toma un valor de 7,5m para líneas de categoría especial y de 6,3 metros en el resto.

1.11.1.4. Cañadas, coladas y vías pecuarias

En los cruzamientos con cañadas, coladas y vías pecuarias, la altura mínima de los conductores sobre el terreno se considera la mínima al terreno normal. En este cruzamiento no es necesario realizar prescripciones especiales:

$$D = D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el}$$

con un mínimo de 7 metros.

1.11.1.5. Ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses

En los cruzamientos con ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses la distancia mínima vertical de los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical sobre el conductor más alto será de:

$$D_{add} + D_{el} = 3,5 \text{ m} + D_{el}$$

con un mínimo de 4 metros.

1.11.2. Paralelismos

1.11.2.1. Líneas eléctricas aéreas

En los paralelismos con líneas eléctricas aéreas, siempre que sea posible, se evitará la construcción de líneas paralelas de transporte o de distribución de energías eléctrica, a distancias inferiores a 1,5 veces la altura del apoyo más alto, entre las trazas de los conductores más próximos.

1.11.2.2. Ferrocarriles electrificados

En los paralelismos con ferrocarriles electrificados se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de instalar los apoyos:

- A ambos lados de las líneas ferroviarias que formen parte de la red ferroviaria de interés general se establece la línea límite de edificación desde la cual hasta la línea ferroviaria queda prohibido cualquier tipo de obra de edificación, reconstrucción o ampliación.
- La línea límite de edificación es la situada a 50 metros de la arista exterior de la explanación medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea. No se autorizará la instalación de apoyos dentro de la superficie afectada por la línea límite de edificación.
- Para la colocación de apoyos en la zona de protección de las líneas ferroviarias, se solicitará la oportuna autorización a los órganos competentes de la Administración. La línea límite de la zona de protección es la situada a 70 metros de la arista exterior de la explanación, medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea.

1.12. Seguridad y Salud

Como anexo a este PROYECTO se adjunta el Estudio de Seguridad y Salud de la línea proyectada en cumplimiento del Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre (Art. 4)

1.13. Relación de Bienes y Derecho Afectados

Como anexo a este PROYECTO se adjunta la Relación de Bienes y Derecho Afectados de la línea proyectada.

1.14. Cronograma

Se estima una duración de los trabajos de instalación y construcción de la línea de 30 semanas, considerándose una utilización media de 20-25 trabajadores. Los tiempos indicados en la siguiente tabla son solo una referencia, y deberán ser validados por la empresa encargada de la obra.

		ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD																														
Nº ORDEN	ACTIVIDADES FASES - TAREAS - OPERACIONES	PLANIFICACION Y DURACION DE LOS TRABAJOS																														
		SEMANA																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	EJECUCION LINEA ELECTRICA AEREA																															
1, 1,	REPLANTEO																															
1, 2,	EJECUCION DE ACCESOS																															
1, 3,	EJECUCION DE APOYOS																															
1, 3, 1,	EJECUCION DE EXCAVACION																															
1, 3, 1, 1,	APOYOS Nº SC1-DC11																															
1, 3, 2,	EJECUCION DE ANCLAJES APOYOS																															
1, 3, 2, 1,	COLOCACION Y NIVELACION DE TRAMO DE ANCLAJE																															
1, 3, 2, 2,	VERTIDO DE HORMIGON																															
1, 3, 3,	MONTAJE DE APOYOS																															
1, 3, 3, 1,	DESCARGA DE ELEMENTOS																															
1, 3, 3, 2,	MONTAJE DE ELEMENTOS																															
1, 3, 3, 3,	IZADO Y COLOCACION EN CIMENTACION																															
1, 4,	TENDIDO DE CABLE																															
1, 4, 1,	INSTALACION DE CADENA DE AISLADORES																															
1, 4, 2,	TENDIDO DE CABLE																															
1, 4, 2, 1,	TENDIDO ENTRE APOYOS																															
1, 4, 3, 1, 1,	TENSADO DE CABLE																															
1, 4, 3, 1, 2,	ENGRAPADO																															
1, 4, 3, 1, 3,	COLOCACION DE AISLADOR APOYOS																															
1, 4, 3, 3,	RETIRADA DE ROLDANAS																															
1, 5,	REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS																															

1.15. Conclusión

Considerando expuestas en esta memoria de la MODIFICACIÓN de PROYECTO de la LAAT 220KV SC SET RUEDA ESTE 220/30 KV A SET PRE-RUEDA 400/220 KV, todas las razones que justifican la construcción de la misma, se espera sea concedida la Autorización Administrativa y la Aprobación del Proyecto así como la Declaración de Utilidad Pública a efecto de imposición de servidumbres para el paso de la línea a través de los terrenos afectados por las obras de acuerdo con la ley 54/1997 de 27 de Noviembre del Sector Eléctrico.

En Madrid, Octubre de 2022
EL INGENIERO INDUSTRIAL



D. RAMON FERNANDEZ DE BORDONS
COLEGIADO DEL ICAI Nº 1813/102

2. PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS

2.1. Objeto y campo de aplicación

Este Pliego de Condiciones determina las condiciones mínimas aceptables para la ejecución de obras de instalación de líneas de alta tensión descritas en este proyecto.

Este Pliego de Condiciones se refiere al suministro e instalación de los materiales necesarios en el montaje las líneas.

Los Pliegos de Condiciones Particulares podrán modificar las presentes prescripciones.

2.2. Normativa aplicable

Se aplicarán las normas citadas en este documento, teniendo en cuenta las actualizaciones posteriores a las mismas, y que sean de aplicación a este proyecto.

2.3. Replanteo y medición

El replanteo de los apoyos y las mediciones de cualquier carácter en la línea correrán a cargo del Contratista. El replanteo de los apoyos se deberá encargar a la ingeniería que desarrolló el proyecto de la línea.

2.4. Ejecución del trabajo

Corresponde al Contratista la responsabilidad en la ejecución de los trabajos que deberán realizarse conforme a este Pliego de Condiciones.

2.4.1. Líneas Aéreas

2.4.1.1. Accesos a la situación de los apoyos

En la medida de lo posible, se usarán los caminos existentes para el transporte de la maquinaria. El contratista se responsabilizará de respetar el estado de los mismos y de reponerlos a su estado original si fuera necesario realizar alguna transformación.

En la medida de lo posible, se usarán los caminos existentes para el transporte de la maquinaria. El contratista se responsabilizará de respetar el estado de los mismos y de reponerlos a su estado original si fuera necesario realizar alguna transformación.

En caso de existir "Anexo al proyecto: accesos provisionales a los apoyos", el contratista deberá realizar los caminos de acceso a los apoyos conforme al mismo, tratando de respetar las lindes de las propiedades y siempre de acuerdo con los propietarios y ayuntamiento afectados.

El contratista será responsable en todo momento de los desperfectos y perjuicios ocasionados a los propietarios de los terrenos afectados, por el transporte y acopio del material.

2.4.1.2. Trabajos en los cruzamientos

Para los cruzamientos que se realicen con otras líneas de distribución o transporte, se deberá contar con la coordinación de la empresa suministradora.

En aquellos casos que sea posible la realización de descargos, el contratista deberá solicitarlo a la empresa suministradora.

En los casos que no sea posible la realización de los descargos, se deberán realizar los trabajos en tensión. Estos trabajos deberán ser presupuestados aparte, y no serán abonados en caso de no ser necesarios por realizarse el cruzamiento sin tensión.

2.4.1.3. Apertura de pozos

Las dimensiones de las excavaciones se ajustarán lo más posible a las indicadas en el proyecto y al catálogo del fabricante de los apoyos. Las paredes de los pozos serán verticales. Si las dimensiones de la excavación fueran superiores a las indicadas en el proyecto, el exceso de hormigón será a cargo del contratista.

La cimentación de los apoyos está formada por cuatro bloques de hormigón en masa, proyectándose para un terreno de tipo normal con un coeficiente de compresibilidad de 12 Kg/cm^2 .

El precio de la obra civil de excavación es único, independientemente del tipo de terreno en el que se excave.

El Contratista tomará las disposiciones convenientes para señalar adecuadamente los pozos y para dejar el menor tiempo posible abiertas las excavaciones, con objeto de evitar accidentes, según su Plan de Seguridad y Salud.

Las excavaciones se realizarán con útiles apropiados según el tipo de terreno. En terrenos con agua deberá procederse a su desecado, procurando hormigonar después lo más rápidamente posible para evitar el riesgo de desprendimiento en las paredes del pozo, aumentando así las dimensiones del mismo.

2.4.1.4. Transporte y acopio a pie de pozo

El transporte se hará en condiciones tales que los puntos de apoyo de los postes con la caja del vehículo, queden bien promediados respecto a la longitud de los mismos.

Se evitará las sacudidas bruscas durante el transporte. En la carga y descarga de los camiones se evitará toda clase de golpes o cualquier otra causa que pueda producir el doblado de los perfiles.

Por ninguna razón el poste quedará apoyado de plano, siempre su colocación será de canto para evitar en todo momento deformaciones y grietas.

En el depósito en obra se colocarán los postes con una separación de éstos con el suelo y entre ellos (en el caso de unos encima de otros) con objeto de meter los estrobos, por lo que se pondrán como mínimo tres puntos de apoyo, los cuales serán tacos de madera y todos ellos de igual tamaño; por ninguna razón se utilizarán piedras para este fin.

Los apoyos no serán arrastrados ni golpeados.

Desde el almacén de obra se transportarán con carros especiales o elementos apropiados al pie del pozo.

Los estrobos a utilizar serán los adecuados para no producir daños en los apoyos.

El Contratista tomará nota de los materiales recibidos dando cuenta al Director de Obra de las anomalías que se produzcan.

Cuando se transporten apoyos despiezados es conveniente que sus elementos vayan numerados, en especial las diagonales. Por ninguna causa los elementos que componen el apoyo se utilizarán como palanca o arriostramiento.

2.4.1.5. Cimentaciones

La cimentación de los apoyos se realizará de acuerdo con el Proyecto y conforme a la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Se empleará un hormigón cuya resistencia mecánica mínima sea 200 kg/cm^2 (H-200)

La fabricación del hormigón se realizará según lo establecido en el artículo 28º de la EHE-08.

En caso de preparación en obra la composición del mismo será la siguiente:

- 250 kg/m^3 de cemento 2BM-32,5
- 1350 kg grava tamaño 40mm Ø
- 675 kg arena seca
- 180 l de agua limpia

El amasado del hormigón se hará siempre sobre chapas metálicas o superficies impermeables, se efectuará a mano o en hormigoneras cuando así sea posible, procurando que la mezcla sea lo más homogénea posible.

Al hacer el vertido el hormigón se apisonará al objeto de hacer desaparecer las coqueas que pudieran formarse. No se dejarán las cimentaciones cortadas, ejecutándolas con hormigonado continuo hasta su terminación. Si por fuerza mayor hubiera de suspenderse y quedara este sin terminar, se dejarán redondos visibles y, antes de proceder de nuevo al hormigonado, se levantará la concha de lechada que tenga, con todo cuidado para no mover la piedra, siendo aconsejable el empleo suave del pico y luego el cepillo de alambre con agua o solamente este último si con él basta, más tarde se procederá a mojarlo con una lechada de cemento e inmediatamente se procederá de nuevo al hormigonado.

Las peanas de los apoyos sobrepasarán el nivel en 10 cm como mínimo en terrenos normales, y 20 cm en terrenos de cultivo. La parte superior de esta peana estará terminada en forma de punta de diamante, a partir de mortero rico en cemento, con una pendiente de un 10% como mínimo como vierte-aguas.

Se tendrá la precaución de dejar dos tubos corrugados para poder colocar el cable de tierra de los apoyos. Este conducto deberá salir a unos 30 cm bajo el nivel del suelo, y en la parte superior de la cimentación junto a la arista del apoyo que tenga la toma de tierra. La pica de toma de tierra no estará en el fondo del pozo del apoyo, sino al lado de la cimentación, e independiente de ella.

2.4.1.5.1. Arena

Puede proceder de ríos o de canteras. Debe ser limpia y no contener impurezas arcillosas u orgánicas. Será preferible la que tenga superficie áspera y de origen cuarzoso, desechando la de procedencia de terrenos que contengan mica o feldespato.

2.4.1.5.2. Piedra

Podrá proceder de canteras o de graveras de río. Siempre se suministrará limpia. Sus condiciones físico-químicas, las condiciones físico-mecánicas la granulometría y el coeficiente de forma se ajustarán a lo establecido en el artículo 28º de la EHE-08.

Se prohíbe el empleo de revoltón, o sea piedras y arena unidas sin dosificación, así como cascotes o materiales blandos.

2.4.1.5.3. Cementos

Los cementos utilizados en la elaboración del hormigón deberán ajustarse a lo establecido en el artículo 26º de la EHE-08.

2.4.1.5.4. Agua

Se empleará agua de río o manantial sancionada como aceptables por la práctica, quedando prohibido el empleo de aguas de ciénagas.

Deben rechazarse las que no cumplan algunas de las condiciones establecidas en el artículo 27º de la EHE-08.

2.4.1.6. Armado de apoyos

El armado de estos apoyos se realizará teniendo presente la concordancia de diagonales. Cada uno de los elementos metálicos del apoyo será ensamblado y fijado por medio de tornillos.

Si en el curso del montaje aparecen dificultades de ensambladura o defectos sobre algunas piezas que necesitan su sustitución o su modificación, el Contratista lo notificará al Director de Obra.

No se empleará ningún elemento metálico doblado o torcido. Sólo podrán enderezarse previo consentimiento del Director de Obra.

Después de su izado y antes del tendido de los conductores se apretarán los tornillos dando a las tuercas la presión correcta. El tornillo deberá sobresalir de la tuerca por lo menos tres pasos de rosca, los cuales se granetearán para evitar que puedan aflojarse.

2.4.1.7. Protección de las superficies metálicas

Todos los elementos de acero deberán estar galvanizados en caliente, según norma UNE 37 508.

Todos los tornillos y sus accesorios deberán estar galvanizados en caliente según norma UNE 37 507.

2.4.1.8. Izado de apoyos

La operación de izado de los apoyos debe realizarse de tal forma que ningún elemento sea solicitado excesivamente. En cualquier caso, los esfuerzos deben ser inferiores al límite elástico del material.

Por tratarse de postes pesados se recomienda sean izados con pluma o grúa, evitando que el aparejo dañe las aristas o montantes del poste. Si el montaje de las torres no se pudiera realizar con grúa por decisión del Director de Obra, se realizará por el método de barra a barra (a mano con plumín).

2.4.1.9. Tendido, empalme, tensado y retencionado

La medición de la unidad de tendido y aporte de cable (conductor, OPGW, tierra), está realizada sobre la distancia entre los centros de las bases de los apoyos en línea recta y en su proyección horizontal, asumiendo el contratista los despuntes, retales, puentes, empalmes y catenaria del cable.

2.4.1.9.1. Herramientas

2.4.1.9.1.1. Máquina de frenado del conductor

Dispondrá esta máquina de dos tambores en serie con canaladuras para permitir el enrollamiento en espiral del conductor.

Dichos tambores serán de aluminio, plástico, neopreno o cualquier otro material que será previamente aprobado por el Director de Obra.

La relación de diámetros entre tambores y conductor será fijada por el Director de Obra.

La máquina de frenado mantendrá constante la tensión durante el tendido limitando la tensión máxima y la velocidad de salida del cable.

La bobina se frenará con el exclusivo fin de que no siga girando por su propia inercia por variaciones de velocidad en la máquina de frenado. Nunca debe rebasar valores que provoquen daños en el cable por el encrustamiento en las capas inferiores.

2.4.1.9.1.2. Poleas de tendido del conductor

Para tender el conductor de aluminio-acero, las gargantas de las poleas serán aluminio plástico o neopreno. El ancho y profundidad de la garganta tendrá una dimensión mínima igual a vez y media el diámetro del conductor.

Su diámetro estará comprendido entre 25 y 30 veces el diámetro del conductor.

La superficie de la garganta de las poleas será lisa y exenta de porosidades y rugosidades.

No se emplearán jamás poleas que se hayan utilizado para tendidos en conductores de cobre.

No se permitirá el empleo de poleas que por el uso presenten erosiones o canaladuras provocadas por el paso de las cuerdas o cables piloto.

Las paredes laterales estarán inclinadas formando un ángulo entre sí comprendido entre 20 y 60 grados, para evitar enganches. Los bordes deberán ser biselados con el mismo fin.

Las poleas estarán montadas sobre cojinetes de bolas o rodillos, pero nunca con cojinete de fricción y de tal forma que permitan una fácil rodadura. Se colgarán directamente de las crucetas del apoyo.

2.4.1.9.1.3. Mordazas

Se utilizarán mordazas adecuadas para efectuar la tracción del conductor que no dañen el aluminio ni al galvanizado del cable de acero cuando se aplique una tracción igual a la que determine la ecuación de cambio de condiciones a 0°C sin manguito de hielo ni viento.

El apriete de la mordaza debe ser uniforme, y si es de estribos, el par de apriete de los tornillos debe efectuarse de forma que no se produzca un desequilibrio.

2.4.1.9.1.4. Máquina de tracción

Podrá utilizarse como tal la trócola, el cabestrante o cualquier otro tipo de máquina de tracción que el Director de Obra estime oportuno, en función del conductor y de la longitud del tramo a tender.

2.4.1.9.1.5. Dinamómetros

Será preciso utilizar dispositivos para medir la tracción del cable durante el tendido en los extremos del tramo, es decir, en la máquina de freno y en la máquina de tracción.

El dinamómetro situado en la máquina de tracción ha de ser de máxima y mínima con dispositivo de parada automática cuando se produzca una elevación anormal en la tracción de tendido.

2.4.1.9.1.6. Giratorios

Se colocarán dispositivos de libre giro con cojinetes axiales de bolas o rodillos entre conductor y cable piloto para evitar que pase el giro de un cable a otro.

2.4.1.9.2. Método de montaje

2.4.1.9.2.1. Tendido

Las operaciones de tendido no comenzarán hasta que hayan pasado 15 días desde la terminación de la cimentación de los apoyos de ángulo y anclaje, salvo indicación en contrario del Director de Obra.

El Contratista se ocupará del tendido, elección de los emplazamientos del equipo y orden de entrega de las bobinas, para conseguir que los empalmes (si fueran necesarios) queden situados fuera de los sitios que prohíbe el R.L.A.T., una vez tensado el conductor.

El conductor se tendrá siempre en bobina. El conductor se sacará de éstas mediante el giro de las mismas.

Las bobinas han de ser tendidas sin cortar el cable y sin que se produzcan sobrantes. Si en algún caso una o varias bobinas deben ser cortadas, por exigirlo así las condiciones del tramo tendido, el Contratista lo someterá a la consideración del Director de Obra sin cuya aprobación no podrá hacerlo.

Durante el despliegue es preciso evitar el retorcido del conductor con la consiguiente formación de cocas, que reducen extraordinariamente las características mecánicas de los mismos.

El conductor será revisado cuidadosamente en toda su longitud, con objeto de comprobar que no existe ningún hilo roto en la superficie ni abultamiento anormales que hicieran presumir alguna rotura interna. En el caso de existir algún defecto el Contratista deberá comunicarlo al Director de Obra quien decidirá lo que procede hacer.

La tracción de tendido de los conductores será, como máximo, la indicada en las tablas de tensado definitivo de conductores que corresponda a la temperatura existente en el conductor.

La tracción mínima será aquella que permita hacer circular los conductores sin rozar con los obstáculos naturales tales como tierra, que al contener ésta sales, se depositarán en el conductor, produciendo efectos químicos que deterioren el mismo.

El anclaje de las máquinas de tracción y freno deberá realizarse mediante el suficiente número de puntos que aseguren su inmovilidad, aún en el caso de lluvia imprevista, no debiéndose nunca anclar estas máquinas a árboles u otros obstáculos naturales.

La longitud del tramo a tender vendrá limitada por la resistencia de las poleas al avance del conductor sobre ellas. En principio puede considerarse un máximo de veinte poleas por conductor y por tramo; pero en el caso de existir poleas muy cargadas, ha de disminuir dicho número con el fin de no dañar el conductor.

Durante el tendido se tomarán todas las precauciones posibles, tales como arriostamiento, para evitar las deformaciones o fatigas anormales de crucetas, apoyos y cimentaciones. En particular en los apoyos de ángulo y de anclaje.

El Contratista será responsable de las averías que se produzcan por la falta de observación de estas prescripciones.

2.4.1.9.2.2. Empalmes

El tendido del conductor se efectuará uniendo los extremos de bobinas con empalmes definitivos efectuados de forma adecuada a cada tensión y sección. Dada su flexibilidad son válidos para el paso por las poleas de tendido.

Debe tenerse especial cuidado en la elección del preformado, así como en su colocación, debiendo seguirse las normas indicadas por el fabricante, prestando atención al sentido del cableado del conductor.

En la preparación del empalme debe cortarse los hilos de aluminio utilizando sierra y nunca con tijera o cizalla, cuidando de no dañar jamás el galvanizado del alma de acero y evitando que se aflojen los hilos mediante ligaduras de alambre adecuadas.

2.4.1.9.2.3. Tensado

El anclaje a tierra para efectuar el tensado se hará desde un punto lo más alejado posible y como mínimo a una distancia horizontal del apoyo doble de su altura, equivalente a un ángulo de 150° entre las tangentes de entrada y salida del cable en las poleas.

Se colocarán tensores de cable o varilla de acero provisionales, entre la punta de los brazos y el cuerpo del apoyo como refuerzo, en los apoyos desde los que se efectúe el tensado. Las poleas serán en dicho apoyo de diámetro adecuado, para que el alma del conductor no dañe el aluminio.

2.4.1.9.2.4. Regulación de conductores

La longitud total de la línea se dividirá en trozos de longitud variable, según sea la situación de los vértices. A cada uno de estos trozos los llamaremos serie.

Cada serie dispondrá de la correspondiente tabla de tendido, indicando el vano de regulación, la temperatura, tensión y flecha.

Para el tendido se requerirá el uso de dinamómetro, ajustando la tensión de acuerdo con el conductor, longitud de vano, y temperatura ambiente.

Con el fin de compensar la variación del módulo de elasticidad del conductor entre la situación final (conductor tendido, y considerada en proyecto) y la situación inicial (conductor nuevo, sin tensión inicial), se tenderá el conductor de acuerdo a la tabla de tendido, pero considerando una temperatura 5° C menos que la existente en el momento del tendido.

En cada serie el Director de Obra fijará los vanos en que ha de ser medida la flecha. Estos vanos pueden ser de regulación, o sea, aquellos en que se mide la flecha primeramente elegidos entre todos los que constituyen la serie y los de comprobación variables en número, según sean las características del perfil en los cálculos efectuados y que señalarán los errores motivados por la imperfección del sistema empleado en el reglaje, especialmente por lo que se refiere a los rozamientos habidos en las poleas.

Después del tensado y regulación de los conductores se mantendrán éstos sobre poleas durante 24 horas como mínimo, para que puedan adquirir una posición estable.

2.4.1.9.2.5. Retencionado

La suspensión de los conductores se hará por intermedio de estrobos de cuerda, o de acero forrados de cuero para evitar daños al conductor.

En el caso de que sea preciso correr la grapa sobre el conductor para conseguir el aplomado de las cadenas de aisladores, este desplazamiento nunca se hará a golpes: primeramente se suspenderá el conductor, se aflojará la grapa y se correrá a mano donde sea necesario.

Tanto en los puntos de amarre como en los de suspensión, reforzaremos el conductor con las adecuadas varillas preformadas de protección.

2.4.1.10. Reposición del terreno

Las tierras sobrantes procedentes de la excavación, así como los restos del hormigonado deberán ser retiradas a vertedero, a cargo del Contratista siendo de su responsabilidad el reacondicionamiento de las zonas afectadas.

2.4.1.11. Numeración de apoyos. Avisos de peligro eléctrico

Se numerarán los apoyos con pintura negra, ajustándose dicha numeración a la dada por el Director de Obra. Las cifras serán legibles desde el suelo.

La placa de señalización de riesgo eléctrico se colocará en el apoyo a una altura suficiente para que no se pueda quitar desde el suelo. Deberá cumplir las características señaladas en la Recomendación UNESA 0203.

2.4.1.12. Puesta a tierra

Los apoyos de la línea deberán conectarse a tierra de un modo eficaz, de acuerdo con el Proyecto y siguiendo las instrucciones dadas en el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

En contratista medirá todas y cada una de ellas, y entregará una relación completa de las mediciones. La dirección de obra realizará una verificación aleatoria de las mediciones obtenidas y exigirá que sean rebajadas aquellas que sean superiores a lo indicado en el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

2.5. Materiales

Todos los materiales empleados en la obra serán de primera calidad. El director de obra se reserva el derecho de rechazar aquellos materiales que no ofrezcan suficientes garantías.

El Contratista se hace responsable de la conservación y, de cualquier desperfecto que puedan producirse en los materiales, así como de las consecuencias de ellos, hasta la recepción completa de la obra.

Los materiales empleados en la instalación serán entregados por el Contratista siempre que no se especifique lo contrario en el Pliego de Condiciones particulares.

No se podrán emplear materiales que no hayan sido aceptados previamente por el director de obra.

Se realizarán cuantos ensayos y análisis indique el Director de Obra, aunque no estén indicados en este Pliego de Condiciones.

Los cables instalados serán los que figuran en el presente Proyecto y deberán estar de acuerdo con las Recomendaciones UNESA y las Normas UNE correspondientes.

2.5.1. Apoyos

Los apoyos estarán contruidos con perfiles laminados de acero de los selecciona-dos en la Recomendación UNESA 6702 y de acuerdo con la Norma UNE 36531-1ª R.

2.5.2. Herrajes

Serán del tipo indicado en el presente Proyecto. Todos estarán galvanizados en caliente.

Los herrajes para las cadenas de suspensión y amarre cumplirán con las Norma UNE-EN 61284.

En donde sea necesario adoptar disposiciones de seguridad se emplearán varillas preformadas de acuerdo con la Recomendación UNESA 6617.

2.5.3. Aisladores

Los aisladores empleados en las cadenas de suspensión o amarre en caso de utilizar vidrio, cumplirán las especificaciones de la Norma UNE-EN 60305. En caso de aislamiento compuesto la norma aplicable será la UNE-EN 61466.

En cualquier caso el tipo de aislador será el que figura en el presente Proyecto.

2.5.4. Conductor

Serán los que figuran en el presente Proyecto y deberán estar de acuerdo con la Norma UNE-EN 50182.

2.5.5. Salvapájaros

Se instalarán en el cable de tierra según las indicaciones dadas (tipo y distancia entre ellos) por la consejería de Medio Ambiente, según la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

2.5.6. Señalizaciones diurnas (bolas)

Las bolas de señalización diurnas para el cruce de las carreteras y su montaje están incluidas y repercutidas en el precio unitario del cable de tierra.

2.6. Recepción de obra

Durante la obra o una vez finalizada la misma, el Director de Obra podrá verificar que los trabajos realizados están de acuerdo con las especificaciones de este Pliego de Condiciones. Esta verificación se realizará por cuenta del Contratista.

Una vez finalizadas las instalaciones, el Contratista deberá solicitar la oportuna recepción completa de la obra.

En la recepción de la instalación el contratista deberá aportar los resultados del control de calidad realizado sobre la conductividad de la toma de tierra de cada apoyo, las pruebas de aislamiento, y mediciones de las flechas y tensiones aplicadas en cada vano.

El Director de Obra contestará por escrito al Contratista, previa conformidad del Control de Obra por parte del cliente, comunicando su conformidad a la instalación o condicionando su recepción a la modificación de los detalles que estime susceptibles de mejora.

2.6.1. Calidad de cimentaciones

El contratista contratará a su cargo un laboratorio independiente para la certificación de la resistencia mecánica del hormigón utilizado.

Se realizarán muestras en probeta de hormigón por cada 10 apoyos para efectuar ensayos que certificarán dicha resistencia a los 28 días del vertido.

2.6.2. Tolerancias de ejecución

2.6.2.1. Desplazamiento de apoyos sobre su alineación.

Si "D" representa la distancia, expresada en metros, entre ejes de un apoyo y el de ángulo más próximo, la desviación en alineación de dicho apoyo y la alineación real, debe ser inferior a $(D/100) + 10$, expresada en centímetros.

2.6.2.2. Desplazamiento de un apoyo sobre el perfil longitudinal

El desplazamiento de un apoyo sobre el perfil longitudinal de la línea con relación a su situación prevista no debe suponer un aumento en la altura del apoyo. Las distancias de los conductores respecto al terreno deben permanecer como mínimo iguales a las previstas en el Reglamento.

2.6.2.3. Verticalidad de los apoyos.

En apoyos de alineación se admite una tolerancia del 0,2% sobre la altura de apoyo.

2.6.2.4. Altura de flechas.

Los errores máximos admitidos en flechas en cualquiera que sea la disposición de los conductores y el número de circuitos sobre el apoyo, en la regulación de conductores serán de:

±3% En el conductor que se regula.

±3% Entre dos conductores situados en el plano vertical.

±6% Entre dos conductores situados en el plano horizontal.

La medición de las flechas se realizará según norma UNE 21 101.

Cuando se utilice un conductor en haz múltiple, la diferencia entre las flechas de un haz de los dos subconductores no excederá del diámetro del conductor.

2.6.2.5. Estado y colocación de los aisladores y herrajes.

Se comprobará que el montaje de las cadenas de aisladores y herrajes, son correctos conforme a los planos de montaje.

No se admitirá una desviación horizontal de las cadenas de aisladores de suspensión superior al 1% de la longitud de la cadena.

2.6.2.6. Distancias a masa

Se comprobará que las distancias fase-tierra son mayores que las que mínimas establecidas por el R.L.A.T.

2.7. Plan de seguridad y salud de la obra.

El plan de seguridad en obra se ajustará al Estudio de Seguridad y Salud correspondiente al proyecto de la obra, y en la partida alzada de la aplicación del estudio de seguridad y salud, el contratista se obliga a aportar todas las unidades de seguridad marcadas por el estudio de seguridad aprobado por la propiedad, para la obra.

Se someterá a la aprobación de la Dirección de Obra, y del coordinador de seguridad, la inclusión en el plan de seguridad, y por lo tanto en la obra, de cualquier subcontrata.

2.8. Planning de ejecución de la obra.

El contratista deberá aportar antes de comenzar la obra el planning de realización de los trabajos que se ajustará al Estudio de Seguridad y Salud con las medidas correspondientes. Dicho planning será realizado en Microsoft Project o herramienta similar.

Ante órdenes de la propiedad de parada e inicio de obra, la empresa contratista responderá en 24 horas ante la parada y en 72 horas ante la notificación de inicio de obra. El plazo de la obra será considerado como la suma parcial de los periodos comprendidos entre las órdenes de inicio y parada de ejecución de obra. Este será el plazo en el que como máximo la empresa de contrata tendrá estipulado la finalización de la obra.

Después del inicio de la obra, ante paradas obligadas y propuestas por la propiedad, el contratista no repercutirá ningún coste adicional.

La contrata propondrá a la propiedad, por escrito y justificadamente, la aprobación de cualquier posible modificación de dicho planning.

2.9. Dirección de obra.

El contratista deberá dar el servicio de Dirección de Obra, con las siguientes condiciones:

1. Deberá emitir el documento de Compromiso de Dirección de Obra, que deberá visarse en el colegio de Ingenieros Industriales, asumiendo por escrito las responsabilidades inherentes a dicho cargo. Este documento deberá ser presentado con la documentación que proporcione el contratista antes de la firma del acta de replanteo. Su nombre deberá figurar al solicitar la Licencia de obras en los organismos que lo requieran.
2. En las obras afectadas por el RD 1627/97 (Seguridad y Salud en obras de construcción), cuando no sea necesaria la designación de Coordinador de Seguridad, la dirección Facultativa de la obra será el máximo responsable de seguridad en la obra designado por el promotor, y deberá:

- Aprobar por escrito el plan de Seguridad y Salud elaborado por el contratista adjudicatario de la obra, así como todas las subcontrataciones
 - Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra
 - Cumplimentar el libro de incidencias (el cual se deberá mantener siempre en la obra), Custodiar el mismo, y anotar la variaciones o incidencias que se produzcan en la obra
3. En las obras afectadas por el RD 1627/97 (Seguridad y Salud en obras de construcción), en las que se haya designado Coordinador de Seguridad, la Dirección Facultativa de obras deberá figurar en el libro de incidencias y en algunos casos en el Acta de Aprobación del plan de Seguridad y Salud que ha realizado el Coordinador de Seguridad.
4. En las obras no afectadas por el RD 1627/97 (Seguridad y Salud en obras de construcción), la Dirección Facultativa de obras deberá aprobar el Plan de Seguridad y Salud específico elaborado por el contratista adjudicatario de la obra, así como los correspondientes a todos los subcontratistas.

La dirección de obra deberá mantener periódicamente informado al control de obra por parte de la empresa propietaria, aportando la documentación necesaria (planos, mediciones, cálculos, ...).

El contratista deberá responsabilizarse con la firma del Documento de Dirección de Obra Terminada, visado en el Colegio Oficial de Ingenieros.

El documento que se presente en el Colegio, deberá certificar la realización de la obra conforme al proyecto constructivo. En caso de haber sido necesario realizar modificaciones se deberán documentar, incorporando los cálculos justificativos, y planos que describan la obra terminada.

Además se deberán incorporar los datos de las mediciones realizadas por el contratista (resistencias de puesta a tierra, tensiones de paso y contacto, mediciones de aislamiento), y demás datos solicitados para la tramitación del proyecto en la Delegación de Industria correspondiente.