



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ESPECIALIDAD ELÉCTRICA

**LÍNEA DE 220kV CIRCUITO SIMPLE PARA LA
EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTRAS
TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO,
BURGOS (ESPAÑA)**

Autor: Iñigo Ezquerro Martínez

Director: Pablo Mercado Bautista

Madrid

Mayo 2015

LÍNEA DE ALTA TENSIÓN DE 220kV CIRCUITO SIMPLE PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTRAS TERMOSOLARES (200MW) EN EL CONDADO DE TREVIÑO, BURGOS

Autor: *Ezquerria Martínez, Iñigo*

Director: *Mercado Bautista, Pablo*

Resumen del Proyecto

El sistema eléctrico de potencia, es el conjunto de elementos que tienen la capacidad de generar, transportar, distribuir y consumir la energía eléctrica, bajo unos criterios establecidos de seguridad, fiabilidad y eficiencia económica, todo ello sometido a unas leyes físicas precisas.

Tal y como está formado el sistema y debido a la imposibilidad en la actualidad, de almacenar la energía eléctrica, la demanda y la generación de energía en todo momento deben coincidir. Es por esto, que el sistema es muy complejo y mallado, para que en caso de algún defecto en el mismo, las consecuencias sobre los usuarios sean lo menor posibles.

El sistema eléctrico está formado por cuatro grandes bloques: Generación, Transporte, Distribución y Consumo. El consumo se ubica en las ciudades las cuales no disponen de suficiente espacio como para situar la generación cercana a ellas. Es por ello que la generación se sitúa alejada de los puntos de consumo y se requiere de unas infraestructuras que comuniquen ambos puntos. Esas infraestructuras mejoran la fiabilidad del sistema eléctrico y están formadas por líneas de alta tensión, subestaciones y centros de transformación que aumenten y disminuyan las tensiones para reducir las pérdidas.

Es en esta situación en la que se apoya el presente proyecto, y por ello se ha diseñado la línea de alta tensión 220kV que permitirá la evacuación de cuatro plantas termosolares de 50MW cada una, uniéndose al sistema a través de una subestación situada en el pueblo de Argote, en la localidad del Condado de Treviño, Burgos.

La línea está formada por dos tramos, uno aéreo de unos 9km y uno subterráneo de aproximadamente 1km. La descripción de cada tramo se muestra a continuación.

Tramo Aéreo

El tramo aéreo de una longitud aproxima de unos 9.220m se ha empleado para la evacuación de potencia generada en las centrales termosolares de Grandival, en el municipio del Condado de Treviño. El final del tramo aéreo se encuentra en Argote, pueblo del mismo municipio. Debido a la localización geográfica de la línea, esta se considera que está situada en zona B según indica el RLAT, zona que comprende aquellas líneas que se ubican entre los 500 y 1.000 metros de altitud sobre el nivel del mar. Esta zona B determinará las hipótesis que habrá que tener en cuenta a la hora del dimensionado de los elementos que componen el tendido eléctrico.

La línea está formada por veinticinco torres y siete alineaciones, que han sido necesarias para así poder evitar que la línea pase por encima de los Lic's (Lugares de Interés Cultural) y las ZEPAS (Zonas para Especial Protección para las Aves), y pueda así cumplir con las especificaciones medioambientales. Se ha realizado un estudio sobre la topología por donde se diseñará, para con ayuda del RLAT, en el cual se determinan distancias de seguridad al terreno, así como indicaciones sobre cómo deben ser los cruzamientos con otras líneas o caminos, para que pueda ser firmado el proyecto.

Se ha decidido realizar un simple circuito dúplex en el que el conductor que se ha empleado es un, LA-445 Condor, con unos aisladores modelo E-160-146 del fabricante La Granja. Como cable de guarda se ha empleado el cable OPGW 92-AL3. Los apoyos y las cimentaciones empleadas son del fabricante IDEMEXSA, y se han empleado torres tipo Condor y Gran Condor cuando se requerían alturas de fuste mayores.

Tramo Subterráneo

El tramo subterráneo de la línea une la salida de las centrales termosolares con la línea aérea y consta de una longitud de aproximadamente 990m de longitud, en la cual se ha realizado un único giro para reducir los esfuerzos mecánicos sobre los conductores. Se ha empleado una configuración de simple circuito en tresbolillo con los conductores entubados. Como conductor se ha empleado un XLPE-Cu-2500/220, cuyo dimensionado permite la evacuación de la potencia deseada. La conexión de las pantallas se ha realizado mediante el método *cross-bonded* y se han realizado dos transposiciones de los conductores cada tercio del trazado para igualar los parámetros eléctricos de la línea.

SIMPLE CIRCUIT 220kV POWER LINE FOR THE EVACUATION OF FOUR THERMAL (200MW) PLANTS IN “EL CONDADO DE TREVIÑO” SPAIN

Author: *Ezquerro Martínez, Iñigo*

Coordinator: *Mercado Bautista, Pablo*

Abstract

The power system is the set of elements that have the ability to generate, transport, distribute and consume electricity under certain standards of safety, reliability and economic efficiency, all subject to precise physical laws.

The way the system is designed, and due to the fact that now a day is yet impossible to store electrical energy, generation must match demand at all times. It's for this reason that the system has a meshing design and it's so complex, so that demand is always covered no matter what problems the system has to face.

The power system consists in four mayor blocks: Generation, Transport, Distribution and Consumption. Consumption is located in cities, where there is not enough space for generation to be located near them, so it is usually established far away, and there is a need of infrastructures to connect these two points. These infrastructures improve the reliability of the power system.

Based on this situation the project is designed to evacuate the energy produced by four thermal plants of 50MW each to the nearest substation, located in Argote in El Condado de Treviño, Spain.

The power line consists in two sections, an air section of around 9km and an underground section approximately 1km long. A general description of each section is described below, and a more detailed description is given in the body's project.

Air Section

The air section of the power line will have a length of approximately 9.220 m and it has been designed in order to evacuate the power produced in four solar thermal power plants located in Grandíval, Burgos (Spain). At the other end of the air section is Argote. Due to the geographical location of the power line, and following the instructions collected in the RLAT, the power line is considered to be part of the B zone, comprising those lines that are located between 500 and 1000 meters above sea level. This B zone will determine the assumptions that will be taken into account when dimensioning the wiring elements.

The lines consist of 25 towers and seven alignments, which were necessary in order to prevent the line from passing Lic's (Places of Cultural Interest) and ZEPAS (Zones of Special Protection of Birds), and fulfilling the environmental specifications. There has been a topology study of the area where the line will be designed. With the topology known and the clearances to the ground and other power lines, defined in the RLAT, will determine the design of the line.

It has been decided to perform a simple duplex circuit in which the wire that has been used is a LA-445 Condor, connected to the towers with E-160-146 insulators from La Granja's catalogs. As a guard cable an OPGW 92-AL3 has been used. The towers and foundations used have been provided by IDEMEXA and the models used have been the Condor and the Grand Condor when higher towers were required.

Underground Section

The underground section connects the evacuation point of the four thermal plants with the air section, and it's approximately 990m long and has only one slight turn in order to reduce mechanical stress on the underground wire. A simple circuit has been used, in staggered file configuration inside tubes, to prevent damage and moisture. The wire used is a XLPE-Cu-2500/200, which allows the evacuation of the power estimated, without assuming a bottleneck to the air section of the line. The wire screen connections have been done with the cross-bonding system where the three transpositions are located. These three transpositions have been made every third of the length of the underground section in order to equal all the electric parameters of the three phases of the system.

Contenido del Proyecto

PARTE I - MEMORIA.....	19
Capitulo 1. Introducción	21
1.1. Estudio de los trabajos existentes.....	21
1.2. Motivación del Proyecto	22
1.3. Objetivos	23
1.4. Metodología	24
1.5. Recursos empleados	24
Capitulo 2. Descripción General.....	26
2.1. Descripción del trazado de la línea.....	26
2.2. Coordenadas de los apoyos	26
2.3. Descripción de la instalación.....	27
2.3.1. Tramo Aéreo	28
2.3.1.1. Características Generales	28
2.3.1.2. Características de los Materiales	28
2.3.2. Tramo Subterráneo.....	34
2.3.2.1. Características generales	34
2.3.2.2. Descripción del Trazado.....	35
2.3.2.3. Características de los Materiales	36
2.3.2.4. Conexión de las Pantallas.....	39
2.3.2.5. Empalmes y Terminales	40
2.3.2.6. Puesta a Tierra.....	40
2.3.2.7. Apoyo paso Aéreo-Subterráneo	40
Capitulo 3. Cálculos.....	42
3.1. Cálculos Eléctricos del Conductor	42
3.1.1. Cálculos eléctricos Tramo Aéreo	42
3.1.1.1. Características Generales de la Instalación	42
3.1.1.2. Características del conductor.....	42

3.1.1.3.	Densidad máxima de corriente	43
3.1.1.4.	Intensidad máxima admisible	44
3.1.1.5.	Parámetros eléctricos.....	45
3.1.1.6.	Potencia Máxima de Transporte.....	54
3.1.1.7.	Caída Máxima de Tensión.....	56
3.1.1.8.	Efecto Corona.....	58
3.1.1.9.	Pérdidas de Potencia.....	61
3.1.2.	Cálculos Eléctricos Tramo Subterráneo	63
3.1.2.1.	Características Generales de la Instalación	63
3.1.2.2.	Características del conductor.....	64
3.1.2.3.	Parámetros eléctricos.....	65
3.1.2.4.	Potencia Máxima de Transporte.....	68
3.1.2.5.	Caída Máxima de Tensión.....	70
3.1.2.6.	Pérdidas de Potencia.....	73
3.1.3.	Resumen Cálculos Eléctricos	75
3.1.3.1.	Parámetros Eléctricos Totales	75
3.1.3.2.	Potencia Máxima de Transporte.....	75
3.1.3.3.	Caída de Tensión Total.....	76
3.1.3.4.	Pérdidas de Potencia Totales.....	78
3.2.	Cálculos Mecánicos del Conductor.....	79
3.2.1.	Cálculo del Conductor y del Cable de Guarda	79
3.2.1.1.	Características Generales de la Línea.....	80
3.2.1.2.	Características del Conductor y del Cable de Guarda	80
3.2.1.3.	Cargas y sobrecargas a tener en cuenta	81
3.2.1.4.	Tablas de resultantes según las hipótesis	86
3.2.1.5.	Tracciones	89
3.2.1.6.	Tablas de tendido	110
3.3.	Cálculos Mecánicos de los Apoyos.....	113
3.3.1.	Hipótesis de Cálculo.....	113

3.3.1.1.	Esfuerzos en Apoyos de Suspensión en Alineación.....	113
3.3.1.2.	Esfuerzos en Apoyos de Amarre en Ángulo	114
3.3.1.3.	Esfuerzos en Apoyos de Fin de Línea.....	116
3.3.2.	Esfuerzos en Punta de Cruceta.....	117
3.3.3.	Selección de los apoyos.....	122
3.4.	Cimentaciones	124
3.4.1.	Comprobación del Arranque	125
3.4.2.	Comprobación de la Compresión.....	127
3.4.3.	Comprobación de la adherencia entre el anclaje y la cimentación.....	127
3.4.4.	Cimentaciones empleadas	128
3.5.	Puestas a Tierra	130
3.5.1.	Elementos del sistema de tierras	130
3.5.1.1.	Electrodo de puesta a tierra	130
3.5.1.2.	Línea de tierra.....	130
3.5.2.	Dimensionado de la puesta a tierra.....	131
3.5.2.1.	Dimensionamiento respecto a la resistencia térmica.....	131
3.5.2.2.	Dimensionamiento respecto a la seguridad de las personas	131
3.5.2.3.	Dimensionamiento respecto a la protección frente a impulsos tipo rayo ..	132
3.5.3.	Resumen de la instalación de tierras	132
3.6.	Cadena de Aisladores	133
3.6.1.	Cálculos Eléctricos.....	133
3.6.2.	Cálculos Mecánicos.....	134
3.6.2.1.	Cálculo cadena de suspensión	135
3.6.2.2.	Cálculo cadena de amarre.....	136
3.6.3.	Elección de la Cadena de Aisladores	136
3.6.3.1.	Elección del Aislador	136
3.6.3.2.	Número de aisladores	137
3.7.	Herrajes	138
3.7.1.	Cadena de suspensión para conductor.....	139

3.7.2.	Cadena de suspensión para el cable de guarda.....	139
3.7.3.	Cadena de amarre para conductor	139
3.7.4.	Cadena de amarre para cable de guarda	139
3.7.5.	Separadores	139
3.8.	Cálculo de Distancias de Seguridad.....	139
3.8.1.	Distancias en el apoyo.....	141
3.8.1.1.	Distancias entre conductores	141
3.8.1.2.	Distancia entre conductores y las partes puestas a tierra.....	142
3.8.2.	Distancias al terreno, caminos, sendas y a cursos de agua no navegables	143
3.8.3.	Distancia a otras líneas eléctricas.....	143
3.8.4.	Distancia a carreteras	144
	PARTE II PLANOS.....	147
Capítulo 1.	Emplazamiento de la Línea	149
1.1.	Tramo Aéreo	149
1.2.	Tramo Subterráneo.....	149
Capítulo 2.	Perfil de la Línea	151
2.1.	Tramo 1	151
2.2.	Tramo 2	151
2.3.	Tramo 3	151
2.4.	Tramo 4	151
2.5.	Tramo 5	151
2.6.	Tramo 6	151
2.7.	Tramo 7	151
2.8.	Tramo 8	151
Capítulo 3.	Apoyos	153
3.1.	Geometría de los Apoyos	153
3.2.	Apoyo Paso Aéreo-Subterráneo	153
3.3.	Distancias en el Apoyo.....	153
Capítulo 4.	Cadenas de Aisladores	155

4.1.	Cadena Amarre para Conductor	155
4.2.	Cadena Suspensión para Conductor	155
4.3.	Cadena Amarre para Cable de Guarda	155
4.4.	Cadena Suspensión para Cable de Guarda	155
Capítulo 5.	Sección Subterránea	157
PARTE III PLIEGO DE CONDICIONES.....		159
Capítulo 1.	Línea Aérea	161
1.1.	Objeto y Campo de Aplicación	161
1.2.	Replanteo y Medición	161
1.3.	Ejecución del Trabajo.....	161
1.3.1.	Apertura de Pozos	161
1.3.2.	Transporte y Acopio a Pie de Pozo	163
1.3.3.	Cimentaciones	163
1.3.3.1.	Arena y Grava	164
1.3.3.2.	Agua	164
1.3.3.3.	Cemento	165
1.3.3.4.	Hormigón	165
1.3.3.5.	Ejecución.....	165
1.3.4.	Armado e Izado de Apoyos	166
1.3.5.	Protección de las Superficies Metálicas	168
1.3.6.	Tendido, Empalme, Tensado y Retencionado.....	168
1.3.6.1.	Colocación de aisladores	168
1.3.6.2.	Tendido de los conductores y cable de tierra	169
1.3.6.3.	Tensado, regulado y engrapado de los conductores y cable de guarda	171
1.3.7.	Reposición del Terreno	172
1.3.8.	Numeración y Señalización de Apoyos.....	172
1.3.9.	Puesta a Tierra.....	172
1.3.9.1.	Electrodos de difusión.....	173
1.3.9.2.	Anillo cerrado.....	173

1.4.	Materiales.....	174
1.4.1.	Apoyos	174
1.4.2.	Herrajes	174
1.4.3.	Aisladores.....	174
1.4.4.	Conductor y Cable de Guarda	175
1.5.	Recepción de Obra	175
1.5.1.	Calidad de las Cimentaciones.....	175
1.5.2.	Tolerancias de Ejecución.....	176
1.5.2.1.	Desplazamiento de apoyos sobre su alineación.....	176
1.5.2.2.	Desplazamiento de un apoyo sobre el perfil longitudinal	176
1.5.2.3.	Verticalidad de los apoyos	176
1.5.2.4.	Altura de flechas.....	176
1.5.2.5.	Estado y colocación de los aisladores y herrajes.....	176
1.5.2.6.	Distancias a masa	177
Capítulo 2.	Línea Subterránea.....	178
2.1.	Objeto y Campo de Aplicación	178
2.2.	Replanteo y Medición	178
2.3.	Ejecución del Trabajo.....	178
2.3.1.	Trazado.....	178
2.3.2.	Apertura de Zanjas	179
2.3.3.	Canalización.....	180
2.3.4.	Transporte de Bobinas de Cables	181
2.3.5.	Tendido de Cables	182
2.3.5.1.	Tendido de conductores.....	182
2.3.5.2.	Tendido de cable de puesta a tierra	184
2.3.6.	Protección Mecánica	184
2.3.7.	Señalización	184
2.3.8.	Identificación.....	185
2.3.9.	Cierre de Zanjas	185

2.3.10.	Reposición de Pavimentos	186
2.3.11.	Puesta a Tierra.....	186
2.4.	Materiales.....	187
2.5.	Recepción de Obra	187
Capítulo 3.	Condiciones Ambientales y de Seguridad y Salud.....	188
3.1.	Condiciones Generales de Trabajo.....	188
3.2.	Atmósfera.....	188
3.3.	Residuos	188
3.4.	Conservación Ambiental	189
3.5.	Finalización de la Obra y Restauración Ambiental.....	189
3.6.	Condiciones de Seguridad y Salud.....	189
	PARTE IV ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	191
Capítulo 1.	Objeto.....	193
Capítulo 2.	Datos de la Obra.....	194
2.1.	Descripción de los trabajos.....	194
2.2.	Actividades Principales	194
2.3.	Situación y Climatología.....	195
2.4.	Personal Previsto	195
Capítulo 3.	Identificación de Riesgos	196
3.1.	Instalaciones.....	196
3.2.	Profesionales	198
3.2.1.	Carácter General.....	198
3.2.2.	Carácter Específico	200
3.2.2.1.	Caída desde altura de objetos	200
3.2.2.2.	Productos inflamables	200
3.2.2.3.	Vías y salidas de emergencia.....	201
3.2.2.4.	Trabajos con Riesgo Eléctrico.....	204
3.3.	Primeros Auxilios y Asistencia Sanitaria.....	206
3.4.	Responsables de seguridad en Obra.....	207

3.5.	Reuniones de Seguridad en Obra	208
3.6.	Botiquín.....	208
3.7.	Formación a los Trabajadores	208
3.8.	Paralización de los Trabajos.....	209
3.9.	Libro de Incidencias	210
PARTE IV PRESUPUESTO.....		211
Capítulo 1.	Mediciones	213
1.1.	Equipamiento eléctrico del tramo Aéreo.....	213
1.1.1.	Resumen de Apoyos.....	213
1.1.2.	Conductor y Cable de Guarda	214
1.1.3.	Cadena de Aisladores	214
1.1.4.	Puestas a Tierra	216
1.1.5.	Accesorios	216
1.2.	Equipamiento eléctrico tramo Subterráneo	217
1.2.1.	Conductores.....	217
1.2.2.	Autoválvulas, Botellas Terminales, Empalmes y demás Accesorios.....	217
1.2.3.	Puestas a Tierra	218
1.3.	Ejecución del Material de Obra.....	218
1.3.1.	Tramo Aéreo	218
1.3.2.	Tramo Subterráneo.....	219
Capítulo 2.	Presupuestos	220
2.1.	Maquinaria y Equipamiento Eléctrico.....	220
2.1.1.	Tramo Aéreo	221
2.1.2.	Tramo Subterráneo.....	222
2.1.3.	Ejecución del material de obra.....	222
2.2.	Resumen	223

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de las alineaciones y los cruzamientos del tramo aéreo.....	26
Tabla 2. Tipo y coordenadas de los apoyos de la línea	27
Tabla 3. Características generales de la instalación aérea.....	28
Tabla 4. Características mecánicas y eléctricas del conductor aéreo	30
Tabla 5. Características mecánicas y eléctricas del cable de guarda.....	30
Tabla 6. Características aisladores	31
Tabla 7. Clasificación de los apoyos para el cálculo de puestas a tierra	33
Tabla 8. Características generales del tramo subterráneo	34
Tabla 9. Disposición de la línea subterránea.....	35
Tabla 10. Características generales conductor subterráneo.....	36
Tabla 11. Características dimensionales botellas terminales.....	37
Tabla 12. Características dimensionales autoválvula.....	38
Tabla 13. Características eléctricas generales de la instalación aérea.....	42
Tabla 14. Características del Conductor empleado en el tramo aéreo.....	43
Tabla 15. Resistencia del conductor LA-455 Condor por unidad de longitud, para distintas temperaturas de servicio.....	47
Tabla 16. Medidas de las cabezas empleadas para el cálculo del DMG	50
Tabla 17. Valores de la conductancia por unidad de longitud para distintas condiciones climatológicas	52
Tabla 18. Valores de conductancias para la longitud de línea final	52
Tabla 19. Impedancia total de la línea.....	53
Tabla 20. Admitancia total de la línea.....	53
Tabla 21. Potencia máxima de transporte en función del ángulo de carga	55
Tabla 22. Caída de tensiones máximas para las potencias máximas de transporte	58
Tabla 23. Valores de cálculo de la tensión crítica disruptiva	60
Tabla 24. Tensión crítica disruptiva para las temperaturas extremas anuales.....	60
Tabla 25. Potencia de pérdidas para distintos valores de factor de potencia.....	62
Tabla 26. Características generales de la instalación subterránea.....	64
Tabla 27. Características del conductor subterráneo.....	64
Tabla 28. Resistencia AC, tramo subterráneo para diferentes temperaturas de trabajo	66
Tabla 29. Máxima potencia de transporte del tramo subterráneo función del factor de carga...	70
Tabla 30. Caída de tensión del tramo subterráneo función del factor de potencia.....	72
Tabla 31. Pérdidas de potencia en el conductor subterráneo función del ángulo de carga	74
Tabla 32. Parámetros eléctricos totales de la línea.....	75

Tabla 33. Potencia máxima de transporte de la línea	76
Tabla 34. Caída de tensión total de la línea.....	77
Tabla 35. Pérdidas totales de potencia de la línea.....	78
Tabla 36. Características generales de la Línea.....	80
Tabla 37. Características del conductor aéreo.....	81
Tabla 38. Características del cable de guarda	81
Tabla 39. Resultantes del conductor Condor para las distintas hipótesis.....	87
Tabla 40. Resultantes del cable de tierra OPGW, para las distintas hipótesis	88
Tabla 41. Condiciones iniciales para la ecuación de cambio de condiciones	92
Tabla 42. Apoyos, vanos y vanos reguladores de la línea.....	95
Tabla 43. Tracciones cantón 1, conductor Condor.....	96
Tabla 44. Tracciones cantón 2, conductor Condor.....	97
Tabla 45. Tracciones cantón 3, conductor Condor.....	98
Tabla 46. Tracciones cantón 4, conductor Condor.....	99
Tabla 47. Tracciones cantón 5, conductor Condor.....	100
Tabla 48. Tracciones cantón 6, conductor Condor.....	101
Tabla 49. Tracciones cantón 7, conductor Condor.....	102
Tabla 50. Tracciones cantón 1, cable de tierra OPGW	103
Tabla 51. Tracciones cantón 2, cable de tierra OPGW	104
Tabla 52. Tracciones cantón 3, cable de tierra OPGW	105
Tabla 53. Tracciones cantón 4, cable de tierra OPGW	106
Tabla 54. Tracciones cantón 5, cable de tierra OPGW	107
Tabla 55. Tracciones cantón 6, cable de tierra OPGW	108
Tabla 56. Tracciones cantón 7, cable de tierra OPGW	109
Tabla 57. Tabla de tendido para el conductor LA-445 Condor.....	111
Tabla 58. Tabla de tendido para el cable de guarda OPGW 92-AL3	112
Tabla 59. Esfuerzos sobre apoyos de suspensión en alineación.....	113
Tabla 60. Esfuerzos sobre apoyos de amarre en ángulo.....	115
Tabla 61. Esfuerzos sobre apoyos de fin de línea	116
Tabla 62. Esfuerzos en punta de cruceta producidos por el conductor Condor LA-445.....	120
Tabla 63. Esfuerzos en punta de cruceta producidos por el cable de guarda OPGW 92-AL3 ..	122
Tabla 64. Modelo y designación de las torres empleadas en la línea.....	124
Tabla 65. Tipo de cimentación empleada por apoyo.....	129
Tabla 66. Sistema de tierras de los apoyos.....	133
Tabla 67. Características aislador E-160-146 catálogo de la Granja.....	137
Tabla 68. Niveles de aislamiento según la norma CEI-383 para dimensiones de aisladores $\phi \times P$ (280x146 mm).....	138

Tabla 69. Características separador dúplex E42428 de MADE	139
Tabla 70. Distancias mínimas para una línea de 220kV de tensión nominal	141
Tabla 71. Valores del coeficiente de oscilación de la cadena K.....	142
Tabla 72. Resumen de los apoyos y medición de los mismos.....	214
Tabla 73. Medición conductor aéreo y cable de guarda.....	214
Tabla 74. Acopio cadenas de aisladores.....	215
Tabla 75. Acopio puestas a tierra	216
Tabla 76. Accesorios aéreos adicionales.....	216
Tabla 77. Medición conductor subterráneo	217
Tabla 78. Acopio de accesorios tramo subterráneo.....	217
Tabla 79. Acopio elementos de puesta a tierra del tramo subterráneo	218
Tabla 80. Ejecución del material de obra tramo aéreo	218
Tabla 81. Ejecución del material del tramo subterráneo	219
Tabla 82. Presupuesto tramo Aéreo	221
Tabla 83. Presupuesto tramo Subterráneo	222
Tabla 84. Presupuesto ejecución del material de obra	222
Tabla 85. Resumen presupuesto total de la instalación.....	223

Índice de Figuras

Figura 1. Sección del conductor.....	29
Figura 2. Botella terminal	37
Figura 3. Autoválvula	39
Figura 4. Esquema equivalente en π de la línea eléctrica.....	45
Figura 5. Variación de la resistencia por unidad de longitud del conductor LA-455 con la temperatura.....	48
Figura 6. Descripción gráfica de un circuito dúplex	49
Figura 7. Configuración en Tresbolillo para simple circuito	50
Figura 8. Esquema equivalente en π de la línea	54
Figura 9. Potencia máxima de transporte función del ángulo de carga.....	56
Figura 10. Caída de tensión máxima para distintos factores de carga	58
Figura 11. Pérdidas de potencia función del factor de carga.....	63
Figura 12. Resistencia del tramo subterráneo función de la temperatura de trabajo.....	66
Figura 13. Máxima potencia de transporte tramo subterráneo función del ángulo de carga y máxima potencia a evacuar	70
Figura 14. Caída de tensión del tramo subterráneo función del factor de potencia	72
Figura 15. Pérdidas de potencia en el conductor subterráneo función del ángulo de carga.....	74
Figura 16. Potencia máxima de transporte de la línea.....	76
Figura 17. Caída de tensión total de la línea	77
Figura 18. Pérdidas totales de potencia de la línea	79
Figura 19. Variación de la presión por manguito de hielo en función de la altura sobre el nivel del mar.....	83
Figura 20. Criterio de signos para desniveles entre apoyos	90
Figura 21. Ejemplo de la aplicación de la tensión en el punto medio de un vano	91
Figura 22. Diseño de las cimentaciones empleadas según el catálogo de IDEMEXSA	129

PARTE I - MEMORIA

Capítulo 1. Introducción

1.1. Estudio de los trabajos existentes

El sistema eléctrico de potencia, es el conjunto de elementos que tienen la capacidad de generar, transportar, distribuir y consumir la energía eléctrica, bajo unos criterios establecidos de seguridad, fiabilidad y eficiencia económica, todo ello sometido a unas leyes físicas precisas. En base a esto, se presenta un problema muy importante, la imposibilidad, a día de hoy de almacenar la energía eléctrica. La energía eléctrica hoy en día es fundamental para el desarrollo de las actividades cotidianas, y es por ello que se ha de garantizar su suministro de manera fiable. Es aquí donde interviene la red de transporte.

La red de transporte se divide en dos grandes partes, el *Transporte* y la *Distribución*. La primera gestionada por **REE** (Red Eléctrica de España) entidad pública encargada de la gestión de sistema, que funciona como un monopolio natural e impide la especulación con la energía; y la segunda gestionada por empresas particulares, que son las que facturan a los usuarios en función de lo establecido por REE.

Las centrales de generación suelen estar ubicadas donde abundan los recursos necesarios para la generación de la energía (minas de carbón, presas...), habitualmente alejadas de los grandes puntos de consumo como la industria, servicios, particulares... Es debido a esta situación y unido a que la energía eléctrica no puede ser almacenada, que la generación debe satisfacer la demanda para cada instante de tiempo (generación exactamente igual que demanda en todo momento). La red de transporte, a la cual pertenece la línea que se va a diseñar, permite darle estabilidad al sistema y ayudar a hacer más fiable la satisfacción de la demanda, mediante un sistema muy mallado.

Todo lo relacionado con las instalaciones de la red de transporte viene establecido en el *Reglamento de Líneas de Alta Tensión* (de ahora en adelante se referirá a él cómo **RLAT**), en el cual vienen especificados los niveles de tensión en los que se puede operar, así como los niveles de seguridad que hay que garantizar suponiendo condiciones en régimen permanente como peso de conductores, distancias de seguridad, así como posibles situaciones dependientes del medio como el viento o las temperaturas.

Los niveles de tensión en que define el RLAT, se dividen en cuatro categorías, a saber, *3ª Categoría* para tensiones entre 1kV y 30kV, *2ª Categoría* para tensiones entre 30kV y 66kV,

1ª Categoría para tensiones entre 66kV y 220kV y *Categoría Especial* para tensiones superiores a 220kV. Estos niveles de tensión tan elevados permiten el transporte de grandes distancias con menores pérdidas debido a que al aumentar la tensión se reduce la corriente y con ello las pérdidas por efecto Joule.

El componente más importante de una línea, es el conductor. Existe gran variedad de conductores, que dependen de los materiales empleados (Cobre, Aluminio, Acero...) y de las estructuras que forman dichos cables. El RLAT, tiene regulados los distintos tipos de conductores y define las características de niveles de aislamiento, protección y funcionamiento bajo las cuales cada uno ha de funcionar. En función de las características de tensión de cada línea se hará uso de uno u otro conductor con el fin de mejorar el rendimiento de los mismos así como cumplir con el objetivo de transporte para el cual se diseña.

Los apoyos o torres, son los encargados de sostener el cable en su posición y son los que definen la traza de la línea. Existe gran variedad de apoyos en función del tipo de materiales de los que están formados (madera, hormigón o acero) o el número de circuitos que es capaz de transportar. La elección de unas u otras dependen de la elección de proyectista siempre que estas cumplan las condiciones descritas en el RLAT. Los apoyos pueden ser de suspensión, amarre, fin de línea... en función de en qué punto del trazado se sitúen, y de su correcta localización depende la estabilidad mecánica de la línea al completo. Existen un gran número de fabricantes que disponen de catálogos con torres a medida según una serie de estándares, lo cual facilita el diseño, o se pueden diseñar al gusto del proyectista lo que dificulta y alarga el diseño del proyecto.

El diseño final de la línea se puede realizar a mano o con diversos programas informáticos sobre diseño de líneas que existen disponibles en el mercado. El sector eléctrico se ha desarrollado enormemente en los últimos años mejorando las técnicas existentes y permitiendo obtener un sistema más fiable y rentable.

1.2. Motivación del Proyecto

La construcción de cuatro nuevas plantas termosolares en Grandíval, Condado de Treviño (Burgos) y la necesidad de conectar dichas plantas al sistema eléctrico nacional, han motivado la creación y diseño de esta línea eléctrica, que una las centrales eléctricas con la subestación más cercana, situada en el mismo municipio, en el pueblo de Argote. El diseño debe permitir el paso al menos de los 200MW que forman las cuatro plantas (50MW cada una), a una

tensión de servicio de 220kV debido a que la subestación de destino trabaja a este nivel de tensión y permitirá su conexionado directo. Dicha conexión se hará bajo tierra pues no existe espacio físico en la subestación pues esta no se diseñó teniendo en cuenta posibles ampliaciones. Esta construcción pasará a formar parte de la red mallada que forma el sistema de transporte, ayudando a garantizar la estabilidad del sistema eléctrico.

1.3. Objetivos

El cliente (propietario de las cuatro centrales termosolares que se van a construir), ha solicitado los servicios del proyectista para el diseño de una línea de evacuación que comunique las centrales con la subestación más cercana. Las características principales del diseño son las indicadas a continuación.

- + La línea se ubica en zona B, según el RLAT
- + Evacuación de una potencia de 200MW
- + Tensión de servicio de la línea de 220kV
- + La configuración de la línea será de Simple Circuito
- + Se empleará un sistema Dúplex, dos conductores por fase
- + Dispondrá de un tramo aéreo de ente 9 y 10 km de longitud
- + Dispondrá de un tramo subterráneo de entre 1 y 2 km de longitud

En el proyecto, teniendo en cuenta todas las características anteriormente descritas, se fijará el objetivo de cumplir las siguientes tareas.

- + Elección del trazado más apropiado que cumpla con la legislación urbanística y medio ambiental, para poder obtener todos los permisos pertinentes.
- + Elección de los conductores y cables de guarda
- + Cálculo eléctricos de la instalación
- + Elección de los apoyos
- + Cálculos mecánicos tanto de conductores, como de apoyos y cimentaciones
- + Cálculo de puestas a tierra
- + Planos de la instalación, así como de los elementos que la componen, por separado
- + Estudio de seguridad y salud
- + Pliego de condiciones
- + Presupuesto para la instalación, incluyendo únicamente coste de materiales

1.4. Metodología

El director de proyecto ha fijado una serie de objetivos y plazos de entrega, que han sido necesarios cumplir con reuniones semanales en las cuales se han ido corrigiendo posibles defectos y mejoras en el diseño final, así como la resolución de dudas y la proporción de los recursos necesarios para finalizar dicho proyecto.

1.5. Recursos empleados

El recurso más importante que se ha empleado para la elaboración del proyecto ha sido el “*Reglamento de Líneas de Alta Tensión*” (RLAT) en el cual nos hemos apoyado a la hora de realizar los cálculos y diseños para que todos estos cumplan lo estipulado en el mismo y por tanto sea legal su obra. Se han empleado a su vez los apuntes realizados por Pablo Mercado Bautista, sobre líneas eléctricas.

Para el diseño de la traza de la línea, se ha necesitado conocer el terreno en el que esta iba a localizarse. Para ello se ha hecho uso del *Google Earth*, programa que permite conocer la topología del terreno y conocer las coordenadas de los puntos por los que pasa la línea que además servirá para georeferenciar los planos por los que pasa la traza.

Una vez conocida la ubicación del terreno, en la página web del *Instituto Geográfico Nacional* (www.ign.es) hemos descargados los planos MTN25raster del terreno de la obra, sobre los cuales se diseñará la línea.

De la página web del Ministerio *de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente* (<http://www.magrama.gob.es>), en la parte de Red Natura 2000 se han descargado los planos de los Lugares de Interés Comunitario (LIC's) y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs).

También ha sido preciso descargarse los planos del catastro de la página web del *Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas* (<http://www.catastro.meh.es>).

Todos estos archivos han sido manipulados y editados mediante el uso del *AutoCAD 2013*, con el cual se han diseñado las trazas de la línea, se ha ilustrado el perfil del terreno, se han colocado las torres, y se han realizado los planos de todos los elementos que forman parte de la línea como, torres, cabezas de apoyos, cimentaciones, herrajes...

Para redactar el proyecto se ha empleado *Microsoft Word* y el programa *Adobe Acrobat* para la transformación del documento a formato *.pdf*.

Como herramienta de cálculo, se ha empleado *Microsoft Excel*.

Capítulo 2. Descripción General

2.1. Descripción del trazado de la línea

El trazado de la línea está formado por dos tramos, uno aéreo y otro subterráneo que se van a emplear para evacuar la potencia generada en una central termo solar ubicada en la localidad de Grandival. De la central sale el tramo subterráneo. Esto se ha decidido así debido a que la central se encuentra cercana a una población y se ha visto conveniente reducir el impacto visual de la línea en las inmediaciones, así como para evitar las sombras que esta línea podría producir sobre la planta solar, reduciendo así el rendimiento de la misma. Dicho tramo está formado por dos alineaciones y de una longitud aproximada de 990m.

El tramo aéreo une la central termo solar del pueblo de Grandival, con la subestación más cercana en Argote, ubicada al oeste del primero. Dicho tramo tiene una longitud aproximada de 9.920 m, compuesta por un total de 7 alineaciones. La zona en la que se va a instalar la línea dispone de ciertos desniveles pronunciados, así como de otras líneas que se cruzan con la misma, por lo que el diseño se ha realizado para cumplir con la norma en todos los puntos del trazado. A continuación se muestra un pequeño resumen de los cruzamientos que tendrá la línea.

Nº de Alineación	Apoyo Inicial	Apoyo Final	Longitud (m)	Vano Regulador	Cruzamientos
1	1	4	967,90	334,25	-
2	4	9	1.483,40	305,77	Línea AT simple circuito 220kV
3	9	14	2.081,98	615,94	Línea AT doble circuito 66Kv Arroyo de Prado Dueso
4	14	16	774,42	462,74	-
5	16	18	679,22	342,12	-
6	18	21	1.472,12	504,26	Línea MT simple circuito 30Kv Carretera BU-750
7	21	25	1.760,58	467,28	Línea MT doble circuito simplex 30kV

Tabla 1. Descripción de las alineaciones y los cruzamientos del tramo aéreo

2.2. Coordenadas de los apoyos

Las coordenadas UTM de los apoyos que se van a instalar en la línea en el sistema geodésico de referencia ERTS89, así como la cota a la que dicho apoyo se encuentra sobre el nivel del mar, son las siguientes:

Coordenadas de los Apoyo					
Nº de Apoyo	Tipo	Modelo	X utm	Y utm	Z
1	Inicio de Línea	Condor	517956,74	4727903,58	571
2	Suspensión en Alineación	Condor	518156,55	4729009,89	606
3	Suspensión en Alineación	Condor	518316,96	4728766,91	619
4	Amarre ángulo	Gran Condor	518494,97	4728497,26	631
5	Suspensión en Alineación	Condor	518776,31	4728472,31	659
6	Suspensión en Alineación	Condor	519096,35	4728443,92	713
7	Suspensión en Alineación	Condor	519433,41	4728414,03	720
8	Suspensión en Alineación	Condor	519756,02	4728385,41	741
9	Amarre ángulo	Condor	519972,57	4728366,21	772
10	Suspensión en Alineación	Condor	520144,7	4728331,87	777
11	Suspensión en Alineación	Condor	520903,0	4728180,61	654
12	Suspensión en Alineación	Condor	521307,81	4728099,87	633
13	Suspensión en Alineación	Condor	521616,54	4728038,38	649
14	Amarre ángulo	Condor	522014,3	4727958,94	631
15	Suspensión en Alineación	Condor	522532,46	4727931,93	627
16	Amarre ángulo	Gran Condor	522766,46	4727774,57	664
17	Suspensión en Alineación	Condor	520079,41	4727816,24	725
18	Amarre ángulo	Condor	523439,73	4727864,22	725
19	Suspensión en Alineación	Gran Condor	523859,77	4727769,83	787
20	Suspensión en Alineación	Condor	524316,38	4727667,22	872
21	Amarre ángulo	Gran Condor	524876,02	4727541,46	812
22	Suspensión en Alineación	Condor	525267,34	4727531,68	809
23	Suspensión en Alineación	Gran Condor	525832,47	4727517,57	747
24	Suspensión en Alineación	Condor	526317,83	4727505,44	644
25	Fin de Línea	Condor	526636,06	4727497,5	623

Tabla 2. Tipo y coordenadas de los apoyos de la línea

2.3. Descripción de la instalación

En este apartado se define más concretamente el diseño general de la instalación.

2.3.1. Tramo Aéreo

2.3.1.1. Características Generales

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Frecuencia [Hz]	50
Tensión Nominal [kV]	220
Tensión más elevada de la red [kV]	245
Potencia máxima de transporte [MW]	614,76
Nº de Circuitos	1
Conductores por Fase	2 (dúplex)
Conductor	LA-445 Condor
Cable de Guarda	OPGW 92-AL3
Longitud Tramo Aéreo [m]	9.228
Zona	B
Nivel de Contaminación	II (medio)
Nº de Apoyos	25
Nº Apoyos Fin de Línea	2
Nº Apoyos Amarre en Ángulo	6
Nº Apoyos Alineación	17
Tipo de Aislamiento	Cadena de aisladores de vidrio
Cimentaciones	Fraccionada de hormigón

Tabla 3. Características generales de la instalación aérea

2.3.1.2. Características de los Materiales

En este apartado se incluyen las características de los principales elementos empleados en el diseño de la línea.

2.3.1.2.1 Conductor

El conductor que se ha empleado para el diseño y dimensionado de la línea como se ha indicado en la descripción general de la instalación, es un LA-445 CONDOR. Este conductor está diseñado para líneas de alta tensión y es frecuentemente empleado a la tensión de trabajo de línea que estamos diseñando, 220kV.

El cable está compuesto de aluminio que le aporta las cualidades conductoras óptimas (exterior del conductor) y de acero, que le proporciona las cualidades mecánicas que una línea de estas características requiere.

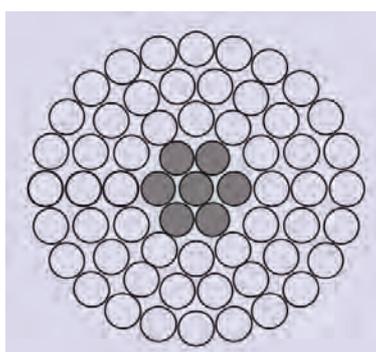


Figura 1. Sección del conductor

Las características se muestran a continuación.

Conductor	LA-445 Condor
Composición	54/7
Sección [mm ²]	454.5
De aluminio	402.3
De acero	52,2
Diámetro [mm]	27,72
Del aluminio	3.08
Del acero	3.08
Del alma	9,24
Peso unitario [kg/km]	1520.5
Carga de Rotura [daN]	12940
Resistencia eléctrica en DC a 20°C [Ω/km]	0.07191

Módulo de Elasticidad [kg/mm ²]	7000
Coefficiente de Dilatación Linear [°C-1]	1.95·10 ⁻⁵

Tabla 4. Características mecánicas y eléctricas del conductor aéreo

2.3.1.2.2 Cable de guarda

El cable de guarda que se ha empleado es un OPGW 92-AL3, sirve como protección de la línea frente a las sobretensiones de tipo rayo que se puedan producir, facilitando un camino a tierra a esas sobretensiones para que no se vea afectado el sistema eléctrico. A su vez dicho cable lleva en su interior una fibra óptica que se emplea para comunicaciones.

Las características se muestran a continuación.

Cable de Guarda	OPGW 92-AL3
Material	Acero galvanizado-Aluminio
Composición	13/5/1
Sección [mm ²]	120,2
Diámetro [mm]	15
Peso unitario [kg/km]	476
Carga de Rotura [daN]	6100
Módulo de Elasticidad [kg/mm ²]	7000
Coefficiente de Dilatación Linear [°C-1]	1.82·10 ⁻⁵

Tabla 5. Características mecánicas y eléctricas del cable de guarda

2.3.1.2.3 Aislamiento

El aislamiento es una parte fundamental en el diseño de la línea pues no solo es la unión física de los conductores a los apoyos, sino que aportan la distancia necesaria para que no haya derivaciones desde los conductores en tensión a los elementos puestos a tensión de tierra. Este aislamiento debe de cumplir lo estipulado en las normas UNE 21 114 y UNE 21 124.

Como elementos de aislamiento, se han instalado aisladores de vidrio templado, y la elección del modelo que se ha empleado, se ha realizado basándose en las características eléctricas del sistema, así como de los niveles de contaminación de la zona en la que se van a

instalar entre otras, para garantizar que estos mantendrán dicho nivel de aislamiento en las condiciones más desfavorables. Se han empleado aisladores producidos por La Granja.

Se han empleado cadenas de 13 aisladores, y su cálculo se muestra más detallado en apartados posteriores. Las características de los aisladores son las siguientes.

Aislador	E-160-146
Clase IEC-305	U160BS
Material	Vidrio templado
Carga de Rotura [kN]	160
Datos dimensionales	
Paso [mm]	146
Diámetro [mm]	280
Línea de Fuga [mm]	380
Peso [kg]	6,3
Valores eléctricos	
Tensión soportada en seco [kV]	75
Tensión soportada en lluvia [kV]	45
Tensión soportada de choque [kV]	110

Tabla 6. Características aisladores

2.3.1.2.4 Herrajes

Los errajes son aquellos elementos más concretos que unen el conductor a la cadena de aisladores, la cadena de aisladores a los apoyos, reducen las vibraciones de las líneas o sirven de descargadores de tensiones a tierra. Todos estos elementos están formados de hierro forjado galvanizado de tal manera que evitan la corrosión y adquieren una gran resistencia mecánica.

En el apartado de planos se muestran más detallados estos elementos, que depende del conductor y tipo de torre al que van a estar unidos.

2.3.1.2.5 Apoyos

Para los apoyos, se ha recurrido al catálogo de torres de IDEMEXSA. Dentro del catálogo se ha empleado la serie CONDOR y en algunos casos en los que se requería una altura

o una resistencia de mayores esfuerzos, se ha recurrido a la serie GRAN CONDOR. Los apoyos están formados por celosías angulares, de acero galvanizado. Todos ellos con cuatro patas.

La elección de cada torre está condicionada a las características del terreno, las tensiones de los conductores, las distancias de seguridad al terreno etc, es por ello que tanto la elección del fuste como de la cabeza del apoyo, son variables en todo el recorrido de la línea. Las cabezas de los apoyos en tresbolillo es constante para todas las torres y los fustes varían desde los 12 metros de altura hasta los 40 metros en el caso de las torres de la serie GRAN CONDOR.

2.3.1.2.6 Cimentaciones

Las cimentaciones debido al tipo de torres que se van a emplear serán individuales para cada pata en función de las características del propio fabricante de los apoyos. Cada cimentación individual tendrá el diseño de pata de elefante y el dimensionado de cada cimentación individual dependerá del apoyo al que va unido.

Se diseñaran las cimentaciones de tal manera que como mínimo sobresalgan unos 20cm por encima del terreno para proteger las bases de los fustes.

2.3.1.2.7 Puestas a tierra

Todos los apoyos dispondrán de un sistema de puesta a tierra que servirá de protección en caso de derivaciones de los conductores a los apoyos. El diseño de estas puestas a tierra está basado en las especificaciones de la ITC-LAT 07 del RLAT, que distingue entre apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados. La tabla siguiente muestra la clasificación que se ha realizado de los apoyos.

Nº de Apoyo	Tipo	Clasificación según el RLAT
1	Inicio de Línea	Frecuentado
2	Suspensión en Alineación	Frecuentado
3	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
4	Amarre ángulo	No Frecuentado
5	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
6	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
7	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
8	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
9	Amarre ángulo	No Frecuentado
10	Suspensión en Alineación	No Frecuentado

Nº de Apoyo	Tipo	Clasificación según el RLAT
11	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
12	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
13	Suspensión en Alineación	No Frecuentado
14	Amarre ángulo	Frecuentado
15	Suspensión en Alineación	Frecuentado
16	Amarre ángulo	Frecuentado
17	Suspensión en Alineación	Frecuentado
18	Amarre ángulo	Frecuentado
19	Suspensión en Alineación	Frecuentado
20	Suspensión en Alineación	Frecuentado
21	Amarre ángulo	Frecuentado
22	Suspensión en Alineación	Frecuentado
23	Suspensión en Alineación	Frecuentado
24	Suspensión en Alineación	Frecuentado
25	Fin de Línea	Frecuentado

Tabla 7. Clasificación de los apoyos para el cálculo de puestas a tierra

Según el RLAT la clasificación entre apoyos frecuentado y apoyos no frecuentados se basa en las siguientes dos definiciones.

Apoyo Frecuentado. *Los situados en los 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; sin incluir los lugares que se ocupan ocasionalmente como bosques, campo abierto, campos de labranza, etc.*

Apoyo no Frecuentado. *Los situados en lugares de no público acceso o donde el acceso de personas es poco frecuente.*

2.3.1.2.8 Numeración y señalización

Todos los apoyos deberán ir correctamente identificados. Por ello se instalarán de forma visible a una altura de 4 metros para evitar que sean sustraídos o modificados, placas en las que se indicará la tensión de la línea, el número de apoyo y función dentro de la instalación así como el nombre del fabricante y año de fabricación. A su vez se mostrará un símbolo de peligro eléctrico basado en la norma UNE-EN 60417-1 y un logotipo de la empresa propietaria de la instalación.

2.3.1.2.9 Amortiguadores

Tras realizar los cálculos de las tracciones de los conductores (que se muestran más adelante) se llegó a la conclusión que sería preciso instalar amortiguadores para evitar la rotura de los conductores debido a fenómenos vibratorios. Por ello para vanos menores de 500 m se instalará un por conductor y 2 por conductor para vanos superiores a 500 m.

2.3.2. Tramo Subterráneo

2.3.2.1. Características generales

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Frecuencia [Hz]	50
Tensión Nominal [kV]	220
Tensión más elevada de la red [kV]	245
Potencia máxima de transporte [MW]	307,48
Nº de Circuitos	1
Conductores por Fase	1 (Simplex)
Conductor	XLPE-Cu-2500/220
Longitud Tramo Subterráneo [m]	990,17
Tipo de Aislamiento	XLPE
Cimentaciones	Fraccionada de hormigón
Conexión de las Pantallas	Cross-Bonded (con transposición)
Canalización	Entubada

Tabla 8. Características generales del tramo subterráneo

En el Reglamento de Líneas de Alta Tensión solo se especifican las características de cómo deben ser las canalizaciones de líneas subterráneas de hasta 30kV. Para este caso los cruces con carreteras y caminos han de ser bajo tubos y hormigonados, determinando el diseño completo de la línea. En la ITC-LAT 06 se indica; *Para tensiones superiores de 30kV, el*

proyectista determinará y justificará en cada caso las condiciones de instalación y distancias. Es por ello que se ha decidido hacer un único diseño para el tramo subterráneo.

Se ha decidido disponer los conductores en tubos que los protegerán de la humedad, golpes o variaciones de temperatura del terreno. A su vez se dichos tubos se han dispuesto en tresbolillo con el objetivo de que las reactancias mutuas de las las tres fases se parezcan lo más posible. Las características de este diseño se especificarán más adelante.

2.3.2.2. Descripción del Trazado

Según se indica en la ITC-LAT 06, el diseño del trazado de líneas de tensión superior a 30kV se realizará bajo el criterio del proyectista, y es así como se realizará.

Sistema	Línea subterránea 220kV
Tensión Nominal [kV]	220
Disposición conductores	Tresbolillo
Profundidad de Excavación [mm]	1.300
Anchura de la zanja [mm]	400
Profundidad de los conductores [mm]	1.250
Separación de los conductores [mm]	132,4

Tabla 9. Disposición de la línea subterránea

La línea subterránea comienza desde la salida del centro de transformación de elevación del que disponen las cuatro centrales termosolares y termina en el apoyo 1 de la línea eléctrica aérea. Esta salida de paso subterráneo a aéreo se realizará con botellas terminales e irán debidamente protegidas con autoválvulas para cada una de las fases.

Todo el tramo subterráneo se realizará bajo una canalización en tubos y hormigonado, con los siguientes estratos claramente definidos.

- + **De 0 a 150 mm** se repondrá con pavimento. En caso de que el camino discurra por caminos de tierra se repondrá con la misma tierra que haya sido retirada previamente.
- + **De 150 a 800 mm** se rellenará la zanja con la propia tierra que haya sido extraída de la excavación y compactándola hasta alcanzar un nivel de compactación mínimo del 95%

del Proctor Modificado (P.M.). A una profundidad de 350mm se dispondrá una cinta señalizadora, que indicará que debajo existe una línea de alta tensión.

- + **De 800mm a 1300 mm** se rellenará con arena de la propia excavación y se incluirán los conductores en sus respectivos tubos en disposición tresbolillo a una profundidad de 1.250mm. A su vez encima de estos se incluirá una placa protectora de PVC.

En cuanto a la disposición de los conductores a lo largo de todo el trazado, con el fin de igualar todos los parámetros eléctricos que verá cada fase, se realizará la transposición de las fases. Se realizará una transposición cada $L/3$, es decir la primera se realizará a una distancia del comienzo de la línea de 330,06m y la segunda a una distancia de 660,12m del comienzo. Las pantallas se conectarán con el sistema *cross-bonded* con transposición.

2.3.2.3. Características de los Materiales

2.3.2.3.1 Conductor

Conductor	XLPE-Cu-2500/220
Tensión Nominal [kV]	220
Sección del conductor[mm ²]	2.500
Diámetro del conductor [mm]	62
Espesor del Aislamiento [mm]	23
Diámetro sobre el Aislamiento [mm]	113
Sección de la Pantalla [mm ²]	185
Diámetro exterior del conductor [mm]	132,4
Peso del cable [kg/m]	33,1
Resistencia [Ω /km]	0,0072
Inductancia (en tresbolillo) [mH/km]	0,34
Capacidad [μ F/km]	0,27
Intensidad máx. admisible (cross-bonded) [A]	1.755

Tabla 10. Características generales conductor subterráneo

2.3.2.3.2 Botellas Terminales

La botella terminal es el elemento que se emplea para realizar el paso de aéreo a subterráneo por lo que es muy importante que a la hora de realizar el dimensionado de las mismas se tenga en cuenta los niveles de tensión y distancias de seguridad. Se han empleado botellas terminales del fabricante ABB, con las características indicadas a continuación.

Botella Terminal	APECB 2456 P
Tensión Nominal [kV]	220
Aislante	Composite
Distancia de Fuga [mm]	9.360
Peso [kg]	290
Dimensiones [mm]	
A	3.030
B	40/50/54/60
C	490
D	235

Tabla 11. Características dimensionales botellas terminales

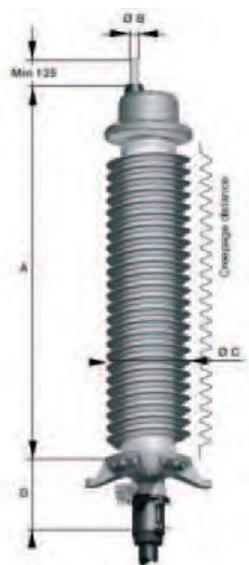


Figura 2. Botella terminal

2.3.2.3.3 Autoválvulas

Las autoválvulas son los elementos encargados de desviar las descargas producidas por impactos de rayos en las líneas a tierra. Son un elemento de protección y evitan que las sobretensiones lleguen a los conductores subterráneos pues podrían ser dañados. Es por esta razón que estas se colocarán una por cada fase ubicadas lo más cerca posible del paso a subterráneo. Su diseño se realizará basándose en el máximo valor de tensión de la red.

Las autoválvulas consisten en columnas de porcelana que incluyen en su interior pastillas de ZnO, que trabajan como resistencias variables, a más tensión menor resistencia. Se ha optado por emplear el mismo fabricante que las botellas terminales ABB.

Autoválvulas		XH 245
Máxima tensión del sistema [kV rms]		245
Tensión Nominal U_r [kV rms]		180-228
Distancia de Fuga [mm]		7.250
Peso [kg]		73
Dimensiones [mm]		
A_{max}		2.105
B		600
C		-
D		300
Aislamiento Externo		
Seco 1,2/50 μ s [kV peak]		1.156
Húmedo 50Hz (60s) [kV rms]		586
Seco 60Hz (10s) [kV rms]		586
Húmedo 250/2500 μ s [kV peak]		924

Tabla 12. Características dimensionales autoválvula

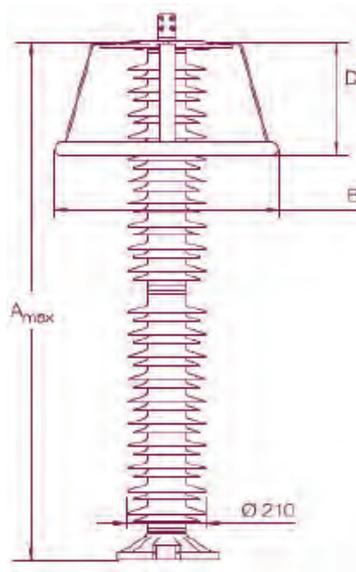


Figura 3. Autoválvula

2.3.2.4. Conexión de las Pantallas

Como sistema de conexión de las pantallas del conductor, se ha empleado el *cross-bonded* y con el objetivo de que todas las fases tengan los mismos parámetros eléctricos debidos a las inductancias mutuas, se han transpuesto las posiciones de los conductores cada tercio del recorrido (330m).

Con el sistema *cross-bonded* se consigue neutralizar el voltaje que se induce en la pantalla del los conductores, desviando las corrientes que se inducen en las mismas. Para una correcta eliminación de los voltajes, es importante que las secciones en las que se divide el cable debido a la transposición sean exactamente iguales.

Este sistema consiste, en que cada vez que se realiza una transposición, cada pantalla se conecta con la de otra fase, para al final del trazado tener las pantallas de cada fase conectada con la de las fases restantes, es decir, en el empalme de la primera transposición, la pantalla de la fase R se conectará con la pantalla de la fase T y en la siguiente transposición con la de la fase B, y así con todas las fases. Con esto se consigue reducir a cero todas las tensiones inducidas en las mismas. A su vez en cada transposición, las pantallas están conectadas a tierra a través de limitadores de voltaje (por si fuese requerido).

2.3.2.5. *Empalmes y Terminales*

Como ya se ha indicado previamente, se van a realizar transposiciones de las fases de las líneas cada tercio del recorrido, es decir en dos ocasiones a 330 y 660 m respectivamente. Estos empalmes deben cumplir una serie de requisitos.

- La conductividad del empalme debe de ser igual o superior a la de un conductor de la misma longitud, para que no influya en el dimensionado de la línea.
- Se debe crear un aislamiento igual o superior al propio del cable de tal manera que no se vean afectadas las normas de seguridad.
- El empalme debe de soportar los esfuerzos dinámicos a los que se va a ver sometido, así como evitar que la humedad penetre en el interior del mismo
- Los empalmes deberán realizarse de tal manera que se mantenga intacto el sistema de pantallas.

2.3.2.6. *Puesta a Tierra*

El sistema de puesta a tierra como en cualquier instalación eléctrica, es fundamental para garantizar la seguridad de los operarios, pues evitan las descargas por contactos debido a derivaciones de las partes metálicas. Se tendrán que poner a tierra los siguientes elementos.

- Bastidores y envolventes de los elementos de protección.
- Los elementos de conexión a tierra de las pantallas, realizando la conexión entre el inicio y el final de la línea. Se realizarán también en las cajas de conexión, y todas estas conexiones se realizarán con un conductor de cobre desnudo de 185mm² de sección.

La línea de puesta a tierra unirá el inicio y final de línea con un cable de cobre desnudo y a el se le unirán los demás sistemas de tierra así como lo electrodos. Como electrodos de puesta a tierra se emplearán dos picas que se unirán a la línea de tierra mediante soldadura. Dichas picas serán de 2m con cuatro metros de cable desnudo como conexión de ambas.

2.3.2.7. *Apoyo paso Aéreo-Subterráneo*

El apoyo Aéreo-Subterráneo es la unión física de los dos sistemas. En el caso de la presente línea se tratará del apoyo numero 1. En dicho apoyo se dispondrán las autoválvulas así como las botellas terminales. Las autoválvulas como ya se ha indicado previamente es fundamental que se localicen lo más cerca posible de los conductores subterráneos para evitar que este se dañe debido a sobretensiones tipo rayo. Esta distancia no será superior a 3 metros.

Los conductores irán grapados a la torre de tal manera que no pueda existir desplazamiento de los mismos debido a esfuerzos electrodinámicos y electromagnéticos. De ahí y tras pasar por las botellas terminales, el conductor irá aislados y dispuestos sobre la estructura en celosía.

Se dispondrán las cajas de seccionamiento de las pantallas a una altura de unos 4m para evitar que sean manipuladas. La puesta a tierra de la caja de seccionamiento irá unida a la puesta a tierra de las autoválvulas y de ahí ambos irán conectadas a la tierra del propio apoyo.

El último tramo del conductor irá protegido por una envolvente de fábrica de ladrillo enfoscado desde una altura de 2.10m para evitar su acceso y deterioro.

Al igual que el resto de apoyos de la línea será importante que dicho apoyo vaya bien identificado, con las respectivas señales de riesgo eléctrico así como con la placa identificativa y el número de torre y propietaria del sistema.

Capítulo 3. Cálculos

En el presente capítulo se recogen todos los cálculos que se han necesitado realizar para el correcto diseño del tendido eléctrico. Entre estos cálculos podremos encontrar, los cálculos eléctricos y mecánicos de los conductores, así como el dimensionado de los apoyos para soportar los esfuerzos a los que se verán enfrentados, así como cálculos de medidas de seguridad como pueden ser las puestas a tierra, o las distancias de seguridad que se van a tener que tener en cuenta, entre elementos en tensión y elementos puestos a tierra.

3.1. Cálculos Eléctricos del Conductor

3.1.1. Cálculos eléctricos Tramo Aéreo

3.1.1.1. Características Generales de la Instalación

Tensión Nominal [kV]	220
Frecuencia [Hz]	50
Nº de Circuitos	1
Conductores por Fase	2 (dúplex)
Longitud Tramo Aéreo [m]	9228
Conductor	LA-445 Condor
Cable de Guarda	OPGW 92-AL3
Zona	B
Nivel de Contaminación	II (medio)

Tabla 13. Características eléctricas generales de la instalación aérea

3.1.1.2. Características del conductor

A la hora de decidir el conductor que se va a emplear es importante conocer cuál es el objetivo de la línea que se diseña. En este caso, se trata de evacuar toda la potencia generada en

cuatro centrales termosolares, intentando reducir las pérdidas, pues pérdidas eléctricas implican pérdidas económicas.

Es por esto, que se ha decidido realizar un simple circuito, con dos conductores por fase, para reducir las pérdidas. Al tratarse de una línea de categoría especial (tensiones superiores a 220kV), se ha debido recurrir a cables con secciones más elevadas. El conductor elegido es el siguiente.

Nombre		Condor	
Código		LA 445	
Sección	Aluminio[mm ²]	402.3	
	Acero [mm ²]	52.2	
	Total [mm ²]	454.5	
Estructura	Aluminio	Número de Alambres	54
		Diámetro [mm]	3.08
	Acero	Número de Alambres	7
		Diámetro [mm]	3.08
Diámetros	Alma [mm]	9.24	
	Conductor [mm]	27.72	
Resistencia eléctrica en DC a 20°C [Ω/km]		0.07191	
Peso del Conductor [kg/km]		1520.5	
Carga de Rotura [daN]		12940	
Módulo de Elasticidad [kg/mm ²]		7000	
Coeficiente de Dilatación Linear [°C ⁻¹]		1.95·10 ⁻⁵	

Tabla 14 Características del Conductor empleado en el tramo aéreo

3.1.1.3. Densidad máxima de corriente

La densidad máxima de corriente nos permite conocer la intensidad máxima admisible del conductor, intensidad que no se debe sobrepasar para evitar el deterioro del mismo. Estas densidades máximas de corriente vienen determinadas por el conductor, en función de su sección y sus materiales.

Las densidades de corriente máximas en régimen permanente no sobrepasarán los valores indicados en el apartado 4.2.1 de la ITC-LAT 07, del RLAT. La sección del cable que se va a emplear no se encuentra normalizada en las tablas, por lo que será preciso interpolar para conocer que densidad de corriente en $[A/mm^2]$ corresponden a una sección de $454.5mm^2$.

$$\sigma_{cond} = \frac{\sigma_{inf} - \sigma_{sup}}{S_{sup} - S_{inf}}(S - S_{inf}) + \sigma_{sup} \quad (1)$$

Donde,

- σ_{cond} : densidad de corriente admisible del conductor $[A/mm^2]$
- σ_{inf} : densidad de corriente de la sección inmediatamente inferior $[A/mm^2]$
- σ_{sup} : densidad de corriente de la sección inmediatamente superior $[A/mm^2]$
- S_{inf} : sección del conductor inmediatamente inferior a la sección a calcular $[mm^2]$
- S_{sup} : sección del conductor inmediatamente superior a la sección a calcular $[mm^2]$
- S : sección en mm^2 del conductor $[mm^2]$

$$\sigma_{cond} = 1,868 [A/mm^2]$$

Según el RLAT para cables de aluminio-acero, se tomará en la tabla el valor de la densidad de corriente correspondiente a su sección total como si fuera aluminio y su valor se multiplicará por un coeficiente de reducción que dependerá de su composición. Para nuestro cable LA-445 Condor (54+7) será de 0,95.

$$\sigma_{LA-445} = 1,775[A/mm^2]$$

Conocer la densidad máxima de corriente que permite un conductor, nos permite conocer las condiciones máximas bajo las cuales puede funcionar de manera correcta.

3.1.1.4. Intensidad máxima admisible

Conociendo la densidad máxima admisible que nos ha marcado el RLAT en función de las características de nuestro conductor, se puede calcular el valor máximo de corriente que puede transportar nuestra instalación.

$$I_{max} = \sigma_{cond} \cdot S_{cond} \quad (2)$$

Obteniendo lo siguiente:

$$I_{max_{LA-445}} = \sigma_{LA-445} \cdot S_{LA-445} = 808,66 \text{ [A]}$$

Debido a que la instalación que se va a realizar, está formada por dos cables por fase (dúplex), la corriente máxima que se admitirá será el doble de la que permite un cable, pues toda la corriente por fase va dividida entre los dos conductores, ambos con las mismas características.

$$I_{max} = 1613.33 \text{ [A]}$$

3.1.1.5. Parámetros eléctricos

A continuación se ha realizado un estudio de los parámetros eléctricos mediante los cuales se puede modelar la línea eléctrica diseñada. Estos parámetros dependen de la configuración de la línea así como de la longitud de la misma. Se pueden diferenciar dos tipos de parámetros, los *longitudinales* que dan lugar a Impedancias Z_k formadas por resistencias R_k y reactancias X_k y los *transversales* que da lugar a Admitancias Y_k formadas por conductancias G_k y susceptancias B_k .

Estos parámetros permiten caracterizar una línea eléctrica mediante un esquema equivalente; en “T” o en “ π ”. El esquema que se ha decidido emplear es el esquema en “ π ”.

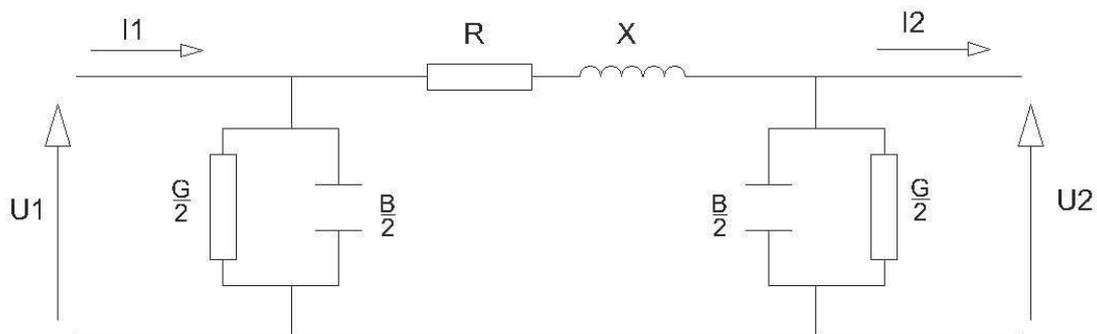


Figura 4. Esquema equivalente en π de la línea eléctrica

3.1.1.5.1 Resistencia

Se denomina resistencia eléctrica, es la oposición que presentan los materiales conductores frente al paso de los electrones. Debido a que los materiales no son ideales al paso de la corriente, aparece esta resistencia que se manifiesta como pérdidas de potencia, por lo que es importante conocer dicho valor para estimar las pérdidas que nos encontraremos. Esta resistencia depende de la temperatura de maniobra así como del tipo de corriente que circula por dicho conductor. Es por esta razón que los fabricantes facilitan la resistencia de los conductores para una temperatura de 20°C con corriente DC, y mediante una serie de ecuaciones es posible obtener el valor de resistencia en el punto de trabajo bajo el que se encontrará el conductor.

Para hallar el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna por unidad de longitud en función del valor de la resistencia en corriente continua a 20°C, en primer lugar se ha de calcular el valor de la resistencia en DC para la temperatura de servicio.

$$R_{\vartheta}^{\wedge} = R_{20}^{\wedge}[1 + \alpha_{20}(\vartheta - 20)] \quad (3)$$

Donde,

- R_{ϑ}^{\wedge} : Resistencia del conductor en DC a la temperatura ϑ °C [Ω/km]
- R_{20}^{\wedge} : Resistencia del conductor en DC a la temperatura 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 [°C]

Una vez conocido el valor de la resistencia a la temperatura de servicio en corriente continua se puede hallar el valor en corriente alterna haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta}^{\wedge}(1 + \gamma_s) \quad (4)$$

Donde,

- R_{ϑ} : Resistencia del conductor en AC a la temperatura ϑ °C [Ω/km]
- R_{ϑ}^{\wedge} : Resistencia del conductor en DC a la temperatura ϑ °C [Ω/km]
- γ_s : Factor de efecto pelicular

La distribución de la corriente en corriente alterna es irregular en la sección transversal del conductor. El *efecto pelicular* se debe a la existencia de campos magnéticos, que ocasionan unas reactancias aparentes en el centro del conductor, crecientes desde el interior al exterior del mismo ocasionando densidades de corriente mayores en la corona externa que en el interior del conductor. Esto hace que la resistencia aparente en corriente alterna sea mayor que en corriente

continua, donde la distribución de corriente es uniforme, al no producirse campos magnéticos. De aquí sale el factor de efecto pelicular y_s , que se calcula según la teoría de Kelvin de la siguiente manera.

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + (0,8 \cdot x_s^4)} \quad (5)$$

Donde el parámetro x_s viene de:

$$x_s^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-7}}{R'_g} \quad (6)$$

Donde,

- f : Frecuencia del sistema [Hz]
- R'_g : Resistencia del conductor en corriente continua a ϑ °C [Ω /km]

La temperatura de servicio de la línea será de aproximadamente unos 80 °C, pero se han realizado los cálculos para varias temperaturas de servicio bajo las cuales podría estar trabajando la línea. Los resultados se describen en la siguiente tabla.

Temperatura [°C]	R' [Ω /km]	x_s	y_s	R [Ω /km]
-15	0.0618	0.045080763	2.15E-08	0.061834
-5	0.0647	0.044067583	1.96E-08	0.064710
0	0.0661	0.043585956	1.88E-08	0.066148
20	0.0719	0.04180618	1.59E-08	0.071900
25	0.0733	0.041394286	1.53E-08	0.073338
50	0.0805	0.039503127	1.27E-08	0.080528
55	0.0820	0.039155075	1.22E-08	0.081966
65	0.0848	0.038485708	1.14E-08	0.084842
80	0.0892	0.037543058	1.03E-08	0.089156
85	0.0906	0.037243905	1.00E-08	0.090594

Tabla 15. Resistencia del conductor LA-455 Condor por unidad de longitud, para distintas temperaturas de servicio

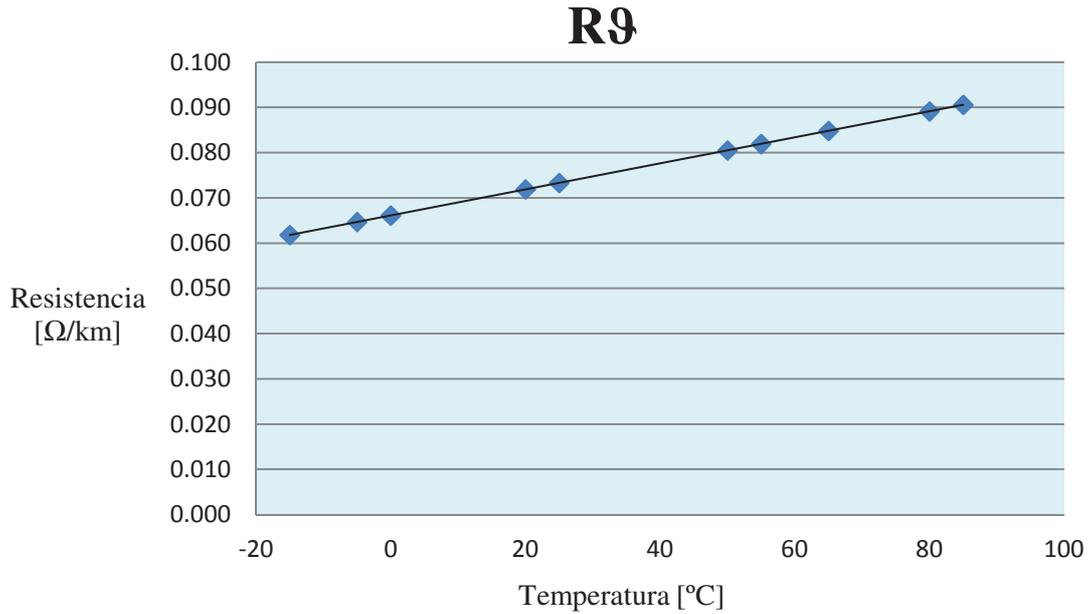


Figura 5. Variación de la resistencia por unidad de longitud del conductor LA-455 con la temperatura

La resistencia total de la línea se obtendrá de multiplicar para la temperatura de servicio a la que esté trabajando el conductor, la resistencia por la longitud total del tramo de línea.

3.1.1.5.2 Reactancia

En un conductor recorrido por una corriente alterna y senoidal, se crea una fuerza electromagnética proporcional a la velocidad de variación de la corriente, que impide el correcto paso de la corriente a través del mismo. Esto se denomina *reactancia* y viene dada por la siguiente expresión por unidad de longitud.

$$X_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k \quad (7)$$

Donde L_k es el coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud expresado en [H/km]

$$L_k = \frac{1}{m} \left(\frac{1}{2n} + 4,605 \cdot \log \frac{DMG}{r_{eq}} \right) \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

Donde,

- L_k : Coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud [H/km]
- m : Número de circuitos
- n : Número de conductores por fase

- DMG : Distancia Media Geométrica. Separación media geométrica entre ejes de fase [mm]
- r_{eq} : radio del conductor o radio equivalente en circuitos con más de un conductor por fase [mm]

El *radio equivalente* es el del conductor único por fase, que tendría el mismo gradiente unitario máximo que la configuración real de los conductores que formen el haz de la fase. Queda definido por la expresión.

$$r_{eq} = R \cdot \sqrt[n]{\frac{n \cdot r}{R}} \quad (9)$$

Donde,

- r_{eq} : radio equivalente [mm]
- R : Radio de la circunferencia que pase por los centros de los subconductores [mm]
- n : Número de conductores por fase
- r : Radio de los conductores [mm]

La línea que se está diseñando está formado por un circuito dúplex, es decir está formada por dos conductores por fase, quedando el radio equivalente de la siguiente manera.

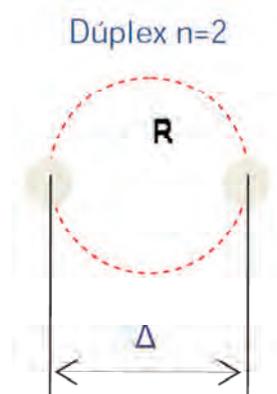


Figura 6. Descripción gráfica de un circuito dúplex

Con la figura anterior, y considerando una distancia Δ de 400mm (medida típica en este tipo de circuitos) obtenemos que el radio equivalente depende de la siguiente ecuación.

$$r_{eq} = \sqrt[2]{r \cdot \Delta} \quad (10)$$

$$r_{eq} = 74,431 \text{ mm}$$

El *DMG (Distancia Media Geométrica)* depende de la configuración de la línea en función del tipo de cabeza de apoyos que se elija, pues depende de las distancias que existen entre las diferentes fases de los conductores.

Al tratarse de un simple circuito, se ha decidido que la configuración más provechosa es la de “*Tresbolillo*”, en la que se reduce la ocupación horizontal de los terrenos por los que pasará la línea. Se ha empleado una cabeza Condor del fabricante IDEMEXA.

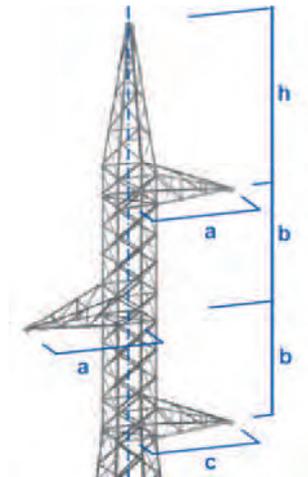


Figura 7. Configuración en Tresbolillo para simple circuito

Las dimensiones de las cabezas que se han empleado para el cálculo del *DMG* son las de la tabla siguiente. Las dimensiones corresponden con la configuración mostrada en la figura anterior.

CONDOR: S4C	
a	4.1 m
b	4.4 m
c	4.3 m
h	5.9 m

Tabla 16. Medidas de las cabezas empleadas para el cálculo del *DMG*

En un circuito simple la forma de calcular el *DMG* viene dado por la expresión

$$DMG = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \tag{11}$$

Donde,

– $d_{12} = 9305.91 \text{ mm}$

- $d_{23} = 9482.61 \text{ mm}$
- $d_{31} = 8802.27 \text{ mm}$

$$\mathbf{DMG = 9192.36 \text{ mm}}$$

Con todos estos parámetros ya calculados, somos capaces de calcular el valor del coeficiente de inducción mutua del circuito, y con eso obtener el valor de la reactancia del circuito.

$$L_k = 0.002242 \text{ [H/km]}$$

Para una longitud de línea de 9229.62m la reactancia total es la siguiente.

$$\mathbf{X = 6.5027 \Omega}$$

3.1.1.5.3 Conductancia

En el caso de los conductores ya se ha visto, que estos no son ideales y presentan una serie de pérdidas. Algo parecido pasa con los aisladores, los cuales al no ser ideales aparecen una serie de corrientes de fuga entre el conductor en tensión y los apoyos puestos a tierra. Estas corrientes que circulan por la superficie del aislador, dan origen a las pérdidas por conductancia. Estas corrientes son muy pequeñas y prácticamente despreciables, pero se han calculado para conocer su orden de magnitud y poder definir de manera más precisa el esquema equivalente π . La conductancia kilométrica por fase.

$$G_k = \frac{p}{U^2} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

Donde,

- G_k : Conductancia kilométrica por fase [S/km]
- p : Pérdidas de potencia que se producirá en cada fase de la línea [kW/km]
 - o *Tiempo seco: $p = \text{de } 1 \text{ a } 3W \text{ por aislador}$*
 - o *Tiempo húmedo: $p = \text{de } 5 \text{ a } 20W \text{ por aislador}$*
- U : Diferencia de potencial entre el conductor y tierra [kV]

La conductancia depende de las pérdidas que se producirán por cada fase, y estas pérdidas dependerán de las condiciones meteorológicas. Es por ello que se ha calculado su valor para el caso más desfavorable para ambas situaciones, tiempo seco y tiempo húmedo.

CONDUCTANCIA		Conductancia [S/km]
	p [kW]	
Tiempo Seco	0.003	6.19835E-11
Tiempo Húmedo	0.02	4.13223E-10

Tabla 17. Valores de la conductancia por unidad de longitud para distintas condiciones climatológicas

CONDUCTANCIA [S]	
Tiempo Seco	5.72022E-10
Tiempo Húmedo	3.81348E-09

Tabla 18. Valores de conductancias para la longitud de línea final

3.1.1.5.4 Susceptancia

La susceptancia es la parte imaginaria de la admitancia. Esta se origina de la diferencia de potencial que se produce entre los elementos en tensión y los elementos a tierra. Es en este elemento donde se encuentran las pérdidas de potencia aparente de la línea y es por ello que es importante conocer su valor. La susceptancia por unidad de longitud viene dada por la siguiente ecuación.

$$B_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_k \quad (13)$$

Donde,

- B_k : Susceptancia por unidad de longitud [S/km]
- C_k : capacidad de la línea por unidad de longitud media en [F/km]
- f : frecuencia del sistema en [Hz]

La capacidad de una línea depende del diseño de la misma, pues intervienen el número de circuitos con el DMG así como el número de conductores por fase en el r_{eq} .

$$C_k = \frac{24,2}{\log \frac{DMG}{r_{eq}}} \cdot 10^{-9} \quad (14)$$

Donde,

- C_k : Capacidad por unidad de longitud [F/km]
- DMG : Distancia Media Geométrica. Separación media geométrica entre ejes de fase [mm]

- r_{eq} : radio del conductor o radio equivalente en circuitos con más de un conductor por fase [mm]

Con todo esto, obtenemos como valores de capacidad C_k

$$C_k = 5.0246 \cdot 10^{-9} [F/km]$$

Para una longitud de línea de 9229.62m la susceptancia total es la siguiente.

$$B = 1.5785 \cdot 10^{-6} [S]$$

3.1.1.5.5 Resumen parámetros eléctricos

Una vez se han calculado todos los valores de *resistencias*, *reactancias*, *conductancias* y *susceptancias*, ya se puede caracterizar la línea de manera apropiada y precisa. Los valores de Impedancias y Admitancias finales se muestran en las tablas siguientes.

IMPEDANCIA $R_k + jX_k$					
Resistencia R_k [Ω/km]	Reactancia X_k [Ω/km]	Parámetros			
		Real	Complejo	Fase [$^\circ$]	Módulo
0.061834001	0.704623054	0.570642501	6.502698	5.015128	6.527689

Tabla 19. Impedancia total de la línea

ADMITANCIA $G_k + jB_k$					
Conductancia G_k [S/km]	Susceptancia B_k [S/km]	Parámetros			
		Real	Complejo	Fase [$^\circ$]	Módulo
6.19835E-11	1.57854E-06	5.72022E-10	1.46E-05	0.00225	1.46E-05
4.13223E-10	1.57854E-06	3.81348E-09	1.46E-05	0.014999	1.46E-05

Tabla 20. Admitancia total de la línea

Volviendo al esquema equivalente de la línea que se mostró en la introducción de los parámetros eléctricos, ya somos capaces de distinguir todos los elementos de la línea y dejar esta perfectamente caracterizada.

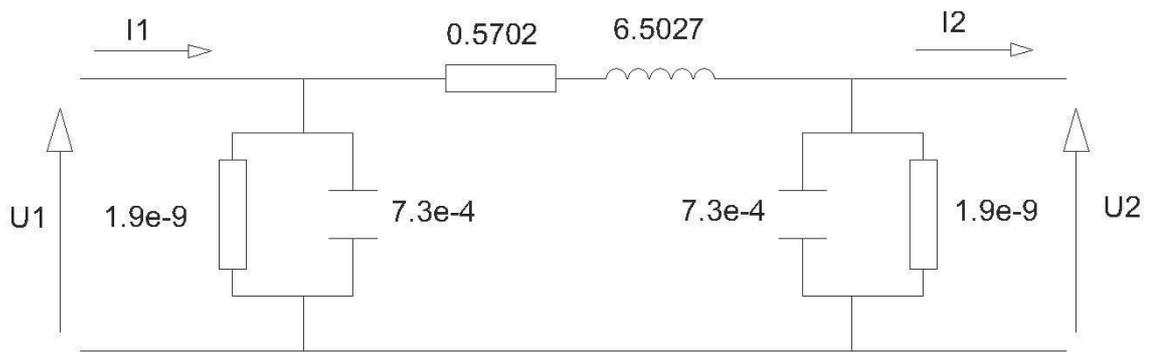


Figura 8. Esquema equivalente en π de la línea

3.1.1.6. Potencia Máxima de Transporte

Una vez se ha decidido el cable que se va a emplear, queda definida la máxima potencia que se va a poder transportar por la línea debido a que esta depende de la máxima corriente que puede circular por los conductores sin que estos sobrepasen las densidades de carga que vienen definidas en el RLAT y que ya hemos comentado en apartados anteriores. Para un mismo conductor, se puede ampliar la potencia máxima de transporte ampliando el número de conductores por fase que se van a emplear, pues la corriente máxima se multiplica por el número de conductores.

Esta potencia máxima dependerá a su vez del factor de potencia del sistema, definido por el coseno del ángulo que forman la tensión y la corriente.

La ecuación que modela la máxima corriente que se va a poder hacer circular por la línea es la siguiente.

$$P_{max} = n \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{max} \cdot \cos\varphi \quad (15)$$

Donde,

- P_{max} : Potencia máxima de transporte de la línea [W]
- U : Tensión de servicio de la línea [V]
- I_{max} : Corriente máxima que puede circular por los conductores [A]
- $\cos\varphi$: Factor de potencia, donde φ es el ángulo entre la tensión y la corriente [°]
- n : Número de conductores por fase

Debido a que no se conoce con que factor de potencia va a trabajar la línea, se muestra en una tabla cuál sería la potencia máxima que se podría transportar en cada caso.

$\cos\varphi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]
0.8	36.8699	491.808
0.81	35.9041	497.956
0.82	34.9152	504.103
0.83	33.9013	510.251
0.84	32.8599	516.399
0.85	31.7883	522.546
0.86	30.6834	528.694
0.87	29.5414	534.841
0.88	28.3576	540.989
0.89	27.1268	547.137
0.9	25.8419	553.284
0.91	24.4946	559.432
0.92	23.0739	565.579
0.93	21.5652	571.727
0.94	19.9484	577.875
0.95	18.1949	584.022
0.96	16.2602	590.170
0.97	14.0699	596.317
0.98	11.4783	602.465
0.99	8.1096	608.613
1	0	614.760

Tabla 21. *Potencia máxima de transporte en función del ángulo de carga*

Expresado de forma gráfica se ve que la potencia aumenta linealmente con el factor de potencia, siendo la máxima potencia de transporte la correspondiente a un factor de carga igual a uno, es decir, cuando el ángulo de carga es igual a cero y toda la carga es resistiva.

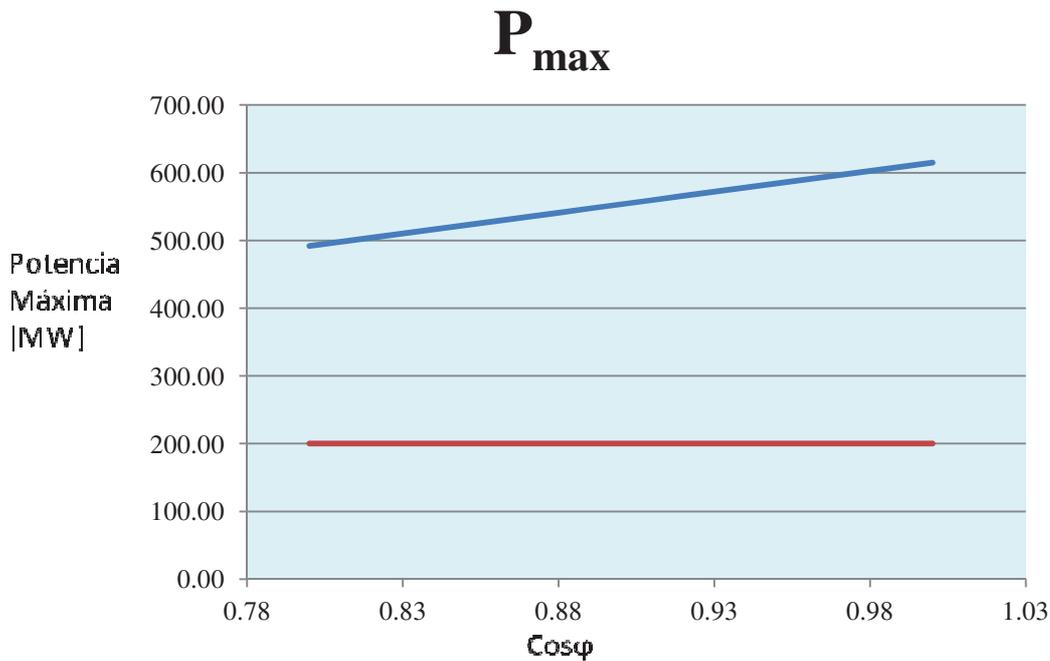


Figura 9. Potencia máxima de transporte función del ángulo de carga

En la figura anterior se muestra como varía la potencia máxima de transporte en función del ángulo de carga. Se puede comprobar que el todos esos valores (*azul*) son superiores a la potencia que se ha de evacuar (*rojo*) de 200MW de las plantas termosolares, y objetivo de este proyecto, por lo que se puede considerar correcto el dimensionado de la línea.

3.1.1.7. Caída Máxima de Tensión

Debido a las pérdidas que van a aparecer en el sistema debido a que los conductores no son ideales, va a provocar que la tensión no se mantenga constante. La caída de tensión se puede calcular conociendo la tensión en dos nodos y viendo cuanta tensión cae de uno a otro o función de la potencia. En primer lugar mostramos la caída de tensión en dos nodos.

$$\Delta U_{\%} = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} 100 \quad (16)$$

Donde,

- $\Delta U_{\%}$: Caída de tensión en tanto por ciento [%]
- U_1 : Tensión a la entrada [V]

- U_2 : Tensión a la salida [V]

Para conocer la caída de tensión máxima, nos hemos basado en la formula que relaciona la caída de tensión con la potencia, en la cual la potencia que hemos empleado es la máxima potencia de transporte que hemos calculado en el apartado 3.1.1.6.

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2} (R + X \cdot tg\varphi) \quad (17)$$

Donde,

- $\Delta U_{\%}$: Caída de tensión en tanto por ciento [%]
- P : Potencia a transportar (P_{\max}) [kW]
- L : Longitud de la línea [km]
- U : Tensión nominal de la línea [kV]
- R : Resistencia por fase y por kilómetro de la línea [Ω /km]
- X : Reactancia por fase y por kilómetro de la línea [Ω /km]
- φ : Ángulo de fase [°]

A continuación se muestran las caídas máximas de tensión para distintos factores de potencia (distintos valores de potencia máxima de transporte).

cos φ	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	ΔU máxima [%]
0.8	36.8699	491.808	5.5356
0.81	35.9041	497.956	5.4307
0.82	34.9152	504.103	5.3218
0.83	33.9013	510.251	5.2084
0.84	32.8599	516.399	5.0903
0.85	31.7883	522.546	4.9671
0.86	30.6834	528.694	4.8381
0.87	29.5414	534.841	4.7029
0.88	28.3576	540.989	4.5609
0.89	27.1268	547.137	4.4111
0.9	25.8419	553.284	4.2526
0.91	24.4946	559.432	4.0840
0.92	23.0739	565.579	3.9039
0.93	21.5652	571.727	3.7099
0.94	19.9484	577.875	3.4993

cosφ	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	ΔU máxima [%]
0.95	18.1949	584.022	3.2676
0.96	16.2602	590.170	3.0085
0.97	14.0699	596.317	2.7110
0.98	11.4783	602.465	2.3539
0.99	8.1096	608.613	1.8827
1	0	614.760	0.7248

Tabla 22. Caída de tensiones máximas para las potencias máximas de transporte

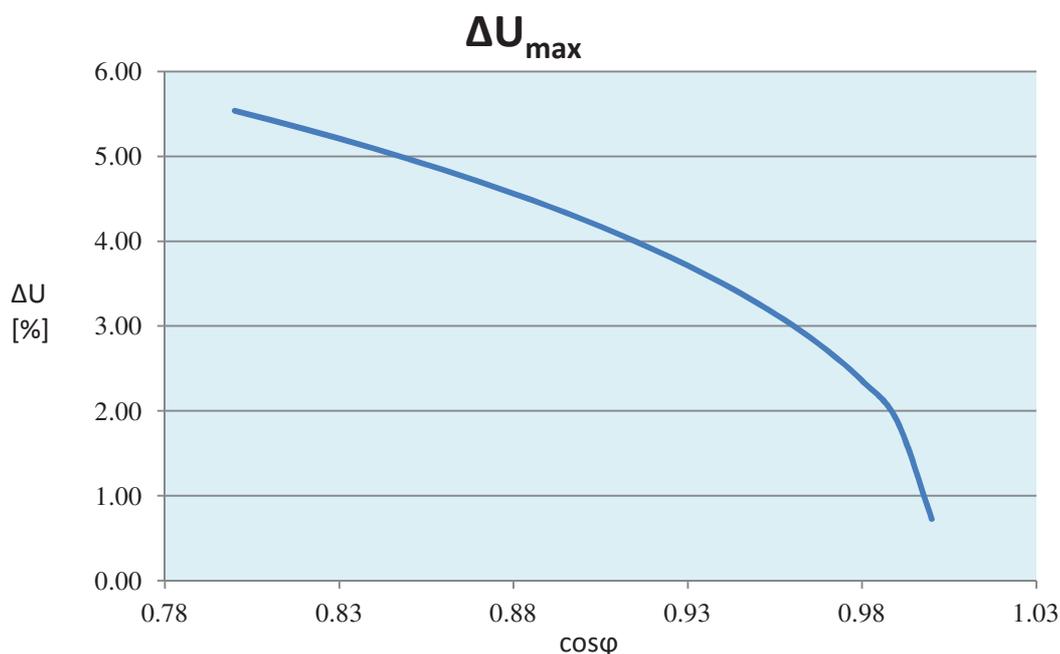


Figura 10. Caída de tensión máxima para distintos factores de carga

3.1.1.8. Efecto Corona

El efecto corona es un fenómeno que se da en el conductor de una línea eléctrica cuando este adquiere un potencial lo suficientemente elevado como para dar lugar a un gradiente de del campo eléctrico radial, igual o superior a la rigidez dieléctrica del aire, produciéndose corrientes de fuga, debido a que el aire pasa a ser conductor. Es necesario buscar evitar este fenómeno pues puede aumentar significativamente las pérdidas en la línea, además de ser acústicamente molestas (al haber ruptura dieléctrica del aire se produce una pequeña crepitación) y visualmente los conductores se iluminan. De este fenómeno surgen dos conceptos.

- **Tensión Crítica Visual.** Tensión a la cual empiezan los efluvios visuales, esta es mayor que la tensión crítica disruptiva.
- **Tensión Crítica Disruptiva.** Tensión para la que el gradiente del campo eléctrico es igual a la rigidez dieléctrica del aire.

Para el cálculo del efecto corona, solo intervienen los valores de la tensión crítica disruptiva, que queda definida con la siguiente ecuación.

$$U_C = 84 \cdot m_C \cdot \delta \cdot m_t \cdot r_{eq} \cdot \log \frac{DMG}{r_{eq}} \quad (18)$$

Donde,

- U_C : Tensión crítica disruptiva [kV]
- m_C : coeficiente de rugosidad del conductor
 - $m_C = 1$ para hilos de superficie lisa
 - $m_C =$ de 0.93 a 0.98 para hilos oxidados y rugosos
 - $m_C =$ de 0.83 a 0.87 para cables
- m_t : coeficiente meteorológico
 - $m_t = 1$ para tiempo seco
 - $m_t = 0.8$ para tiempo húmedo
- DMG : Distancia Media Geométrica. Separación media geométrica entre ejes de fase [mm]
- r_{eq} : radio del conductor o radio equivalente en circuitos con más de un conductor por fase [cm]
- δ : factor de corrección de la densidad del aire, función de la altura sobre el nivel del mar

El factor de corrección de la densidad del aire depende de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentre la línea y se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{3,921 \cdot h}{273 + \vartheta} \quad (19)$$

Donde,

- δ : factor de corrección de la densidad del aire, función de la altura sobre el nivel del mar
- h : presión barométrica en centímetros de columna de mercurio
- ϑ : Temperatura correspondiente a la altitud del punto que se considere [°C]

La presión barométrica se obtiene conociendo la altura media de línea y aplicando la fórmula de Halley.

$$\log h = \log 76 - \frac{y}{18336} \quad (20)$$

Donde,

- h : Presión barométrica de la ubicación de la línea [c.c.Hg]
- y : Altura sobre el nivel del mar de la línea [m]

La temperatura se ha tomado la máxima y la mínima anual de la zona en la que se sitúa la línea, de valores 40°C y -10°C correspondientemente. Con todo esto, el factor de corrección queda.

$$\delta_{max} = 0.07913$$

$$\delta_{min} = 0.09417$$

Para calcular la tensión crítica disruptiva se han considerado los siguientes valores.

PARÁMETROS EFECTO CORONA					
m_c	m_t	δ_{MAX}	δ_{Min}	r_{eq}	DMG
0.83	0.8	0.07913	0.09417	74.43	9192.36

Tabla 23. Valores de cálculo de la tensión crítica disruptiva

Se han obtenido los valores de la tensión crítica disruptiva para las temperaturas extremas que se van a encontrar en el emplazamiento de la línea, quedando.

Tensión Crítica Disruptiva [kV]	
40°C	-10°C
1582.2382	1883.0439

Tabla 24. Tensión crítica disruptiva para las temperaturas extremas anuales

Las tensiones a las que va a trabajar la línea son menores que los valores de tensión disruptiva calculados, por lo que no se producirá efecto corona.

3.1.1.9. Pérdidas de Potencia

Para calcular las pérdidas de potencia, se deben de tener todas las pérdidas que aparezcan en la línea. Estas pérdidas consisten en las pérdidas por efecto Joule y las pérdidas por efecto corona.

- *Pérdidas Efecto Corona*

Si la tensión crítica disruptiva es menor que la tensión de servicio, aparecen una serie de pérdidas, como ya se ha explicado anteriormente. De ocurrir este fenómeno hay que cuantificar estas pérdidas.

$$p = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r_{eq}}{DMG}} \left[\frac{U_{max}}{\sqrt{3}} - \frac{U_c}{\sqrt{3}} \right]^2 10^{-5} \quad [kW/km] \quad (21)$$

Debido a que ya hemos demostrado que la tensión disruptiva no se supera, podemos considerar que no habrá efecto corona y por consiguiente podremos despreciar este factor a la hora del cálculo total de la línea

- *Pérdidas por efecto Joule*

Las pérdidas por efecto son las que se producen debido al paso de la corriente a través del un conductor, que al no ser ideal presenta una resistencia y de las corrientes de fuga que aparecen en los aisladores.

$$\Delta P = 3LR_k I^2 \quad (22)$$

Donde,

- ΔP : Potencia de pérdidas [W]
- L : Longitud de la línea [km]
- R_k : Resistencia del conductor [Ω /km]
- I : Intensidad que circula por el circuito [A]

La intensidad que circula por el circuito puede expresarse de la siguiente manera.

$$I = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (23)$$

Donde,

- P_{max} : Potencia máxima de transporte de la línea [kW]

- U : Tensión nominal de la línea [kV]
- φ : Ángulo de carga [°]

Si combinamos las dos ecuaciones anteriores podemos calcular la potencia de pérdidas máxima de la línea, de la siguiente manera.

$$\Delta P_{\%} = \frac{P_{max} \cdot L \cdot R_k}{10 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (24)$$

En la siguiente tabla se representan las pérdidas en % función de distintos $\cos\varphi$.

$\cos\varphi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	ΔU máxima [%]	Pérdidas de Potencia Máximas (%)
0.8	36.8699	491.808	5.5356	0.906
0.81	35.9041	497.956	5.4307	0.895
0.82	34.9152	504.103	5.3218	0.884
0.83	33.9013	510.251	5.2084	0.873
0.84	32.8599	516.399	5.0903	0.863
0.85	31.7883	522.546	4.9671	0.853
0.86	30.6834	528.694	4.8381	0.843
0.87	29.5414	534.841	4.7029	0.833
0.88	28.3576	540.989	4.5609	0.824
0.89	27.1268	547.137	4.4111	0.814
0.9	25.8419	553.284	4.2526	0.805
0.91	24.4946	559.432	4.0840	0.796
0.92	23.0739	565.579	3.9039	0.788
0.93	21.5652	571.727	3.7099	0.779
0.94	19.9484	577.875	3.4993	0.771
0.95	18.1949	584.022	3.2676	0.763
0.96	16.2602	590.170	3.0085	0.755
0.97	14.0699	596.317	2.7110	0.747
0.98	11.4783	602.465	2.3539	0.740
0.99	8.1096	608.613	1.8827	0.732
1	0	614.760	0.7248	0.725

Tabla 25. Potencia de pérdidas para distintos valores de factor de potencia

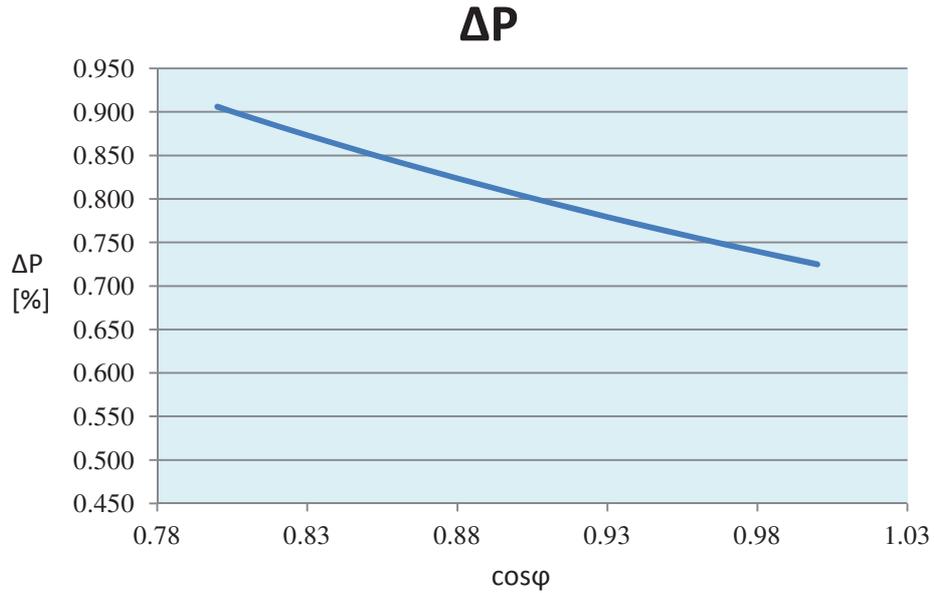


Figura 11. *Perdidas de potencia función del factor de carga*

3.1.2. Cálculos Eléctricos Tramo Subterráneo

El cálculo eléctrico se realizará a partir de las características del cable a instalar, del tipo de instalación a realizar y de las condiciones en las que se lleve a cabo dicha instalación, se obtendrán los parámetros eléctricos que definen la línea (intensidad máxima admisible, intensidad de cortocircuito, caída de tensión, etc.)

3.1.2.1. Características Generales de la Instalación

Tensión Nominal [kV]	220
Frecuencia [Hz]	50
Nº de Circuitos	1
Conductores por Fase	1 (simplex)
Configuración de las Fases	Tresbolillo
Conexión de las Pantallas	Cross-Bonded (con transposición)
Longitud Tramo Subterráneo [m]	990,17

Tabla 26. Características generales de la instalación subterránea

3.1.2.2. Características del conductor

El diseño aéreo de la línea es de un simple circuito dúplex, cuyo diseño se ha tomado para reducir las pérdidas de potencia en la evacuación de las cuatro plantas termosolares. Este circuito dúplex en el momento de soterrar el cable, pasa a ser un simple circuito pues económicamente es más viable, y es por ello que las prestaciones del cable han de ser capaces de transmitir toda la potencia de cada fase por un único conductor. El conductor elegido es el siguiente.

Designación	XLPE-Cu-2500/220
Sección del Conductor [mm ²]	2500
Diámetro del Conductor [mm]	62
Espesor del Aislamiento [mm]	23
Diámetro sobre el aislamiento [mm]	113
Sección de la Pantalla [mm ²]	185
Diámetro Exterior del Cable [mm]	132,4
Peso del Cable [kg/m]	33,1
Resistencia [Ω /km]	0,0072
Inductancia (en tresbolillo) [mH/km]	0,34
Capacidad [μ F/km]	0,27
Intensidad Máxima Admisible (cross-bonded) [A]	1755

Tabla 27. Características del conductor subterráneo.

3.1.2.3. Parámetros eléctricos

3.1.2.3.1 Resistencia

Las resistencias eléctricas que presentan los conductores, es la principal causa de pérdidas de potencia en el transporte eléctrico. La resistencia por kilómetro de los conductores a una temperatura ϑ vendrá dada por la siguiente expresión.

$$R_{\vartheta} = R'_{\vartheta} \cdot (1 + y_s) \quad (25)$$

Donde,

- R_{ϑ} : Resistencia del conductor en corriente alterna a $\vartheta^{\circ}\text{C}$ [Ω/km]
- R'_{ϑ} : Resistencia del conductor en corriente continua a $\vartheta^{\circ}\text{C}$ [Ω/km]
- y_s : Factor del efecto pelicular

Para obtener esta resistencia en corriente alterna (corriente a la que funciona el sistema) se ha de calcular la resistencia en corriente continua a la temperatura ϑ .

$$R'_{\vartheta} = R'_{20} \cdot (1 + \alpha_{20}(\vartheta - 20)) \quad (26)$$

Donde,

- R'_{ϑ} : Resistencia del conductor en corriente continua a $\vartheta^{\circ}\text{C}$ [Ω/km]
- R'_{20} : Resistencia del conductor en corriente continua a 20°C [Ω/km]
- α_{20} : Coeficiente de variación de la resistividad a 20°C [$1/\text{K}$]
- ϑ : Temperatura de servicio [$^{\circ}\text{C}$]

En el caso de la presente línea los valores del coeficiente de variación de la resistividad y de la resistencia en corriente continua a 20°C serán $\alpha_{20} = 0,00393$ y $R'_{20} = 0,0072$ respectivamente.

El factor del efecto pelicular y_s se calcula de la siguiente manera.

$$x_s^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-7}}{R'_{\vartheta}} \quad (27)$$

$$y_s = \frac{x_s^2}{192 + (0,8 \cdot x_s^4)} \quad (28)$$

Donde,

- R'_{ϑ} : Resistencia del conductor en corriente continua a $\vartheta^{\circ}\text{C}$ [Ω/km]

– f : Frecuencia del sistema [50Hz]

Con todo esto se han calculado los valores de la resistencia del conductor para diversas temperaturas y los resultados son los mostrados en la tabla a continuación.

Temperatura [°C]	R' [Ω/km]	x_s	y_s	R [Ω/km]
-15	0,0062	0,142256369	2,133E-06	0,006210
-5	0,0065	0,139121935	1,9511E-06	0,006493
0	0,0066	0,137630466	1,8688E-06	0,006634
10	0,0069	0,134786001	1,719E-06	0,006917
20	0,0072	0,13211091	1,5865E-06	0,007200
25	0,0073	0,130831741	1,526E-06	0,007341
50	0,0080	0,124950272	1,2695E-06	0,008049
55	0,0082	0,123866377	1,2261E-06	0,008190
65	0,0085	0,121780605	1,1455E-06	0,008473
80	0,0089	0,118840532	1,0389E-06	0,008898
85	0,0090	0,117906833	1,0066E-06	0,009039

Tabla 28. Resistencia AC, tramo subterráneo para diferentes temperaturas de trabajo

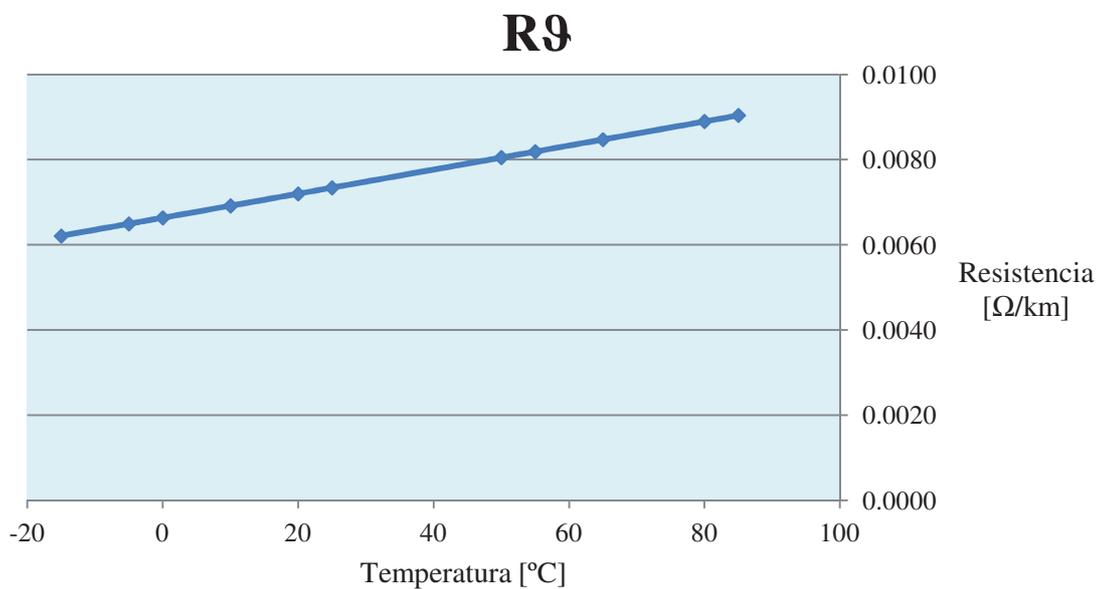


Figura 12. Resistencia del tramo subterráneo función de la temperatura de trabajo

3.1.2.3.2 Reactancia

En un conductor recorrido por una corriente alterna y senoidal, se crea una fuerza electromagnética proporcional a la velocidad de variación de la corriente, que impide el correcto paso de la corriente a través del mismo. Esto se denomina *reactancia* y viene dada por la siguiente expresión por unidad de longitud.

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (29)$$

Donde,

- X : Reactancia del conductor [Ω/km]
- f : Frecuencia del sistema [50Hz]
- L : Coeficiente de autoinducción [H/km]

El coeficiente de autoinducción es el efecto que produce la corriente que pasa por un conductor, en aquellos cercanos a él. El fabricante ha definido el cálculo de este valor de la siguiente manera.

$$L = 0,05 + 0,2 \cdot \ln\left(\frac{K \cdot S}{R_c}\right) \quad (30)$$

Donde,

- L : Coeficiente de autoinducción [H/km]
- K : Coeficiente de formación [1 para configuración tresbolillo]
- S : Distancia entre centros del conductor [mm]
- R_c : Radio del conductor [mm]

Para una distancia entre centros del conductor de 132,4mm y un radio del conductor de 31mm el coeficiente de inducción mutua queda:

$$L = 0,3403 \text{ mH/km}$$

Para una longitud total del tramo subterráneo de 990,17m la reactancia total del tramo soterrado es de:

$$X = 0.1058 \text{ } [\Omega]$$

3.1.2.3.3 Capacidad

La capacidad de una línea se produce debido a la diferencia de potencial entre el conductor (en tensión) y el exterior aislado (sin tensión). Es por ello que esta capacidad depende del aislante del conductor, y es por ello que la expresión que modela este parámetro eléctrico viene definida por el fabricante, y es la siguiente:

$$C = \frac{\epsilon_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{r_0}{r_l}\right)} \quad (31)$$

Donde,

- C : Capacidad de la línea [$\mu\text{F}/\text{km}$]
- ϵ_r : Permitividad magnética del medio [$\mu\text{F}/\text{km}$]
- r_0 : Radio externo del aislamiento [mm]
- r_l : Radio del conductor incluyendo pantalla [mm]

El conductor que se ha empleado dispone de un aislamiento formado por XLPE por lo que la permitividad magnética del medio (XLPE) toma el valor de 2,5. Con esto el valor de la capacidad de la línea es de:

$$C = 0,27 \mu\text{F}/\text{km}$$

Para una longitud total del tramo subterráneo de 990,17 m la capacidad total del tramo soterrado es de:

$$C = 267,34 \quad [\mu\text{F}]$$

3.1.2.4. Potencia Máxima de Transporte

Partiendo de la máxima corriente admisible por el conductor, se determina la potencia máxima que es capaz de transportar dicho conductor. Es importante que a la hora de dimensionar el tramo subterráneo, este no limite la capacidad de transporte que ya se ha diseñado en el tramo aéreo, con el objetivo de ser capaces de evacuar toda la potencia que se va a generar en las cuatro centrales termosolares, sumando el total de 200MW.

Para calcular dicha potencia, se empleará el mismo procedimiento que se realizó en el tramo aéreo pues ambos conductores se simulan de la misma manera. La expresión que modela dicha potencia máxima de transporte es la siguiente.

$$P_{max} = n \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{max} \cdot \cos\varphi \quad (32)$$

Donde,

- P_{max} : Potencia máxima de transporte de la línea [W]
- U : Tensión de servicio de la línea [V]
- I_{max} : Corriente máxima que puede circular por los conductores [A]
- $\cos\varphi$: Factor de potencia, donde φ es el ángulo entre la tensión y la corriente [°]
- n : Número de conductores por fase

Como se puede comprobar en la ecuación, esta potencia máxima de transporte depende del factor de carga de la línea, es por ello que se ha calculado dicha potencia para diversos factores de potencia para conocer todas las posibles situaciones. Como corriente máxima, se empleará la calculada para el tramo aéreo y el valor de n será igual a 1 debido a que el tramo subterráneo se realizará en simplex.

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]
0,8	36,86	245,904
0,81	35,90	248,978
0,82	34,91	252,052
0,83	33,90	255,126
0,84	32,85	258,199
0,85	31,78	261,273
0,86	30,68	264,347
0,87	29,54	267,421
0,88	28,35	270,495
0,89	27,12	273,568
0,9	25,84	276,642
0,91	24,49	279,716
0,92	23,07	282,790
0,93	21,56	285,864
0,94	19,94	288,937
0,95	18,19	292,011

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]
0,96	16,26	295,085
0,97	14,06	298,159
0,98	11,47	301,233
0,99	8,10	304,306
1	0	307,380

Tabla 29. *Máxima potencia de transporte del tramo subterráneo función del factor de carga*

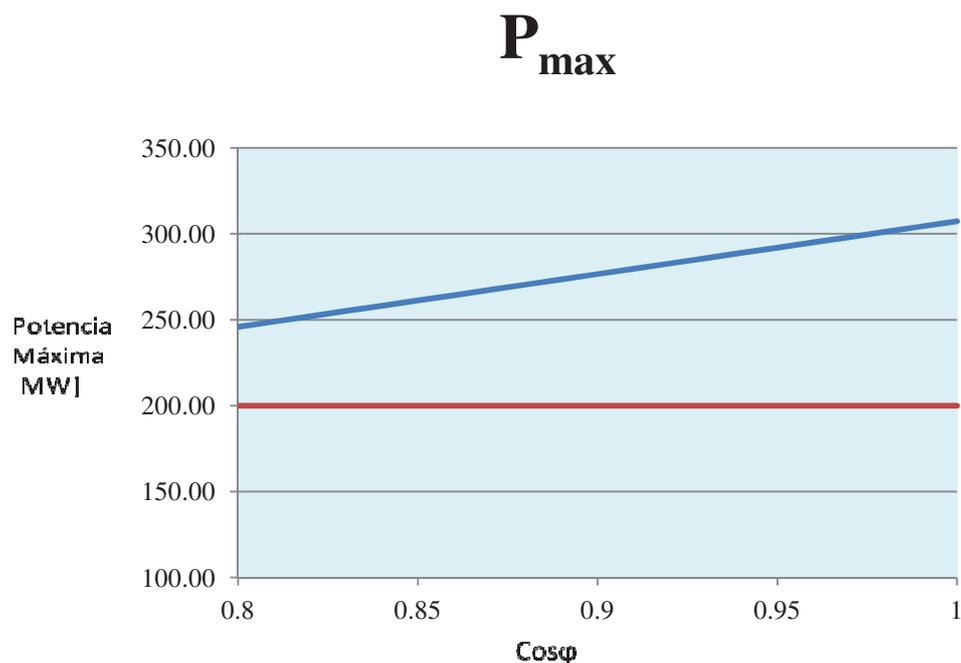


Figura 13. *Máxima potencia de transporte tramo subterráneo función del ángulo de carga y máxima potencia a evacuar*

Se puede comprobar en la figura anterior, que para todos los factores de potencia tomados, la máxima potencia de transporte siempre es superior a la potencia objetivo a evacuar de 200MW, por lo que se puede considerar correcto el dimensionado del conductor y del sistema.

3.1.2.5. Caída Máxima de Tensión

Si tomamos como referencia el esquema en π como modelo equivalente de la línea, la caída de tensión entre un extremo y otro de la misma se puede definir como

$$\Delta U_{\%} = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} 100 \quad (33)$$

Donde,

- $\Delta U_{\%}$: Caída de tensión de un extremo a otro de la línea [%]
- U_2 : Tensión nominal de la línea [kV]
- U_1 : Tensión en [kV] que viene dada por la siguiente expresión

$$\frac{U_1}{\sqrt{3}} = ch(\gamma l) \frac{U_2}{\sqrt{3}} + (Z_c \cdot sh(\gamma l)) \cdot I_2 \quad (34)$$

Donde I_2 a su vez se define:

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot |U_2| \cdot \cos(\varphi)} \quad (35)$$

Donde,

- P : Potencia máxima que transporta la línea [MW]
- $\cos(\varphi)$: Factor de potencia de la carga receptora

Estas es una de las formas de realizar el cálculo de la caída de tensión, pero al igual que en el caso del tramo aéreo, se ha decidido finalmente realizar este cálculo a partir de la potencia máxima de transporte que se ha calculado previamente.

$$\Delta U_{\%} = \frac{PL}{10U^2} (R_k + X_k \cdot \tan(\varphi)) \quad (36)$$

Donde,

- P : Potencia a transportar [kW]
- L : Longitud de la línea [km]
- U : Tensión nominal de la línea [kV]
- R_k : Resistencia por unidad de longitud de la línea [Ω /km]
- X_k : Reactancia por unidad de longitud de la línea [Ω /km]
- φ : Ángulo de fase [°]

Con todo esto los valores de la caída de tensión, se han obtenido para distintos valores de factores de carga, y son los que se muestran a continuación:

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	Caida de Tensión Máxima [%]
0,8	36,86	245,9041	4,43
0,81	35,90	248,9779	4,35
0,82	34,91	252,0517	4,26
0,83	33,90	255,1255	4,17
0,84	32,85	258,1993	4,07
0,85	31,78	261,2731	3,97
0,86	30,68	264,3469	3,86
0,87	29,54	267,4207	3,75
0,88	28,35	270,4945	3,63
0,89	27,12	273,5683	3,51
0,9	25,84	276,6421	3,38
0,91	24,49	279,7159	3,24
0,92	23,07	282,7897	3,10
0,93	21,56	285,8635	2,94
0,94	19,94	288,9373	2,76
0,95	18,19	292,0111	2,58
0,96	16,26	295,0849	2,36
0,97	14,06	298,1587	2,12
0,98	11,47	301,2325	1,83
0,99	8,10	304,3063	1,44
1	0	307,3801	0,50

Tabla 30. Caída de tensión del tramo subterráneo función del factor de potencia

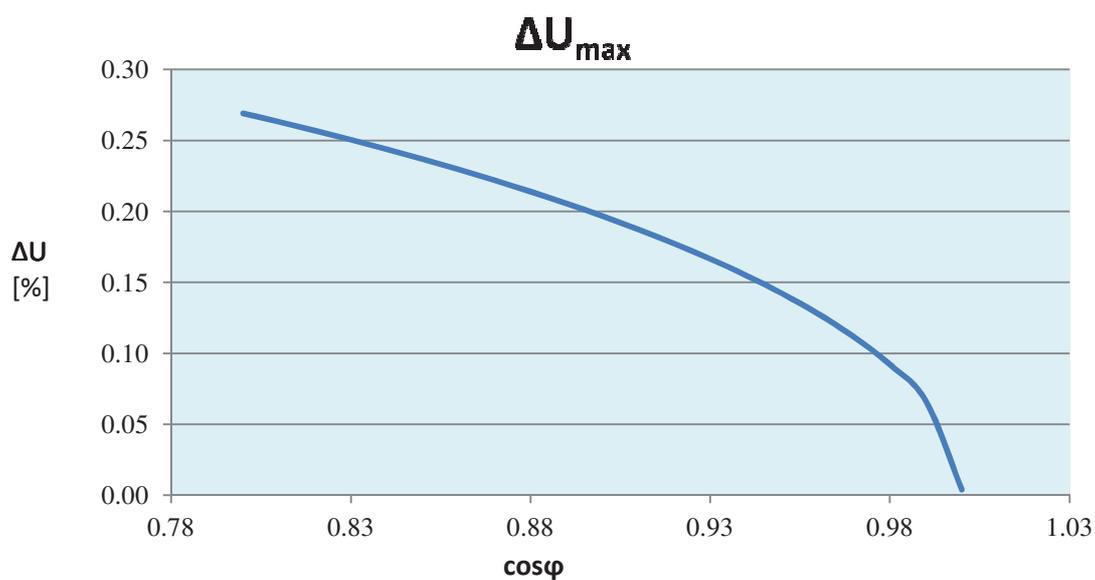


Figura 14. Caída de tensión del tramo subterráneo función del factor de potencia

3.1.2.6. Pérdidas de Potencia

En el caso de conductores subterráneos, las pérdidas de potencia vienen definidas por el efecto Joule. En este caso el efecto corona no tiene impacto sobre el conductor debido a que estos cuentan con un aislamiento exterior. Es por ello que las pérdidas de potencia vienen dadas por la siguiente expresión.

$$\Delta P = 3LR_k I^2 \quad (37)$$

Donde,

- ΔP : Pérdidas de potencia en [W]
- L : Longitud de la línea [km]
- R_k : Resistencia del conductor [Ω /km]
- I : Intensidad que circula por el conductor [A]

La corriente que circula por un conductor se puede obtener de lo siguiente:

$$I = \frac{P_{max}}{\sqrt{3}U \cos\varphi} \quad (38)$$

De la combinación de estas dos expresiones anteriores se pueden obtener la pérdidas de potencia en función de la potencia de transporte, que a su vez depende del ángulo de carga, quedando la siguiente ecuación.

$$\Delta P_{\%} = \frac{P_{max}LR_k}{10U^2 \cos\varphi} \quad (39)$$

Se han calculado dichas pérdidas para distintos valores de factor de potencia y se han obtenido las siguientes pérdidas.

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	Caida de Tensión Máxima [%]	Pérdidas de Potencia Máximas (%)
0,8	36,86	245,904	4,4391	0,063
0,81	35,90	248,978	4,3529	0,062
0,82	34,91	252,052	4,2634	0,062
0,83	33,90	255,126	4,1703	0,061

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia máxima [MW]	Caida de Tensión Máxima [%]	Pérdidas de Potencia Máximas (%)
0,84	32,85	258,199	4,07	0,060
0,85	31,78	261,273	3,97	0,060
0,86	30,68	264,347	3,86	0,059
0,87	29,54	267,421	3,75	0,058
0,88	28,35	270,495	3,63	0,058
0,89	27,12	273,568	3,51	0,057
0,9	25,84	276,642	3,38	0,056
0,91	24,49	279,716	3,24	0,056
0,92	23,07	282,790	3,10	0,055
0,93	21,56	285,864	2,94	0,054
0,94	19,94	288,937	2,76	0,054
0,95	18,19	292,011	2,58	0,053
0,96	16,26	295,085	2,36	0,053
0,97	14,06	298,159	2,12	0,052
0,98	11,47	301,233	1,83	0,052
0,99	8,10	304,306	1,44	0,051
1	0	307,380	0,50	0,051

Tabla 31. Pérdidas de potencia en el conductor subterráneo función del ángulo de carga

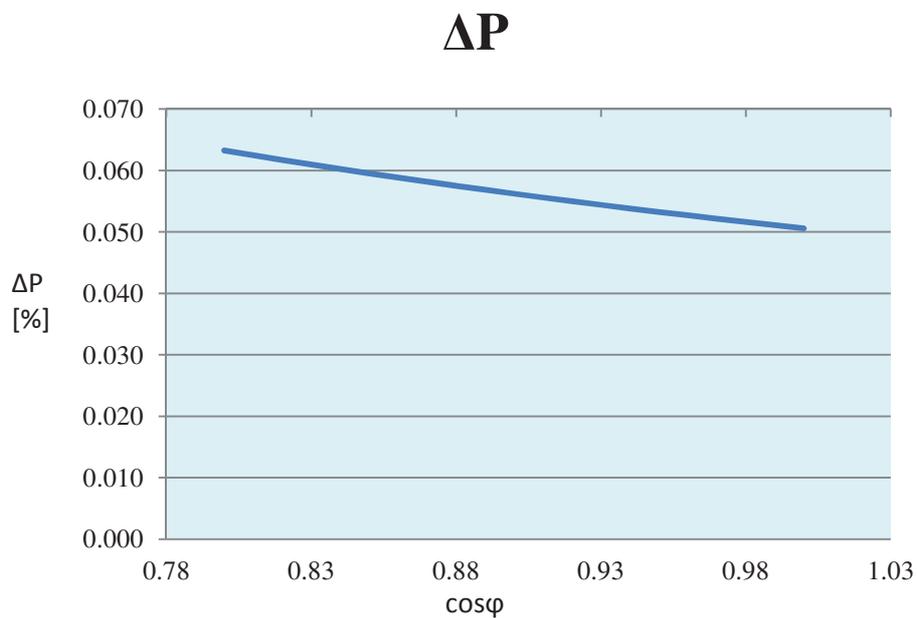


Figura 15. Pérdidas de potencia en el conductor subterráneo función del ángulo de carga

3.1.3. Resumen Cálculos Eléctricos

3.1.3.1. Parámetros Eléctricos Totales

Para el esquema de línea que se ha supuesto, los parámetros totales de la línea se obtienen como la suma individual de cada uno de las partes. Los resultados totales obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

	Tramo Aéreo	Tramo Subterráneo	Total de la Línea
Resistencia [Ω]	0.5706	0.0061	0.5768
Reactancia [Ω]	6.5027	0.1058	6.6085
Susceptancia [Ω]	1.457E-05	1.191E-05	2.65E-05

Tabla 32. Parámetros eléctricos totales de la línea

3.1.3.2. Potencia Máxima de Transporte

Una vez se han calculado las potencias máximas de transporte para los dos conductores tanto el aéreo como el subterráneo, la potencia total de transporte de la línea será la menor de las dos debido a que será ese conductor el que limite el sistema, en el caso de la presente línea, se trata del conductor subterráneo.

$\cos\phi$	Ángulo [$^{\circ}$]	Potencia Máxima Aéreo	Potencia Máxima Subterráneo	Potencia Máxima Total [MW]
0.8	36.87	491.81	245.90	245.90
0.81	35.90	497.96	248.98	248.98
0.82	34.92	504.10	252.05	252.05
0.83	33.90	510.25	255.13	255.13
0.84	32.86	516.40	258.20	258.20
0.85	31.79	522.55	261.27	261.27
0.86	30.68	528.69	264.35	264.35
0.87	29.54	534.84	267.42	267.42
0.88	28.36	540.99	270.49	270.49
0.89	27.13	547.14	273.57	273.57
0.9	25.84	553.28	276.64	276.64

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Potencia Máxima Aéreo	Potencia Máxima Subterráneo	Potencia Máxima Total [MW]
0.91	24.49	559.43	279.72	279.72
0.92	23.07	565.58	282.79	282.79
0.93	21.57	571.73	285.86	285.86
0.94	19.95	577.87	288.94	288.94
0.95	18.19	584.02	292.01	292.01
0.96	16.26	590.17	295.08	295.08
0.97	14.07	596.32	298.16	298.16
0.98	11.48	602.47	301.23	301.23
0.99	8.11	608.61	304.31	304.31
1	0.00	614.76	307.38	307.38

Tabla 33. Potencia máxima de transporte de la línea

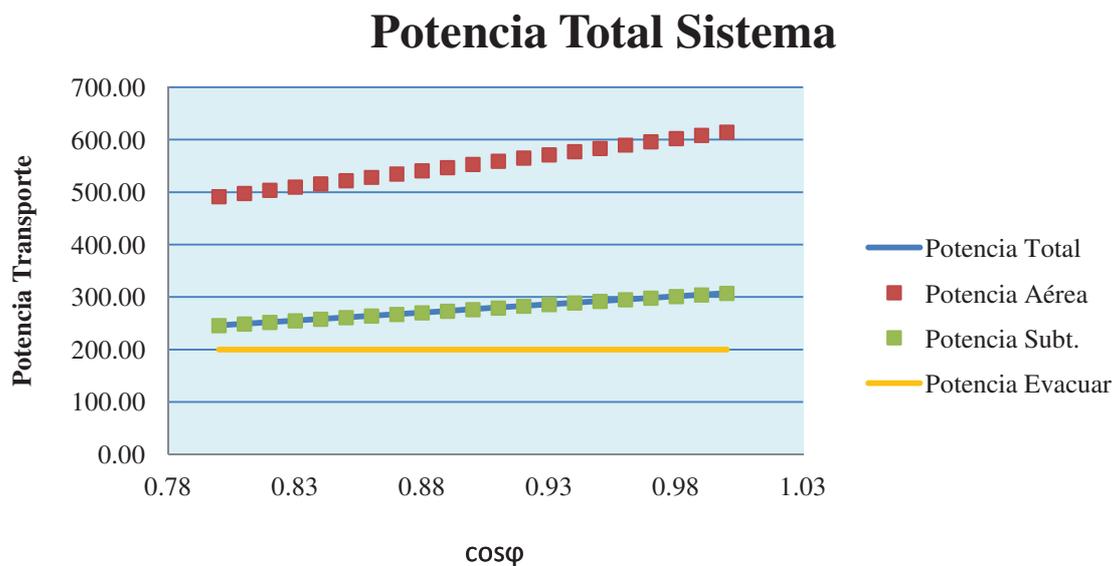


Figura 16. Potencia máxima de transporte de la línea

3.1.3.3. Caída de Tensión Total

En el caso de la caída de tensión total, se obtendrá como la suma de las caídas de tensión individuales de cada uno de los tramos.

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Caída de Tensión Aéreo	Caída de Tensión Subterráneo	Caída de Tensión Total [%]
0.8	36.87	5.536	0.0444	5.5799
0.81	35.90	5.431	0.0435	5.4742
0.82	34.92	5.322	0.0426	5.3644
0.83	33.90	5.208	0.0417	5.2501
0.84	32.86	5.090	0.0407	5.1311
0.85	31.79	4.967	0.0397	5.0068
0.86	30.68	4.838	0.0387	4.8768
0.87	29.54	4.703	0.0376	4.7405
0.88	28.36	4.561	0.0364	4.5973
0.89	27.13	4.411	0.0352	4.4463
0.9	25.84	4.253	0.0339	4.2864
0.91	24.49	4.084	0.0325	4.1165
0.92	23.07	3.904	0.0310	3.9349
0.93	21.57	3.710	0.0294	3.7394
0.94	19.95	3.499	0.0277	3.5270
0.95	18.19	3.268	0.0258	3.2934
0.96	16.26	3.008	0.0237	3.0322
0.97	14.07	2.711	0.0213	2.7322
0.98	11.48	2.354	0.0183	2.3723
0.99	8.11	1.883	0.0145	1.8972
1	0.00	0.725	0.0051	0.7299

Tabla 34. Caída de tensión total de la línea

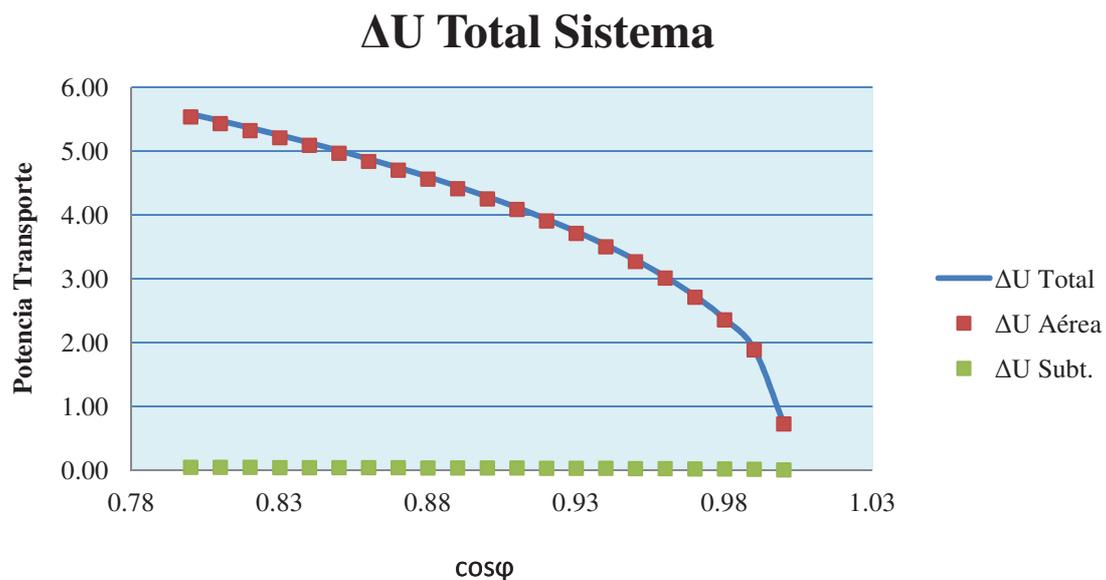


Figura 17. Caída de tensión total de la línea

3.1.3.4. Pérdidas de Potencia Totales

En el caso de las pérdidas de potencia totales de la línea, se obtendrá como la suma de las caídas de tensión individuales de cada uno de los tramos.

$\cos\phi$	Ángulo [°]	Pérdidas de Potencia Aéreo	Pérdidas de Potencia Subterráneo	Pérdidas de Potencia Total [%]
0.8	36.87	0.9060	0.0633	0.9693
0.81	35.90	0.8948	0.0625	0.9573
0.82	34.92	0.8839	0.0617	0.9456
0.83	33.90	0.8733	0.0610	0.9342
0.84	32.86	0.8629	0.0603	0.9231
0.85	31.79	0.8527	0.0595	0.9123
0.86	30.68	0.8428	0.0589	0.9017
0.87	29.54	0.8331	0.0582	0.8913
0.88	28.36	0.8236	0.0575	0.8812
0.89	27.13	0.8144	0.0569	0.8713
0.9	25.84	0.8053	0.0562	0.8616
0.91	24.49	0.7965	0.0556	0.8521
0.92	23.07	0.7878	0.0550	0.8429
0.93	21.57	0.7794	0.0544	0.8338
0.94	19.95	0.7711	0.0538	0.8249
0.95	18.19	0.7630	0.0533	0.8162
0.96	16.26	0.7550	0.0527	0.8077
0.97	14.07	0.7472	0.0522	0.7994
0.98	11.48	0.7396	0.0516	0.7913
0.99	8.11	0.7321	0.0511	0.7833
1	0.00	0.7248	0.0506	0.7754

Tabla 35. Pérdidas totales de potencia de la línea

Pérdidas de Potencia Totales del Sistema

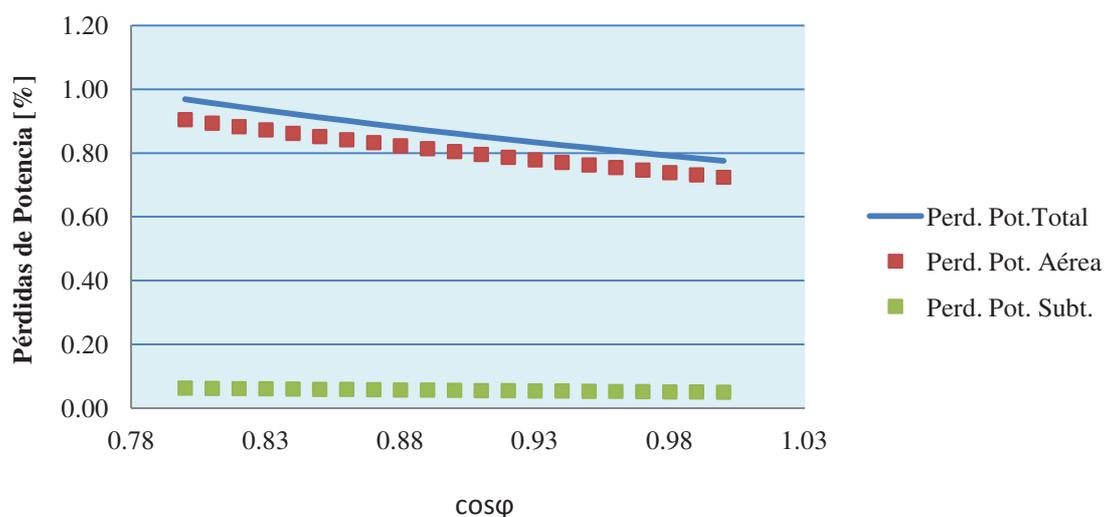


Figura 18. Pérdidas totales de potencia de la línea

3.2. Cálculos Mecánicos del Conductor

En este apartado, Cálculos Mecánicos, se van a calcular las tracciones a las que se ven sometidos los conductores, los cables de guarda, las cimentaciones o los propios apoyos, debido a las condiciones ambientales así como a las cargas permanentes a las que se va a encontrar el tendido eléctrico. Todos estos cálculos se van a realizar teniendo en cuenta una serie de hipótesis definidas por el RLAT, en función del tipo de circuito que se realiza y la ubicación del mismo.

3.2.1. Cálculo del Conductor y del Cable de Guarda

A continuación se mostrarán los cálculos mecánicos a los que se verá sometido tanto el conductor como el cable de guarda. Los cálculos se mostrarán de manera simultánea, pues ambos están íntimamente relacionados, pues dependen de las mismas distancias entre apoyos.

3.2.1.1. Características Generales de la Línea

Para el cálculo mecánico de la línea, como ya se ha comentado es importante conocer las características de la línea pues el RLAT emplea unos u otros criterios en función de esta. Estas características se indican a continuación.

Tensión Nominal [kV]	220
Frecuencia [Hz]	50
Nº de Circuitos	1
Conductores por Fase	2 (dúplex)
Longitud Tramo Aéreo [m]	9228
Conductor	LA445 Condor
Cable de Guarda	OPGW 92-AL3
Zona	B
Nivel de Contaminación	II (medio)
Categoría	Especial

Tabla 36. Características generales de la Línea

3.2.1.2. Características del Conductor y del Cable de Guarda

Nombre		Condor	
Código		LA 445	
Sección	Aluminio[mm ²]	402.3	
	Acero [mm ²]	52.2	
	Total [mm ²]	454.5	
Estructura	Aluminio	Número de Alambres	54
		Diámetro [mm]	3.08
	Acero	Número de Alambres	7

		Diámetro [mm]	3.08
Diámetros	Alma [mm]		9.24
	Conductor [mm]		27.72
Resistencia eléctrica en DC a 20°C [Ω/km]			0.07191
Peso del Conductor [kg/km]			1520.5
Carga de Rotura [daN]			12940
Módulo de Elasticidad [kg/mm^2]			7000
Coeficiente de Dilatación Linear [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]			$1.95 \cdot 10^{-5}$

Tabla 37. Características del conductor aéreo

Nombre	OPWG 92-AL3
Composición	13/5/1
Radio [mm]	7.5
Diámetro [mm]	15
Peso del Conductor [kg/m]	0.476
Carga de Rotura [daN]	6100
Módulo de Elasticidad [kg/mm^2]	8010
Coeficiente de Dilatación Linear [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]	$1.82 \cdot 10^{-5}$

Tabla 38. Características del cable de guarda

3.2.1.3. Cargas y sobrecargas a tener en cuenta

En este apartado se indicarán las cargas tanto permanentes como temporales, a las que los conductores se van a enfrentar así como las hipótesis que se deberán tener en cuenta en el diseño. Es importante conocer dichas cargas y sobrecargas pues a la hora de realizar el diseño, se deberá cumplir que los conductores empleados puedan trabajar bajo estas condiciones sin que vean su integridad comprometida. Se distinguen los siguientes tipos de cargas.

- **Cargas permanentes.** Cargas verticales debidas al peso de los elementos que soportan conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra, apoyos y cimentaciones.
- **Sobrecargas.** Las sobrecargas son las que aparecen sobre los conductores debido a circunstancias externas a la propia instalación como puede ser el efecto del viento soplando transversalmente sobre el conductor, o el peso del maguito de hielo que se puede llegar a formar sobre el conductor. También entran en este apartado, las posibles sobrecargas producidas por la dilatación y contracción de los materiales con las temperaturas.

3.2.1.3.1 Tracción máxima por sobrecarga tipo viento

Esta hipótesis de trabajo, supone una temperatura ambiente de -10°C y una velocidad de viento de 140 km/h. El reglamento establece esta velocidad de viento para las líneas de categoría especial y 120km/h para el resto de categorías.

Bajo estas condiciones se establece según el RLAT, que la presión que el viento ejerce de manera horizontal sobre el conductor se obtiene de la siguiente manera.

$$F_c = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (40)$$

Donde,

- F_c : Fuerza del viento sobre los conductores [daN]
- d : Diámetro del conductor [m]
- a_1, a_2 : Longitudes de los vanos adyacentes [m]
- q : Presión del viento [daN/m²]

La presión del viento está determinada en función del diámetro del conductor, quedando de la siguiente manera.

$$q = 60 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \left[\frac{\text{daN}}{\text{m}^2}\right] \quad d \leq 16\text{mm} \quad (41)$$

$$q = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \left[\frac{\text{daN}}{\text{m}^2}\right] \quad d > 16\text{mm} \quad (42)$$

Donde,

- V_v : Velocidad del viento [km/h]

3.2.1.3.2 Tracción máxima por sobrecarga tipo hielo

Esta hipótesis se basa en la sobrecarga vertical que se produce en las líneas ubicadas en zonas B y C, por la cual se crea un manguito de hielo alrededor del conductor, aumentando la el peso del mismo. La condición bajo la que se considera esta hipótesis de trabajo es de una temperatura de -15°C . La siguiente figura muestra como varía esta sobrecarga con la altitud.

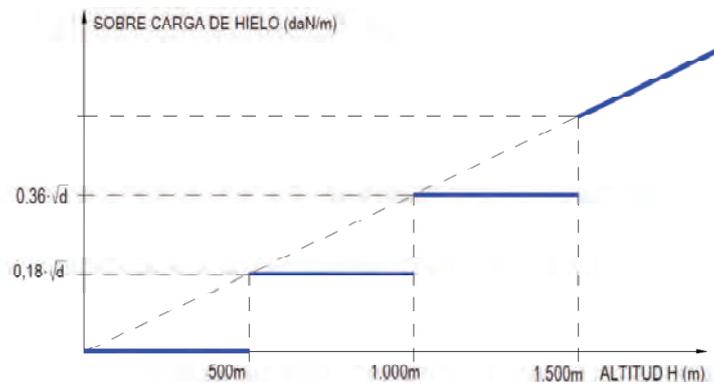


Figura 19. Variación de la presión por manguito de hielo en función de la altura sobre el nivel del mar

La presente línea está situada en zona B, que comprende el terreno ubicado entre los 500 y los 1000 metros sobre el nivel del mar. El valor de la sobrecarga debida al peso del manguito de hielo sobre los conductores y sobre el cable de tierra, viene definida por la siguiente ecuación.

$$P_h = 0.18 \cdot \sqrt{d} \quad (43)$$

Donde,

- P_h : Presión del manguito de hielo [daN/m]
- d : Diámetro del conductor o cable de tierra [mm]

Por otro lado el espesor del manguito de hielo que se produce en los conductores viene definido por la siguiente ecuación.

$$esp_{mh} = -r_c + \sqrt{r_c^2 + \frac{240\sqrt{2r_c}}{\pi}} \quad (44)$$

Donde,

- esp_{mh} : Espesor del manguito de hielo [mm]
- r_c : Radio del conductor [mm]

3.2.1.3.3 *Tracción máxima por sobrecarga tipo hielo más viento*

Las condiciones bajo las que se trabaja en esta hipótesis, son una temperatura de -15°C y una velocidad de viento de 60 km/h. Esta hipótesis se basa en la sobrecarga producida por el efecto conjunto del peso del manguito de hielo más la acción del viento.

En este caso, como fuerza vertical se ha de sumar el peso propio del conductor más el peso del manguito de hielo. Como fuerza vertical, se considera la fuerza del viento sobre la sección transversal del conductor más dos veces el espesor del manguito de hielo. Estos espesores y sobrecargas se obtienen de la misma forma que lo ya indicado en los dos apartados anteriores.

3.2.1.3.4 *Tracción máxima debida al EDS*

Esta hipótesis toma su nombre del inglés “*Every Day Stress*” (EDS), y supone la tracción media a la que se ve afectada la línea, a una temperatura media anual, que en el caso de España es de 15°C. El valor que se obtiene bajo esta condición debe estar comprendido entre el 16 y el 24 por ciento de la tensión de rotura del conductor empleado en el diseño.

3.2.1.3.5 *Flecha máxima bajo hipótesis de temperatura*

Se determina la flecha máxima de los conductores sometidos a la acción de su peso propio, a la temperatura máxima previsible, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Para las líneas de categoría especial como es la presente línea, esta

temperatura no será en ningún caso inferior a 85°C para los conductores de fase, ni inferior a 50°C para los cables de tierra.

3.2.1.3.6 Flecha máxima bajo hipótesis de viento

Se determina la flecha máxima de los conductores y del cable de guarda, sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento, para una velocidad de viento de 120km/h a la temperatura de 15°C.

3.2.1.3.7 Flecha máxima bajo hipótesis de hielo

Se determina la flecha máxima de los conductores y del cable de guarda, sometidos a la acción de su peso propio y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona (en este caso B) según indica el apartado 3.1.3 de la ITC-07 del Reglamento, a una temperatura de 0°C.

3.2.1.3.8 Hipótesis de flecha mínima

La hipótesis de flecha mínima se emplea para comprobar si algún apoyo se encuentra ahorcado debido a la colocación de los apoyos adyacentes. Si resulta que el apoyo queda por debajo de la flecha mínima, se ha de subir el apoyo o bien realizar un apoyo en amarre para reducir este ahorcamiento. Esta hipótesis se realiza bajo una temperatura de -15°C.

3.2.1.3.9 Control de fenómenos vibratorios

En el apartado 3.2.2 del la ITC-07 del Reglamento se define la necesidad de determinar las tracciones mecánicas de los conductores y cables de tierra debidas a fenómenos vibratorios, que pueden, no solo acortar la vida útil de los mismos, sino también da lugar a desgastes y fallos en herrajes, aisladores y accesorios, o las mismas torres. Estas vibraciones se producen por la vibración eólica y en el caso de conductores en haz, además, la vibración del subvano (entre separadores)

3.2.1.4. Tablas de resultantes según las hipótesis

Según las hipótesis descritas en el apartado 3.2.1.3 de los cálculos mecánicos de los conductores y del cable de guarda, las resultantes obtenidas para cada una de las hipótesis se muestran en las siguientes tablas.

Conductor: 445-LA Condor

Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Hielo		Sobrecarga Viento				Peso conductor (N/m)	Resultante (N/m)
		Espesor manguito (mm)	Peso hielo (N/m)	Velocidad viento (km/h)	Presión viento (N/m ²)	Diámetro incluido manguito (mm)	Sobrecarga viento (N/m)		
Viento	-10	0.00	0.00	140	680.56	27.72	18.87	15.21	24.23
Hielo	-15	10.52	9.48	0	0.00	48.76	0.00	15.21	24.682
Hielo + Viento	-15	10.52	9.48	60	125.00	48.76	6.09	15.21	25.42
EDS	15	0.00	0.00	0	0.00	27.72	0.00	15.21	15.21
Flecha máx. Temp.	85	0.00	0.00	0	0.00	27.72	0.00	15.21	15.21
Flecha máx. Viento	15	0.00	0.00	120	500.00	27.72	13.86	15.21	20.57
Flecha máx. Hielo	0	10.52	9.48	0	0.00	48.76	0.00	15.21	24.68
Flecha mínima	-15	0.00	0.00	0	0.00	27.72	0.00	15.21	15.21

Tabla 39. Resultantes del conductor Condor para las distintas hipótesis

Cable de Guarda:

OPGW 92-AL3

Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Hielo		Sobrecarga Viento				Peso conductor (N/m)	Resultante (N/m)
		Espesor manguito (mm)	Peso hielo (N/m)	Velocidad viento (km/h)	Presión viento (N/m ²)	Diámetro incluido manguito (mm)	Sobrecarga viento (N/m)		
Viento	-10	0.00	0.00	140	816.67	15.00	12.25	4.76	13.1423
Hielo	-15	11.26	6.97	0	0.00	37.53	0.00	4.76	11.7314
Hielo + Viento	-15	11.26	6.97	60	150.00	37.53	5.63	4.76	13.0122
EDS	15	0.00	0.00	0	0.00	15.00	0.00	4.76	4.7600
Flecha máx. Temp.	50	0.00	0.00	0	0.00	15.00	0.00	4.76	4.7600
Flecha máx. Viento	15	0.00	0.00	120	600.00	15.00	9.00	4.76	10.1812
Flecha máx. Hielo	0	11.26	6.97	0	0.00	37.53	0.00	4.76	11.7314
Flecha mínima	-15	0.00	0.00	0	0.00	15.00	0.00	4.76	4.7600

Tabla 40. Resultantes del cable de tierra OPGW, para las distintas hipótesis

3.2.1.5. Tracciones

En este apartado de los cálculos mecánicos del conductor y del cable de guarda, se describe el proceso que se ha seguido para calcular la tracción a la que se ve sometido el cable en función de las hipótesis anteriormente descritas, así como de la tensión que se ha tomado como tensión de diseño de la línea.

Para comenzar con estos cálculos es importante conocer de las partes que forman una línea. Los apoyos en una línea pueden ser principalmente, de suspensión o de amarre. Los apoyos en suspensión son aquellos que se emplean en las alineaciones rectas del trazado, debido a que se trata de una cadena de aisladores que sujeta el peso vertical del conductor y no le afectan las tracciones horizontales, pues se debe diseñar de tal manera que haya equilibrio de fuerzas en dicho eje. Los apoyos en amarre son los encargados de recibir esa tracción horizontal. Estos apoyos en amarre se emplean para realizar ángulos en la traza o para hacer de “topes” en la línea para no tener tramos muy largos de apoyos en suspensión pues las tracciones aumentan con la longitud de estos tramos de suspensión.

A cada uno de los tramos de línea comprendidos entre dos apoyos de amarre, se le denomina *Cantón*, y es con estos cantones con los que se dimensionan los conductores. Un cantón por tanto está formado por una serie de vanos, entendiéndose por vanos, la distancia entre apoyos consecutivos.

Un tramo de línea está constituido por una serie de apoyos en alineación, limitado por dos apoyos de amarre. Las cadenas de suspensión no pueden absorber las diferencias de tensado, debidas a las distintas longitudes de los vanos, a los desniveles, a las variaciones de temperatura y a las condiciones meteorológicas en general, por lo que se admite que los tensados de los cables iguales en todos los vanos de un cantón, varían como lo haría un vano imaginario, denominado *vano regulador*, que se obtiene de la siguiente manera.

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n a_n^3}{\sum_1^n a_n}} \quad (45)$$

Donde,

- a_r : Vano regulador [m]
- n : Número de vanos que forman un cantón
- a : Longitud de los vanos [m]

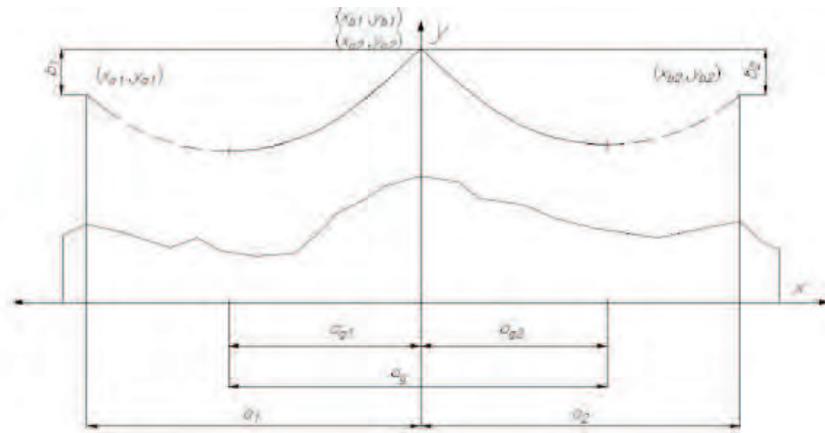
Con esto se obtiene la distancia media de cada cantón y con esto se calculan las tensiones de cada vano de manera simplificada. Para conocer cuál será la tensión inicial de cada vano regulador, se ha de calcular la tensión en cada vano individual que dependerá de la geometría de la instalación. Esta tensión se obtiene de la siguiente manera.

$$T_m = \frac{1}{4} \left[(2T_A - p \cdot d) + \sqrt{(p \cdot d - 2T_A)^2 - (2p^2b^2)} \right] \quad (46)$$

Donde,

- T_m : Tensión en el punto medio del vano [daN]
- T_A : Tensión máxima del conductor aplicando el C.S. correspondiente
- p : Peso aparente del conductor
- d : Desnivel entre puntos de amarre del conductor
- b : Distancia entre puntos de amarre del conductor

El criterio de signos para el cálculo de los desniveles entre torres se establece de la siguiente manera.



$b_1 > 0$	$d_1 > 0$	si $y_{b1} - y_{a1} > 0$
$b_1 < 0$	$d_1 < 0$	si $y_{b1} - y_{a1} < 0$
$b_2 > 0$	$d_2 > 0$	si $y_{b2} - y_{a2} > 0$
$b_2 < 0$	$d_2 < 0$	si $y_{b2} - y_{a2} < 0$

Figura 20. Criterio de signos para desniveles entre apoyos

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la aplicación de la ecuación anterior y del punto de aplicación de la tracción calculada.

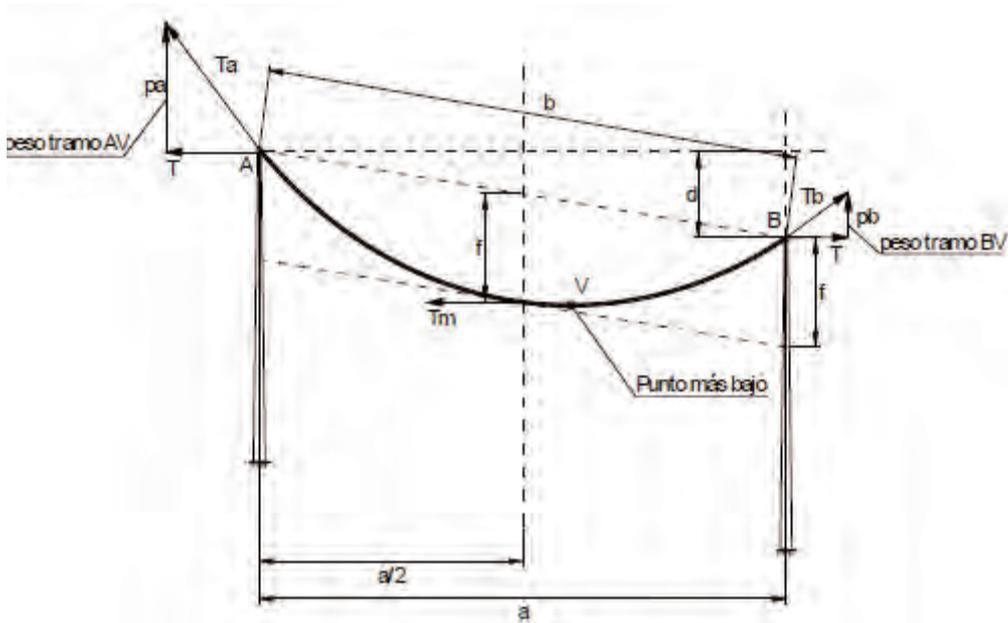


Figura 21. Ejemplo de la aplicación de la tensión en el punto medio de un vano

Esta tensión deberá ser proyectada para obtener la tracción horizontal total del cantón de la siguiente manera.

$$T_{mH} = \frac{a}{b} T_m \quad (47)$$

Donde,

- T_{mH} : Proyección horizontal de la tensión en el punto medio de un vano [daN]
- a : Longitud del vano [m]
- b : Distancia entre los puntos de sujeción en un vano [m]

Una vez calculado todas las proyecciones horizontales de las tensiones en cada uno de los vanos dentro de un mismo cantón, tomamos la mínima de ellas como tensión media del vano, pues es la más restrictiva, y es la que se empleará como condición inicial para el empleo de la ecuación del cambio de condiciones dividida entre el coeficiente de seguridad correspondiente, que en el caso de la categoría especial, será de 3.5.

Este proceso se realizará en aquellas situaciones en las que se disponga de desniveles muy pronunciados, pues es la forma más precisa de tomar un valor inicial para la ecuación de cambio de condiciones. En el caso de nuestra línea, al no tener esos desniveles tan pronunciados, se ha empleado como tensión inicial, la tensión de rotura del conductor para la hipótesis más desfavorable de las indicadas en el apartado anterior, que se trata de la hipótesis

de hielo más viento para el caso del conductor Condor (24,68 daN) y la hipótesis de viento para el cable de guarda (13,14 daN).

La ecuación de cambio de condiciones relaciona dos estados diferentes de un cable tendido entre dos puntos, es decir, para un cable dado, teniendo en un vano de longitud dada, si conocemos la tensión y/o la flecha a una temperatura y una sobrecarga dada (estado inicial), podemos conocer la tensión y/o la flecha a otra temperatura o sobrecarga (estado final). La ecuación que modela esta situación es la siguiente.

$$\frac{\alpha^2 P_1^2}{24T_1^2} - \alpha t_1 - \frac{T_1}{S \cdot E} = \frac{\alpha^2 P_2^2}{24T_2^2} - \alpha t_2 - \frac{T_2}{S \cdot E} \quad (48)$$

Donde,

- α : Longitud del vano (vano regulador) [m]
- P_1, P_2 : Resultante de las cargas en la situación inicial y final [daN/m]
- T_1, T_2 : Tracción del conductor o cable de guarda en la situación inicial y final [daN]
- t_1, t_2 : Temperatura del conductor o cable de guarda en la situación inicial y final [°C]
- α : Coeficiente de dilatación lineal que depende del conductor [°C⁻¹]
- S : Sección del conductor o cable de guarda [mm²]
- E : Módulo de elasticidad del conductor o cable de guarda [kg/mm²]

Mediante un proceso iterativo realizado con el programa *Microsoft Excel*, se han calculado todas las tracciones para condición tanto para el conductor como para el cable de guarda. Como ya se ha indicado anteriormente, la tensión para el estado inicial se ha tomado la de la hipótesis de más desfavorable y se ha considerado que su tensión inicial es la carga de rotura del conductor entre el coeficiente de seguridad.

Tipo de Cable	Sobrecarga [N/m]	Coeficiente de Seguridad	Carga de Rotura [daN]	Tracción Inicial, T ₁ [daN]
LA-445 Condor	24,68	3.5	12375	3535.71
OPGW 92-AL3	13.14	3	6100	2033.33

Tabla 41. Condiciones iniciales para la ecuación de cambio de condiciones

Con esta ecuación se obtienen las tracciones para las distintas hipótesis, para un mismo vano regulador de todos los vanos que forman el cantón. Con esto conocido se puede calcular la catenaria que formará el cable al ser tendido, de la cual se puede obtener la flecha y el parámetro. El parámetro, es la variable que define como es la catenaria que forma el cable y está definido de la siguiente manera.

$$h = \frac{T}{p} \quad (49)$$

Donde,

- h : Parámetro de la catenaria
- T : Tensión del cable en el punto más bajo
- p : Peso unitario del cable por unidad de longitud

La ecuación de la catenaria que se ha empleado es la simplificación a la parábola pues para vanos menores de 500 metros se puede considerar que el error sobre la catenaria real es despreciable. La ecuación que modela dicha catenaria es la siguiente.

$$y = \frac{x^2}{2h} \quad (50)$$

Donde,

- y : Coordenada en el eje vertical [m]
- x : Coordenada en el eje horizontal [m]
- h : Parámetro de la catenaria

El punto más bajo de la catenaria se denomina flecha, y es un punto muy importante a tener en cuenta pues es este valor el que una vez se han calculado las tracciones para cada una de las hipótesis y para cada vano regulador, se tomará la hipótesis que tenga mayor flecha a la hora de realizar el diseño de los conductores, consiguiendo que esta flecha no sobrepase la distancia de seguridad mínima que hay que mantener con el terreno. Para el caso del conductor se ha comprobado que la hipótesis que da mayor flecha es la hipótesis de flecha máxima de temperatura. Para el caso del cable de tierra la hipótesis que da lugar a una mayor flecha es la hipótesis de flecha máxima de temperatura también. La flecha se obtiene de la siguiente ecuación.

$$f = \frac{pab}{8T} \cdot \left(1 + \frac{a^2 p^2}{48T^2} \right) \quad (51)$$

Donde,

- p : Peso del conductor por unidad de longitud [daN/m]
- a : Longitud del vano [m]
- b : Distancia entre los puntos de sujeción del vano [m]
- T : Tracción del vano [daN]

A continuación se muestra una tabla, en la que queda definida la organización de la línea, donde se muestran los cantones considerados, los desniveles o los vanos reguladores según lo anteriormente expuesto.

Apoyo	Vano	Vano de Viento	Altura	Desnivel Apoyo	Vano Regulador
1		190.33	571		Amarre
	380.66			35.305	334.252
2		327.6	606.305		
	274.54			13.25	
3		298.12	619.555		
	321.70			11.915	Amarre 51°
4		302.07	631.47		
	282.44			28.345	
5		301.87	659.815		
	321.30			53.925	305.773
6		329.84	713.74		
	338.38			6.37	
7		331.13	720.11		
	323.88			21.025	Amarre 6°
8		270.64	741.135		
	217.40			30.925	
9		196.46	772.06		
	175.52			5.115	615.948
10		474.38	777.175		
	773.24			-122.58	
11		593.01	654.595		
	412.78			-20.665	
12		363.8	633.93		

Apoyo	Vano	Vano de Viento	Altura	Desnivel Apoyo	Vano Regulador
	314.82			15.3	
13		360.22	649.23		
	405.62			-18.14	
14		469.56	631.09		Amarre 2°
	533.50			-3.795	462.746
15		387.21	627.295		
	240.92			36.815	
16		278.32	664.11		Amarre 21°
	315.72			61.765	342.121
17		339.61	725.875		
	363.50			-0.6	
18		393.32	725.275		Amarre 20°
	423.14			62.585	504.267
19		445.61	787.86		
	468.08			84.425	
20		524.49	872.285		
	580.90			-60.075	
21		486.17	812.21		Amarre 11°
	391.44			-2.88	467.280
22		478.37	809.33		
	565.30			-61.585	
23		521.63	747.745		
	477.96			-102.95	
24		401.92	644.795		
	325.88			-20.96	
25		162.94	623.835		Amarre

Tabla 42. Apoyos, vanos y vanos reguladores de la línea

A continuación se muestran las tablas con todas las tracciones, flechas y parámetros calculados para cada uno de los cantones, tanto para el conductor como para el cable de guarda. Se ha marcado en rojo la flecha máxima que se obtiene para cada cantón, que es la que se empleará para tender.

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 1

Vano Regulador: 334.25 m

Apoyo inicial: 1

Apoyo Final: 4

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.42297	3338.9	26.9814	0.001596937	3.7063	1378.03	10.13	335.07
Hielo	-15	2.46820	3444.7	27.8365	0.001599643	3.5924	1395.66	10.01	335.05
Hielo + viento	-15	2.54233	3535.7	28.5714	0.00158801	3.5000	1390.74	10.04	335.06
EDS	15	1.52050	2053.5	16.5940	0.001614258	6.0263	1350.55	10.34	335.11
Flecha máx. Temp.	85	1.52050	1670.4	13.4988	0.00167428	7.4081	1098.64	12.71	335.54
Flecha máx. Viento	15	2.05741	2679.1	21.6497	0.001610665	4.6190	1302.20	10.72	335.17
Flecha máx. Hielo	0	2.46820	3238.0	26.1658	0.001687063	3.8218	1311.90	10.65	335.16
Flecha min.	-15	1.52050	2285.5	18.4688	0.001634496	5.4145	1503.13	9.29	334.94
Desviación Cadenas	-5	1.67198	2374.23682	19.1858	0.001659854	5.2122	1420.02	9.83	335.02

Tabla 43. Tracciones cantón 1, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 2

Vano Regulador: 305.77 m

Apoyo inicial: 4

Apoyo Final: 9

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3290.2	26.5877	0.001273511	3.761141251	1357.92	8.60	306.41
Hielo	-15	2.4681962	3392.4	27.4136	0.001288372	3.647822941	1374.45	8.50	306.40
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.001195342	3.5	1390.73	8.40	306.38
EDS	15	1.5205	2046.2	16.5353	0.001215371	6.047678873	1345.76	8.68	306.43
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1622.2	13.1088	0.001255095	7.628434405	1066.89	10.95	306.82
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2655.2	21.4569	0.001211749	4.660500943	1290.60	9.05	306.48
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3223.3	26.047	0.0012711	3.839215345	1305.93	8.94	306.47
Flecha min.	-15	1.5205	2321.4	18.7592	0.001234076	5.330709897	1526.77	7.65	306.28
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2389.7477	19.3111	0.001253339	5.178371021	1429.29	8.17	306.35

Tabla 44. Tracciones cantón 2, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 3

Vano Regulador: 615.94 m

Apoyo inicial: 9

Apoyo Final: 14

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3350.9	27.0782	0.007406782	3.693007826	1382.98	34.29	621.03
Hielo	-15	2.4681962	3426.4	27.6883	0.007418182	3.611639627	1388.22	34.16	621.00
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.00735426	3.5	1390.73	34.10	620.98
EDS	15	1.5205	2096.7	16.9433	0.007361581	5.902040602	1378.97	34.39	621.06
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1940.8	15.684	0.007434083	6.37591816	1276.48	37.15	621.92
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2800.0	22.6266	0.007362092	4.419577032	1360.95	34.84	621.20
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3371.6	27.2456	0.007411579	3.670313074	1366.03	34.71	621.16
Flecha min.	-15	1.5205	2170.9	17.5431	0.007364544	5.700258966	1427.78	33.21	620.72
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2347.3538	18.9685	0.007379813	5.271893766	1403.93	33.77	620.88

Tabla 45. Tracciones cantón 3, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 4

Vano Regulador: 462.74 m

Apoyo inicial: 14

Apoyo Final: 16

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3346.9	27.0459	0.003819054	3.697421667	1381.33	19.37	464.90
Hielo	-15	2.4681962	3433.0	27.742	0.003825209	3.60464761	1390.92	19.24	464.88
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.003794164	3.5	1390.73	19.24	464.88
EDS	15	1.5205	2072.7	16.7493	0.003857373	5.970408985	1363.18	19.63	464.96
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1844.8	14.908	0.003823223	6.707789648	1213.33	22.06	465.55
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2745.0	22.1821	0.003856753	4.508132551	1334.22	20.06	465.06
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3340.7	26.9962	0.003820026	3.704222121	1353.53	19.77	464.99
Flecha min.	-15	1.5205	2195.5	17.7419	0.003881516	5.636362463	1443.97	18.57	464.72
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2366.4705	19.123	0.003807501	5.229306664	1415.37	18.91	464.80

Tabla 46. Tracciones cantón 4, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 5

Vano Regulador: 342.12 m

Apoyo inicial: 16

Apoyo Final: 18

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3339.6	26.9873	0.001712359	3.705450838	1378.33	10.61	342.99
Hielo	-15	2.4681962	3443.7	27.8285	0.001715251	3.593443659	1395.25	10.48	342.97
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.001702664	3.5	1390.73	10.52	342.98
EDS	15	1.5205	2055.2	16.6081	0.001730762	6.02115351	1351.69	10.82	343.03
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1682.4	13.5952	0.001797152	7.355534984	1106.48	13.22	343.48
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2684.9	21.6965	0.001727221	4.609036048	1305.01	11.21	343.10
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3289.3	26.5808	0.001711985	3.762117355	1332.70	10.97	343.06
Flecha min.	-15	1.5205	2277.0	18.4004	0.001751363	5.434652101	1497.56	9.76	342.86
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2370.5425	19.1559	0.001778534	5.220324053	1417.80	10.31	342.95

Tabla 47. Tracciones cantón 5, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 6

Vano Regulador: 504.26 m

Apoyo inicial: 18

Apoyo Final: 21

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3348.3	27.0575	0.004690646	3.695835883	1381.92	23.00	507.06
Hielo	-15	2.4681962	3430.7	27.7232	0.004698099	3.60708424	1389.98	22.86	507.03
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.004659147	3.5	1390.73	22.85	507.03
EDS	15	1.5205	2076.2	16.7777	0.004737242	5.960281413	1365.50	23.27	507.13
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1877.7	15.1737	0.004699536	6.590362903	1234.95	25.73	507.77
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2757.6	22.2838	0.004738441	4.487570425	1340.33	23.71	507.24
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3351.6	27.0839	0.00469244	3.692235822	1357.92	23.40	507.16
Flecha min.	-15	1.5205	2199.1	17.771	0.004666146	5.627139953	1446.34	21.97	506.82
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2359.6386	19.0678	0.004675455	5.244447196	1411.28	22.52	506.95

Tabla 48. Tracciones cantón 6, conductor Condor

Conductor: 445-LA Condor

Cantón: 7

Vano Regulador: 467.28 m

Apoyo inicial: 21

Apoyo Final: 24

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	2.4229739	3347.1	27.0473	0.003910582	3.697228636	1381.40	19.75	469.50
Hielo	-15	2.4681962	3432.7	27.7397	0.003916875	3.604939904	1390.80	19.62	469.47
Hielo + viento	-15	2.5423294	3535.7	28.5714	0.003885004	3.5	1390.73	19.62	469.47
EDS	15	1.5205	2073.1	16.7527	0.00394977	5.969178711	1363.46	20.01	469.56
Flecha máx. Temp.	85	1.5205	1848.7	14.9397	0.003915208	6.693593078	1215.90	22.44	470.15
Flecha máx. Viento	15	2.0574052	2746.5	22.1944	0.00394933	4.505642667	1334.96	20.44	469.66
Flecha máx. Hielo	0	2.4681962	3342.0	27.0068	0.003911636	3.702774081	1354.06	20.15	469.59
Flecha min.	-15	1.5205	2193.6	17.7265	0.003973997	5.641278577	1442.71	18.91	469.32
Desviación Cadenas	-5	1.6719779	2365.6409	19.1163	0.003898653	5.231140525	1414.87	19.29	469.40

Tabla 49. Tracciones cantón 7, conductor Condor

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 1
 Vano Regulador: 334.25 m

Apoyo inicial: 1
 Apoyo Final: 4

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	1.48626E-05	3	1547.16	9.02	334.90
Hielo	-15	1.173137002	1906.5	31.2546	5.5378E-05	3.19	1625.15	8.59	334.84
Hielo + viento	-15	1.301215642	2025.7	33.2082	8.98522E-05	3.01	1556.77	8.97	334.89
EDS	15	0.476	898.2	14.7255	0.000101259	6.79	1887.09	7.40	334.68
Flecha máx. Temp.	50	0.476	771.05	12.6402	6.32704E-05	7.91	1619.86	8.62	334.84
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1578.3	25.8741	2.47902E-05	3.86	1550.22	9.00	334.90
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1818.3	29.8094	4.90004E-05	3.35	1550.00	9.01	334.90
Flecha min.	-15	0.476	1088.4	17.8430	3.28573E-05	5.60	2286.61	6.10	334.55
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1239.2	20.3162	0.000108648	4.92	1888.83	7.39	334.68

Tabla 50. Tracciones cantón 1, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 2
 Vano Regulador: 305.77 m

Apoyo inicial: 4
 Apoyo Final: 9

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	-0.000302417	3	1547.16	7.55	306.27
Hielo	-15	1.173137002	1713.0	28.0829	0.000320766	3.56	1460.23	8.00	306.33
Hielo + viento	-15	1.301215642	1830.7	30.0119	0.000339597	3.33	1406.93	8.30	306.37
EDS	15	0.476	785.3	12.8748	0.000342348	7.76	1649.93	7.08	306.21
Flecha máx. Temp.	50	0.476	675.6	11.0767	0.000321578	9.02	1419.50	8.23	306.36
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1393.7	22.8483	0.000358249	4.37	1368.93	8.53	306.40
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1632.2	26.7576	0.000317194	3.73	1391.32	8.40	306.38
Flecha min.	-15	0.476	916.5	15.0255	0.000371741	6.65	1925.54	6.06	306.09
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1096.0	17.9673	0.000348757	5.56	1670.45	6.99	306.20

Tabla 51. Tracciones cantón 2, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 3
 Vano Regulador: 615.94 m

Apoyo inicial: 9
 Apoyo Final: 14

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	0.004674046	3	1547.16	30.65	620.01
Hielo	-15	1.173137002	1851.5	30.3539	0.004695632	3.29	1578.32	30.04	619.85
Hielo + viento	-15	1.301215642	2021.0	33.1317	0.004726678	3.01	1553.19	30.53	619.98
EDS	15	0.476	786.6	12.8964	0.004697398	7.75	1652.69	28.69	619.51
Flecha máx. Temp.	50	0.476	749.3	12.2847	0.004689936	8.14	1574.30	30.12	619.87
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1569.2	25.7254	0.004751252	3.88	1541.32	30.76	620.04
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1818.1	29.8057	0.004692949	3.35	1549.82	30.59	620.00
Flecha min.	-15	0.476	822.9	13.4916	0.004706375	7.41	1728.96	27.42	619.20
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1088.2	17.8405	0.004706574	5.60	1658.66	28.59	619.48

Tabla 52. Tracciones cantón 3, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 4
 Vano Regulador: 462.74 m

Apoyo inicial: 14
 Apoyo Final: 16

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	0.001797456	3	1547.16	17.30	464.47
Hielo	-15	1.173137002	1877.5	30.7800	0.001806044	3.24	1600.47	16.72	464.35
Hielo + viento	-15	1.301215642	2032.5	33.3212	0.001818409	3.00	1562.07	17.13	464.43
EDS	15	0.476	828.3	13.5794	0.00181287	7.36	1740.22	15.38	464.10
Flecha máx. Temp.	50	0.476	759.5	12.4509	0.001805654	8.03	1595.59	16.77	464.36
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1572.9	25.7863	0.001831223	3.87	1544.96	17.32	464.47
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1822.4	29.8754	0.00180447	3.34	1553.44	17.23	464.45
Flecha min.	-15	0.476	901.6	14.7807	0.001823306	6.76	1894.17	14.13	463.89
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1147.3	18.8085	0.001817198	5.31	1748.66	15.30	464.09

Tabla 53. Tracciones cantón 4, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 5
 Vano Regulador: 342.12 m

Apoyo inicial: 16
 Apoyo Final: 18

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	0.000107504	3	1547.16	9.45	342.81
Hielo	-15	1.173137002	1902.3	31.1862	0.000151795	3.20	1621.59	9.02	342.75
Hielo + viento	-15	1.301215642	2023.1	33.1663	0.000189102	3.01	1554.81	9.41	342.81
EDS	15	0.476	890.0	14.5909	0.000197456	6.85	1869.84	7.82	342.59
Flecha máx. Temp.	50	0.476	769.1	12.6096	0.000158761	7.93	1615.93	9.05	342.76
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1577.9	25.8675	0.000118508	3.86	1549.83	9.44	342.81
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1817.2	29.7911	0.000144938	3.35	1549.06	9.44	342.81
Flecha min.	-15	0.476	1070.1	17.5436	0.000126357	5.70	2248.23	6.50	342.45
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1228.4	20.1386	0.000206281	4.96	1872.32	7.81	342.59

Tabla 54. Tracciones cantón 5, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 6
 Vano Regulador: 504.26 m

Apoyo inicial: 18
 Apoyo Final: 21

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	0.00249637	3	1547.16	20.54	506.49
Hielo	-15	1.173137002	1868.6	30.6338	0.002508008	3.26	1592.87	19.95	506.37
Hielo + viento	-15	1.301215642	2028.7	33.2576	0.002524694	3.00	1559.09	20.38	506.46
EDS	15	0.476	813.0	13.3291	0.002513794	7.50	1708.14	18.60	506.09
Flecha máx. Temp.	50	0.476	755.8	12.3916	0.002506448	8.06	1588.00	20.01	506.38
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1571.7	25.7660	0.002540417	3.88	1543.75	20.58	506.50
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1820.9	29.8521	0.002506089	3.34	1552.23	20.47	506.48
Flecha min.	-15	0.476	872.0	14.2963	0.002523821	6.99	1832.08	17.34	505.85
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1125.9	18.4579	0.002519426	5.41	1716.06	18.52	506.08

Tabla 55. Tracciones cantón 6, cable de tierra OPGW

Conductor: OPGW 92-AL3
 Cantón: 7
 Vano Regulador: 467.28 m

Apoyo inicial: 21
 Apoyo Final: 24

Hipótesis	Temperatura (°C)	Resultante (daN/m)	Tracción (daN)	Tracción (%)	Cond. Inicial	Coefficiente de seguridad	Parámetro (m)	Flecha (m)	Longitud (m)
Viento	-10	1.314230193	2033.3	33.3333	0.001870855	3	1547.16	17.64	469.05
Hielo	-15	1.173137002	1876.5	30.7626	0.001879758	3.25	1599.57	17.06	468.94
Hielo + viento	-15	1.301215642	2032.1	33.3137	0.001892566	3.00	1561.72	17.47	469.02
EDS	15	0.476	826.4	13.5486	0.001886486	7.38	1736.28	15.71	468.69
Flecha máx. Temp.	50	0.476	759.0	12.4437	0.001879251	8.03	1594.67	17.11	468.95
Flecha máx. Viento	15	1.018123765	1572.8	25.7839	0.001905688	3.87	1544.82	17.66	469.06
Flecha máx. Hielo	0	1.173137002	1822.2	29.8727	0.001878145	3.34	1553.30	17.57	469.04
Flecha min.	-15	0.476	897.9	14.7205	0.00189688	6.79	1886.45	14.46	468.47
Desviación Cadena	-5	0.656113322	1144.7	18.7657	0.001890957	5.32	1744.68	15.64	468.67

Tabla 56. Tracciones cantón 7, cable de tierra OPGW

3.2.1.6. *Tablas de tendido*

A la hora de realizar el tendido de los cables en el momento de la obra, hay que tener en cuenta la temperatura ambiental a la que se realiza. La flecha que aparece en los conductores se ve afectada por el vano regulador (vano medio de cada cantón), y es con esta flecha con la que se determina la tensión de instalación. La temperatura a la que se realiza el tendido varía esta flecha y es por eso que es importante conocer en qué medida la hace variar. Es por esta razón que se realizan las siguientes tablas de tendido para distintas temperaturas.

Para cada vano de la línea se muestra la tensión a la que se va a encontrar el conductor, que será la misma para todos los vanos dentro de un mismo cantón, y la flecha que tendrá cada uno de ellos. Esta tensión se medirá en daN y la flecha se mide en metros.

Se han realizado dos tablas de tendido, una para el conductor y otra para el cable de guarda para las temperaturas medias de la región de la obra.

Tabla de tendido:

LA-445 Condor

Temperatura [°C]																							
Cantón	Vano	-5		0		5		10		15		20		25		30		35		40		45	
		T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
1	380.66	2201.32	12.51	2161.94	12.74	2124.25	12.96	2088.13	13.19	2053.51	13.41	2020.30	13.63	1988.42	13.85	1957.79	14.07	1928.35	14.28	1900.04	14.49	1872.79	14.71
	274.54	2201.32	6.51	2161.94	6.63	2124.25	6.74	2088.13	6.86	2053.51	6.98	2020.30	7.09	1988.42	7.20	1957.79	7.32	1928.35	7.43	1900.04	7.54	1872.79	7.65
	321.7	2201.32	8.94	2161.94	9.10	2124.25	9.26	2088.13	9.42	2053.51	9.58	2020.30	9.74	1988.42	9.89	1957.79	10.05	1928.35	10.20	1900.04	10.35	1872.79	10.50
2	282.44	2220.30	6.83	2173.49	6.98	2128.97	7.12	2086.60	7.27	2046.24	7.41	2007.76	7.55	1971.05	7.69	1935.99	7.83	1902.48	7.97	1870.43	8.11	1839.74	8.24
	321.3	2220.30	8.84	2173.49	9.03	2128.97	9.22	2086.60	9.40	2046.24	9.59	2007.76	9.77	1971.05	9.95	1935.99	10.13	1902.48	10.31	1870.43	10.49	1839.74	10.67
	338.38	2220.30	9.80	2173.49	10.01	2128.97	10.22	2086.60	10.43	2046.24	10.64	2007.76	10.84	1971.05	11.04	1935.99	11.24	1902.48	11.44	1870.43	11.63	1839.74	11.83
	323.88	2220.30	8.98	2173.49	9.17	2128.97	9.36	2086.60	9.55	2046.24	9.74	2007.76	9.93	1971.05	10.12	1935.99	10.30	1902.48	10.48	1870.43	10.66	1839.74	10.84
	217.4	2220.30	4.05	2173.49	4.13	2128.97	4.22	2086.60	4.31	2046.24	4.39	2007.76	4.47	1971.05	4.56	1935.99	4.64	1902.48	4.72	1870.43	4.80	1839.74	4.88
3	175.52	2145.39	2.73	2132.93	2.75	2120.67	2.76	2108.60	2.78	2096.73	2.79	2085.05	2.81	2073.55	2.82	2062.23	2.84	2051.08	2.85	2040.11	2.87	2029.30	2.89
	773.24	2145.39	52.97	2132.93	53.28	2120.67	53.59	2108.60	53.89	2096.73	54.20	2085.05	54.50	2073.55	54.80	2062.23	55.10	2051.08	55.40	2040.11	55.70	2029.30	56.00
	412.78	2145.39	15.09	2132.93	15.18	2120.67	15.27	2108.60	15.36	2096.73	15.45	2085.05	15.53	2073.55	15.62	2062.23	15.70	2051.08	15.79	2040.11	15.87	2029.30	15.96
	314.82	2145.39	8.78	2132.93	8.83	2120.67	8.88	2108.60	8.93	2096.73	8.98	2085.05	9.03	2073.55	9.08	2062.23	9.13	2051.08	9.18	2040.11	9.23	2029.30	9.28
	405.62	2145.39	14.58	2132.93	14.66	2120.67	14.75	2108.60	14.83	2096.73	14.91	2085.05	15.00	2073.55	15.08	2062.23	15.16	2051.08	15.25	2040.11	15.33	2029.30	15.41
4	533.5	2152.58	25.13	2131.87	25.37	2111.68	25.62	2091.96	25.86	2072.72	26.10	2053.93	26.34	2035.59	26.58	2017.66	26.81	2000.15	27.05	1983.03	27.28	1966.30	27.51
	240.92	2152.58	5.12	2131.87	5.17	2111.68	5.22	2091.96	5.27	2072.72	5.32	2053.93	5.37	2035.59	5.42	2017.66	5.47	2000.15	5.52	1983.03	5.56	1966.30	5.61
5	315.72	2196.81	8.62	2159.19	8.77	2123.11	8.92	2088.49	9.07	2055.25	9.22	2023.32	9.36	1992.61	9.51	1963.08	9.65	1934.65	9.79	1907.26	9.93	1880.87	10.07
	363.5	2196.81	11.43	2159.19	11.63	2123.11	11.83	2088.49	12.02	2055.25	12.22	2023.32	12.41	1992.61	12.60	1963.08	12.79	1934.65	12.98	1907.26	13.17	1880.87	13.35
6	423.14	2143.89	15.87	2126.44	16.00	2109.36	16.13	2092.63	16.26	2076.24	16.39	2060.19	16.52	2044.46	16.65	2029.04	16.77	2013.92	16.90	1999.10	17.02	1984.57	17.15
	468.08	2143.89	19.42	2126.44	19.58	2109.36	19.74	2092.63	19.90	2076.24	20.06	2060.19	20.21	2044.46	20.37	2029.04	20.52	2013.92	20.68	1999.10	20.83	1984.57	20.98
	580.9	2143.89	29.92	2126.44	30.16	2109.36	30.41	2092.63	30.65	2076.24	30.89	2060.19	31.13	2044.46	31.37	2029.04	31.61	2013.92	31.85	1999.10	32.08	1984.57	32.32
7	391.44	2151.52	13.54	2131.21	13.66	2111.40	13.79	2092.05	13.92	2073.15	14.05	2054.69	14.17	2036.66	14.30	2019.04	14.42	2001.81	14.55	1984.97	14.67	1968.50	14.79
	565.3	2151.52	28.23	2131.21	28.50	2111.40	28.77	2092.05	29.03	2073.15	29.30	2054.69	29.56	2036.66	29.82	2019.04	30.08	2001.81	30.34	1984.97	30.60	1968.50	30.85
	477.96	2151.52	20.18	2131.21	20.37	2111.40	20.56	2092.05	20.75	2073.15	20.94	2054.69	21.13	2036.66	21.32	2019.04	21.50	2001.81	21.69	1984.97	21.87	1968.50	22.06
	325.88	2151.52	9.38	2131.21	9.47	2111.40	9.56	2092.05	9.65	2073.15	9.74	2054.69	9.82	2036.66	9.91	2019.04	10.00	2001.81	10.08	1984.97	10.17	1968.50	10.25

Tabla 57. Tabla de tendido para el conductor LA-445 Condor

Tabla de tendido:

OPGW 92-AL3

Temperatura [°C]																							
Cantón	Vano	-5		0		5		10		15		20		25		30		35		40		45	
		T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
1	380.66	1979.45	12.03	1951.69	12.20	1924.67	12.37	1924.67	12.37	1872.80	12.71	1847.91	12.88	1823.68	13.05	1800.10	13.22	1777.15	13.39	1754.80	13.57	1733.05	13.74
	274.54	1979.45	6.26	1951.69	6.34	1924.67	6.43	1924.67	6.43	1872.80	6.61	1847.91	6.70	1823.68	6.79	1800.10	6.88	1777.15	6.97	1754.80	7.06	1733.05	7.14
	321.7	1979.45	8.59	1951.69	8.71	1924.67	8.83	1924.67	8.83	1872.80	9.08	1847.91	9.20	1823.68	9.32	1800.10	9.44	1777.15	9.57	1754.80	9.69	1733.05	9.81
2	282.44	1980.85	6.62	1949.40	6.72	1918.86	6.83	1889.22	6.94	1860.44	7.04	1832.51	7.15	1805.39	7.26	1779.06	7.37	1753.49	7.47	1728.67	7.58	1704.57	7.69
	321.3	1980.85	8.56	1949.40	8.70	1918.86	8.84	1889.22	8.98	1860.44	9.12	1832.51	9.25	1805.39	9.39	1779.06	9.53	1753.49	9.67	1728.67	9.81	1704.57	9.95
	338.38	1980.85	9.50	1949.40	9.65	1918.86	9.80	1889.22	9.96	1860.44	10.11	1832.51	10.26	1805.39	10.42	1779.06	10.57	1753.49	10.73	1728.67	10.88	1704.57	11.04
	323.88	1980.85	8.70	1949.40	8.84	1918.86	8.98	1889.22	9.12	1860.44	9.26	1832.51	9.40	1805.39	9.55	1779.06	9.69	1753.49	9.83	1728.67	9.97	1704.57	10.11
	217.4	1980.85	3.92	1949.40	3.98	1918.86	4.05	1889.22	4.11	1860.44	4.17	1832.51	4.24	1805.39	4.30	1779.06	4.36	1753.49	4.43	1728.67	4.49	1704.57	4.55
3	175.52	2014.43	2.51	2002.96	2.53	1991.66	2.54	1980.51	2.56	1969.52	2.57	1958.68	2.58	1947.98	2.60	1937.44	2.61	1927.04	2.63	1916.77	2.64	1906.65	2.65
	773.24	2014.43	48.76	2002.96	49.04	1991.66	49.32	1980.51	49.59	1969.52	49.87	1958.68	50.15	1947.98	50.42	1937.44	50.70	1927.04	50.97	1916.77	51.24	1906.65	51.52
	412.78	2014.43	13.90	2002.96	13.97	1991.66	14.05	1980.51	14.13	1969.52	14.21	1958.68	14.29	1947.98	14.37	1937.44	14.45	1927.04	14.53	1916.77	14.60	1906.65	14.68
	314.82	2014.43	8.08	2002.96	8.13	1991.66	8.18	1980.51	8.22	1969.52	8.27	1958.68	8.31	1947.98	8.36	1937.44	8.40	1927.04	8.45	1916.77	8.49	1906.65	8.54
	405.62	2014.43	13.42	2002.96	13.49	1991.66	13.57	1980.51	13.65	1969.52	13.72	1958.68	13.80	1947.98	13.88	1937.44	13.95	1927.04	14.03	1916.77	14.10	1906.65	14.18
4	533.5	2009.97	23.26	1991.57	23.48	1973.56	23.69	1955.91	23.91	1938.64	24.12	1921.71	24.33	1905.14	24.54	1888.89	24.75	1872.98	24.96	1857.39	25.17	1842.10	25.38
	240.92	2009.97	4.74	1991.57	4.79	1973.56	4.83	1955.91	4.88	1938.64	4.92	1921.71	4.96	1905.14	5.00	1888.89	5.05	1872.98	5.09	1857.39	5.13	1842.10	5.18
5	315.72	1979.02	8.27	1952.18	8.39	1926.05	8.50	1900.61	8.62	1875.83	8.73	1851.71	8.84	1828.21	8.96	1805.33	9.07	1783.04	9.18	1761.32	9.30	1740.17	9.41
	363.5	1979.02	10.97	1952.18	11.12	1926.05	11.27	1900.61	11.42	1875.83	11.57	1851.71	11.72	1828.21	11.87	1805.33	12.02	1783.04	12.17	1761.32	12.32	1740.17	12.47
6	423.14	2011.57	14.62	1995.52	14.74	1979.78	14.86	1964.32	14.97	1949.16	15.09	1934.27	15.21	1919.65	15.32	1905.30	15.44	1891.21	15.55	1877.37	15.67	1863.78	15.78
	468.08	2011.57	17.89	1995.52	18.04	1979.78	18.18	1964.32	18.32	1949.16	18.47	1934.27	18.61	1919.65	18.75	1905.30	18.89	1891.21	19.03	1877.37	19.17	1863.78	19.31
	580.9	2011.57	27.56	1995.52	27.78	1979.78	28.00	1964.32	28.22	1949.16	28.44	1934.27	28.66	1919.65	28.88	1905.30	29.10	1891.21	29.31	1877.37	29.53	1863.78	29.74
7	391.44	2010.17	12.52	1992.05	12.64	1974.30	12.75	1956.91	12.86	1939.88	12.98	1923.20	13.09	1906.85	13.20	1890.84	13.31	1875.14	13.42	1859.75	13.53	1844.66	13.65
	565.3	2010.17	26.12	1992.05	26.35	1974.30	26.59	1956.91	26.83	1939.88	27.06	1923.20	27.30	1906.85	27.53	1890.84	27.76	1875.14	28.00	1859.75	28.23	1844.66	28.46
	477.96	2010.17	18.67	1992.05	18.84	1974.30	19.01	1956.91	19.18	1939.88	19.35	1923.20	19.51	1906.85	19.68	1890.84	19.85	1875.14	20.01	1859.75	20.18	1844.66	20.34
	325.88	2010.17	8.68	1992.05	8.76	1974.30	8.84	1956.91	8.92	1939.88	8.99	1923.20	9.07	1906.85	9.15	1890.84	9.23	1875.14	9.30	1859.75	9.38	1844.66	9.46

Tabla 58. Tabla de tendido para el cable de guarda OPGW 92-AL3

3.3. Cálculos Mecánicos de los Apoyos

Los pares y tensiones mecánicas a las que se ven afectadas las torres dependen de una serie de hipótesis que vienen establecidas en el Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT) en la ITC-LAT 07. Dicha instrucción técnica determina las hipótesis de cálculo en función de los niveles de tensión de la línea, la zona en la que está ubicada o el tipo de apoyo. A continuación se explican cuales son dichas hipótesis y que cargas afectarán a los apoyos diseñados.

Se han considerado las hipótesis correspondientes a una línea de *Categoría Especial* (220kV) ubicada en zonas *B* y *C* (más de 500m sobre el nivel del mar). De entre todos los tipos de apoyos que se pueden emplear en la línea, en el caso del proyecto que se está llevando a cabo, solo se han empleado tres tipos de torres: *Suspensión en Alineación*, *Amarre en Ángulo* y *Fin de Línea*. Es por ello que a continuación se describen las hipótesis de estos tres tipos de torres.

3.3.1. Hipótesis de Cálculo

3.3.1.1. Esfuerzos en Apoyos de Suspensión en Alineación

Cargas	1ª Hipótesis (viento)	2ª Hipótesis (hielo)	3ª Hipótesis (desequilibrio de tracciones)	4ª Hipótesis (rotura de conductores)
Vertical	$P_{cond}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$
Horizontal	$n \cdot F_T$	$n \cdot F_{T(60)}$	0	0
Longitudinal	0	0	$n \cdot (\%_{desep}) \cdot T_{h+v}$	$n \cdot (\%_{rotura}) \cdot T_{h+v}$

Tabla 59. Esfuerzos sobre apoyos de suspensión en alineación

$$P_{cond} = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_v}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) \right] \quad (52)$$

$$P_{cond+hielo} = n \cdot p_{ap} \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{h+v}}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) \right] \quad (53)$$

$$F_T = q_{140} \cdot d \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \quad (54)$$

$$F_{T(60)} = q_{60} \cdot d \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \quad (55)$$

Donde,

- n : Número de conductores del haz
- T_v : Tensión horizontal en un conductor [daN]
- T_{h+v} : Tensión aparente de hielo más viento en un conductor [daN]
- P_{cond} : Carga del peso del conductor sometido al viento [daN]
- $P_{cond+hielo}$: Carga del peso del conductor sometido al hielo [daN]
- p : Peso del conductor [daN]
- d : Diámetro del conductor [mm]
- q : Presión de viento reglamentaria sobre los conductores
- p_{ap} : Peso aparente del conductor [daN]
- a_1, a_2 : Longitud de los vanos anterior y posterior respectivamente [m]
- d_1, d_2 : Desniveles de los vanos anterior y posterior respectivamente [m]
- $\%_{deseq}$: Coeficiente de desequilibrio para apoyos de alineación
- $\%_{rotura}$: Coeficiente de rotura para apoyos de alineación en % de la tensión del cable roto

La tensión horizontal (T_v) se calculará a una temperatura de -10°C con una velocidad de viento según el reglamento de 140km/h. La tensión aparente de hielo más viento (T_{h+v}) se calculará a una temperatura de -15°C con sobrecarga de hielo y una velocidad de viento de 60km/h.

El coeficiente de desequilibrio para apoyos de alineación viene determinada por el nivel de tensión, siendo del 15% para tensiones superiores a los 66kV. El coeficiente de rotura de para apoyos de alineación dependen del número de conductores del haz. Para la línea en cuestión el número de conductores es de 2, por lo que el coeficiente a aplicar es del 50%.

3.3.1.2. Esfuerzos en Apoyos de Amarre en Ángulo

Cargas	1ª Hipótesis (viento)	2ª Hipótesis (hielo)	3ª Hipótesis (desequilibrio de tracciones)	4ª Hipótesis (rotura de conductores)
Vertical	$P_{cond}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$
Horizontal	$n \cdot (F_T + R_{angulo})$	$n \cdot (F_{T(60)}+R_{angulo_hielo+viento})$	$n(2-\%_{deseq}) \cdot T_{h+v} \cdot \text{sen}(\alpha/2)$	$(2n-1) \cdot T_{h+v} \cdot \text{sen}(\alpha/2)$
Longitudinal	0	0	$n \cdot (\%_{deseq}) \cdot T_{h+v} \cdot \text{cos}(\alpha/2)$	$T_{h+v} \cdot \text{cos}(\alpha/2)$

Tabla 60. Esfuerzos sobre apoyos de amarre en ángulo

$$P_{cond} = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{v1}}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} \right) - \frac{T_{v2}}{P_{ap}} \left(\frac{d_2}{a_2} \right) \right] \quad (56)$$

$$P_{cond+hielo} = n \cdot p_{ap} \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{(h+v)_1}}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} \right) - \frac{T_{(h+v)_2}}{P_{ap}} \left(\frac{d_2}{a_2} \right) \right] \quad (57)$$

$$F_T = q_{140} \cdot d \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \quad (58)$$

$$F_{T(60)} = q_{60} \cdot d \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \quad (59)$$

$$R_{angulo} = 2 \cdot T_v \cdot \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (60)$$

$$R_{angulo-hielo \text{ y viento}} = 2 \cdot T_{h+v} \cdot \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (61)$$

Donde,

- n : Número de conductores del haz
- T_v : Tensión máxima entre T_{v1} y T_{v2} [daN]
- T_{v1}, T_{v2} : Tensión horizontal en un conductor en vano anterior y posterior respectivamente [daN]
- $T_{(h+v)}$: Tensión máxima entre $T_{(h+v)_1}$ y $T_{(h+v)_2}$ [daN]
- $T_{(h+v)_1}, T_{(h+v)_2}$: Tensión aparente de hielo más viento en un conductor en el vano anterior y posterior respectivamente [daN]
- P_{cond} : Carga del peso del conductor sometido al viento [daN]
- $P_{cond+hielo}$: Carga del peso del conductor sometido al hielo [daN]
- R : Carga resultante del ángulo [daN]
- p : Peso del conductor [daN]
- d : Diámetro del conductor [mm]

- q : Presión de viento reglamentaria sobre los conductores
- p_{ap} : Peso aparente del conductor [daN]
- a_1, a_2 : Longitud de los vanos anterior y posterior respectivamente [m]
- d_1, d_2 : Desniveles de los vanos anterior y posterior respectivamente [m]
- $\%_{deseq}$: Coeficiente de desequilibrio para apoyos de alineación
- α : Ángulo del amarre [°]

La tensión horizontal (T_{v1} y T_{v1}) se calculará a una temperatura de -10°C con una velocidad de viento según el reglamento de 140km/h. La tensión aparente de hielo más viento ($T_{(h+v)1}$ y $T_{(h+v)2}$) se calculará a una temperatura de -15°C con sobrecarga de hielo y una velocidad de viento de 60km/h.

El coeficiente de desequilibrio para apoyos de alineación viene determinada por el nivel de tensión, siendo del 25% para tensiones superiores a los 66kV.

3.3.1.3. Esfuerzos en Apoyos de Fin de Línea

Cargas	1ª Hipótesis (viento)	2ª Hipótesis (hielo)	3ª Hipótesis (desequilibrio de tracciones)	4ª Hipótesis (rotura de conductores)
Vertical	$P_{cond}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$	0	$P_{cond+hielo}+P_{cadenas}+P_{herrajes}$
Horizontal	$n \cdot F_T$	$n \cdot F_{T(60)}$	0	0
Longitudinal	$n \cdot T_V$	$n \cdot T_{h+v}$	0	$n \cdot T_{h+v}$

Tabla 61. Esfuerzos sobre apoyos de fin de línea

$$P_{cond} = n \cdot p \left[\frac{a_1}{2} + \frac{T_v}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} \right) \right] \quad (62)$$

$$P_{cond+hielo} = n \cdot p_{ap} \left[\frac{a_1}{2} + \frac{T_{(h+v)}}{P_{ap}} \left(\frac{d_1}{a_1} \right) \right] \quad (63)$$

$$F_T = q_{140} \cdot d \left(\frac{a_1}{2} \right) \quad (64)$$

$$F_{T(60)} = q_{60} \cdot d \left(\frac{a_1}{2} \right) \quad (65)$$

Donde,

- n : Número de conductores del haz
- T_v : Tensión horizontal en un conductor [daN]
- T_{h+v} : Tensión aparente de hielo más viento en un conductor [daN]
- P_{cond} : Carga del peso del conductor sometido al viento [daN]
- $P_{cond+hielo}$: Carga del peso del conductor sometido al hielo [daN]
- p : Peso del conductor [daN]
- d : Diámetro del conductor [mm]
- q : Presión de viento reglamentaria sobre los conductores
- p_{ap} : Peso aparente del conductor [daN]
- a_1 : Longitud del vano anterior o posterior, función si es inicio o fin de línea [m]
- d_1 : Desnivel del vano anterior o posterior, función si es inicio o fin de línea [m]

La tensión horizontal (T_v) se calculará a una temperatura de -10°C con una velocidad de viento según el reglamento de 140km/h. La tensión aparente de hielo más viento (T_{h+v}) se calculará a una temperatura de -15°C con sobrecarga de hielo y una velocidad de viento de 60km/h.

3.3.2. Esfuerzos en Punta de Cruceta

Con las anteriores hipótesis cubiertas, se han calculado todos los esfuerzos en punta de cruceta tanto para el conductor como para el cable de guarda. Se han obtenido los esfuerzos de las cuatro hipótesis tanto para el conductor como para el cable de guarda.

Apoyo			Conductor Condor LA-445			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
1	Fin de Línea	V	672,040127	1920,05286	0	1920,05286
		T	718,11509	231,998596	0	0
		L	6677,8854	9594,78266	0	9594,78266

Apoyo			Conductor Condor LA-445			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
2	Apoyo en Alineación	V	1087,87925	2134,89573	2134,89573	2134,89573
		T	1236,0348	463,997192	0	0
		L	0	0	1439,2174	4797,39133
3	Apoyo en Alineación	V	997,702376	1670,25489	1670,25489	1670,25489
		T	1124,80676	334,644536	0	0
		L	0	0	1439,2174	4797,39133
4	Amarre en Ángulo	V	1008,11657	988,566521	988,566521	988,566521
		T	6889,51765	8653,45	7228,65571	6195,99061
		L	0	0	2165,02741	4330,05482
5	Apoyo en Alineación	V	1007,71794	943,293137	943,293137	943,293137
		T	1138,95551	344,274068	0	0
		L	0	0	1417,77187	4725,90623
6	Apoyo en Alineación	V	1096,35627	3127,53977	3127,53977	3127,53977
		T	1244,48632	391,641617	0	0
		L	0	0	1417,77187	4725,90623
7	Apoyo en Alineación	V	1097,14488	1289,86063	1289,86063	1289,86063
		T	1249,35349	412,460909	0	0
		L	0	0	1417,77187	4725,90623
8	Apoyo en Alineación	V	912,417534	695,962243	695,962243	695,962243
		T	1021,12472	394,786451	0	0
		L	0	0	1417,77187	4725,90623
9	Amarre en Ángulo	V	691,097697	2125,60922	2125,60922	2125,60922
		T	1442,73948	1268,29756	877,889761	752,476938
		L	0	0	2393,01922	4786,03844
10	Apoyo en Alineación	V	1535,64332	4231,49695	4231,49695	4231,49695
		T	1789,83574	213,94627	0	0
		L	0	0	1437,78196	4792,60654
11	Apoyo en Alineación	V	1893,27222	1978,58891	1978,58891	1978,58891
		T	2237,42673	942,524007	0	0
		L	0	0	1437,78196	4792,60654
12	Apoyo en Alineación	V	1195,76769	941,078236	941,078236	941,078236
		T	1372,6174	503,149164	0	0
		L	0	0	1437,78196	4792,60654

Apoyo			Conductor Condor LA-445			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
13	Apoyo en Alineación	V	1187,7452	2763,60437	2763,60437	2763,60437
		T	1359,11006	383,742962	0	0
		L	0	0	1437,78196	4792,60654
14	Amarre en Ángulo	V	1518,12308	2048,10094	2048,10094	2048,10094
		T	2005,57685	829,323579	293,039198	251,176455
		L	0	0	2398,31491	4796,62983
15	Apoyo en Alineación	V	1266,19413	468,809672	468,809672	468,809672
		T	1460,94333	650,298171	0	0
		L	0	0	1438,37017	4794,56723
16	Amarre en Ángulo	V	936,173092	1052,86874	1052,86874	1052,86874
		T	3489,81729	3794,21718	3062,98389	2625,41476
		L	0	0	2360,91174	4721,82347
17	Apoyo en Alineación	V	1126,79812	3660,16968	3660,16968	3660,16968
		T	1281,34853	384,839997	0	0
		L	0	0	1439,15571	4797,1857
18	Amarre en Ángulo	V	1284,65768	598,271696	598,271696	598,271696
		T	3809,74489	3779,37476	2919,25757	2502,22078
		L	0	0	2365,1332	4730,2664
19	Apoyo en Alineación	V	1445,62366	1979,41789	1979,41789	1979,41789
		T	1681,28653	515,77726	0	0
		L	0	0	1438,17297	4793,9099
20	Apoyo en Alineación	V	1688,81126	5400,85184	5400,85184	5400,85184
		T	1978,90077	570,555891	0	0
		L	0	0	1438,17297	4793,9099
21	Amarre en Ángulo	V	1568,00033	1569,5555	1569,5555	1569,5555
		T	3118,0249	2546,53895	1608,65564	1378,84769
		L	0	0	2386,6468	4773,2936
22	Apoyo en Alineación	V	1546,78573	3426,43246	3426,43246	3426,43246
		T	1804,89001	477,137237	0	0
		L	0	0	1438,34695	4794,48984
23	Apoyo en Alineación	V	1678,29472	3686,6574	3686,6574	3686,6574
		T	1968,10999	689,060087	0	0
		L	0	0	1438,34695	4794,48984

Apoyo			Conductor Condor LA-445			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
24	Apoyo en Alineación	V	1311,12744	626,282684	626,282684	626,282684
		T	1516,44416	582,598901	0	0
		L	0	0	1438,34695	4794,48984
25	Fin de Línea	V	584,001153	278,214141	0	278,214141
		T	614,77262	198,612154	0	0
		L	6694,2032	9588,97969	0	9588,97969

Tabla 62. Esfuerzos en punta de cruceta producidos por el conductor Condor LA-445

Apoyo			Cable de Guarda OPGW 92-AL3			
			1ª Hip	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
1	Fin de Línea	V	181.605938	572.424291	0	572.424291
		T	359.057545	119.550893	0	0
		L	2033.33	2787.34417	0	2787.34417
2	Apoyo en Alineación	V	246.961738	599.292302	599.292302	599.292302
		T	618.0174	239.101786	0	0
		L	0	0	418.313648	1394.37883
3	Apoyo en Alineación	V	232.851684	471.956028	471.956028	471.956028
		T	562.40338	172.445238	0	0
		L	0	0	418.313648	1394.37883
4	Amarre en Ángulo	V	234.243598	281.455489	281.455489	281.455489
		T	2321.45833	2603.24981	2101.03445	1200.59112
		L	0	0	629.272905	2517.09162
5	Apoyo en Alineación	V	234.430313	265.648631	265.648631	265.648631
		T	569.477755	177.40742	0	0
		L	0	0	398.81402	1329.38007
6	Apoyo en Alineación	V	248.277573	874.042994	874.042994	874.042994
		T	622.24316	201.816329	0	0
		L	0	0	398.81402	1329.38007

Apoyo			Cable de Guarda OPGW 92-AL3			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
7	Apoyo en Alineación	V	248.424704	356.832666	356.832666	356.832666
		T	624.676745	212.544691	0	0
		L	0	0	398.81402	1329.38007
8	Apoyo en Alineación	V	219.515677	202.803925	202.803925	202.803925
		T	510.56236	203.436889	0	0
		L	0	0	398.81402	1329.38007
9	Amarre en Ángulo	V	184.593688	619.163024	619.163024	619.163024
		T	583.45433	424.407998	251.872058	143.926891
		L	0	0	686.572168	2746.28867
10	Apoyo en Alineación	V	317.034249	1163.53209	1163.53209	1163.53209
		T	894.91787	110.248372	0	0
		L	0	0	412.508629	1375.02876
11	Apoyo en Alineación	V	373.045048	488.314428	488.314428	488.314428
		T	1118.71337	485.690813	0	0
		L	0	0	412.508629	1375.02876
12	Apoyo en Alineación	V	263.871327	246.377351	246.377351	246.377351
		T	686.3087	259.277137	0	0
		L	0	0	412.508629	1375.02876
13	Apoyo en Alineación	V	262.586207	770.141945	770.141945	770.141945
		T	679.55503	197.746084	0	0
		L	0	0	412.508629	1375.02876
14	Amarre en Ángulo	V	314.071129	538.182137	538.182137	538.182137
		T	956.797943	351.383133	84.5279452	48.301683
		L	0	0	691.800391	2767.20156
15	Apoyo en Alineación	V	274.90244	102.559309	102.559309	102.559309
		T	730.471665	335.104299	0	0
		L	0	0	415.143463	1383.81154
16	Amarre en Ángulo	V	222.982607	295.316711	295.316711	295.316711
		T	1266.1406	1166.19251	888.006708	507.432404
		L	0	0	684.465063	2737.86025
17	Apoyo en Alineación	V	253.030133	1038.65727	1038.65727	1038.65727
		T	640.674265	198.311395	0	0
		L	0	0	417.673011	1392.24337

Apoyo			Cable de Guarda OPGW 92-AL3			
			1ª Hip.	2ª Hip.	3ª Hip.	4ª Hip.
18	Amarre en Ángulo	V	277.543743	138.991438	138.991438	138.991438
		T	1448.16628	1195.36527	846.161835	483.521048
		L	0	0	685.546033	2742.18413
19	Apoyo en Alineación	V	302.969609	524.042102	524.042102	524.042102
		T	840.643265	265.784505	0	0
		L	0	0	414.236918	1380.78973
20	Apoyo en Alineación	V	341.00153	1489.9008	1489.9008	1489.9008
		T	989.450385	294.01241	0	0
		L	0	0	414.236918	1380.78973
21	Amarre en Ángulo	V	321.88466	395.730603	395.730603	395.730603
		T	1306.93179	895.268098	464.091869	265.195354
		L	0	0	688.539763	2754.15905
22	Apoyo en Alineación	V	318.788701	933.184794	933.184794	933.184794
		T	902.445005	245.872965	0	0
		L	0	0	415.034595	1383.44865
23	Apoyo en Alineación	V	339.37392	997.403221	997.403221	997.403221
		T	984.054995	355.078651	0	0
		L	0	0	415.034595	1383.44865
24	Apoyo en Alineación	V	281.933734	144.411031	144.411031	144.411031
		T	758.22208	300.218277	0	0
		L	0	0	415.034595	1383.44865
25	Fin de Línea	V	167.872367	103.856681	0	103.856681
		T	307.38631	102.346569	0	0
		L	2033.33	2766.2192	0	2766.2192

Tabla 63. Esfuerzos en punta de cruceta producidos por el cable de guarda OPGW 92-AL3

3.3.3. Selección de los apoyos

En este apartado se indica el procedimiento que se ha seguido para la elección de cada una de las torres en función de las tensiones en punta de cruceta obtenidas en el apartado

anterior, en función de lo estipulado por el fabricante de apoyos, que en el caso del presente proyecto será IDEMEXSA.

Hay dos criterios a tener en cuenta para la elección de los apoyos. Para cada uno de estos criterios hay una serie de pasos que se han de seguir.

- **Esfuerzos**

1. Se ha de calcular el cociente entre el esfuerzo horizontal de la fase y el esfuerzo horizontal en la cúpula. Este cociente se dividirá entre 2 al tratarse de un circuito simple.
2. Con el valor obtenido en el paso anterior se ha de entrar en la gráfica correspondiente según el catálogo, y obtener el valor e .
3. Cálculo del esfuerzo útil como:

$$Esfuerzo_{util} = \frac{3 \cdot Esfuerzo_{fase} + Esfuerzo_{cúpula}}{e}$$

4. Elección de un apoyo capaz de soportar el esfuerzo útil obtenido.

- **Par Torsor**

1. El par torsor se obtiene como el producto de la fuerza por la longitud de la cruceta.
2. Se calcula el valor del esfuerzo total aplicado como la suma de las fuerzas longitudinales y transversales aplicadas sobre la cruceta y sobre la cúpula.
3. Se calcula el esfuerzo útil, distinto que el esfuerzo total.
4. Con los valores obtenidos, se entra en la tabla adecuada con el par torsor y esfuerzo útil, de tal manera que el punto obtenido quede por debajo de la línea de la gráfica para que el apoyo soporte los esfuerzos.

Se han llevado a cabo los pasos anteriores para cada uno de los apoyos que forman toda la línea y se han decidido emplear las siguientes torres, que se pueden considerar dimensionalmente correctas, para las mantener al distancias al terreno y otros elementos dentro de los límites establecidos por el RLAT así como soportar los esfuerzos a los que se van a ver sometidos.

Nº de Apoyo	Tipo	Modelo	Designación	Altura Fuste
1	Final de línea	Condor	CO-27000-S4C	12
2	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-21-S4C	21
3	Suspensión en Alineación	Condor	CO-5000-24-S4C	24
4	Amarre en Ángulo	Gran Condor	GCO-40000-27-S4C	30
5	Suspensión en Alineación	Condor	CO-5000-24-S4C	24
6	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-31-S4C	33
7	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-18-S4C	18
8	Suspensión en Alineación	Condor	CO-5000-21-S4C	21
9	Amarre en Ángulo	Condor	CO-7000-30-S4C	30
10	Suspensión en Alineación	Condor	CO-9000-33-S4C	33
11	Suspensión en Alineación	Condor	CO-12000-33-S4C	33
12	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-33-S4C	33
13	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-30-S4C	30
14	Amarre en Ángulo	Condor	CO-9000-33-S4C	33
15	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-30-S4C	30
16	Amarre en Ángulo	Gran Condor	GCO-40000-40-S4C	40
17	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-30-S4C	30
18	Amarre en Ángulo	Condor	CO-18000-33-S4C	33
19	Suspensión en Alineación	Gran Condor	GCO-40000-40-S4C	40
20	Suspensión en Alineación	Condor	CO-9000-33-S4C	33
21	Amarre en Ángulo	Gran Condor	GCO-40000-40-S4C	40
22	Suspensión en Alineación	Condor	CO-9000-24-S4C	24
23	Suspensión en Alineación	Gran Condor	GCO-40000-40-S4C	40
24	Suspensión en Alineación	Condor	CO-7000-27-S4C	27
25	Final de línea	Condor	CO-27000-S4C	33

Tabla 64. Modelo y designación de las torres empleadas en la línea

3.4. Cimentaciones

Para que el cálculo de las cimentaciones cumpla con la normativa, se llevarán a cabo en función de lo establecido en la ITC-LAT 07. Según el apartado 3.6.1 de dicha ITC, se estipula que si las cimentaciones están formadas por macizos independientes para cada pata (como es el caso del presente proyecto), estas deberán ser diseñadas para absorber las cargas de compresión y arranque que el apoyo transmite al suelo. El cálculo de dichas cargas estará basado en el método del talud natural o ángulo de arrastre de tierras. También deberá ser comprobada la adherencia entre el anclaje y la cimentación de cada pata del apoyo.

Para comprobar que los cálculos son acertados, se deberá comprobar que el coeficiente de seguridad de vuelco no será inferior de 1,5 en hipótesis normales, o de 1,2 para hipótesis anormales. Esto se calculará como el cociente entre el momento estabilizador mínimo respecto a la arista más cargada y el momento volcador máximo motivado por fuerzas externas.

3.4.1. *Comprobación del Arranque*

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

- Peso del apoyo
- Peso propio de la cimentación
- Peso de las tierras que arrastraría el macizo de hormigón al ser arrancado
- Carga resistente de los pernos, en el caso de realizarse cimentaciones mixtas o en roca

La última de las fuerzas, la de los pernos no se considerará pues el terreno no precisa de ese tipo de cimentaciones. Con esto el esfuerzo estabilizador queda:

$$P_e = P_a + P_h + P_t \quad (66)$$

Donde,

- P_a : ¼ del peso del apoyo, pues son cimentaciones individuales [daN]
- P_h : Peso del hormigón [daN]
- P_t : Peso de las tierras desplazadas [daN]

El peso del hormigón se obtiene a través del volumen que facilita el fabricante, en nuestro caso IDEMEXSA y el peso específico conocido del hormigón. Como cimentaciones se emplearán macizos de forma prismática con base cuadrada, por lo que el peso del hormigón se podrá calcular de la siguiente manera.

$$P_h = \delta a^2 h \quad (67)$$

Donde,

- P_h : Peso del hormigón [daN]
- a : Lado de la base de la cimentación [m]
- h : Profundidad de la cimentación [m]
- δ : Peso específico del hormigón [daN/m³]

Para calcular el peso de las tierras arrancadas (P_t) se tomará el peso del volumen de una pirámide truncada invertida de tierra, descontando el volumen de hormigón y el de interferencia de tierras, quedando de la siguiente manera.

$$P_t = \delta_t \left(\frac{h}{3} \cdot (b_1 + b_2 + \sqrt{b_1 b_2}) - a^2 h - V_{interferencia} \right) \quad (68)$$

$$b_1 = a^2$$

$$b_2 = (a + 2h \cdot \tan \beta)^2$$

Donde,

- P_t : Peso de las tierras arrancadas [daN]
- a : Lado de la base de la cimentación [m]
- b_1 : Área de la base inferior de la pirámide truncada [m²]
- b_2 : Área de la base superior de la pirámide truncada [m²]
- h : Profundidad de la cimentación [m]
- $V_{interferencia}$: Volumen de interferencia de las tierras [m³]
- δ_t : Peso específico del terreno [daN/m³]
- β : Ángulo de arranque del terreno [°]

El volumen de interferencia de las tierras se obtiene de la siguiente manera:

$$V_{interferencia} = (0,5 \cdot t \cdot b(L - 2b)) + (0,66 \cdot t \cdot b^2) \quad (69)$$

$$L = a + 2h \cdot \tan \beta$$

$$b = 0,5(L - D)$$

Donde,

- $V_{interferencia}$: Volumen de interferencia de las tierras [m³]
- a : Lado de la base de la cimentación [m]
- h : Profundidad de la cimentación [m]
- D : Distancia entre eje de macizos [m]
- t : Altura del prisma triangular [m]
- β : Ángulo de arranque del terreno [°]

A partir del esfuerzo estabilizador calculado, se ha de comprobar que el coeficiente de seguridad se ajusta a lo estipulado en el RLAT. Dicho coeficiente de seguridad se calcula de la siguiente manera.

$$C_s = \frac{P_e}{P_{arr}} \quad (70)$$

Donde,

- C_s : Coeficiente de seguridad
- P_e : Esfuerzo estabilizador [daN]
- P_{arr} : Esfuerzo de arranque [daN]

3.4.2. Comprobación de la Compresión

Para la comprobación de la compresión de las cimentaciones, se ha recurrido al apartado 3.6.3 de la ITC-LAT 07 del reglamento, en el que se define que se han de tener en cuenta las siguientes cargas.

- Peso del macizo de hormigón
- Un cuarto del peso del apoyo
- Peso de las tierra que actúan sobre la solera de la cimentación

Las tensiones transmitidas al terreno deberán ser siempre menores que las admisibles del mismo ($\sigma_{adm} \geq \sigma_c$), calculándose dichas tensiones transmitidas de la siguiente manera:

$$\sigma_c = \frac{C + \frac{P_a}{4} + P_h}{S} \quad (71)$$

Donde,

- σ_c : Tensiones transmitidas al terreno por el apoyo [daN/cm²]
- C : Compresión máxima del montaje [daN]
- P_a : Peso del apoyo [daN]
- P_h : Peso del hormigón [daN]
- S : Superficie de la base del macizo de hormigón [cm²]

3.4.3. Comprobación de la adherencia entre el anclaje y la cimentación

Para realizar esta comprobación se deberá demostrar que la mayor carga que el anclaje transmite a la cimentación es absorbida en su mitad por la adherencia cimentación-anclaje. La otra mitad será absorbida a través de los casquillos de anclaje por la cortadura de los tornillos de unión. Se deberá cumplir con un factor de seguridad de 1,5 según indica la siguiente expresión.

$$A \cdot \sigma_{acero-hormigón} \geq 1,5 \frac{C}{2} \quad (72)$$

Donde,

- A : Área embebida en el hormigón [cm²]
- C : Compresión máxima por montante [daN]
- $\sigma_{acero-hormigón}$: Adherencia entre el acero y el hormigón [daN/cm²]

Se ha de comprobar la cortadura de los tornillos de unión de las zapatas-anclaje mediante la siguiente expresión:

$$n \cdot C_{tornillo} \geq 1,5 \frac{C}{2} \quad (73)$$

Donde,

- n : Número de tornillos
- C : Compresión máxima por montante [daN]
- $C_{tornillo}$: Carga crítica a cortadura simple de los tornillos[daN]

Esta comprobación la debe realizar el fabricante (IDMEXSA), pues será él, el que proporcione los materiales necesarios para el montaje de los apoyos, entre los que se encontrarán los tornillos que deberán cumplir este criterio.

3.4.4. Cimentaciones empleadas

Con todas las comprobaciones anteriores realizadas, las cimentaciones que se han empleado se muestran en este apartado. Según la información que nos proporciona el fabricante para las cimentaciones que se emplearán para los apoyos escogidos tendrán el siguiente diseño, sobre el que habrá que ir definiendo las distintas medidas para cumplir con las comprobaciones explicadas previamente.

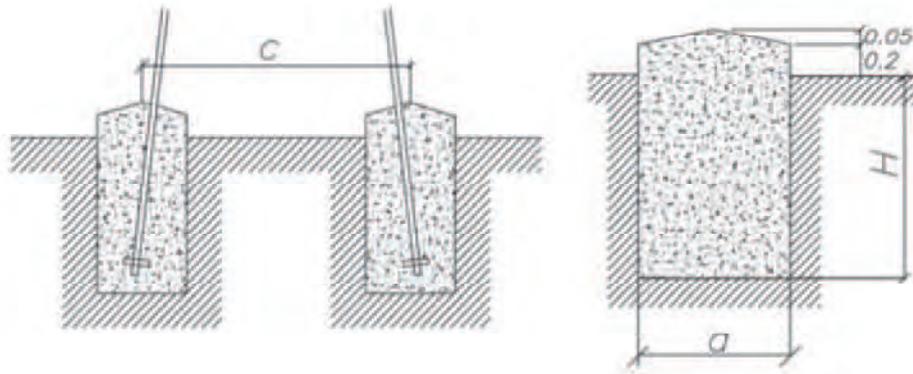


Figura 22. Diseño de las cimentaciones empleadas según el catálogo de IDEMEXSA

Nº de Apoyo	Tipo	Designación	a [m]	c [m]	H [m]	V [m ³]
1	Final de línea	CO-27000-12-S4C	1,80	3,80	3,45	11,18
2	Suspensión en Alineación	CO-7000-21-S4C	1,15	4,60	2,65	3,50
3	Suspensión en Alineación	CO-5000-24-S4C	1,00	5,00	2,40	2,40
4	Amarre en Ángulo	GCO-40000-30-S4C	2,20	8,32	3,70	17,91
5	Suspensión en Alineación	CO-5000-24-S4C	1,00	5,00	2,40	2,40
6	Suspensión en Alineación	CO-7000-33-S4C	1,20	6,50	2,75	3,95
7	Suspensión en Alineación	CO-7000-18-S4C	1,10	4,15	2,65	3,21
8	Suspensión en Alineación	CO-5000-21-S4C	0,95	4,60	2,40	2,17
9	Amarre en Ángulo	CO-7000-30-S4C	1,20	6,00	2,70	3,89
10	Suspensión en Alineación	CO-9000-33-S4C	1,20	7,40	2,65	3,81
11	Suspensión en Alineación	CO-12000-33-S4C	1,40	7,40	2,90	5,69
12	Suspensión en Alineación	CO-7000-33-S4C	1,20	6,50	2,75	3,95
13	Suspensión en Alineación	CO-7000-30-S4C	1,20	6,00	2,70	3,89
14	Amarre en Ángulo	CO-9000-33-S4C	1,20	7,40	2,65	3,81
15	Suspensión en Alineación	CO-7000-30-S4C	1,20	6,00	2,70	3,89
16	Amarre en Ángulo	GCO-40000-40-S4C	2,25	10,39	3,70	18,73
17	Suspensión en Alineación	CO-7000-30-S4C	1,20	6,00	2,70	3,89
18	Amarre en Ángulo	CO-18000-33-S4C	1,65	7,40	3,25	8,85
19	Suspensión en Alineación	GCO-40000-40-S4C	2,25	10,39	3,70	18,73
20	Suspensión en Alineación	CO-9000-33-S4C	1,20	7,40	2,65	3,81
21	Amarre en Ángulo	GCO-40000-40-S4C	2,25	10,39	3,70	18,73
22	Suspensión en Alineación	CO-9000-24-S4C	1,20	5,92	2,60	3,74
23	Suspensión en Alineación	GCO-40000-40-S4C	2,25	10,39	3,70	18,73
24	Suspensión en Alineación	CO-7000-27-S4C	1,15	5,50	2,75	3,64
25	Final de línea	CO-27000-33-S4C	2,00	7,40	3,60	14,40

Tabla 65. Tipo de cimentación empleada por apoyo

Las cimentaciones mostradas en la tabla anterior, se han calculando bajo la premisa de que se trata de un terreno *medio normal* donde, $\alpha=30^\circ$ y $\sigma=3$ [daN/cm²]. Con estos parámetros se establecen unas medidas de las cimentaciones determinadas por parte del fabricante para cada una de las alturas de fuste y esfuerzo que soportará cada estructura.

3.5. Puestas a Tierra

Para el cálculo de las puestas a tierra y teniendo en cuenta lo especificado en el RLAT se han de distinguir dos tipos de apoyos, los apoyos frecuentados y los no frecuentados. En función de si un apoyo corresponde a una u otra denominación, se procederá de una u otra manera a realizar el cálculo.

A continuación se describen los elementos que forman parte de las puestas a tierra.

3.5.1. Elementos del sistema de tierras

3.5.1.1. Electrodo de puesta a tierra

El electrodo de puesta a tierra es el elemento físico que disipa la corriente en el terreno, y como ya se ha indicado previamente, dependerá del tipo de apoyo.

Apoyo Frecuentado. En los apoyos frecuentados, el electrodo de puesta a tierra consistirá en un anillo difusor de cobre desnudo de sección 50mm² dispuesto de manera horizontal, alrededor de cada una de las patas del apoyo.

Apoyo no Frecuentado. En los apoyos no frecuentados, se emplearán como electrodos de puesta a tierra, cuatro picas de 2m de longitud y 14mm de diámetro, dispuestas una por cada una de las patas del apoyo.

3.5.1.2. Línea de tierra

La línea de tierra estará formada por dos cables de acero galvanizado de 50mm² sección que se dispondrán en las patas del apoyo, enfrentados, es decir se dispondrá de cuatro líneas de tierra por apoyo.

En el caso de apoyos, en el que se realicen pasos de aéreo a subterráneo, la línea de tierra será de cobre desnudo con una sección de 95mm².

Las líneas de tierra se emplean como la conexión directa entre el apoyo y los electrodos de puesta a tierra, y es por ellas por las que circula toda la corriente de falta.

3.5.2. *Dimensionado de la puesta a tierra*

Como se indica en el apartado 7.1 Generalidades, de la ITC-LAT 07 del RLAT, el diseño del sistema de puesta a tierra debe de cumplir cuatro requisitos.

- a) Que resista los esfuerzos mecánicos y la corrosión
- b) Que resista, desde el punto de vista térmico, la corriente de falta más elevada determinada en el cálculo
- c) Garantizar la seguridad de las personas con respecto a las tensiones que aparezcan durante una falta a tierra en los sistemas de puestas a tierra
- d) Proteger de daños a propiedades o equipos y garantizar la fiabilidad de la línea

3.5.2.1. *Dimensionamiento respecto a la resistencia térmica*

Las líneas de tierra deben soportar la corriente de falta en su totalidad, a pesar de que en el diseño se haya dispuesto más de una, pues es el elemento físico que deriva la corriente a tierra. Por otro lado los electrodos pueden ser dimensionados de tal manera que solo una fracción de la corriente circula por ellos, debido a que una vez llega a este punto, la corriente se distribuye entre todos los electrodos.

3.5.2.2. *Dimensionamiento respecto a la seguridad de las personas*

Es uno de los aspectos más importantes de las puestas a tierra debido a que la seguridad de las personas es fundamental en cualquier proyecto eléctrico. Es por esta razón que se dimensionará la puesta a tierra de tal manera que la tensión de puesta a tierra sea menor que dos veces la tensión de contacto admisible de la instalación.

3.5.2.3. Dimensionamiento respecto a la protección frente a impulsos tipo rayo

Este dimensionamiento se llevará a cabo tan solo en los apoyos considerados como “frecuentados”. El objetivo es dimensionar la puesta a tierra de tal manera que la impedancia de la onda de pica se parezca en todo lo posible a la resistencia, situación que ocurre cuando la longitud de las picas supera la longitud crítica. Por ello se puede optar por emplear un mayor número de picas con una longitud menor.

3.5.3. Resumen de la instalación de tierras

En la siguiente tabla se muestra un resumen del tipo de apoyo, su clasificación según lo indicado en el RLAT y el sistema de tierras que se va a emplear.

Nº de Apoyo	Tipo	Clasificación	Sistema de Tierras
1	Final de línea	Frecuentado	4 anillos
2	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
3	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
4	Amarre en Ángulo	No Frecuentado	4 picas
5	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
6	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
7	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
8	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
9	Amarre en Ángulo	No Frecuentado	4 picas
10	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
11	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
12	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas

Nº de Apoyo	Tipo	Clasificación	Sistema de Tierras
13	Suspensión en Alineación	No Frecuentado	4 picas
14	Amarre en Ángulo	Frecuentado	4 anillos
15	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
16	Amarre en Ángulo	Frecuentado	4 anillos
17	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
18	Amarre en Ángulo	Frecuentado	4 anillos
19	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
20	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
21	Amarre en Ángulo	Frecuentado	4 anillos
22	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
23	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
24	Suspensión en Alineación	Frecuentado	4 anillos
25	Final de línea	Frecuentado	4 anillos

Tabla 66. Sistema de tierras de los apoyos

3.6. Cadena de Aisladores

La cadena de aisladores es el elemento que aporta la separación necesaria entre la línea en tensión y las torres a potencial de tierra, evitando que se produzcan descargas eléctricas entre ambos. A parte de lo ya mencionado, sirven de elemento de sujeción del cable al apoyo.

Los aisladores deben ser diseñados, seleccionados y ensayados para que cumplan los requisitos eléctricos y mecánicos determinados en los parámetros de diseño de las líneas aéreas.

3.6.1. Cálculos Eléctricos

El aislamiento de una cadena de aisladores, viene determinado por la *línea de fuga* de la misma. Se considera línea de fuga de un aislador al recorrido más corto, por la superficie de la cadena, que debería recorrer un electrón desde el conductor en tensión hasta el punto de potencial de tierra.

El nivel de aislamiento de la cadena de aisladores depende en gran medida del nivel de contaminación ambiental que haya en la zona, es por ello que según se indica el apartado 4.4 de

la ITC-LA 07 del Reglamento, se han de considerar cuatro niveles de contaminación, con cuatro líneas de fugas mínimas respectivamente, que han de mantenerse.

Por las características de la zona en la que se va a instalar la línea, se puede considerar que esta estará afectada bajo un nivel de contaminación II (Medio), con lo que acorde con las tablas del RLAT le corresponde una Línea de Fuga Específica Nominal Mínima de 20mm/kV. Por ello la línea de fuga mínima que se deberá mantener vendrá dada por la siguiente expresión:

$$L_{fuga_{min}} = U_s \cdot l_{min} \quad (74)$$

Donde,

- $L_{fuga_{min}}$: Línea de fuga mínima que se deberá de cumplir para evitar descargas [mm]
- U_s : Tensión más elevada del sistema [kV]
- l_{min} : Línea de fuga mínima específica establecida por el reglamento en función del nivel de contaminación [mm/kV]

Con todo esto, la línea de fuga en nuestro diseño será de:

$$L_{fuga_{min}} = 245 \cdot 20 = \mathbf{4900mm}$$

3.6.2. Cálculos Mecánicos

La cadena de aisladores se encarga de la unión física del conductor a la torre, por ello debe estar dimensionada de tal manera que soporte el peso del conductor bajo cualquier condición de trabajo, es por ello que se dimensionará con la tracción de la hipótesis más desfavorable, que en nuestro caso se tratará de la hipótesis de hielo más viento.

Para el cálculo mecánico de la cadena de aisladores, se ha de aplicar un factor de seguridad a la cadena de 3, según lo indicado en el apartado 3.4 de la ITC-LA 07 del Reglamento de Líneas de Alta tensión. Este factor de seguridad implica que la cadena de aisladores tendrá una carga de rotura 3 veces superior a la carga máxima esperada. Dicha carga de rotura en cualquier situación deberá ser siempre superior a la carga de rotura del conductor.

Para la línea que se está diseñando, la carga de rotura del conductor es de 123,75kN. Debido a que a la hora de realizar el tendido ya se ha aplicado un factor de seguridad de 3,5, la máxima tracción que se espera obtener es de 35,35kN. Si aplicamos el coeficiente de seguridad

indicado en el reglamento, la tensión que debe ser capaz de soportar la cadena de aisladores será como mínimo de 106,05kN.

La cadena de aisladores puede ser simple (una única cadena) o múltiple (varias cadenas). El Reglamento estipula que la resistencia mecánica correspondiente a una cadena múltiple, puede tomarse igual al producto del número de cadenas que la formen por la resistencia de cada cadena simple, siempre que, tanto en estado normal como con alguna cadena rota, la carga se reparta de por igual entre todas las cadenas intactas. Es importante tener esto a la hora de elegir que cadena se empleará.

Para el cálculo mecánico de los aisladores, se han de distinguir aquellos destinados a apoyos en suspensión y en amarre, debido a que las tensiones que deberán soportar cada uno de ellos son distintas.

3.6.2.1. Cálculo cadena de suspensión

Para cadenas en suspensión, la tracción que debe soportar la cadena de aisladores, es la tracción vertical debida al peso del cable y una pequeña tracción horizontal debida a desviaciones de la cadena provocadas por el efecto del viento o pequeños desequilibrios. La carga de rotura de los aisladores destinados a cadenas de suspensión se calculará de la siguiente manera:

$$Carga\ rotura\ asilador\ [kN] = \frac{n \cdot a \cdot p \cdot CS}{100} \quad (75)$$

Donde,

- n : Número de subconductores
- a : Mayor de los vanos en [m]
- p : Resultante mayor [daN/m]
- CS : Coeficiente de Seguridad del aislamiento (según el RLAT)

$$Carga\ rotura\ asilador = \frac{2 \cdot 774 \cdot 2.54 \cdot 3}{100} = 117.95\ kN$$

3.6.2.2. Cálculo cadena de amarre

Para cadenas de amarre, la tracción a la que se ven sometidas las cadenas es la tracción horizontal a la que se tiende el cable sumado a la tracción vertical provocada por el peso del cable. Es por esto, que la tracción a la que se ven sometidas las cadenas de amarre es superior a las de suspensión y requieren un dimensionado distinto.

La carga mínima de rotura que debe tener el aislador de amarre se calculará de la siguiente manera.

$$\frac{\text{Carga rotura asilador LA} - 445}{2.75} < \frac{\text{Carga rotura asilador}}{3} \quad (76)$$

$$\text{Carga rotura asilador} = \frac{123.75 \cdot 3}{2.75} = 135 \text{ kN}$$

3.6.3. Elección de la Cadena de Aisladores

Para la elección de la cadena de aisladores es importante tener bien en cuenta los cálculos tanto eléctricos como mecánicos que se han realizado en los apartados anteriores. Se debe prestar atención al diseño de los mismos (la línea de fuga varía de unos a otros), el número total de aisladores que se emplean, la tensión que es capaz de soportar cada aislador, así como la decisión de emplear una cadena simple o múltiple.

3.6.3.1. Elección del Aislador

Para la elección del aislador se ha empleado el catálogo de “Aisladores de Vidrio” de La Granja. El aislador que se ha elegido y sus características se muestran a continuación.

Aislador	
Modelo	E-160-146
Carga de Rotura [kN]	160
Paso [mm]	146
Diámetro [mm]	280

Línea de Fuga [mm]	380
Masa [kg]	6.3

Tabla 67. Características aislador E-160-146 catálogo de la Granja

Para la elección de este aislador se ha querido tener en cuenta los efectos de la contaminación de nivel medio que nos encontraremos en la localización de la línea, pero la máxima carga de rotura que son capaces de soportar son inferior a la cargas que se esperan en la línea. Es por esta razón que se ha empleado un modelo que no reduce los efectos de la contaminación pero si soporta las cargas mecánicas que nos encontraremos, se trata del modelo E-160-146 cuya carga de rotura es de 160kN, modelo inmediatamente superior a los 135kN que ha de resistir función de los cálculos mecánicos ya calculado.

3.6.3.2. Número de aisladores

Conocido el aislador que se empleará y la línea de fuga mínima que se ha de cumplir se decide el número de aisladores con la siguiente ecuación.

$$N^{\circ}_{\text{aisladores}} = \frac{L_{\text{fuga}_{\text{min}}}}{l_{\text{fuga}_{\text{aislador}}}} \quad (77)$$

Donde,

- $N^{\circ}_{\text{aisladores}}$: Número de aisladores por cadena
- $L_{\text{fuga}_{\text{min}}}$: Línea de fuga mínima función del nivel de contaminación y tensión de servicio [mm]
- $l_{\text{fuga}_{\text{aislador}}}$: Línea de fuga del aislador que se va a emplear [mm]

Se obtiene que el número de aisladores sea el siguiente.

$$N^{\circ}_{\text{aisladores}} = \frac{4900}{380} = \mathbf{12.89 \text{ aisladores}}$$

Se deberán emplear 13 aisladores ya que 12,89 es el valor mínimo para cumplir con las especificaciones. A continuación se debe comprobar que se cumplen los niveles de aislamiento.

Hay que tener en cuenta los requerimientos de aislamiento frente a impulsos tipo rayo 1050kV y frente a sobretensiones de frecuencia industrial de corta duración de 460kV.

N° de Aisladores	Tipo de Ensayo		
	A	B	C
13	675	490	1085
14	720	525	1160

Tabla 68. Niveles de aislamiento según la norma CEI-383 para dimensiones de aisladores $\phi \times P$ (280x146 mm)

Donde,

- A : Tensión soportada a frecuencia industrial en seco [kV]
- B : Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia [kV]
- C : Tensión soportada frente a impulso tipo rayo [kV]

Con estos valores se comprueba que con **13 aisladores** se cumple el nivel de aislamiento frente a defecto a frecuencia industrial (tipo B). Por lo que la cadena quedará definida por 13 aisladores modelo E-160-146.

3.7. Herrajes

La elección de los herrajes han de ser dimensionados en función de las características de la línea, de tal forma que soporten las tracciones o tensiones eléctricas de la misma, evitando así posibles averías que inutilicen el correcto funcionamiento de la línea. Se han dimensionado con un coeficiente de seguridad de 3.

Como fabricante se ha escogido a MADE, que dispone de una gran variedad de opciones entre las que conseguir un mejor y más ajustado dimensionado.

En el caso de la línea que se está diseñando, la máxima tensión que se va a obtener se corresponde con la hipótesis de hielo más viento, en la que la carga que se esperaría obtener son las mismas que las calculadas en el apartado de cálculo de aislamientos. Esta tensión con el coeficiente de seguridad ya incluido será de 117.95 kN.

Para el cable de guarda, la máxima tensión, se obtiene para la hipótesis de viento, para la cual la tracción final aplicando los factores de seguridad será de 61 kN, y este valor será el

que se tome para dimensionar los herrajes necesarios para la instalación de dicho cable de guarda.

Los herrajes elegidos se mostrarán en forma de planos en la sección de planos, en el que se especificará más detalladamente su diseño.

3.7.1. Cadena de suspensión para conductor

Según lo mostrado en los planos

3.7.2. Cadena de suspensión para el cable de guarda

Según lo mostrado en los planos

3.7.3. Cadena de amarre para conductor

Según lo mostrado en los planos

3.7.4. Cadena de amarre para cable de guarda

Según lo mostrado en los planos

3.7.5. Separadores

Los separadores son una serie de elementos que mantienen la distancia constante entre los subconductores de una línea. En el caso del presente proyecto, se trata de un simple circuito dúplex, por lo que será preciso escoger un separador dúplex. De los disponibles en el catálogo de Herrajes de Made, se ha tomado el siguiente en función de las características de la línea.

Separador Dúplex					
Modelo	Ø Conductor		A [mm]	Par de Apriete [Nm]	Peso [kg]
	Min	Máx.			
E42428	24,51	28,00	400	50	1,560

Tabla 69. Características separador dúplex E42428 de MADE

3.8. Cálculo de Distancias de Seguridad

En este apartado se calcularán las distancias de seguridad que se deberán tener en cuenta de los elementos en tensión y aquellos puestos a potencial de tierra. Todas estas distancias vienen estipuladas en el RLAT en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 07 en apartado 5 “*Distancias mínimas de seguridad, cruzamientos y paralelismos*”

En líneas eléctricas es importante distinguir entre distancias internas y externas:

- *Distancias Internas.* Son las distancias necesarias únicamente para diseñar una línea con una aceptable capacidad de resistir las sobretensiones.
- *Distancias Externas.* Son las empleadas para determinar las distancias de seguridad entre los conductores en tensión y los objetos debajo o en las proximidades de la línea. El objetivo de estas distancias es evitar el daño producido por la descarga a personal de mantenimiento, público en general o personas que trabajan en las cercanías a la línea.

Es importante definir tres tipos de distancias eléctricas con las cuales se va a trabajar para el diseño de todas las distancias de seguridad que se van a calcular a continuación.

- + **D_{el}** : Distancia de aislamiento en el aire mínima específica, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento o rápido. D_{el} puede ser tanto interna, cuando se considera distancia del conductor a la estructura de la torre, como externa, cuando se considera una distancia del conductor a un obstáculo.
- + **D_{pp}** : Distancia de aislamiento en el aire mínima específica, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. D_{pp} es una distancia interna.
- + **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. Para que exista mayor probabilidad de descarga interna el Reglamento obliga a que se cumpla $D_{add} + D_{el} > 1,1 \cdot a_{som}$, donde D_{add} es una distancia adicional que se añade para evitar que la altura de individuos que pasen por debajo de la línea no haga que este incumpla las distancias mínimas.

Estas distancias vienen determinadas para distintos niveles de tensión en el reglamento, a saber que par una línea de 220kV como la nuestra, estos valores son los siguientes.

Tensión Nominal U_N [kV]	Tensión más Elevada de la red U_S [kV]	D_{el} [m]	D_{pp} [m]
220	245	1,70	2,00

3.8.1. Distancias en el apoyo

Las distancias mínimas de seguridad en el apoyo son distancias internas utilizadas únicamente para diseñar una línea con una aceptable capacidad de resistir las sobretensiones.

3.8.1.1. Distancias entre conductores

La distancia entre los conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuito entre fases, teniendo presente los efectos de las oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de nieve acumulada sobre ellos. Esta distancia queda definida por la siguiente ecuación.

$$D = K\sqrt{F + L} + K'D_{pp} \quad (78)$$

Donde,

- D : Separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos [m]
- K : Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento
- K' : Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea
 - o $K' = 0,85$ para líneas de categoría especial
 - o $K' = 0,75$ para el resto de líneas
- F : Flecha máxima [m]
- L : Longitud de la cadena de suspensión [m]. Para amarres o aisladores rígidos $L=0$
- D_{pp} : distancia mínima aérea específica, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido [m]

Los valores del coeficiente K que depende de la oscilación de los conductores, vienen definidos en el RLAT en función del nivel de tensión y del ángulo de oscilación, en una tabla como la siguiente.

Ángulo de Oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Comprendido entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55

Tabla 71. Valores del coeficiente de oscilación de la cadena K

Como ya se ha indicado el coeficiente de oscilación depende del ángulo de la cadena de aisladores, este ángulo se calcula para una velocidad de viento de 120km/h, como el arco tangente de las fuerzas aplicadas sobre el cable, a saber, la horizontal provocada por la fuerza del viento y la vertical resultado del propio peso del conductor más el manguito de hielo que se puede producir sobre él.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{13,86}{24,68} \right) = 29,32^{\circ}$$

Con este ángulo y los valores de la tabla anterior somos capaces de calcular la distancia entre conductores. La longitud de la cadena, serán los 13 aisladores por la longitud de paso de cada uno de ellos (1898mm) más la longitud del herraje que lo une a la torre.

$$D = 5,45 \text{ m}$$

3.8.1.2. Distancia entre conductores y las partes puestas a tierra

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a D_{el} , con un mínimo de 0,2m.

En el caso de las cadenas de suspensión, se considerarán los conductores y la cadena de aisladores desviados bajo la acción de la mitad de la presión del viento correspondiente a una velocidad de viento de 120km/h y a la temperatura de -10°C para la zona B. De esta manera, el ángulo de desviación será el siguiente.

$$\alpha = 17^{\circ}$$

En el apartado de planos queda comprobado que esta distancia de seguridad se cumple para el ángulo de desviación indicado.

3.8.2. *Distancias al terreno, caminos, sendas y a cursos de agua no navegables*

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha según las hipótesis de temperatura y hielo, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficies de agua no navegables a una altura mínima de,

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el} \quad [m] \quad (79)$$

con un mínimo de 6 metros. No obstante en lugares de difícil acceso las distancias anteriores podrán ser reducidas en un metro.

Se obtiene como resultado de lo anterior una distancia de **7m** para un D_{el} de 1,7m, que se puede comprobar que cumple, en el apartado de planos.

3.8.3. *Distancia a otras líneas eléctricas*

En el RLAT se distingue la distancia entre líneas en cruzamientos y en paralelismos entre líneas. En el diseño de la línea que se ha realizado no han aparecido paralelismos por lo que solo se estudiarán los cruces. En los cruces, la línea aérea de tensión más elevada se situará a mayor altura y en caso de igualdad de tensión, se situará a mayor altura aquella que se cree con posterioridad. Se procurará en la medida de lo posible, que el cruce se efectúe en las proximidades 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 línea superior no deberá ser inferior a lo siguiente.

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \quad [m] \quad (80)$$

con un mínimo de:

- 2 metros para líneas de tensión 45kV
- 3 metros para líneas de tensión superior a 45kV y hasta 66kV
- 4 metros para líneas de tensión superior a 66kV y hasta 132kV
- 5 metros para líneas de tensión superior a 132kV y hasta 220kV

- 7 metros para líneas de tensión superior a 220kV y hasta 400kV

y considerando los conductores de la misma, en su posición de máxima desviación, bajo las condiciones de la hipótesis de viento.

La mínima distancia vertical entre los conductores de fase de ambas líneas en las condiciones más desfavorables, no deberá ser inferior a,

$$D_{add} + D_{pp} \text{ [m]} \tag{81}$$

Los valores de D_{add} en este caso, están definidos para los distintos valores de tensión nominal de la red en el Reglamento. Para una línea de 220kV es igual a 3,5m.

Las distancias de seguridad que se deberán mantener son las siguientes:

- + *Distancia entre conductores de la línea inferior y el apoyo de la línea superior*

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + 1,7 = \mathbf{3,2m}$$

- + *Distancia vertical entre conductores de la línea inferior y la superior*

$$D_{add} + D_{pp} = 3,5 + 2 = \mathbf{5,5m}$$

- + *Distancia entre conductores de fase de la línea superior y el cable de guarda de la línea inferior*

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + 1,7 = \mathbf{3,2m}$$

3.8.4. Distancia a carreteras

Cuando se realice un cruzamiento se ha de dejar una distancia mínima desde la arista exterior de la carretera al apoyo más cercano de 50m en autopistas y de 25m en el resto de carreteras. En el presente proyecto no se ha necesitado cruzar ninguna autopista por lo que la distancia a tener en cuenta será la de 50m, que se puede comprobar su correcto cumplimiento en la sección de los planos. Los cruces se deberán intentar realizar lo más perpendicular posible a la carretera para minimizar la zona de afección de la misma.

La distancia mínima que ha de cumplirse de los conductores sobre el rasante de la carretera será de,

$$D_{add} + D_{el} \text{ [m]} \quad (82)$$

con una distancia mínima de 7m. Los valores de D_{el} son los indicados en apartados anteriores y el de D_{add} será de 7,5m para categorías especiales y 6,3 para el resto de categorías.

La distancia que se deberá de mantener en los cruces con carreteras para la línea en proyección será de,

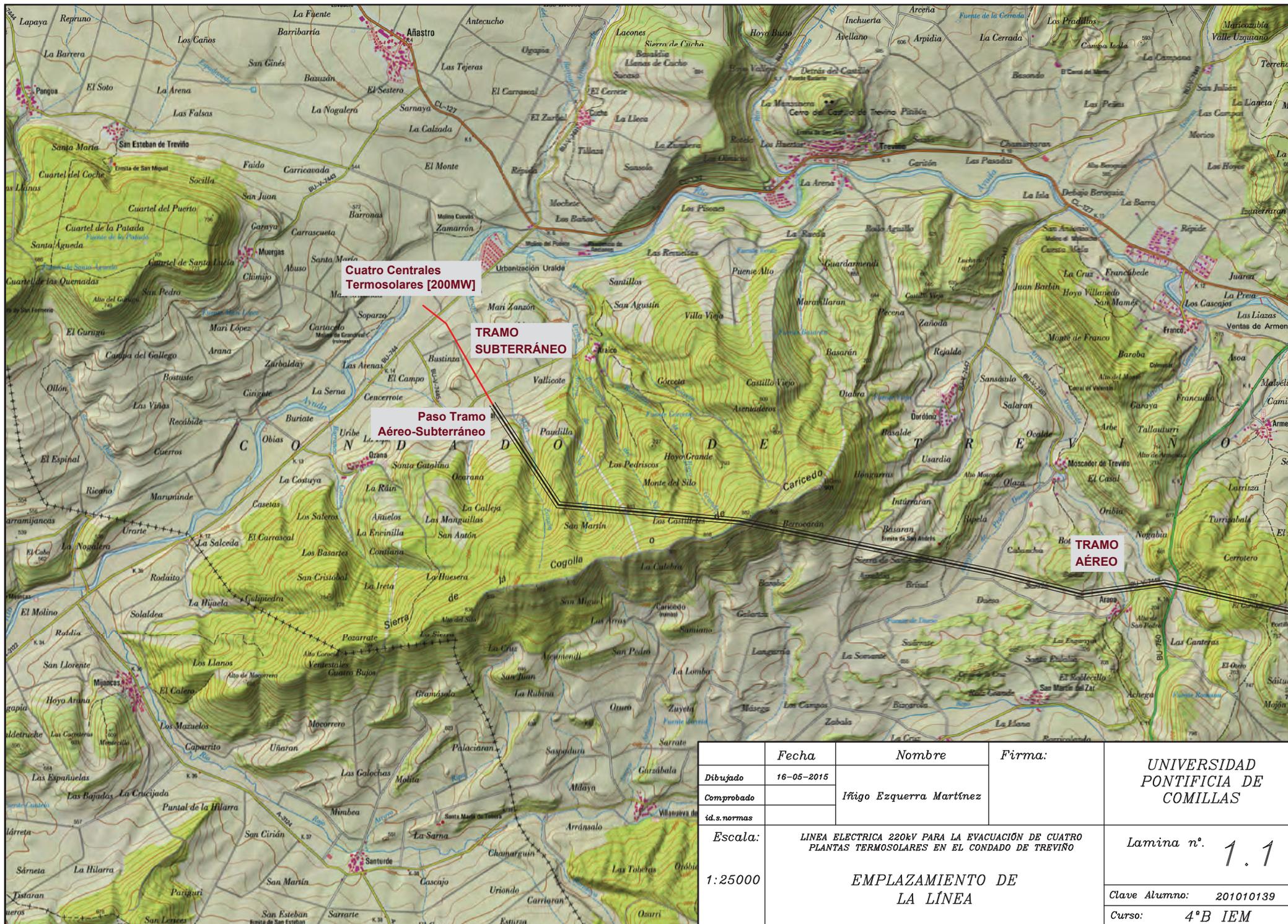
$$D_{add} + D_{el} = 7,5 + 1,7 = \mathbf{9,2m}$$

PARTE II PLANOS

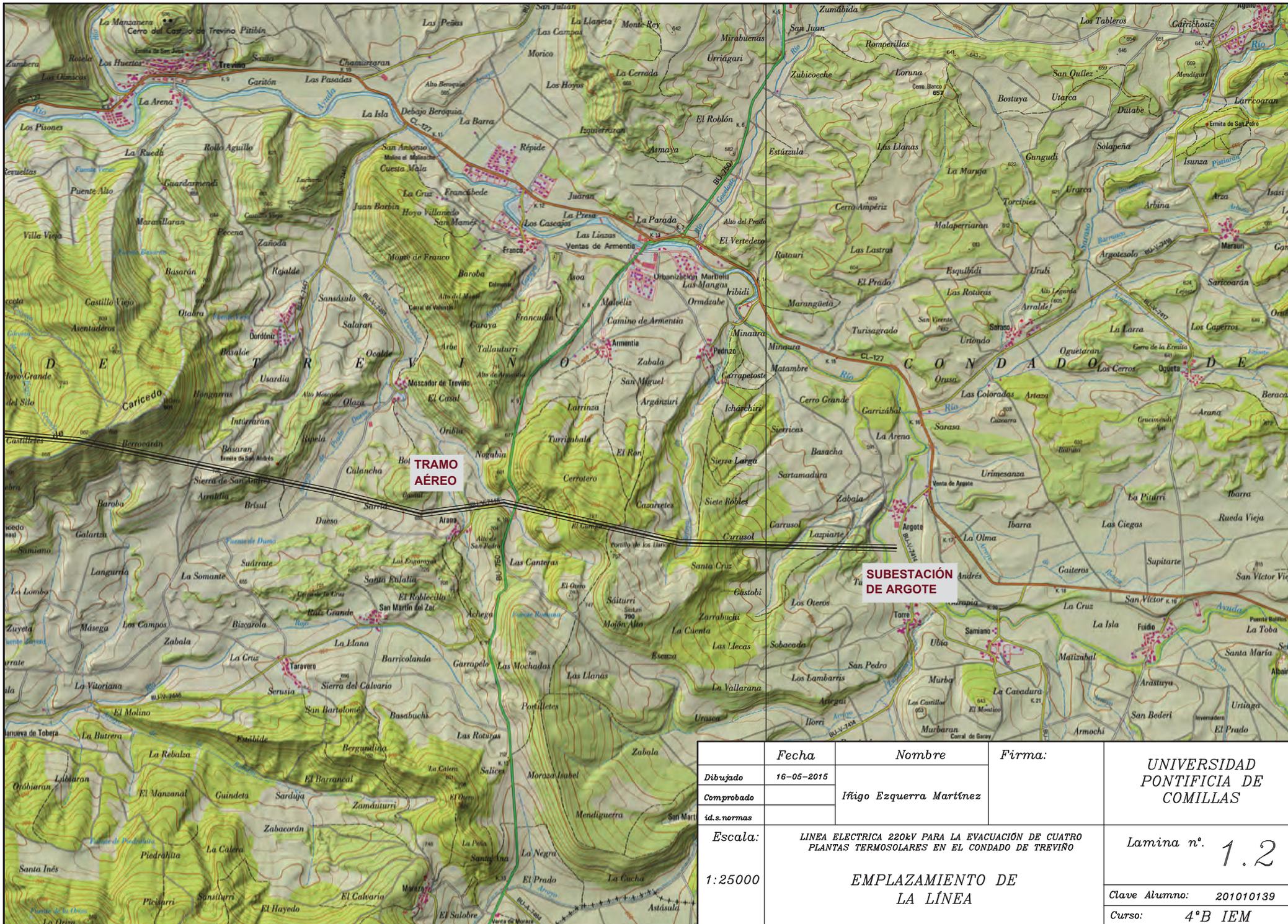
Capítulo 1. Emplazamiento de la Línea

1.1. Tramo Aéreo

1.2. Tramo Subterráneo



	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-05-2015	Iñigo Ezquerro Martínez		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala:	LINEA ELECTRICA 220kV PARA LA EVACUACION DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVINO			Lamina n°. 1.1
1:25000	EMPLAZAMIENTO DE LA LINEA			Clave Alumno: 201010139
				Curso: 4ºB IEM



	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-05-2015	Ifigo Ezquerria Martínez		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala: 1:25000	LÍNEA ELÉCTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMO-SOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO EMPLAZAMIENTO DE LA LÍNEA			Lamina n.º 1.2
				Clave Alumno: 201010139 Curso: 4º B IEM

Capítulo 2. Perfil de la Línea

2.1. Tramo 1

2.2. Tramo 2

2.3. Tramo 3

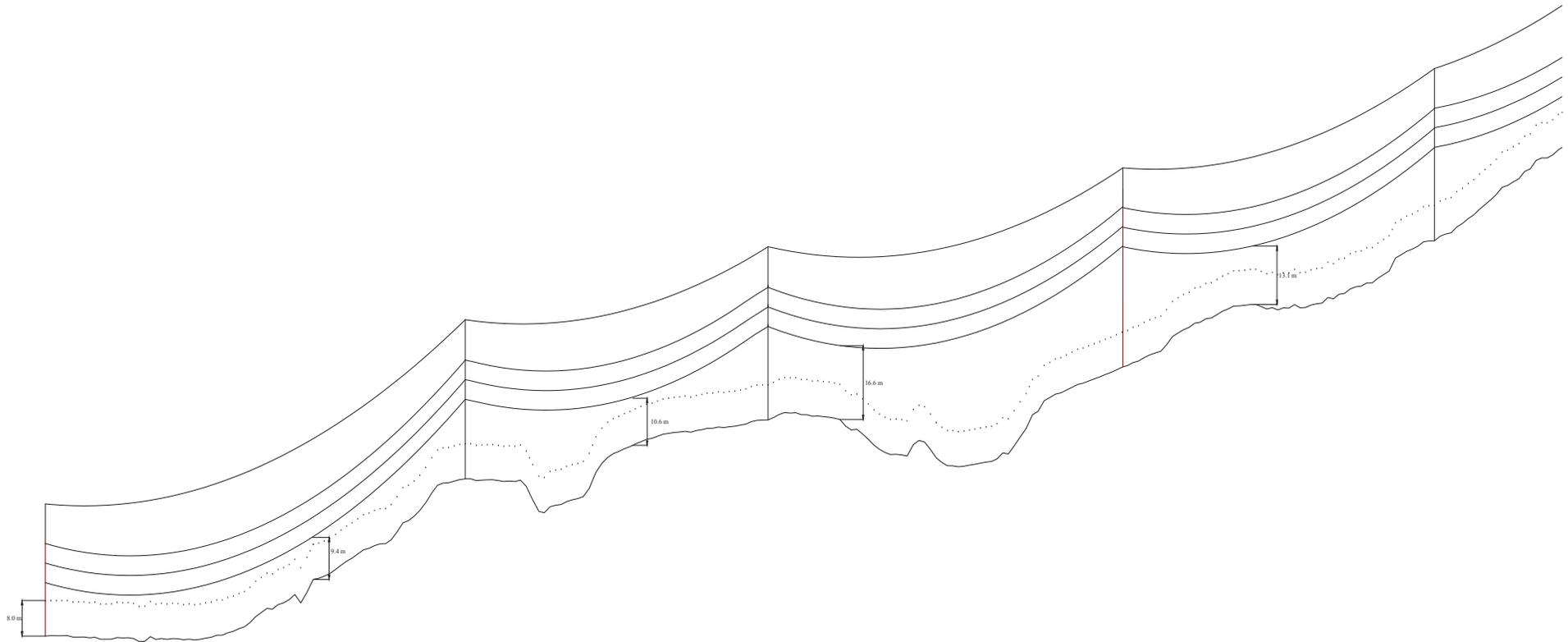
2.4. Tramo 4

2.5. Tramo 5

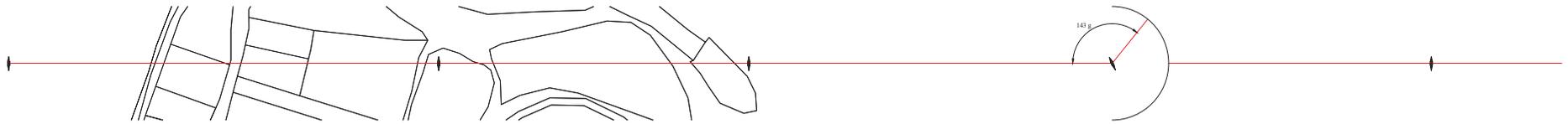
2.6. Tramo 6

2.7. Tramo 7

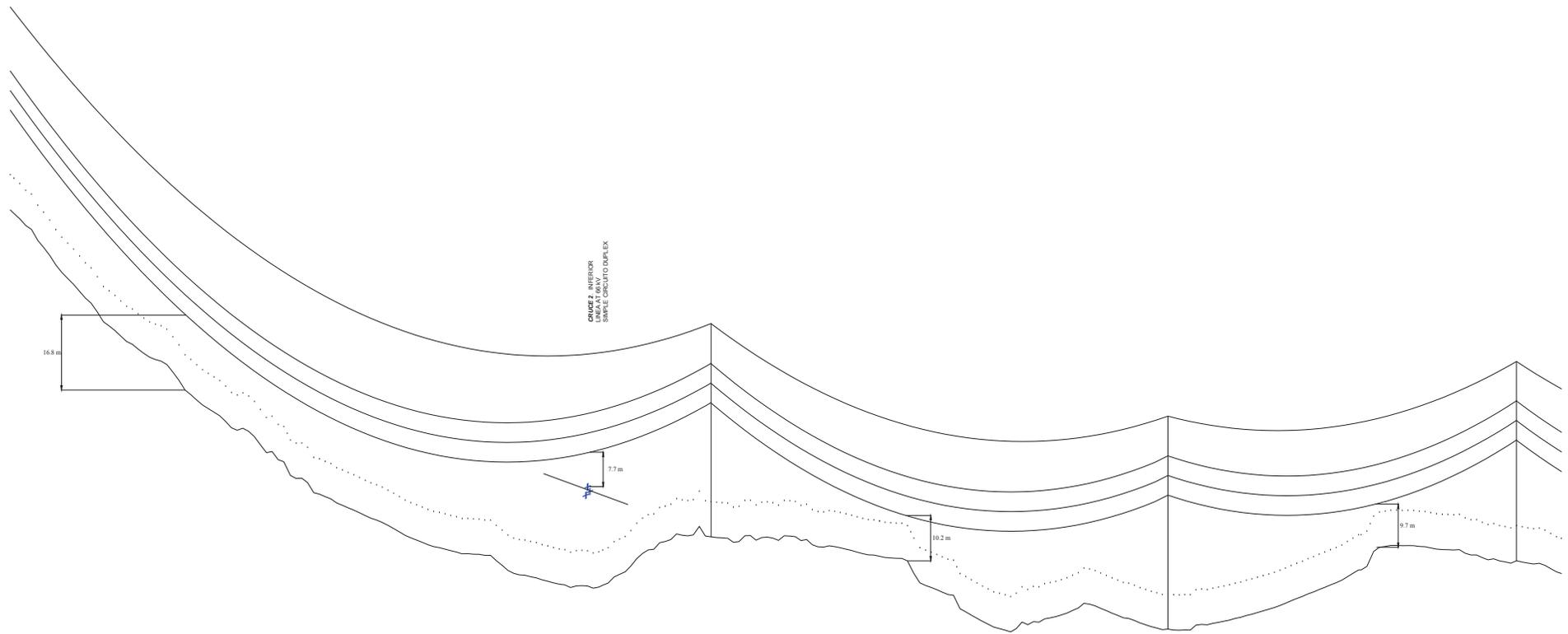
2.8. Tramo 8



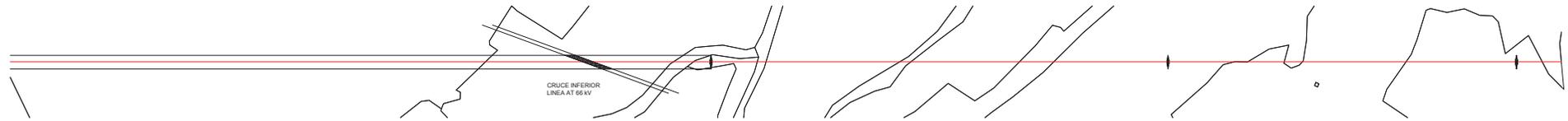
COTAS	571 m	606 m	619 m	631 m	659 m
KILOMETROS	0 m	380.66 m	655.20 m	976.9 m	1259.34 m
TIPO DE APOYO	Apoyo Paso	Apoyo Suspensión en Alisación	Apoyo Suspensión en Alisación	Apoyo Anclaje en Arco	Apoyo Suspensión en Alisación
APOYOS	○	○	○	○	○
VANOS	CO-27000-12-SAC	CO-7000-24-SAC	CO-5000-24-SAC	CO-40000-27-SAC	CO-5000-24-SAC
COORD. UTM ETRS89	517956.34 4727903.58	518136.53 4729009.89	518316.96 4728766.91	518494.97 4728497.26	518776.33 4728472.31
ALINEACIONES	ALINEACION 1: 976.9 m				



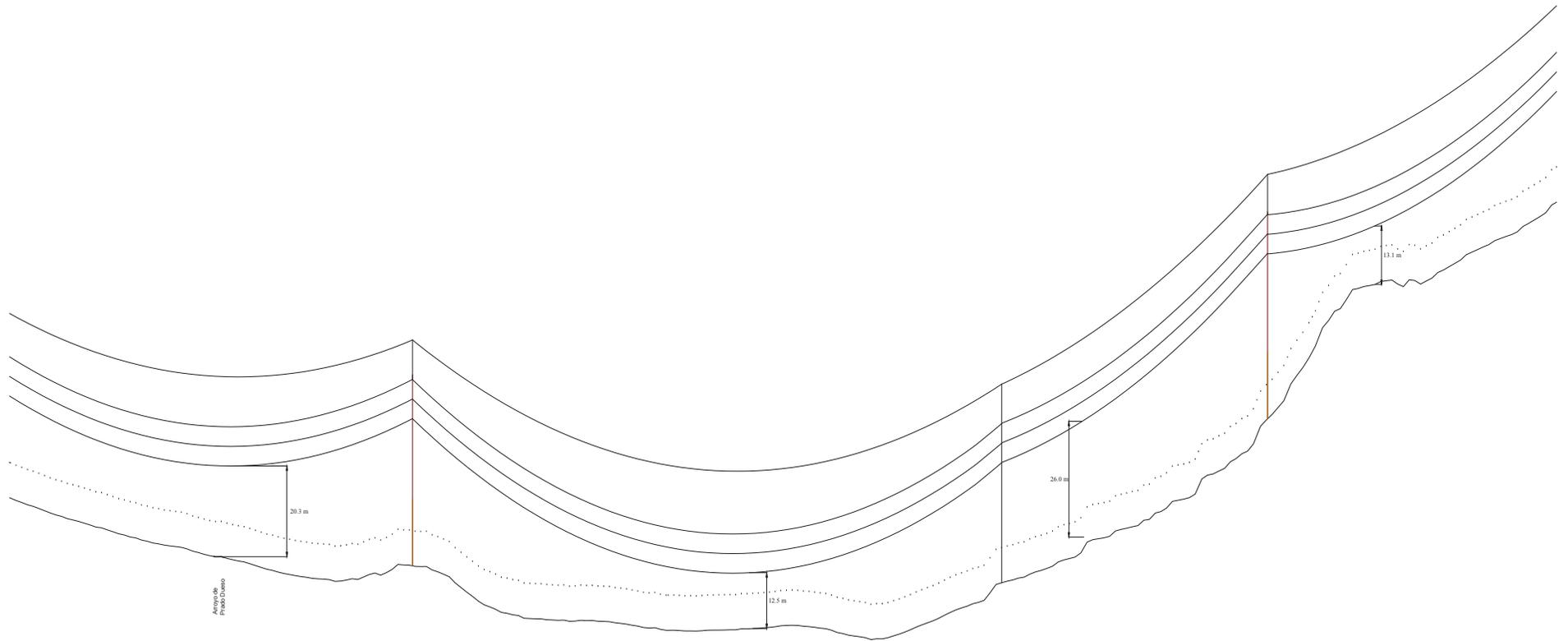
	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-06-2015			
Comprobado		Itigo Esquerro Martínez		
M.A. norma:				
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 220KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRANSFORMADORAS EN EL CONDADO DE TRAYCO			Lamina n°. 2.1
Horizontal	1:500			
Vertical	1:2000			
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			Clave Alumno: 201010139
				Curso: 4ºB IEM



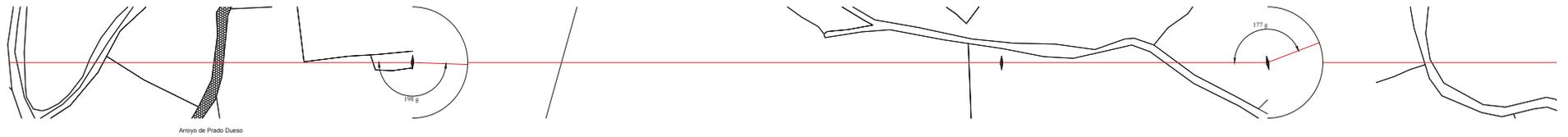
COTAS		654 m		663 m		649 m
KILOMETROS		3409.06 m		3821.84 m		4136.66 m
TIPO DE APOYO		Apoyo Suspensión en Alineación		Apoyo Suspensión en Alineación		Apoyo Suspensión en Alineación
APOYOS		(1)		(2)		(3)
VANOS	773.24 m		412.78 m		314.82 m	
COORD. UTM		CO-12000-33-S4C		CO-7000-33-S4C		CO-7000-30-S4C
ETRS89		520903.00 47228188.61		521307.81 4728099.87		521616.54 4728038.38
ALINEACIONES		ALINEACION 3: 2081.98 m				



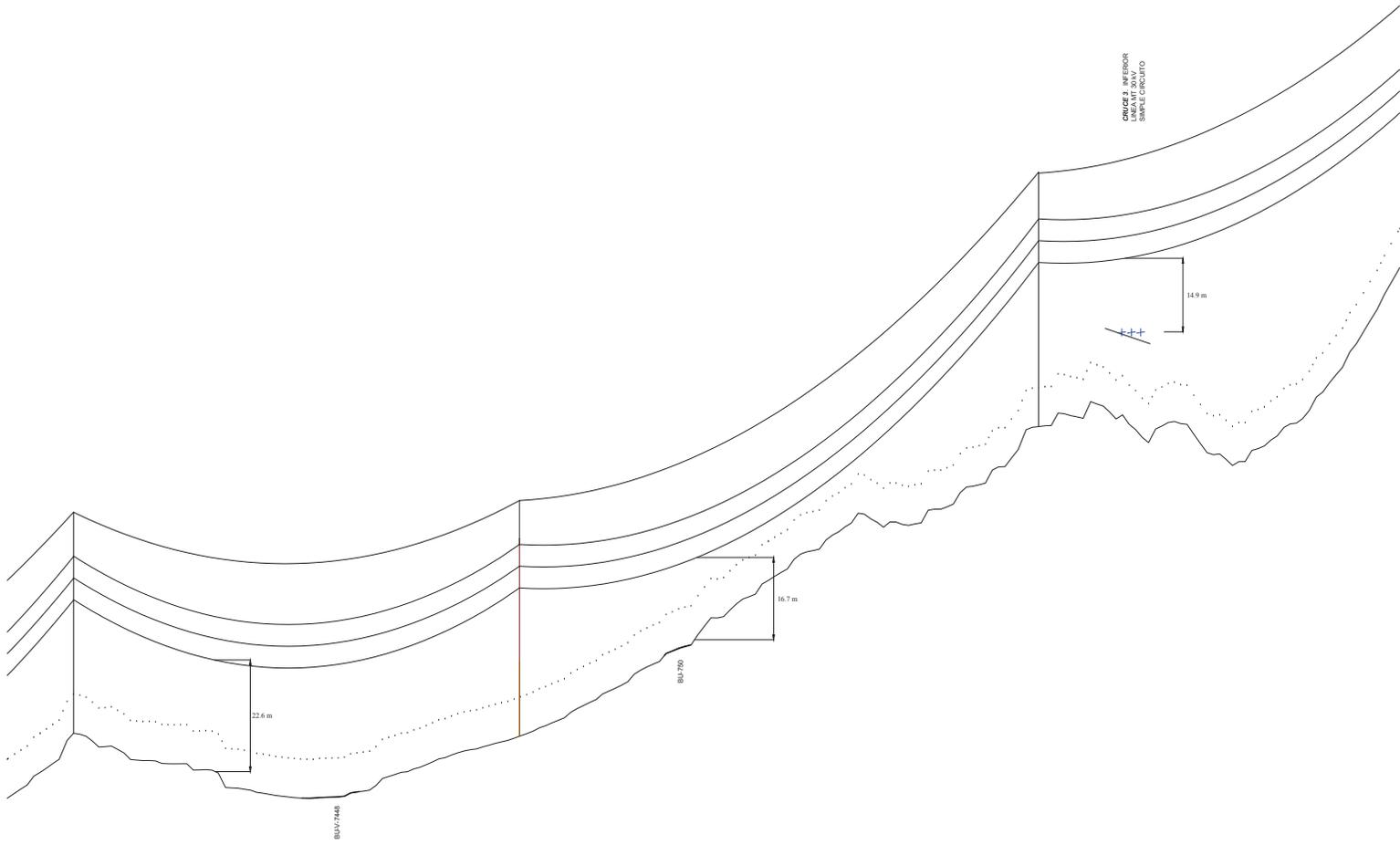
	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	18-06-2018			
Comprobado		Iligo Esquerro Martínez		
M.A. norma:				Lamina n.º 2.3
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 220KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRIANGULARES EN EL CONDADO DE TRAYTO			
Horizontal	1:500			
Vertical	1:2000			
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			Clave Alumno: 201010138
				Curso: 4ºB IEM



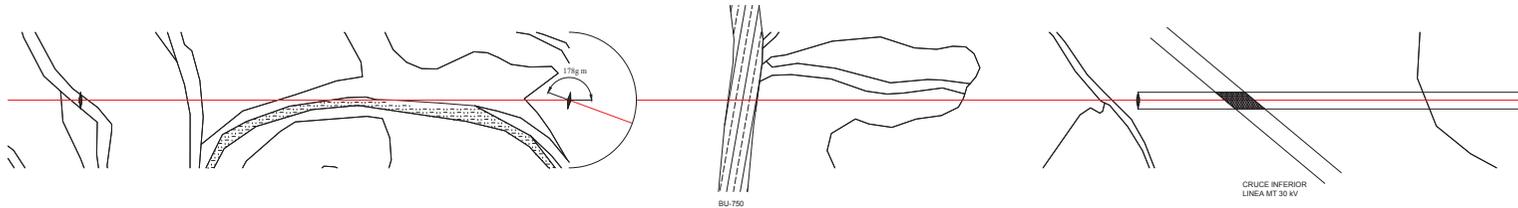
COTAS		631 m		627 m		664 m
KILOMETROS		4542.28 m		5075.78 m		5316.70 m
TIPO DE APOYO		Apoyo Anclaje en Ángulo		Apoyo Suspensión en Alineación		Apoyo Anclaje en Ángulo
APOYOS		(A)		(S)		(A)
VANOS	405.62 m	CO-9000-33-S4C	533.50 m	CO-7000-30-S4C	240.92 m	GCCE-8000-40-S4C
COORD. UTM ETRS89		522014.30 4727058.94		522512.46 4727011.93		522766.46 4727174.57
ALINEACIONES		ALINEACION 4: 774.42 m				



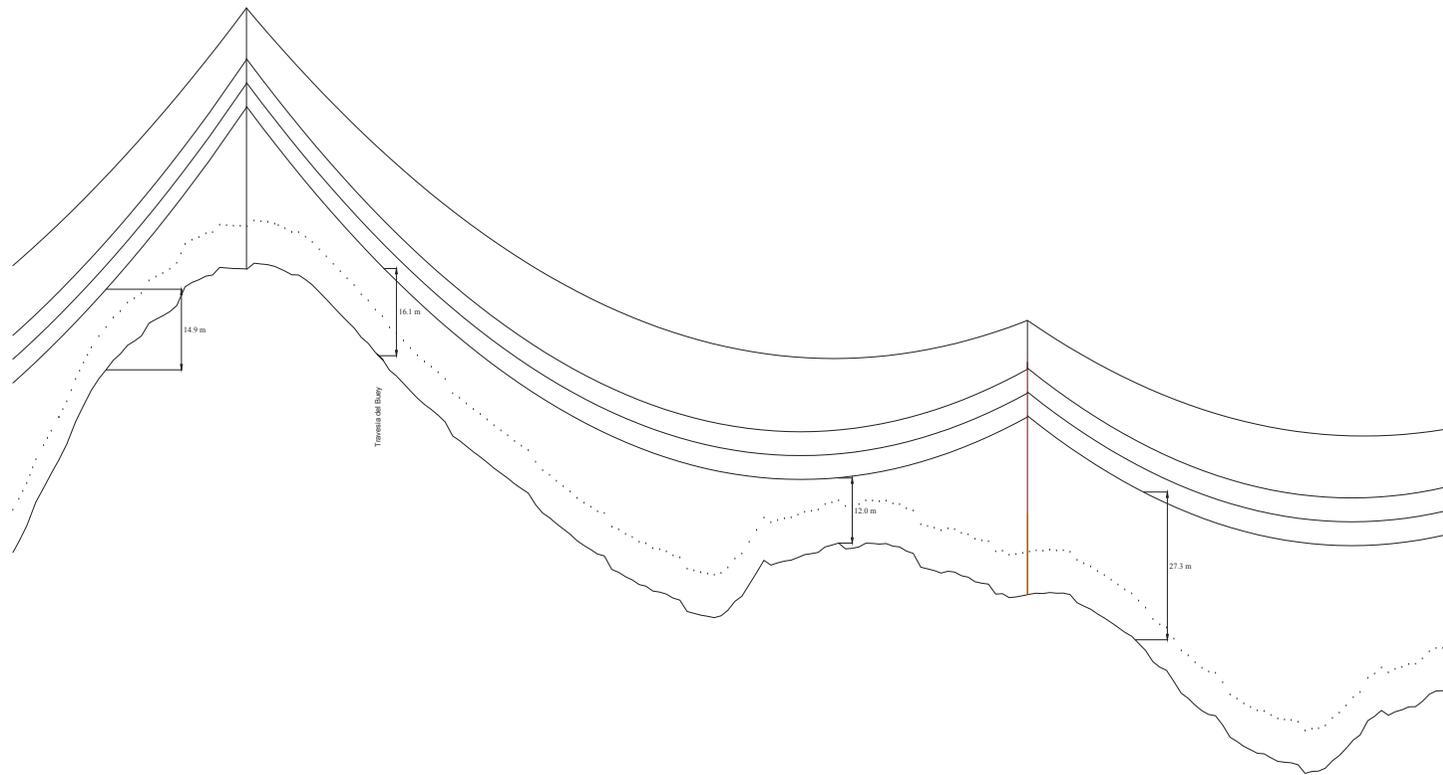
	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-06-2018			
Comprobado		Itzi Esquerro Martínez		
M.A. normas				
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 220KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRANSFORMADORES EN EL CONJUNTO DE TRAYO			Lamina n°. 2.4
Horizontal	f:500			
Vertical	f:2000			
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			Clave Alumno: 201010138
				Curso: 4ºB IEM



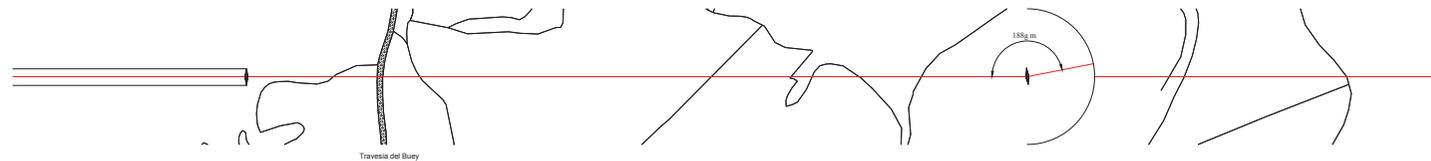
COTAS	725 m	725 m	787 m
KILOMETROS	5632.42 m	5995.92 m	6419.66 m
TIPO DE APOYO	Apoyo Suspensión en Alineación	Apoyo Anclaje en Angulo	Apoyo Suspensión en Alineación
APOYOS	(17)	(18)	(19)
VANOS	CO-7000-30-S4C 363.50 m	CO-18000-33-S4C 423.14 m	GCX-40000-40-S4C 468.68 m
COORD. UTM	520079.41	523439.73	523859.77
ETRS89	4727816.24	4727864.22	4727769.83
ALINEACIONES	ALINEACION 5: 679.22 m		



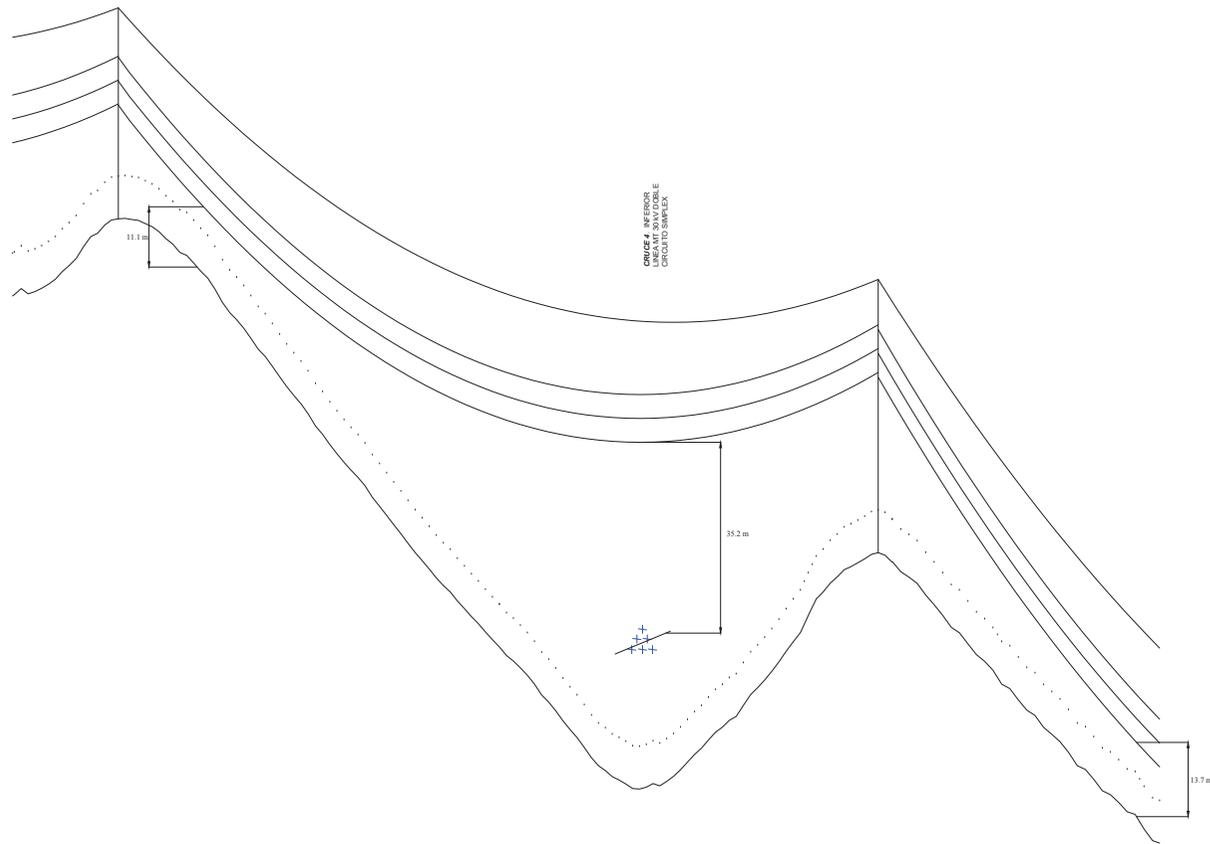
	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-06-2015			
Comprobado		Itigo Esquerro Martínez		Lamina n°. 2.5
M.A. norma:				Clave Alumno: 201010138
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 330KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRIANGULARES EN EL CONDADO DE TRAYCO			Curso: 4ºB IEM
Horizontal	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			
Vertical				



COTAS	872 m	812 m
KILOMETROS	6887.14 m	7468.04 m
TIPO DE APOYO	Apoys Suspensas en Alineación	Apoys Amarras en Arguño
APOYOS	(2)	(2)
VANOS	CO-8000-33-S4C	GCD-40000-40-S4C
COORD. UTM ETRS89	524816.38 4727667.22	524876.02 4727541.46
ALINEACIONES	ALINEACION 6: 1472.12 m	

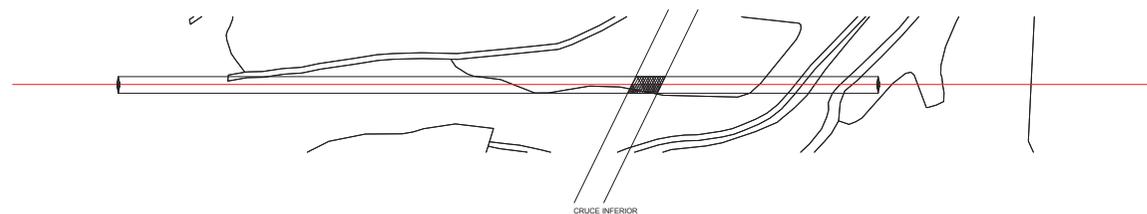


	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-06-2015			
Comprobado		Itigo Esquerro Martínez		
M.A. norma:				
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 220KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRIANGULARES EN EL CONDADO DE TRAYVO			Lamina n. 2.6
Horizontal	1:500			
Vertical	1:2000			Clave Alumno: 201010139
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			Curso: 4ºB IEM



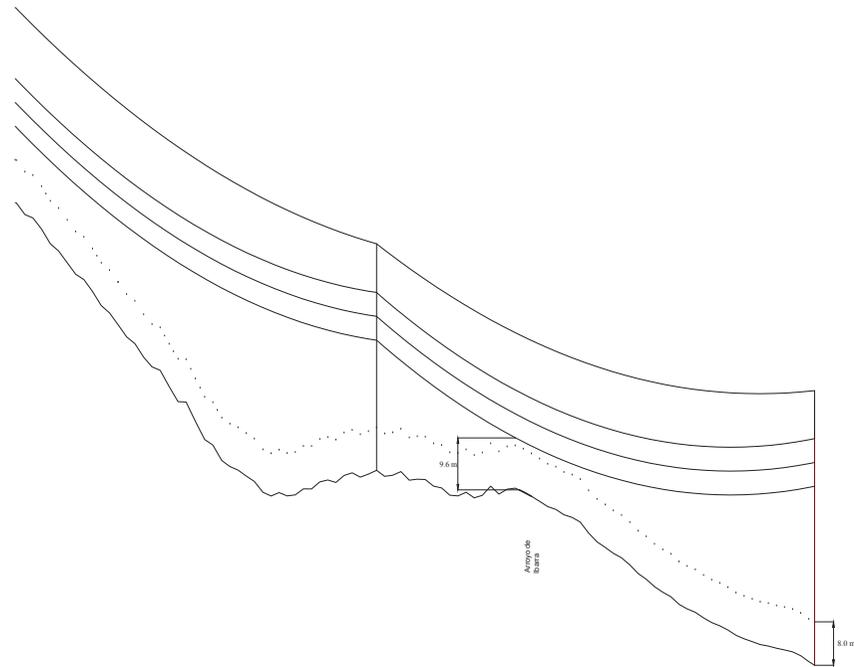
CRUCE A NIVEL DEL
LINEA A 30 KV DOBLE
CIRCUITO SIMPLEX

COTAS	899 m	747 m		
KILOMETROS	7859.48 m	8424.78 m		
TIPO DE APOYO	Apoyo Suspensión en Alineación	Apoyo Suspensión en Alineación		
APOYOS	(C)	(C)		
VANOS	CO-9000-24-S4C	565.30 m	GCO-8000-40-S4C	477.96 m
COORD. UTM	525267.34	525832.47		
ETRS89	4727531.68	4727511.57		
ALINEACIONES	ALINEACION 7: 1769.58 m			

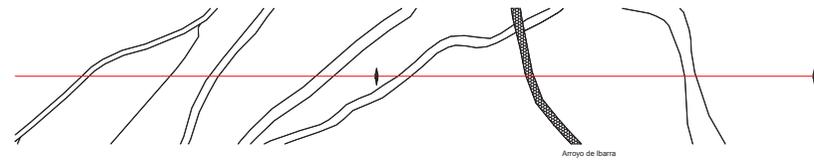


CRUCE INFERIOR
LINEA MT 30 KV

	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	18-06-2018			
Comprobado		Itigo Esquerro Martínez		
M.A. norma				
Escala:	LINEA ELÉCTRICA 30KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRIANGULARES EN EL CONDOMINIO DE TRAYCO			Lamina n°. 2.7
Horizontal	1:500			
Vertical	1:2000			
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LINEA			Clave Alumno: 201010138
				Curso: 4ºB IEM



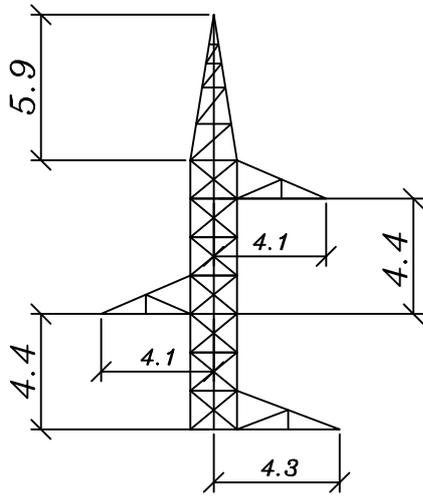
COTAS	644 m	622 m
KILOMETROS	8962.74 m	9228.42 m
TIPO DE APOYO	Apoyo Suspensión en Alineación	Apoyo Anclaje Fin de Línea
APOYOS	(24)	(25)
VANOS	477.96 m	325.88 m
COORD. UTM ETRS89	526317.83 4727905.44	526616.06 4727497.50
ALINEACIONES		



	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-06-2015			
Comprobado		Itigo Esquerro Martínez		
M.S. norma:				
Escala:	LÍNEA ELÉCTRICA 220KV PARA LA SITUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TRIANGULARES EN EL CONDADO DE TRUYO			Lamina n°. 2.8
Horizontal	1:500			Clave Alumno: 201010139 Curso: 4ºB IEM
Vertical	1:2000			
	PLANO DE PERFIL Y PLANTA DEL TRAZADO AÉREO DE LA LÍNEA			

Capítulo 3. Apoyos

- 3.1. Geometría de los Apoyos**
- 3.2. Apoyo Paso Aéreo-Subterráneo**
- 3.3. Distancias en el Apoyo**

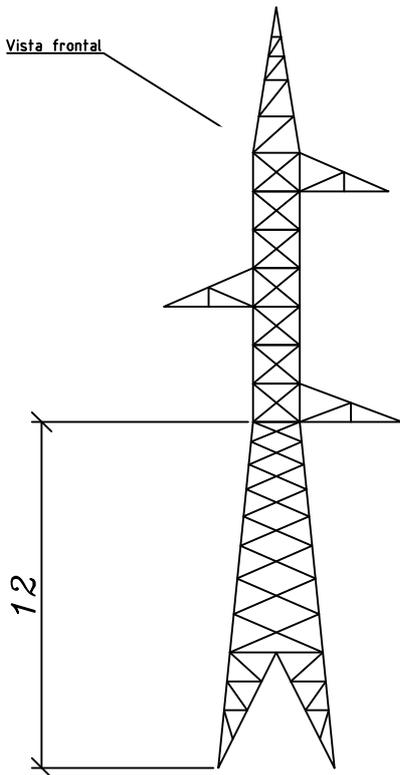


Añadidos, sucesivos para el aumento de la altura libre de las torres

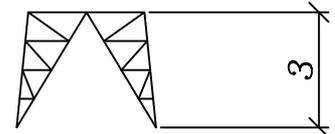
Vista superior



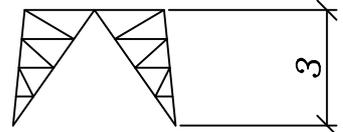
Vista frontal



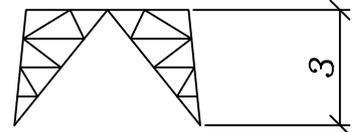
FUSTE 15



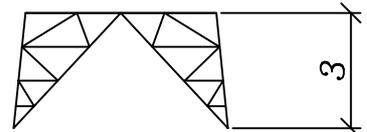
FUSTE 18



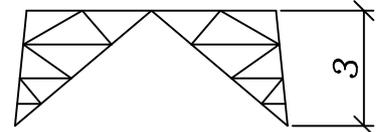
FUSTE 21



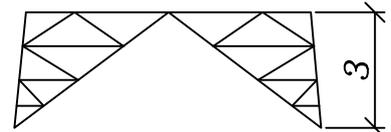
FUSTE 23



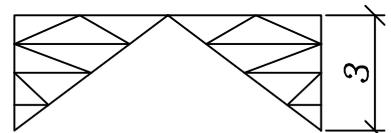
FUSTE 27



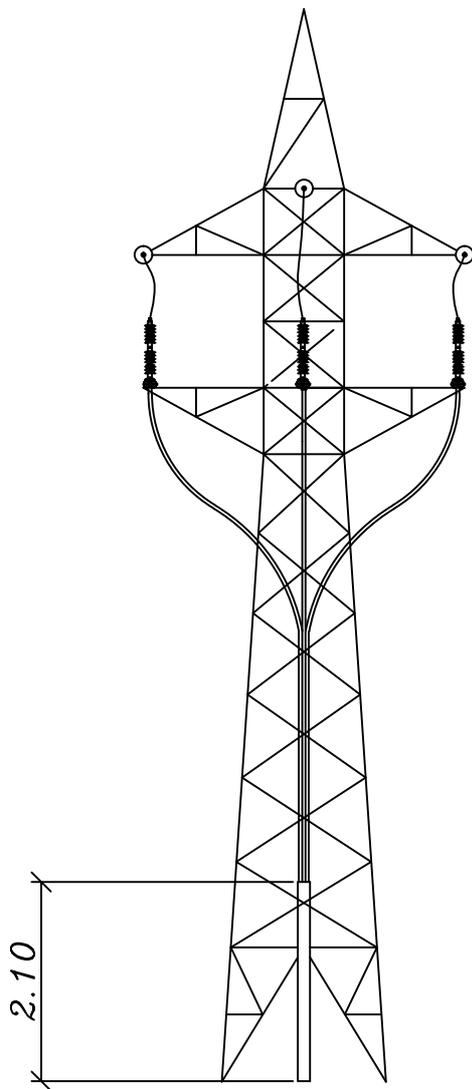
FUSTE 30



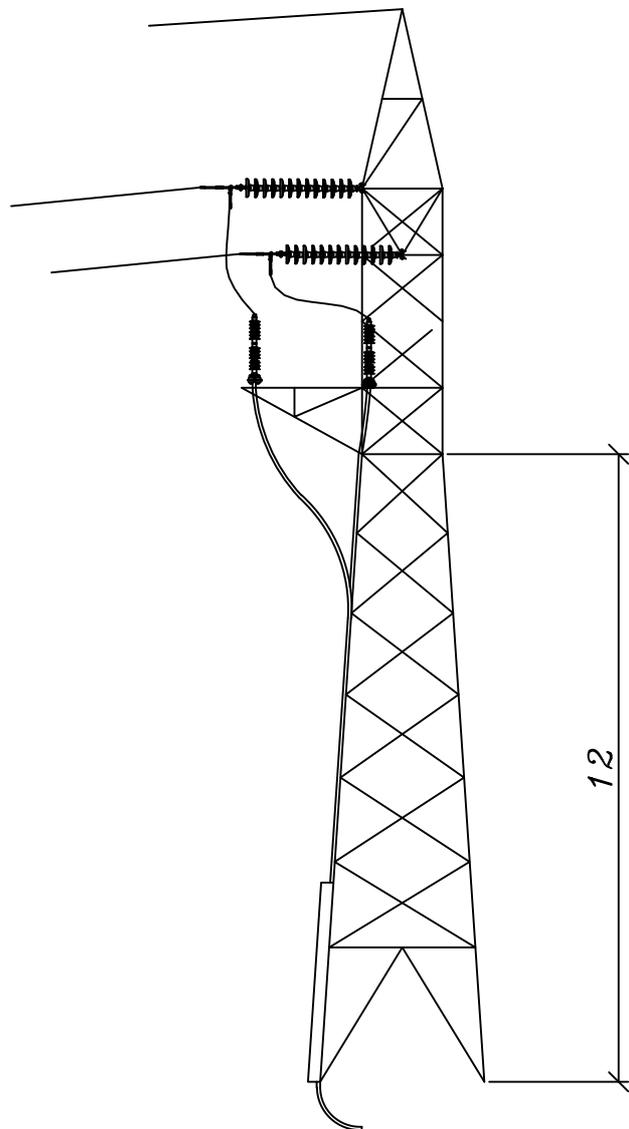
FUSTE 33



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	<i>Iñigo Ezquerro Martínez</i>		
<i>Comprobado</i>				
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:10	LINEA ELECTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO GEOMETRÍA DE LOS APOYOS CONDOR Y LA CABEZA S4C			<i>Lamina n.º</i> 3.1
				<i>Clave Alumno:</i> 201010139
				<i>Curso:</i> 4ºB IEM

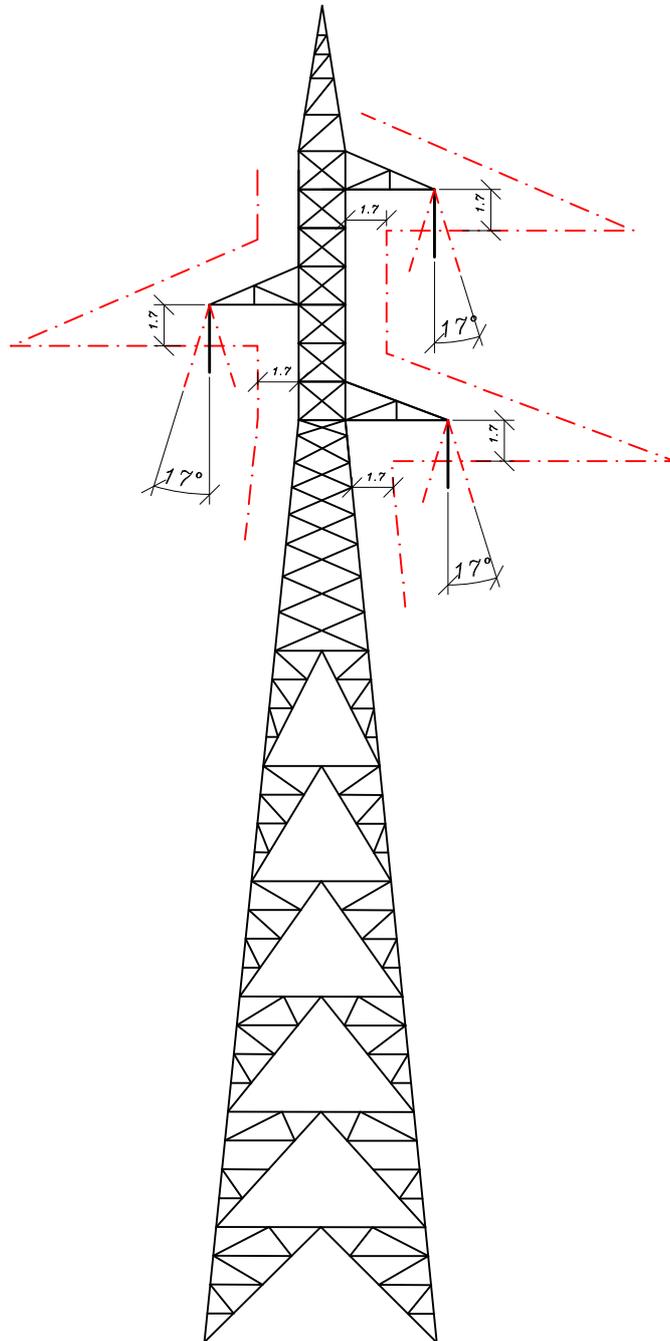


VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

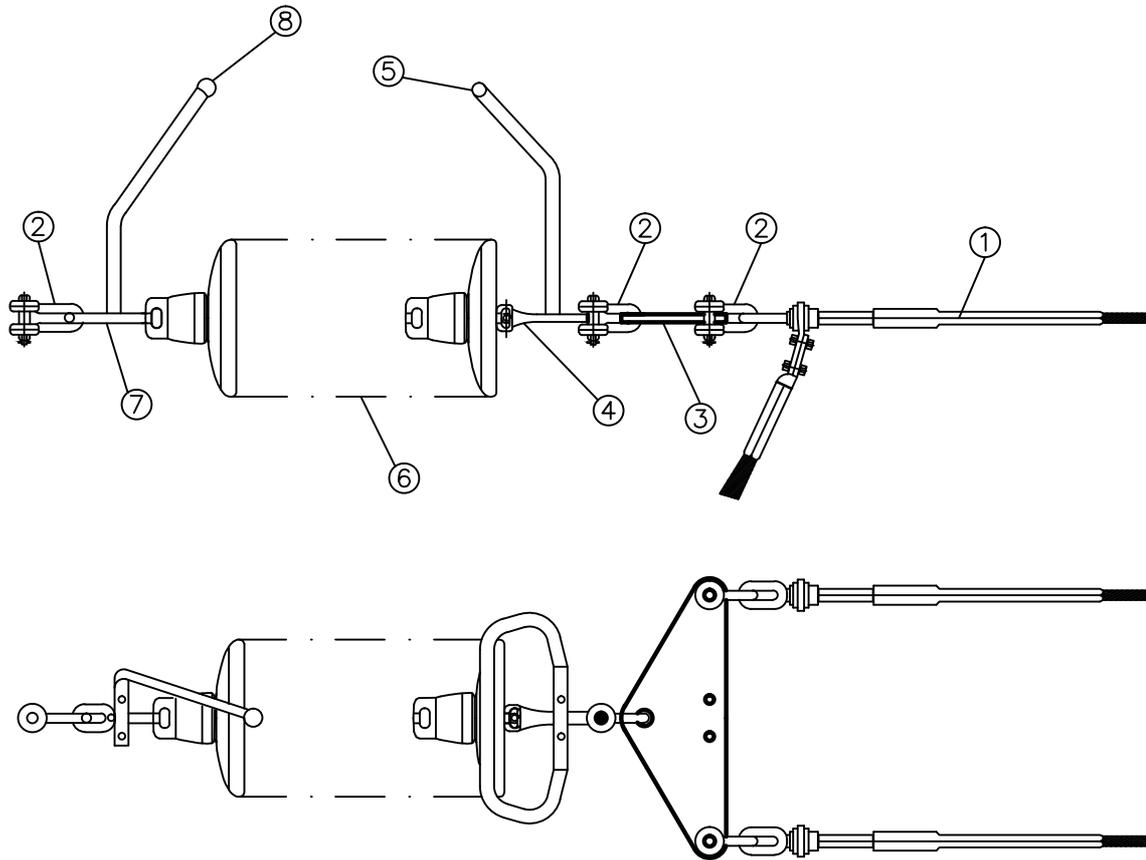
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	<i>Iñigo Ezquerria Martínez</i>		
<i>Comprobado</i>				
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:10	LINEA ELECTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO APOYO PASO AÉREO-SUBTERRÁNEO		<i>Lamina n°.</i> 3.2 <i>Clave Alumno:</i> 201010139 <i>Curso:</i> 4ºB IEM	



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	Iñigo Ezquerro Martínez		
<i>Comprobado</i>				
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:10	LINEA ELECTRICA 220kv PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO DISTANCIAS DE SEGURIDAD FASE-TIERRA EN LOS APOYOS			<i>Lamina n°.</i> 3.3
				<i>Clave Alumno:</i> 201010139 <i>Curso:</i> 4ºB IEM

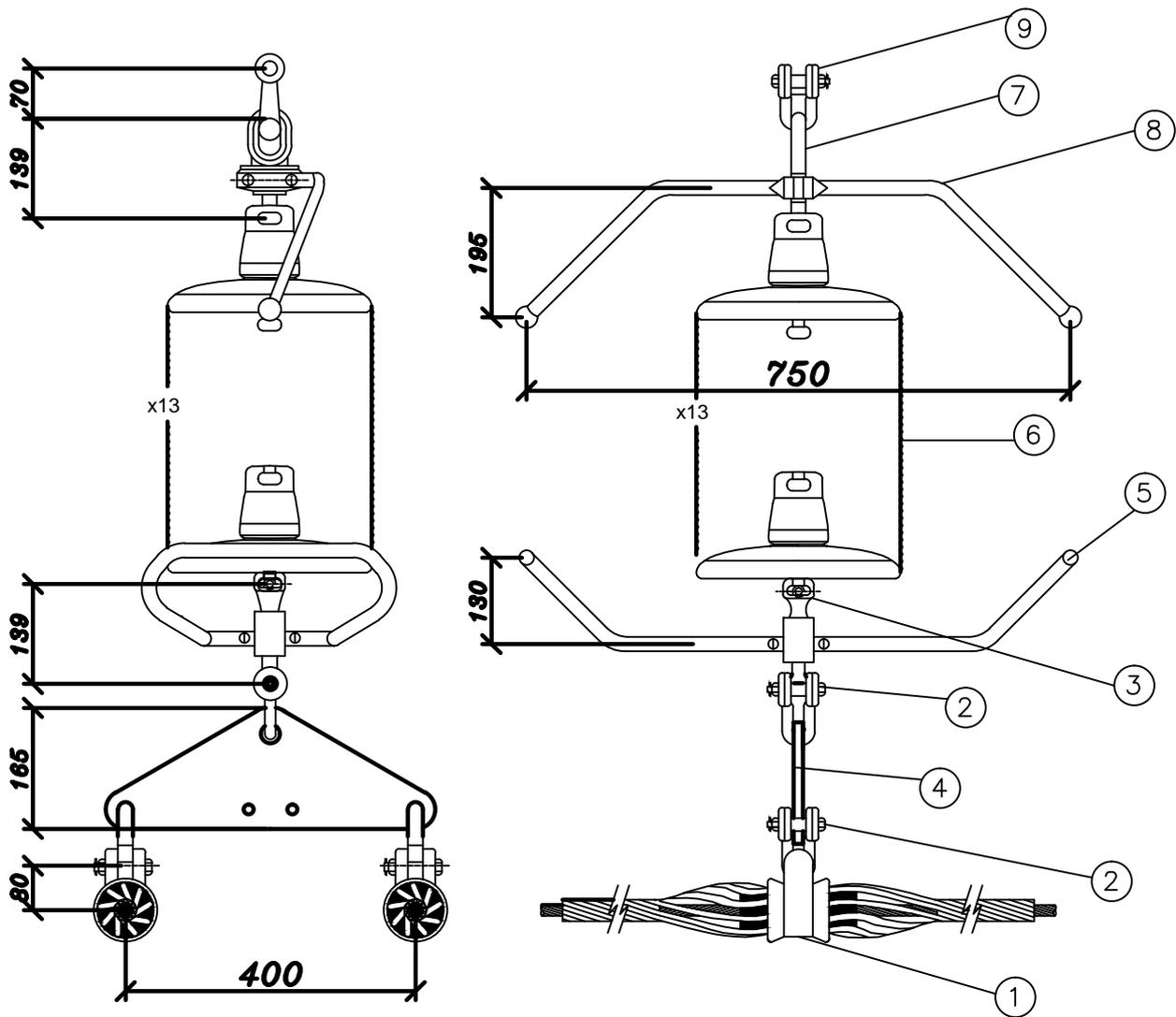
Capítulo 4. Cadenas de Aisladores

- 4.1. Cadena Amarre para Conductor**
- 4.2. Cadena Suspensión para Conductor**
- 4.3. Cadena Amarre para Cable de Guarda**
- 4.4. Cadena Suspensión para Cable de Guarda**



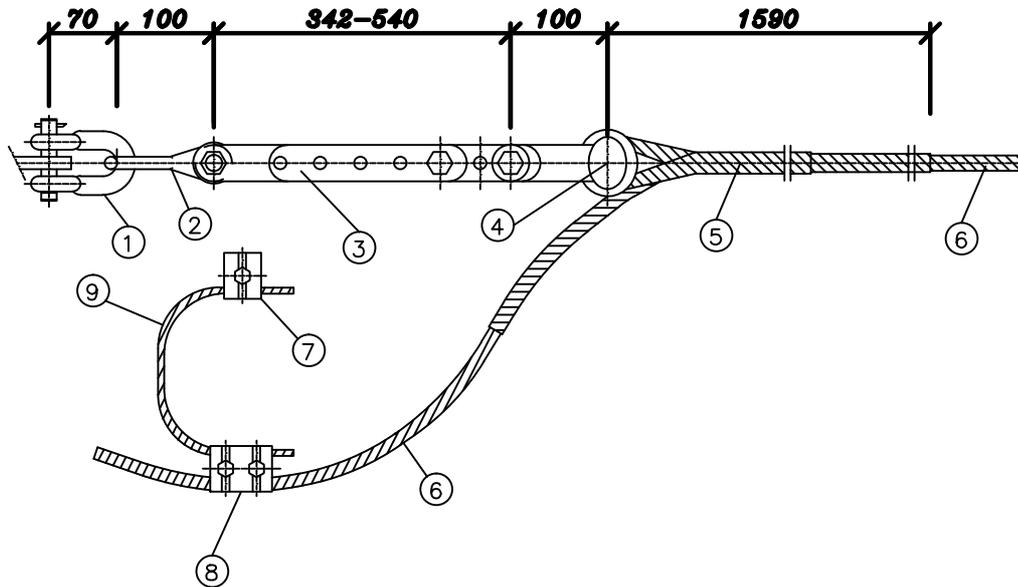
POS.	CODIGO	DENOMINACION	CANT.
1	CONDOR-LA455	GRAPA AMARRE COMPRESION PARA CABLE LA-455	2
2	N-241031	GRILLETE NORMAL RECTO GN-20 / TORNILLO M-18	3
3	Y-26241	YUGO RECTO PARA CIRCUITOS DUPLEX	1
4	R-21855	ROTULA LARGA PARA PROTECCION RP-20	1
5	P43135	DESCARGADOR AMARRE SIMPLEX INFERIOR 220KV	1
6	-	AISLADOR VIDRIO E-160-146	13
7	N-242043	ANILLA BOLA PARA PROTECCION AB-20P	1
8	P21114	DESCARGADOR AMARRE SUPERIOR 220KV	1

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	<i>Iñigo Ezquerro Martínez</i>		
<i>Comprobado</i>				
<i>id.s.normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:250	LÍNEA ELÉCTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO CADENA DE AMARRE PARA EL CONDUCTOR LA-445 CONDOR			<i>Lamina n.º.</i> 4.1
				<i>Clave Alumno:</i> 201010139
				<i>Curso:</i> 4ºB IEM



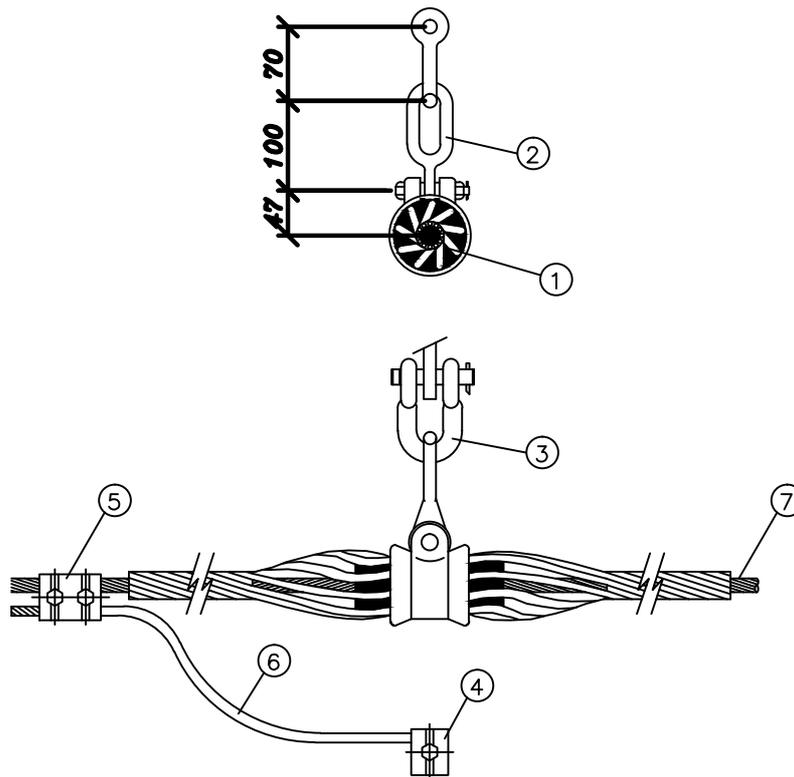
POS.	CODIGO	DENOMINACION	
1	GAS-S90813	GRAPA SUSPENSION ARMADA PARA CABLE LA-455	2
2	N-241031	GRILLETE NORMAL RECTO GN-20 / TORNILLO M-18	3
3	N-243181/16	ROTULA LARGA PARA PROTECCION RP-16/17,5	1
4	Y-26241	YUGO RECTO PARA CIRCUITOS DUPLEX	1
5	P33135	DESCARGADOR SUSPENSION SIMPLEX INFERIOR 220KV	2
6	-	AISLADOR VIDRIO E-160-146	13
7	N-242043	ANILLA BOLA PARA PROTECCION AB-16P	1
8	P11114	DESCARGADOR SUSPENSION SUPERIOR 220KV	2
9	N-241030	GRILLETE NORMAL RECTO GN-16 UNESA	1

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	Iñigo Ezquerro Martínez		
<i>Comprobado</i>				
<i>id.s.normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:250	LINEA ELÉCTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO CADENA DE SUSPENSIÓN PARA EL CONDUCTOR LA-445 CONDOR			<i>Lamina n.º</i> 4.2 <i>Clave Alumno:</i> 201010139 <i>Curso:</i> 4ºB IEM



POS.	CODIGO	DENOMINACION	CANT.
1	N-241030	GRILLETE NORMAL RECTO GN-16 UNESA	1
2	2129	ESLABON REVIRADO ER-16	1
3	249026	TENSOR CORREDERA TC-16	1
4	SW1121	HORQUILLA GUARDACABOS HC-16	1
5	--	RETENCION PREF. AMARRE CABLE OPGW 13,0/16,0 mm	1
6	--	CABLE DE FIBRA OPTICA OPGW 24 F	-
7	230013/2	GRAPA CONEXION SENCILLA PARA CABLE ALUMINIO	1
8	259111	GRAPA CONEXION UNIVERSAL PARALELA CABLE ALUMINIO	1
9	--	CABLE AL-AC LA-56	1m

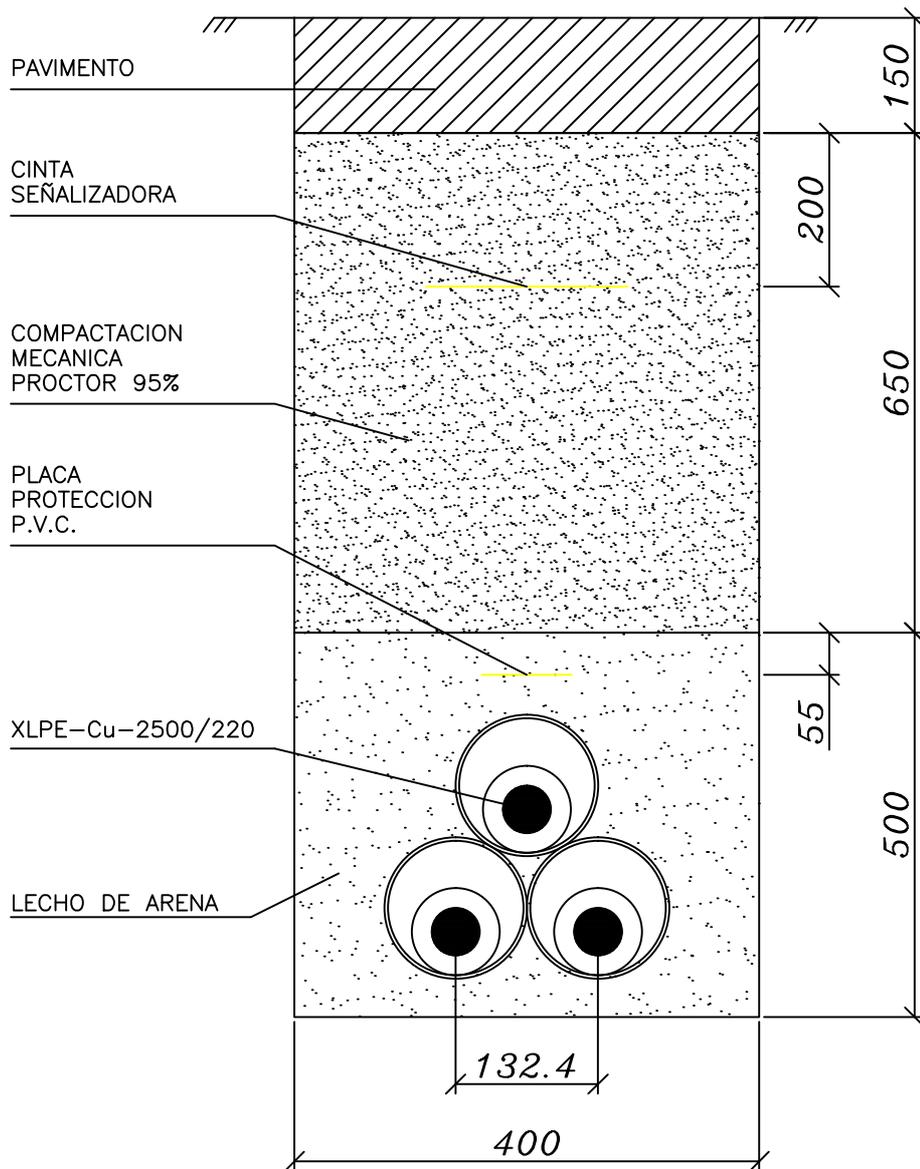
	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-05-2015	Iñigo Ezquerro Martínez		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala: 1:250	LÍNEA ELÉCTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO CADENA DE AMARRE PARA EL CABLE DE GUARDA OPGW 92-AL3		Lamina n.º 4.3	
			Clave Alumno: 201010139 Curso: 4º B IEM	



POS.	CODIGO	DENOMINACION	CANT.
1	S90216	GRAPA GSA PARA CABLE F.O. 14,0/18,0 mm	1
2	2129	ESLABON REVIRADO ER-16	1
3	N-241030	GRILLETE NORMAL RECTO GN-16 UNESA	1
4	230013/2	GRAPA CONEXION SENCILLA PARA CABLE ALUMINIO	1
5	259111	GRAPA CONEXION UNIVERSAL PARALELA CABLE ALUMINIO	1
6	--	CABLE AL-AC LA-56	1 m
7	--	CABLE DE FIBRA OPTICA OPGW 92-AL3	-

	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
Dibujado	16-05-2015	Iñigo Ezquerro Martínez		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala: 1:250	LÍNEA ELÉCTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO CADENA DE SUSPENSIÓN PARA EL CABLE DE GUARDA OPGW 92-AL3		Lamina n.º 4.4	
			Clave Alumno: 201010139 Curso: 4º B IEM	

Capítulo 5. Sección Subterránea



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
<i>Dibujado</i>	16-05-2015	<i>Iñigo Ezquerro Martínez</i>		
<i>Comprobado</i>				
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i> 1:10	LINEA ELECTRICA 220kV PARA LA EVACUACIÓN DE CUATRO PLANTAS TERMOSOLARES EN EL CONDADO DE TREVIÑO SECCIÓN DEL TRAMO SUBTERRÁNEO			<i>Lamina n.º</i> 5 <i>Clave Alumno:</i> 201010139 <i>Curso:</i> 4ºB IEM

PARTE III PLIEGO DE CONDICIONES

Capítulo 1. Línea Aérea

1.1. Objeto y Campo de Aplicación

Este pliego de condiciones tiene por objeto, la definición de los requisitos que han de cumplir los suministros e instalación de los materiales necesarios para la ejecución de la línea aérea de alta tensión 220kV para la evacuación de la potencia generada en cuatro plantas termosolares ubicadas en la localidad de Grandival, Condado de Treviño (España).

1.2. Replanteo y Medición

El director de obra, una vez que el contratista esté en posesión del proyecto y antes de comenzar las obras, deberá hacer el replanteo de las condiciones de obra, con especial atención a los puntos singulares, entregando al contratista las referencias y los datos necesarios para fijar completamente la ubicación de los mismos.

Se levantará por duplicado Acta, en la que constarán claramente los datos entregados, firmado por el director de obra y por el representante del contratista. Los gastos de replanteo correrán a cargo del contratista.

1.3. Ejecución del Trabajo

Corresponde al contratista la responsabilidad en la ejecución de los trabajos que deberán realizarse conforme a las reglas de la buena práctica.

1.3.1. *Apertura de Pozos*

Los trabajos comprendidos en este epígrafe son los siguientes:

Excavación: Se refiere a la excavación necesaria para los macizos de las cimentaciones de los apoyos, en cualquier clase de terreno. Esta unidad de obra comprende la retirada de tierra y relleno de la excavación resultante después del hormigonado, suministro de explosivos, agotamiento de aguas, entibado y cuantos elementos sean en cada caso necesarios para su ejecución.

Explanación: Comprende la excavación a cielo abierto, con el fin de dar salida a las aguas y nivelar el terreno en el que se coloca el apoyo, comprendiendo el suministro de explosivos, herramientas y cuantos elementos sean necesarios para su ejecución.

Las dimensiones de las excavaciones se ajustarán lo más posible a las dadas en el proyecto o en su defecto las indicadas por la dirección técnica. Las paredes de los hoyos serán verticales.

Si por cualquier causa se originase un aumento en el volumen de la excavación, ésta será por cuenta del contratista, certificándose solamente el volumen teórico. Cuando sea necesario variar las dimensiones de la excavación, se hará de acuerdo con la dirección técnica.

El contratista tomará las disposiciones convenientes para dejar abiertas el menor tiempo posible las excavaciones, con objeto de evitar accidentes. Las excavaciones de los fosos para las cimentaciones deberán ejecutarse de tal forma que no queden fosos abiertos a una distancia de más de 3km por delante del equipo encargado del hormigonado o del equipo de izado de apoyos según queden o no hormigonados los apoyos. En el caso de que, por naturaleza de la obra, esto no se pueda cumplir, deberá ser consultada la dirección técnica. En cualquier caso, los hoyos que queden abiertos de una jornada a la siguiente, deberán ser protegidos mediante cercas o cubiertos con tablas y serán correctamente señalizados, con el fin de evitar accidentes. Si a causa de la constitución del terreno o por causas atmosféricas los fosos amenazasen con derrumbarse, deberán ser entibados, tomándose las medidas de seguridad necesarias para evitar el desprendimiento del terreno y que éste sea arrastrado por las aguas. En el caso de que penetrase agua en fosos, ésta deberá ser achicada antes del relleno de hormigón.

Cuando se efectúen trabajos de desplazamiento de tierras, la capa vegetal arable será separada de forma que pueda ser colocada después en su yacimiento primitivo, volviéndose a dar de esta forma su estado de suelo cultivable. La tierra sobrante de las excavaciones deberá retirarse allanando y limpiando el terreno circundante al apoyo. Dicha tierra deberá ser transportada a un vertedero autorizado.

En terrenos inclinados, se efectuará una explanación del terreno, al nivel correspondiente a la estaca central. Como regla general se estipula que la profundidad de la excavación debe referirse al nivel medio antes citado. La explanación se prolongará hasta 30cm,

como mínimo, por fuera de la excavación, prolongándose después con el talud natural de tierra circundante, con el fin de que los montantes del apoyo no queden recubiertos de tierra.

Las excavaciones se realizarán con útiles apropiados según el tipo de terreno. En terrenos rocosos será imprescindible el uso de explosivos o martillo compresor, siendo por cuenta del contratista la obtención de los permisos de utilización de explosivos. En terrenos con agua deberá precederse a su desecado, procurando hormigonar después lo más rápidamente posible para evitar el riesgo de desprendimiento en las paredes de la zanja, aumentando así las dimensiones del mismo.

Cuando se empleen explosivos para la apertura de fosos, su manipulación, almacenaje, transporte, etc., deberá ajustarse en todo a las disposiciones vigentes en cada momento respecto a esta clase de trabajos. En la excavación con empleo de explosivos, el contratista deberá tomar las precauciones adecuadas para que, en el momento de la explosión, no se proyecten al exterior piedras que puedan provocar accidentes o desperfectos, cuya responsabilidad correría a cargo del contratista. Igualmente se cuidará que la roca no sea dañada, debiendo arrancarse todas aquellas piedras movedizas que no formen bloques con la roca, o que no estén suficientemente empotradas en el terreno.

1.3.2. Transporte y Acopio a Pie de Pozo

Los apoyos no serán arrastrados ni golpeados. Se tendrá cuidado en su manipulación ya que un golpe puede torcer o romper cualquiera de los perfiles que lo componen, en cuyo caso deberán ser reparados antes de su izado o armado.

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.

1.3.3. Cimentaciones

Comprende el hormigonado de los macizos de las fundaciones, incluido el transporte y suministro de todos los áridos y demás elementos necesarios a pie de zanja, el transporte y la colocación de los anclajes y plantillas, así como la correcta nivelación de los mismos.

Si en el momento de realizar las excavaciones se apreciase que las características del terreno difieren a las indicadas en el proyecto, el contratista lo comunicará al director de obra, siendo éste el que autorice a un redimensionamiento nuevo de la cimentación.

Las cimentaciones se realizarán de acuerdo a lo expuesto en los planos de cimentaciones y conforme a la “Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)”, empleando un hormigón HM-25/B/20/IIa. Esta definición se corresponde con un hormigón en masa y estructural. Lo que determina una resistencia mínima de 25 N/mm² según la EHE-08. La consistencia será blanda y el tamaño máximo de árido empleado será de 20. Con referencia a la clase general de exposición se especifica una de tipo IIa, correspondiente a humedades altas.

El amasado del hormigón se realizará con hormigonera, procurando que la mezcla sea lo más homogénea posible. Tanto el cemento como los áridos serán medidos con elementos apropiados:

1.3.3.1. Arena y Grava

La arena puede proceder de ríos, arroyos y canteras. Debe ser limpia, sin impurezas orgánicas, arcillosas, carbón, escorias, yeso, mica o feldespato. Se dará preferencia a la arena cuarzosa, la de origen calizo, siendo preferibles las arenas de superficie áspera o angulosa. No se pueden emplear arenas con contenido de sulfuros oxidables.

En todo caso los áridos cumplirán con lo expuesto en el artículo 28 de la EHE-08. Y deberán llegar a la obra manteniendo las características granulométricas de cada una de sus fracciones.

1.3.3.2. Agua

Son admisibles, sin necesidad de ensayos previos, todas las aguas que sean potables y aquellas que procedan de río o manantial, a condición de que su mineralización no sea excesiva.

Se prohíbe el uso de aguas que procedan de ciénagas, o estén muy cargadas de sales carbonosas o selenitosas. Podrán rechazarse las aguas que no cumplan con lo expuesto en el artículo 27 de la EHE-08.

1.3.3.3. Cemento

Los cementos que se emplearán deberán cumplir con lo establecido en el artículo 26 de la EHE-08.

1.3.3.4. Hormigón

La fabricación del hormigón se realizará según lo establecido en el artículo 71 de la EHE-08, ya sea en fábrica o in-situ mediante hormigonera. Se comprobará el contenido de humedad de los áridos, para corregir, en caso necesario, la cantidad de agua vertida en la hormigonera.

1.3.3.5. Ejecución

En tiempo de heladas deberán suspenderse los trabajos de hormigonado; no obstante, si la urgencia de la obra lo requiere, podrá proseguirse con el hormigonado, siempre con la autorización de la dirección de obra y tomando las debidas precauciones, tales como cubrir el hormigón que está fraguando por medio de sacos, pata, etc. Se podrán igualmente utilizar aditivos anticongelantes que deberán ser autorizados por el director de obra.

La manera de ejecutar la cimentación será la siguiente:

- (83) Se echará primeramente una capa de hormigón seco fuertemente apisonado, de 10cm de espesor, de manera que se conserve la distancia marcada en el plano desde la superficie al terreno hasta la capa de hormigón.
- (84) Al día siguiente se colocará sobre esa capa la base del apoyo, nivelando cuidadosamente el plano de unión de la base con la estructura exterior del apoyo e inmovilizándola mediante un dispositivo adecuado.
- (85) Cuando se trate de apoyos de ángulo o final de línea, se dará a la superficie de la base una inclinación del 0,5 al 1% en sentido opuesto a la resultante de las fuerzas producidas por conductores y cable de guarda.
- (86) Después se rellenará de hormigón el foso, vertiendo el hormigón suavemente y por medio de un canal de chapa de gran pendiente en capas de 20 a 30 cm y vibrándolo

a continuación. Durante el vertido del hormigón se prestará especial atención en no golpear el anclaje para no desnivelarlo. Una vez iniciado el hormigonado de un macizo, no se interrumpirá éste hasta que no esté totalmente terminado.

No podrá retirarse la plantilla hasta pasadas 24 horas de la terminación del hormigonado. Este plazo será de 48 horas en el caso de utilización de cementos puzolánicos o siderúrgicos. Durante el fraguado y primer periodo de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad mediante un adecuado curado tal y como se indica en el artículo 71 de la EHE-08

En aquellos apoyos donde sea necesario, por indicarse en los planos del proyecto o porque lo solicite la dirección de obra, el contratista estará obligado a la construcción de recercados de hormigón armado. Dichos recercados se ejecutarán sin junta con hormigón de las mismas características que el empleado en el resto de la cimentación. Las armaduras serán suministradas por el contratista de acuerdo con los planos.

Los encofrados podrán ser de madera o chapa y se ejecutarán de manera que quede asegurada la estanqueidad de los mismos con el fin de evitar fugas de la lechada de cemento. Si son de madera, ésta tendrá una superficie lisa y se humedecerá suficientemente con agua antes de comenzar el hormigonado. En caso de utilizarse encofrados de chapa, se podrán utilizar desencofrantes de calidad verificada, que serán sometidos a la aprobación del director de obra. Se cuidará la verticalidad de los encofrados y que éstos no se muevan durante su relleno. Estos recercados se realizarán de forma que las superficies vistas queden bien terminadas.

En aquellos apoyos que por las especiales características del terreno donde se asienten (roca, aluvión, etc.) sea aconsejable utilizar una cimentación especial, la dirección de obra estudiará la solución más adecuada y facilitará al contratista toda la información necesaria para su correcta ejecución.

1.3.4. Armado e Izado de Apoyos

Los trabajos comprendidos en este apartado son el armado, izado y aplomado de los apoyos, incluido la colocación de crucetas y el anclaje, así como el conjunto de herramientas y todos los medios necesarios para esta operación.

Antes del montaje en serie de los apoyos, se deberá realizar un muestreo de al menos el 10%, montándose éstos con el fin de comprobar si tienen un error sistemático de construcción que convenga ser corregido por el constructor de los apoyos, con el suficiente tiempo.

El armado de estos apoyos se realizará teniendo presente la concordancia de diagonales y presillas. Cada uno de los elementos metálicos del apoyo será ensamblado y fijado por medio de tornillos con arreglo a los planos de montaje suministrados por el fabricante de los mismos.

Cuando la torre se monte sobre el suelo, se hará sobre un terreno sensiblemente horizontal y perfectamente nivelado con calces de madera a fin de que no se produzcan deformaciones en las barras.

El apriete de los tornillos con la torre en el suelo no será el máximo, el cual se realizará una vez izado el apoyo. Así mismo, los tornillos se montarán con la tuerca hacia el exterior de la torre.

Si en el curso del montaje aparecen dificultades de ensambladura o defectos sobre algunas piezas que necesiten su sustitución o su modificación, el contratista lo notificará a la dirección técnica.

No se empleará ningún elemento metálico doblado, torcido, etc. Sólo podrán enderezarse previo consentimiento del director de obra. En el caso de rotura de barras y rasgado de taladros, por cualquier causa, el contratista tiene obligación de proceder al cambio de los elementos rotos, previa autorización de la dirección técnica.

El procedimiento de izado será determinado por el contratista, el cual deberá contar con la aprobación de la dirección técnica. Todas las herramientas que se utilicen se hallarán en perfectas condiciones de conservación y serán las adecuadas.

En el montaje e izado de los apoyos, como observación principal de realización, ha de tenerse en cuenta que ningún elemento sea solicitado por esfuerzos capaces de producir deformaciones permanentes. Se recomienda el izado con pluma o grúa, evitando que el aparejo dañe las aristas o los montantes del poste.

Después de su izado y antes del tendido de los conductores, se apretarán los tornillos dando a las tuercas la presión correcta mediante empleo de llaves dinamométricas. Los tornillos deberán sobresalir de las tuercas, por lo menos, tres pasos de rosca. El apoyo deberá quedar vertical, salvo en los apoyos de fin de línea o ángulo, que presentará una inclinación del 0,5 al 1% en sentido opuesto a la resultante de los esfuerzos producidos por los conductores. En ambas posición es se admitirá una tolerancia del 0,2%.

Finalmente, una vez que se haya comprobado el perfecto montaje del apoyo, se procederá al graneteado de la tornillería (tres granetazos a 120°), con el fin de impedir que se aflojen.

Terminadas todas las operaciones anteriores, y antes de proceder al tendido de los conductores, el contratista dará aviso para que los apoyos montados sean recepcionados por la dirección técnica.

1.3.5. Protección de las Superficies Metálicas

Todos los apoyos tendrán protección por galvanizado en caliente. El galvanizado por inmersión en caliente se hará de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 1461:1999.

La superficie presentará una galvanización lisa adherente, uniforme, sin discontinuidad y sin manchas.

1.3.6. Tendido, Empalme, Tensado y Retencionado

Los trabajos reflejados en este apartado son los siguientes:

- Colocación de los aisladores y herrajes de sujeción de los conductores
- Tendido de los conductores y cables de tierra, tensado inicial, regulado y engrapado de los mismos.

Comprende igualmente el suministro de herramientas y demás medios necesarios para estas operaciones, así como su transporte a lo largo de la línea.

1.3.6.1. Colocación de aisladores

La manipulación de aisladores y de los herrajes auxiliares de los mismos se realizará con el mayor cuidado y se limpiarán antes de su montaje definitivo en los apoyos.

Se tomarán las debidas precauciones para que los distintos elementos que componen la cadena no sufran golpes, ni entre ellos ni contra superficies duras, y su manejo se hará de forma que no sufran esfuerzos de flexión.

1.3.6.2. Tendido de los conductores y cable de tierra

No se comenzará el tendido de un cantón si todos los postes de éste no están recepcionados. De cualquier forma, las operaciones de tendido no serán emprendidas hasta que hayan pasado 15 días desde la terminación de la cimentación de los apoyos de ángulo y amarre, salvo indicación en contrario de la dirección técnica.

El tendido de los conductores y cable de tierra debe realizarse de tal forma que se eviten torsiones, nudos, aplastamientos o roturas de alambres, roces en el suelo, apoyos o cualquier otro obstáculo. Las bobinas no deben nunca ser rodadas sobre un terreno con asperezas o cuerpos duros susceptibles de estropear los cables, así como tampoco deben colocarse en lugares con polvo o cualquier otro cuerpo extraño que pueda introducirse entre los conductores y cable de tierra.

Antes del tendido se instalarán los pórticos de protección para cruces de carreteras, ferrocarriles, líneas de alta tensión, etc. Para el tendido se instalarán poleas con garganta de madera o aluminio con objeto de que el rozamiento sea mínimo.

Durante el tendido se tomarán todas las precauciones posibles, tales como arriostamiento, para evitar deformaciones o fatigas anormales de crucetas, apoyos y cimentaciones, (en particular en los apoyos de ángulo y anclaje).

Se dispondrán, al menos, de un número de poleas igual a tres veces el número de vanos del cantón más grande. Las gargantas de las poleas de tendido serán de aleación de aluminio, madera o teflón y su diámetro como mínimo 20 veces el del conductor.

Cuando se haga el tendido sobre vías de comunicación, se establecerán protecciones especiales, de carácter provisional, que impida la caída de dichos conductores sobre las citadas vías, permitiendo al mismo tiempo el paso por las mismas sin interrumpir la circulación. Estas protecciones, aunque de carácter provisional, deben soportar con toda seguridad los esfuerzos anormales que por accidentes puedan actuar sobre ellas. En caso de cruce con otras líneas (A.T., B.T. o de comunicaciones) también deberán disponerse las protecciones necesarias de manera que exista la máxima seguridad y que no se dañen los conductores durante su cruce. Cuando haya que dejar sin tensión una línea para ser cruzada, deberán estar preparadas todas las herramientas y materiales con el fin de que el tiempo de corte se reduzca al mínimo y no se cortarán hasta que todo esté preparado.

Cuando el cruzamiento sea con una línea eléctrica, una vez conseguido que el propietario de la línea la corte, se tomarán las siguientes precauciones:

- Comprobar que estén abiertas, con corte visible, todas las fuentes de tensión, mediante interruptores y seccionadores que aseguren la imposibilidad de un cierre intempestivo.
- Comprobar el enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte.
- Reconocimiento de la ausencia de tensión
- Poner a tierra y en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión
- Colocar señales de seguridad adecuadas delimitando las zonas de trabajo.

Para poder cumplimentar los puntos anteriores, el contratista deberá disponer, y hacer uso, de detector de A.T. adecuado y de tantas puestas a tierra y en cortocircuito como posibles fuentes de tensión.

Si existe arbolado que pueda dañar a los conductores y cable de tierra, y éstos a su vez a los árboles, dispondrán de medios especiales para que esto no ocurra. Durante el tendido, en todos los puntos de posible daño al conductor, el Contratista deberá desplazar a un operario con los medios necesarios para que aquél no sufra daños.

Si durante el tendido se producen roturas de venas del conductor, el contratista deberá consultar con la dirección técnica la clase de reparación que se debe ejecutar.

Los empalmes de los conductores podrán efectuarse por el sistema de manguitos de torsión, máquinas de husillo o preformados, según indicación previa de la dirección técnica y su colocación se realizará de acuerdo con las disposiciones contenidas en el vigente Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión. Todos los empalmes deberán ser cepillados cuidadosamente para asegurar la perfecta limpieza de las superficies a unir, no debiéndose apoyar sobre la tierra estas superficies limpias, para lo que se recomienda la utilización de tomas.

Los empalmes del cable de tierra se realizarán en caja de empalme dispuesta a tal efecto en parte baja de apoyo. El cable de tierra se fijará a herraje sujeto a montante de apoyo de manera que se realizará entrada y salida en la citada caja. Se realizará informe final de reflectometría que el Contratista entregará a Dirección Facultativa.

El Contratista será el responsable de las averías que se produzcan por la no observancia de estas prescripciones.

1.3.6.3. Tensado, regulado y engrapado de los conductores y cable de guarda

Previamente al tensado de los conductores y cable de tierra, deberán ser venteados los apoyos primero y último del cantón, de modo que se contrarresten los esfuerzos debidos al tensado.

Los mecanismos para el tensado de los cables podrán ser los que la empresa contratista estime, con la condición de que se coloquen a distancia conveniente del apoyo de tense, de tal manera que el ángulo que formen las tangentes del cable a su paso por la polea no sea inferior a 150°.

La dirección técnica facilitará al contratista, para cada cantón, el vano de regulación y las flechas de este vano para las temperaturas habituales en esa época, indicando los casos en que la regulación no pueda hacerse por tablillas y sea necesario el uso de taquímetro.

Antes de regular el cable se medirá su temperatura con un termómetro de contacto, poniéndolo sobre el cable durante 5 minutos.

El contratista facilitará a la dirección técnica, para su comprobación, la altura mínima de los conductores y cable de tierra, en el caso más desfavorable de toda la línea, indicando la temperatura a que fue medida. Facilitará los mismos datos en todos los vanos de cruzamiento.

El afino y la comprobación del regulado se realizarán siempre por la flecha.

En el caso de cantones de varios vanos, después del tensado y regulado de los conductores y cable de tierra, se mantendrán éstos sobre las poleas durante 24 horas como mínimo, para que puedan adquirir una posición estable. Entonces se procederá a la realización de los anclajes y luego se colocarán los conductores sobre las grapas de suspensión.

Si, una vez engrapado el conductor, se comprueba que la grapa no se ha puesto en el lugar correcto y que, por tanto, la flecha no es la que debía resultar, se volverá a engrapar y, si el conductor no se ha dañado, se cortará el trozo que la dirección técnica marque, ejecutándose los manguitos correspondientes.

En los puentes flojos deberán cuidar su distancia a masa y la verticalidad de los mismos, así como su homogeneidad. Para los empalmes que se ejecuten en los puentes flojos se utilizarán preformados.

En las operaciones de engrapado se cuidará especialmente la limpieza de su ejecución, empleándose herramientas no cortantes, para evitar morder los cables de aluminio.

Si hubiera alguna dificultad para encajar entre sí o con el apoyo algún elemento de los herrajes, éste no deberá ser forzado con el martillo y deberá ser cambiado por otro.

Al ejecutar el engrapado en las cadenas de suspensión, se tomarán las medidas necesarias para conseguir un aplomado perfecto. En el caso de que sea necesario correr la grapa sobre el conductor para conseguir el aplomado de las cadenas, este desplazamiento no se realizará a golpe de martillo u otra herramienta; se suspenderá el conductor, se dejará libre la grapa y ésta se correrá a mano hasta donde sea necesario. La suspensión del cable se realizará, o bien por medio de una grapa, o por cuerdas que no dañen el cable.

El apretado de los estribos se realizará de forma alternativa para conseguir una presión uniforme de la almohadilla sobre el conductor, sin forzarla, ni menos romperla.

El punto de apriete de la tuerca será el necesario para comprimir la arandela elástica.

1.3.7. Reposición del Terreno

Las tierras sobrantes, así como los restos del hormigonado, deberán ser retiradas a vertedero, todo lo cual será cargo del contratista.

Todos los daños serán por cuenta del contratista, salvo aquellos aceptados por el director de obra.

1.3.8. Numeración y Señalización de Apoyos

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 retirar desde el suelo. Deberá cumplir las especificaciones señaladas en la recomendación UNESA 0203.

1.3.9. Puesta a Tierra

El trabajo detallado en este apartado comprende la apertura y el cierre del foso y zanja para la hincada del electrodo (colocación del anillo), así como la conexión del electrodo, o anillo, al apoyo a través del macizo de hormigón.

Una vez finalizada la puesta a tierra, el contratista procederá a la medición de la tensión de contacto aplicada mediante un método por inyección de corriente en los apoyos, donde la determinación de ese valor sea exigida según se indica en el apartado 7.3.4.6 de la ITC-07 del RLAT.

La puesta a tierra se efectuará de dos tipos dependiendo del caso: electrodos de difusión y anillos cerrados.

1.3.9.1. Electrodos de difusión

Cada apoyo dispondrá del número de picas de puesta a tierra de acero cobreado de 14,6 mm de diámetro y 2 m de longitud como sean necesarios para que la resistencia de difusión no sea superior de 20Ω , los cuales se conectarán entre sí y al apoyo mediante un cable de cobre de 95 mm^2 . Como mínimo se instalarán dos picas conectadas a dos montantes diagonalmente opuestos del apoyo.

La cabeza de las picas, una vez hincadas, quedará como mínimo a 0,6m por debajo de la superficie del terreno. A esta profundidad irán también los cables de conexión entre los electrodos y el apoyo.

Las picas deben quedar aproximadamente a unos 80 cm del macizo de hormigón. Cuando sea necesaria más de una pica, la separación entre ellas será de una vez y media la longitud de una de ellas, no estando a más de 3 metros del macizo.

1.3.9.2. Anillo cerrado

La resistencia de difusión no será superior a 20 ohmios, para lo cual se dispondrá de tantas picas de puesta a tierra de acero cobreado de $\varnothing 14,6$ mm y 2 m de longitud como sean necesarios, con un mínimo de dos instaladas diametralmente opuestas.

El anillo de difusión estará realizado con cable de cobre de 95 mm^2 . Igual naturaleza y sección tendrán los conductores de conexión al apoyo.

El anillo estará enterrado a 1 m. de profundidad y de forma que cada punto del mismo quede distanciados 1 m., como mínimo, de las aristas del macizo de cimentación.

1.4. Materiales

Los materiales empleados en la instalación serán entregados por el contratista siempre que no se especifique lo contrario en el pliego de condiciones.

No se podrán emplear materiales que no hayan sido aceptados previamente por el director de obra. No se aceptará en ningún caso el uso de Policloruro de Vinilo (PVC).

Se realizarán cuantos ensayos y análisis indique el director de obra, aunque no estén indicados en el pliego de condiciones.

1.4.1. Apoyos

Los apoyos a usar en la construcción de la línea serán metálicos de celosía, de la serie Condor e Ícaro, fabricado por IMEDEXSA.

Se podrán utilizar apoyos realizados por otro fabricante, siendo sus características equivalentes y sus alturas y esfuerzos resistentes iguales, o en su defecto, de valor superior. En cualquier caso, toda modificación de los apoyos a instalar respecto a lo reflejado en el presente proyecto deberá consultarse con la dirección facultativa.

1.4.2. HERRAJES

Serán del tipo indicado en el Proyecto. Los herrajes para las cadenas de suspensión y amarre cumplirán con las Normas UNE 21006, 207009 y UNE EN 61284. Los amortiguadores cumplirán con la Norma UNE EN 61897.

1.4.3. Aisladores

Los aisladores empleados en las cadenas de suspensión o amarre responderán a las especificaciones de la Normas CEI 120, CEI 815, UNE 21909, UNE-EN 61466-1-2, UNE 21009 y UNE 21128. En cualquier caso el tipo de aislador será el que figura en el proyecto.

1.4.4. Conductor y Cable de Guarda

Serán los que figuran en el Proyecto y deberán estar de acuerdo con las especificaciones de la Norma UNE 21018.

1.5. Recepción de Obra

Durante la obra y una vez finalizada la misma, el director de obra verificará que los trabajos realizados estén de acuerdo con las especificaciones de este pliego de condiciones general y de más pliegos de condiciones particulares.

Una vez finalizadas las instalaciones, el contratista deberá solicitar la oportuna recepción global de la obra.

El director de obra contestará por escrito al contratista, comunicando su conformidad a la instalación o condicionando su recepción a la modificación de los detalles que estime susceptibles de mejora.

1.5.1. Calidad de las Cimentaciones

El director de obra verificará que las dimensiones de las cimentaciones y las características mecánicas del terreno se ajustan a las establecidas en el proyecto.

Asimismo podrá encargar la ejecución de los ensayos de resistencia característica del hormigón utilizado en la cimentación tal y como lo establecen el Art. 86° de la EHE-08. El contratista tomará a su cargo las obras ejecutadas con hormigón que hayan resultado de insuficiente calidad.

1.5.2. Tolerancias de Ejecución

1.5.2.1. 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.

1.5.2.2. Desplazamiento de un apoyo sobre el perfil longitudinal

No debe suponer aumento en la altura del apoyo. Las distancias de los conductores respecto al terreno deben permanecer como mínimo iguales a las previstas en el Proyecto Específico.

1.5.2.3. Verticalidad de los apoyos

En los apoyos de alineación se admitirá una tolerancia en la verticalidad del 0,2 % sobre la altura del mismo.

1.5.2.4. Altura de flechas

Los errores máximos admitidos en las flechas, 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.
- De +/-3% Entre los conductores situados en un plano vertical
- De +/-6% Entre los conductores situados en un plano horizontal

La medición de flechas se realizará según norma UNE 21 101.

1.5.2.5. Estado y colocación de los aisladores y herrajes

Se comprobará que el montaje de cadenas de aisladores, crucetas aislantes y herrajes, son correctos y 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 ni un giro superior a 2° en las crucetas aislantes giratorias.

1.5.2.6. Distancias a masa

Se comprobará que las distancias fase-tierra son mayores que las mínimas establecidas en el apdo. 5.4.2 de la ITC 07 del RLAT.

Capítulo 2. Línea Subterránea

2.1. Objeto y Campo de Aplicación

Este pliego de condiciones tiene por objeto, la definición de los requisitos que han de cumplir los suministros e instalación de los materiales necesarios para la ejecución de la línea subterránea de alta tensión 220kV, continuación de la línea aérea descrita anteriormente, para la evacuación de la potencia generada en cuatro plantas termosolares ubicadas en la localidad de Grandival, Condado de Treviño (España).

2.2. Replanteo y Medición

Todos los trabajos se realizarán en conformidad a los planos y coordenadas entregados previamente a su ejecución.

Se comprobarán siempre los servicios y elementos afectados, tanto si están previstos inicialmente como si surgen a posteriori. Para ello, se realizarán los estudios y calas que sean oportunas.

2.3. Ejecución del Trabajo

Corresponde al contratista la responsabilidad en la ejecución de los trabajos que deberán realizarse conforme a las reglas del arte.

2.3.1. *Trazado*

Las canalizaciones, salvo casos de fuerza mayor, se ejecutarán en terrenos de dominio público, bajo aceras o calzadas, evitando ángulos pronunciados. El trazado será lo más rectilíneo posible, paralelo en toda su longitud a bordillos o fachadas de los edificios principales.

Antes de comenzar los trabajos, se marcarán en el pavimento las zonas donde se abrirán las zanjas, marcando tanto su anchura como su longitud. Si ha habido posibilidad de conocer las acometidas de otros servicios a las fincas construidas, se indicarán sus situaciones con el fin de tomar las precauciones debidas.

Antes de proceder a la apertura de las zanjas se abrirán calas de reconocimiento para confirmar o rectificar el trazado previsto.

Se estudiará la señalización de acuerdo con las normas municipales y se determinarán las protecciones precisas tanto de la zanja como de los pasos que sean necesarios para los accesos a los portales, comercios, garajes, etc.

Se procurará causar los mínimos daños posibles en la propiedad, ajustándose a los compromisos adquiridos con el propietario antes de la ejecución de las obras.

En entornos rurales se mantendrán cerradas las propiedades atravesadas, en caso de posibilidad de presencia de ganado.

En instalaciones entubadas se respetarán los radios de curvatura mínimos precisos dependiendo del diámetro exterior del tubo, de tal forma que en instalaciones bajo tubo de diámetro exterior 160mm, se respetará un radio de curvatura mínimo de 8m; en instalaciones bajo tubo de diámetro exterior de 200mm, se respetará un radio de curvatura mínimo de 10m; y en instalaciones bajo tubo de diámetro exterior 250mm, se respetará un radio de curvatura mínimo de 12,5m.

2.3.2. *Apertura de Zanjas*

La excavación la realizará una empresa especializada, que trabaje con los planos de trazado suministrados por la Compañía.

Las zanjas se harán verticales hasta la profundidad escogida, colocándose entibaciones en los casos que la naturaleza del terreno lo haga preciso.

Se procurará dejar un paso de 500 mm entre la zanja y las tierras extraídas o cualquier otro objeto, con el fin de facilitar la circulación del personal de la obra y evitar la caída de tierras en la zanja. La tierra excavada y el pavimento, deben depositarse por separado. La planta de la zanja debe limpiarse de piedras agudas, que podrían dañar las cubiertas exteriores de los cables.

Las tierras extraídas se apilarán de forma adecuada para su posterior uso, en caso de que las autoridades lo permitan, o para su posterior evacuación a vertedero autorizado. Se prestará especial atención para no mezclarla con agentes contaminantes que pudieran dañar el medio ambiente o impedir su posible reutilización.

2.3.3. Canalización

En este tipo de canalización se instalará un cable por tubo. Los tubos serán independientes entre sí y se ajustarán a lo indicado en la edición vigente de la Especificación de Materiales “Tuberías plásticas corrugadas de doble pared para líneas subterráneas” de ENDESA distribución, siendo sus principales características:

- Tubo de polietileno de alta densidad o polipropileno, de doble pared, lisa la interna y corrugada la externa.
- Diámetro exterior de 160mm
- Tramos de 6 metros de longitud, con uniones entre tubos mediante manguitos con junta de estanqueidad.

La disposición de los tubos, que será siempre al tresbolillo, vendrá obligada por el empleo de separadores, situados cada 3 m (dos por tramo de tubo). Las características de los separadores de tubos de potencia serán las impuestas por la edición vigente de la Especificación de Materiales ENDESA distribución “Separadores de tuberías plásticas corrugadas para líneas subterráneas”.

Los separadores serán de tipo plástico, compuestos a partir material libre de halógenos y proporcionarán suficiente rigidez mecánica para soportar los esfuerzos electrodinámicos tanto en el momento de instalación como en servicio. La forma del separador obligará al formado del tresbolillo de los tubos, introduciendo una separación entre los tubos de 40 mm para tubos de diámetros exteriores de 160 y 200 mm y de 70 mm para diámetros exteriores de 250mm.

En caso de separadores de tubos de 250 mm de diámetro exterior, dispondrán en el mismo cuerpo de habitáculos para los tubos de cables equipotenciales y testigo de hormigonado para el encofrado. En caso de separador de tubos de menor diámetro no serán obligatorios estos dos requisitos, pero dispondrán de piezas conectoras para la correcta fijación de los tubos para el conductor equipotencial. Se respetará un radio de 100 mm alrededor de los tubos, sin que se

ubique ningún otro elemento, para lo que se realizarán las etapas necesarias en las fases de hormigonado respetando las canalizaciones descritas en el documento PLANOS.

El encofrado de hormigón ocupará toda la anchura de la canalización. La altura del encofrado será de 783 mm para tubos de diámetros exterior de 160 mm, 858 mm para tubos de diámetro exterior 200 mm y 977 mm para tubos de diámetro exterior 250mm. Para el encofrado de hormigón se utilizará en todo caso hormigón en masa HM-20/B/20 según la norma EHE-08. Las clases general y específica de exposición se especificarán en caso necesario en función de la agresividad prevista del terreno para cada proyecto específico.

A continuación se rellenará toda la zanja con tierra procedente de la misma excavación, si esta reúne las condiciones exigidas por las normas, reglamentos y ordenanzas municipales correspondientes, o bien con tierra de aportación en caso contrario. Se compactará esta tierra en tongadas de 30 cm, hasta lograr una compactación, como mínimo, al 95% del Proctor Modificado (P.M.).

Con objeto de efectuar una señalización de los cables enterrados, se colocará una cinta señalizadora por terna (el material, dimensiones, color, etc. de la cinta de señalización será el indicado en la edición vigente de la Especificación de Materiales ENDESA distribución “Cinta de polietileno para señalización subterránea de cables enterrados”, a una profundidad aproximada de 150 mm bajo el pavimento a reponer y situada sobre el eje vertical de cada terna.

2.3.4. Transporte de Bobinas de Cables

Previamente al traslado, será estudiado el emplazamiento de destino. El transporte de la bobinas se realizará siempre sobre vehículo, manipulándose mediante grúa.

La carga y descarga, sobre camiones o remolques apropiados, se hará siempre mediante una barra adecuada que pase por el orificio central de la bobina. Las bobinas de cable se transportarán siempre de pie y nunca tumbadas sobre una de las tapas.

Si la bobina se transporta con duelas, se deben proteger convenientemente para que un deterioro de las mismas no afecte al cable.

Cuando se coloquen las bobinas en cualquier tipo de transportador, éstas deberán quedar en línea, en contacto una con otra, y bloqueadas firmemente en los extremos y a lo largo de sus tapas.

El bloqueo de las bobinas se debe hacer con tacos de madera lo suficientemente largos y resistentes, con un largo total que cubra completamente el ancho de la bobina y puedan apoyarse los perfiles de las dos tapas. Las caras del taco tienen que ser uniformes para que las duelas no se puedan romper dañando entonces el cable.

El almacenamiento de bobinas se realizará sobre firme adecuado, en un lugar donde no pueda acumularse agua. En lugares húmedos se aconseja la separación de las bobinas. No se permitirá el apilamiento de bobinas. Cuando deba almacenarse una bobina de la que se ha utilizado una parte del cable que contenía, han de taponarse los extremos de los cables, utilizando capuchones retráctiles.

2.3.5. *Tendido de Cables*

2.3.5.1. *Tendido de conductores*

Antes de iniciar la instalación del cable hay que limpiar el interior del tubo, asegurar que no haya cantos vivos, aristas y que los tubos estén sin taponamientos. Con este fin se procederá a mandrilar los tubos de la instalación según los diámetros interiores de los mismos. Para el tendido la bobina estará siempre elevada y sujeta por gatos mecánicos y una barra, de dimensiones y resistencia apropiada al peso de la bobina.

La base de los gatos será suficientemente amplia para que garantice la estabilidad de la bobina durante su rotación. Esta operación se deberá realizar obligatoriamente en presencia del director de obra.

Después del mandrilado se procederá a tapar el tubo para evitar la entrada de cuerpos extraños y se levantará acta de esta actividad.

Los cables deben ser siempre desenrollados y puestos en su sitio con el mayor cuidado, evitando que sufran torsión, hagan bucles, etc., y teniendo siempre en cuenta que el radio de curvatura del cable debe ser superior a 20 veces su diámetro durante su tendido, y un radio de curvatura una vez instalado de 10 ($D+d$), siendo D el diámetro exterior del cable y d el diámetro del conductor.

Cuando los cables se tiendan a mano, los operarios estarán distribuidos de una manera uniforme a lo largo de la zanja, estarán comunicados y en disposición de detener el proceso de tendido en cualquier momento. A medida que vaya extrayendo el cable de la bobina, se hará inspección visual de cualquier deterioro del cable.

También se puede tender mediante cabrestantes, tirando del extremo del cable al que se le habrá adaptado una cabeza apropiada y con un esfuerzo de tracción por milímetro cuadrado de conductor que no debe pasar del indicado por el fabricante del mismo.

El tendido se hará obligatoriamente a través de rodillos que puedan girar libremente, y contruidos de forma que no dañen el cable. La superficie de los rodillos será lisa, libre de rebabas o cualquier deformación que pudiera dañar el cable. Los rodillos se montarán sobre rodamientos convenientemente lubricados, para lo que se dispondrán los equipos de engrase convenientes. El diámetro del rodillo será, como mínimo, de $2/3$ partes el diámetro del conductor.

Solo de manera excepcional se autorizará desenrollar el cable fuera de la zanja, siempre bajo vigilancia del Director de Obra.

Cuando la temperatura ambiente sea inferior a cero grados centígrados no se permitirá hacer el tendido del cable, debido a la rigidez que toma el aislamiento. El cable puede calentarse antes de su tendido almacenando las bobinas durante varios días en un local caliente o exponiéndolos a los efectos de elementos calefactores o corrientes de aire caliente situados a una distancia adecuada. Las bobinas han de girarse a cortos intervalos de tiempo, durante el precalentamiento. El cable ha de calentarse también en la zona interior del núcleo. Durante el transporte se debe usar una lona para cubrir el cable. El trabajo del tendido se ha de planear cuidadosamente y llevar a cabo con rapidez, para que el cable no se vuelva a enfriar demasiado. Si con motivo de las obras de canalización aparecieran instalaciones de otros servicios; se tomarán todas las precauciones para no dañarlas, dejándolas al terminar los trabajos en las mismas condiciones en que se encontraban primitivamente.

Si involuntariamente se causara alguna avería en dichos servicios, se avisará con toda urgencia al director de obra y a la empresa correspondiente con el fin de que procedan a su reparación. El encargado de la obra por parte del contratista deberá conocer la dirección de los servicios públicos así como su número de teléfono para comunicarse en caso de necesidad.

Si las pendientes son muy pronunciadas y el terreno es rocoso e impermeable, se corre el riesgo de que la zanja de canalización sirva de drenaje originando un arrastre de la arena que sirve de lecho a los cables. En este caso se deberá entubar la canalización, asegurándola con hormigón en el tramo afectado. Nunca se pasará más de un cable por un mismo tubo.

Una vez tendido el cable, los tubos se taparán de forma que el cable quede en la parte superior del tubo.

En instalaciones bajo tubo, se tendrá especial cuidado en la boca del tubo para no producir rayaduras en la cubierta del cable. Se colocará un rodillo a la entrada del tubo o, en su defecto, se utilizarán boquillas protectoras.

2.3.5.2. Tendido de cable de puesta a tierra

La sección de cada cable de tierra no será en ningún caso inferior a la sección de la pantalla y, en cualquier caso, soportará una intensidad de cortocircuito admisible en régimen no adiabático superior a la soportada por la pantalla. Para el mandrilado del tubo utilizado para el tendido de los conductores equipotenciales, se emplearán medios mecánicos y no manuales, como máquina de tiro con limitador de esfuerzo. El mandril será suministrado por el contratista.

2.3.6. Protección Mecánica

Las líneas eléctricas subterráneas deben estar protegidas contra posibles averías producidas por hundimiento de tierras, por contacto con cuerpos duros y por choque de herramientas metálicas.

En instalaciones enterradas bajo tubo, el tubo actuará como protección mecánica. Estos tendrán características según las requeridas por la Especificación de Materiales ENDESA distribución “Tuberías plásticas corrugadas de doble pared para líneas subterráneas”.

Para ello se colocará una placa de polietileno de alta densidad o polipropileno según la edición vigente de la Especificación de Materiales de ENDESA distribución “Placa de Polietileno para protección de cables enterrados”.

Los elementos de protección tendrán una adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y un impacto de energía de 40 J.

2.3.7. Señalización

Todo cable o conjunto de cables debe estar señalado por una cinta de atención de acuerdo con la especificación de materiales de ENDESA distribución, colocada a una distancia mínima de 100 mm del suelo y a una distancia mínima de 300 mm de la parte superior del

cable. Cuando los cables o conjuntos de cables de categorías de tensión diferentes estén superpuestos, debe colocarse dicha cinta encima de cada uno de ellos.

2.3.8. *Identificación*

Los cables deberán llevar grabado de forma indeleble y fácilmente legible, como mínimo, los siguientes datos:

- Nombre del fabricante
- Referencia de fabricación del cable
- Designación completa del cable
- Dos últimas cifras del año de fabricación
- Código UF
- Orden o lote de fabricación

La separación máxima entre dos marcas consecutivas será de un metro. En el marcado del cable deberán indicarse convenientemente las propiedades de comportamiento al fuego y obturación del conductor cuando proceda. En el marcado del cable deberán indicarse convenientemente las propiedades de comportamiento al fuego y obturación del conductor cuando proceda.

2.3.9. *Cierre de Zanjas*

Para efectuar el cierre de zanjas, se rellenarán estas con tierra procedente de la misma excavación, si esta reúne las condiciones exigidas por las normas, reglamentos y ordenanzas municipales correspondientes, o bien con tierra de aportación en caso contrario.

Se compactará esta tierra en tongadas de 30 cm, empleando un rodillo vibratorio compactador manual hasta lograr una compactación, como mínimo, al 95% del Proctor Modificado (P.M.).

En el caso de canalización bajo tubo sin hormigonar, las dos primeras tongadas se pasarán con el rodillo sin vibrar, vibrándose el resto.

Se procurará que las primeras capas de tierra por encima de los elementos de protección (tubos o placas de polietileno) estén exentas de piedras o cascotes, para continuar posteriormente sin tanta escrupulosidad. De cualquier forma debe tenerse en cuenta que una abundancia de pequeñas piedras o cascotes puede elevar la resistividad térmica del terreno y disminuir con ello la posibilidad de transporte de energía del cable.

El Contratista será responsable de los hundimientos que se produzcan por la deficiente realización de esta operación y, por lo tanto, serán de su cuenta las posteriores reparaciones que tengan que ejecutarse.

La carga y transporte a vertederos de las tierras sobrantes está incluida en la misma unidad de obra que el cierre de las zanjas con objeto de que el apisonado sea lo mejor posible.

A fin de lograr una buena compactación, no se realizará el cierre de la zanja en las 24 horas posteriores al hormigonado de las mismas ni se emplearán tierras excesivamente húmedas.

2.3.10. Reposición de Pavimentos

Los pavimentos serán repuestos de acuerdo con las normas y disposiciones dictadas por el propietario de los mismos o el organismo afectado. La reposición de capas asfálticas tendrá un espesor mínimo de 70 mm, salvo indicación expresa del organismo afectado.

2.3.11. Puesta a Tierra

Las pantallas de los cables deben ser puestas a tierra según el esquema de conexión que se vaya a emplear.

Los electrodos de puesta a tierra están constituidos, bien por picas de acero-cobre, bien por conductores de cobre desnudo enterrados horizontalmente, o bien por combinación de ambos.

En las terminaciones de las subestaciones, se empleará el electrodo de puesta a tierra propio de la subestación.

Las uniones de todos los elementos enterrados se realizarán mediante soldadura aluminotérmica.

2.4. Materiales

Todos los materiales empleados en la obra serán de primera calidad y cumplirán los requisitos que exige el presente Proyecto Tipo. El Director de Obra se reserva el derecho de rechazar aquellos materiales que no ofrezcan suficientes garantías.

Los materiales empleados en la instalación serán suministrados 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.

2.5. 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 Técnicas. Esta verificación se realizará por cuenta del Contratista.

Una vez finalizadas las instalaciones, el Contratista deberá solicitar la oportuna recepción global de la obra.

En la recepción de la instalación se incluirá la medición de la resistencia de las tomas de tierra y las pruebas de aislamiento pertinentes. Así, una vez que la instalación ha sido concluida, es necesario comprobar que el tendido del cable y el montaje de los accesorios (empalmes, terminales, etc.) se ha realizado correctamente, para lo cual serán de aplicación los ensayos especificados al efecto en las normas correspondientes y según se establece en la ITC-LAT 05.

El Director de Obra contestará por escrito al Contratista, comunicando su conformidad a la instalación o condicionando su recepción a la modificación de los detalles que estime susceptibles de mejora.

Capítulo 3. Condiciones Ambientales y de Seguridad y Salud

La ejecución de los trabajos deberá cumplir los siguientes requisitos medioambientales.

3.1. Condiciones Generales de Trabajo

Se cumplirá con la normativa ambiental vigente para el ejercicio de la actividad, así como con los requisitos internos de las instalaciones de ENDESA distribución en lo referente a protección ambiental. Así mismo, en caso de existir, se cumplirán los requisitos ambientales establecidos en los Estudios de Impacto Ambiental, Declaraciones de Impacto Ambiental, Planes de Vigilancia Ambiental, o resoluciones emitidas por la Administración Ambiental.

3.2. Atmósfera

Para minimizar la dispersión de material por el viento, se adoptarán las siguientes medidas:

- Acopio y almacenamiento de materiales en lugares protegidos
- Reducción del área y tiempo de exposición de los materiales almacenados al máximo posible
- Humedecer los materiales expuestos al arrastre del viento y las vías no pavimentadas
- Priorizar el acondicionamiento de suelo desnudo
- La carga y transporte de materiales se realizará cubriendo las cajas de los vehículos y adaptando la velocidad del transporte al tipo de vía.

3.3. Residuos

Como primera medida se aplicará una política de NO GENERACIÓN DE RESIDUOS y su manejo incluirá los siguientes pasos: reducir, reutilizar y reciclar.

Conservar las zonas de obras limpias, higiénicas y sin acumulaciones de desechos o basuras, y depositar los residuos generados en los contenedores destinados y habilitados a tal fin.

La gestión y el transporte de los residuos se realizarán de acuerdo con la normativa específica para cada uno de ellos, según su tipología.

3.4. Conservación Ambiental

Se acotarán las operaciones de desbroce y retirada de la cubierta vegetal a las necesidades de la obra.

Se acopiará y reservará la cubierta vegetal para su reposición una vez finalizada la obra.

Se utilizarán los accesos existentes para el transporte de material, equipo y maquinaria que se emplee durante la ejecución de la obra.

3.5. Finalización de la Obra y Restauración Ambiental

Retirada de los materiales sobrantes, estructuras temporales y equipos empleados durante la ejecución de la obra, restaurando las zonas que hayan sido compactadas o alteradas.

3.6. Condiciones de Seguridad y Salud

Serán de aplicación todas las normas y reglamentación legal sobre “Prevención de Riesgos Laborales” referidas a su última edición.

Será de obligatorio cumplimiento el “Estudio de Seguridad y Salud” o, en su defecto, el “Estudio Básico de Seguridad y Salud”, cuando las condiciones permitan éste último.

El Contratista estará obligado a elaborar y hacer cumplir el Plan de Seguridad de la ejecución de la obra acorde con la normativa vigente según RD 1627/97 y todas las actualizaciones que le afectan.

Se adoptarán las medidas de protección necesarias para las personas que trabajen o transiten por la zona de obras.

Todas las grúas que se utilicen dispondrán de limitadores de carga.

Como primera medida a tomar, se procurará ejecutar las obras con orden y limpieza, y se mantendrán en buen estado los accesos.

PARTE IV ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Capítulo 1. Objeto

El presente estudio de seguridad y salud tiene como objeto establecer las directrices generales encaminadas a disminuir en lo posible, los riesgos accidentales laborales y enfermedades profesionales, así como a la minimización de las consecuencias de los accidentes que se produzcan, mediante la planificación de la medicina asistencial y de primeros auxilios, durante los trabajos de ejecución del presente proyecto.

Este estudio se ha elaborado en cumplimiento del Real Decreto 1627/1997, del 24 de Octubre, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Capítulo 2. Datos de la Obra

2.1. Descripción de los trabajos

La línea comienza en la central termosolar de Grandival en el Condado de Treviño, Burgos (España), comenzando con un tramo aéreo unido al apoyo 1 especificado anteriormente. Desde este punto la línea discurre con un tramo aéreo de 9.228,62 metros de longitud. Dicha línea cuenta con 25 torres formando 7 alineaciones. Una vez llegado a esta última torre ubicada en la localidad de Argote, en el mismo municipio, la línea pasa a ser subterránea con el fin de poder pasar cerca de la zona de población. La salida de este tramo subterráneo de 990 metros de longitud estará conectada a la red a través de la subestación de Argote.

2.2. Actividades Principales

Las principales actividades a ejecutar para el desarrollo del trabajo son:

- Replanteo y estaquillado
- Implantación de obra y señalización
- Acopio y manipulación de materiales
- Transporte de materiales y equipos dentro de la obra
- Obras de excavación
- Movimiento de tierras
- Encofrados
- Hormigonado
- Zanjado
- Montaje de estructuras metálicas y prefabricados
- Maniobras de izado, situación en obra y montaje
- Tendido, regulado, engrapado, conexionado de conductores
- Colocación de accesorios
- Desmontaje de estructuras y equipos
- Desescombros y retirada
- Retirada de materiales y equipos existentes dentro de la obra

- Puesta en marcha de la instalación

2.3. Situación y Climatología

El emplazamiento de la línea es en la provincia de Palencia, con una climatología de tipo continental, con inviernos muy fríos y veranos muy calurosos.

2.4. Personal Previsto

Se prevé que el máximo número de personas durante la realización de las obras, no excederá a treinta personas.

Capítulo 3. Identificación de Riesgos

3.1. Instalaciones

Se analizan a continuación los riesgos y medidas preventivas generales en función del tipo de instalación donde se desarrollan los trabajos de ejecución previstos en las obras. Estos riesgos y medidas preventivas serán concretados y detallados para cada trabajo.

Riesgos

- Caídas de personal al mismo nivel
- Caídas de personal a distinto nivel
- Caída de objetos
- Desprendimientos, desplomes y derrumbes
- Contactos eléctricos
- Arcos eléctricos

Medidas Preventivas

- Orden y limpieza
- Señalización de la zona e trabajo
- Utilización de los pasos y vías existentes
- Iluminación adecuada de la zona
- Uso de calzado adecuado
- Extremar las precauciones con hielo, agua o nieve
- Trabajar en una superficie lo más uniforme y lisa posible, y suficientemente amplia
- Para zanjas de 2 o más metros de profundidad se colocarán barandillas con rodapiés, listón intermedio y listón superior a una altura mínima de 90cm
- Para zanjas con una profundidad inferior a 2 metros se colocarán vallas, se señalizarán los huecos o se taparán de forma efectiva
- Se utilizará una línea de vida y el arnés anticaídas
- No se utilizará maquinaria diseñada solo para elevación de cargas para transportar o elevar personal
- Se usarán escaleras y andamios

- Entibación o ataluzado de zanjas de profundidad superior a 1,3 metros o en terreno poco estable. Para zanjas de profundidad superior a 1,3 metros se mantendrá un trabajador fuera de la zanja
- Mantener las distancias de la mitad de la profundidad de la zanja entre zanjas y acopio cercano o vallado. Esta distancia será igual a la profundidad de la zanja en caso de que el terreno sea arenoso
- En la medida de lo posible, se evitará que los trabajadores realicen trabajos en el interior de las zanjas
- Se comprobará el estado de las entibaciones y del terreno antes de cada jornada y después de una copiosa lluvia.
- Se señalará la zona de acopio
- Los trabajos que conlleven un riesgo de incendio se procederán.
- Deberá haber un plan de emergencia y evacuación en los centros que lo precisen
- El personal estará formado en los procedimientos de trabajo así como en los planes de emergencia y evacuación
- Se evitará el contacto de las sustancias combustibles con fuentes de calor intempestivas: fumar, recalentamientos de máquinas, instalaciones eléctricas inapropiadas, operaciones de fuego abierto descontroladas, superficies calientes, trabajos de soldadura, chispas de orígenes mecánicos o debidos a electricidad estática.
- Se ventilaran los vapores inflamables
- Se limitará la cantidad de sustancias combustibles en los lugares de trabajo
- Los combustibles se almacenarán en locales y recipientes adecuados
- En la medida de lo posible se evitará trabajar con sustancias de elevada inflamabilidad
- Se deberá cumplir con la reglamentación vigente para la protección contra incendios tanto en la instalación como en el mantenimiento
- Las instalaciones eléctricas cumplirán las reglamentaciones vigentes en particular en lo relativo a cargas, protecciones, instalaciones antideflagrantes, etc.
- Se dotarán los lugares de trabajos de extintores portátiles adecuados
- Se instalarán bocas de incendios equipadas donde se requieran
- Los trabajos en recintos cerrados deben procedimentarse. Prever la necesidad de ventilación forzada. Siempre que se dude de la calidad del aire, utilizar equipos de respiración autónomos organizar el trabajo teniendo en cuenta la posibilidad de actuar sobre la alimentación del aire (colocar pantallas)

3.2. Profesionales

A continuación se analizan los riesgos previsible inherentes a las actividades de ejecución previstas en la obra.

Con el fin de no repetir innecesariamente la relación de riesgos, se analizan primero los riesgos generales, que pueden darse en cualquiera de las actividades, y después se seguirá con el análisis de los específicos para cada actividad.

3.2.1. *Carácter General*

Se entienden como riesgos generales aquellos que puedan afectar a todos los trabajadores, independientemente de la actividad concreta que desarrollen.

Riesgos

- Caídas de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al mismo nivel
- Caídas de objetos o componentes sobre personas
- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento
- Caída de objetos desprendidos
- Pisadas sobre objetos
- Choques contra objetos inmóviles
- Choques contra objetos móviles
- Proyecciones de partículas a los ojos
- Heridas en manos o pies por manejo de materiales
- Sobreesfuerzos
- Golpes y cortes por manejo de herramientas
- Atrapamientos por o entre objetos
- Atrapamientos por vuelco de máquinas, vehículos o equipos
- Quemaduras por contactos térmicos
- Exposición a descargas eléctricas
- Exposición a sustancias nocivas o tóxicas
- Contactos con sustancias cáusticas y/o corrosivas
- Incendios

- Explosiones
- Atropellos o golpes por vehículos en movimiento
- Exposición a factores atmosféricos extremos

Medidas Preventivas

- Señalizaciones de acceso a obra y uso de elementos de protección personal.
- Las zonas de peligro deberán estar acotadas y señalizadas.
- La iluminación de los puestos de trabajo deberá ser la adecuada para el desarrollo correcto del trabajo.
- Acotamiento y señalización de zona donde exista riesgo de caída de objetos desde altura.
- Se montaran barandillas resistentes en los huecos por los que pudiera producirse caída de personas.
- En cada tajo de trabajo, se dispondrá de, al menos, un extintor portátil de polvo polivalente.
- Si se realizasen trabajos con proyecciones incandescentes en proximidad de
- materiales combustibles, se retirarán estos o se protegerán con lona ignífuga.
- Se mantendrán ordenados los materiales, cables y mangueras para evitar el riesgo de golpes o caídas al mismo nivel por esta causa.
- Los restos de materiales generados por el trabajo se retirarán periódicamente para mantener limpias las zonas de trabajo.
- Los productos tóxicos y peligrosos se almacenarán y manipularán según lo establecido en las condiciones de uso específicas de cada producto.
- Respetar la señalización y limitaciones de velocidad fijadas para circulación de vehículos y maquinaria en el interior de la obra.
- Aplicar las medidas preventivas contra riesgos eléctricos que desarrollaremos más adelante.
- Todos los vehículos llevarán los indicadores ópticos y acústicos que exija la legislación vigente.
- En actividades con riesgo de proyecciones a terceros, se colocarán mamparas opacas de material ignífugo.
- Se protegerá a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.

3.2.2. *Carácter Específico*

Se entienden como riesgos específicos aquellos que pueden afectar solamente a los trabajadores que realicen una actividad concreta.

Normas generales de SEÑALIZACIÓN

Las zonas de los lugares de trabajo en las que exista riesgo de caída, de caída de objetos o de contacto o exposición a elementos agresivos, deberán estar claramente señalizadas según el R.D. 485/1997.

Se acotará y señalizará la zona de trabajo, a la cual se accederá siempre por accesos concretos. Se señalizarán aquellas zonas en las que existan los siguientes riesgos:

3.2.2.1. Caída desde altura de objetos

- Zonas donde se realicen maniobras con cargas suspendidas hasta que se encuentren totalmente apoyadas.
- Caídas de personas sobre plataformas, forjados, etc. en las que además se montarán barandillas resistentes en todo el perímetro o bordes.
- Caídas de personas dentro de huecos, etc. para lo que se protegerán con barandillas o tapas de suficiente resistencia.
- Aquellos huecos que se destapen para introducción de equipos, etc., que se mantendrán perfectamente controlados y señalizados durante la maniobra, reponiéndose las correspondientes protecciones nada más finalizar éstas.

3.2.2.2. Productos inflamables

- En las zonas de ubicación se dispondrá de al menos un extintor portátil de polvo polivalente.
- Es obligatoria la delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los distintos materiales, en particular si se trata de materias o sustancias peligrosas.

3.2.2.3. *Vías y salidas de emergencia*

Los pictogramas serán lo más sencillos posible, evitándose detalles inútiles para su comprensión. Podrán variar ligeramente o ser más detallados que los indicados en el apartado 3, siempre que su significado sea equivalente y no existan diferencias o adaptaciones que impidan percibir claramente su significado.

Las señales serán de un material que resista lo mejor posible los golpes, las inclemencias del tiempo y las agresiones medio ambientales.

Las dimensiones de las señales, así como sus características colorimétricas y fotométricas, garantizarán su buena visibilidad y comprensión.

Las señales se instalarán preferentemente a una altura y en una posición apropiadas en relación al ángulo visual, teniendo en cuenta posibles obstáculos, en la proximidad inmediata del riesgo u objeto que deba señalizarse o, cuando se trate de un riesgo general, en el acceso a la zona de riesgo.

El lugar de emplazamiento de la señal deberá estar bien iluminado, ser accesible y fácilmente visible. Si la iluminación general es insuficiente, se empleará una iluminación adicional o se utilizarán colores fosforescentes o materiales fluorescentes.

A fin de evitar la disminución de la eficacia de la señalización no se utilizarán demasiadas señales próximas entre sí.

Las señales deberán retirarse cuando deje de existir la situación que las justificaba.

La señalización relativa a los riesgos eléctricos viene dada en “Riesgos Eléctricos” del apartado de Riesgos Específicos, debiendo señalizarse de forma clara y permanente la existencia del riesgo eléctrico.

Señalización en Entorno Urbano:

Equipos de Protección Individual y Colectiva:

- Equipo de protección general
- Chaleco reflectante
- Vallas metálicas
- Cinta o cadena de señalización

La señalización, balizamiento y en su caso, defensas en las obras que afecten a la libre circulación por las vías públicas, se atenderán a las normas establecidas o instrucciones complementarias que ordene la administración competente.

En entorno urbano, los trabajadores irán provistos de prendas de color amarillo o naranja, con elementos retroreflectantes.

Se acotará la zona de trabajo mediante cerramientos rígidos (vallas metálicas) en población. Las excavaciones no se quedarán nunca sin proteger o señalizar.

Cuando circulen vehículos, los cerramientos se colocarán dependiendo de las características del terreno a una distancia, como mínimo, de 1 m para firmes de hormigón.

Cuando por razones de la obra se ocupen los espacios destinados a la circulación peatonal (aceras, pasos, etc.) se habilitarán pasos alternativos debidamente señalizados y protegidos.

Se colocarán balizas luminosas de señalización por la noche.

Se extremarán las precauciones en cruzamientos de carreteras, zonas transitadas y/o cruzamiento de servicios.

Al término de la jornada, en las zonas transitadas se señalizarán y protegerán los posibles obstáculos que puedan ser causa de daños a terceros.

Señalización en Entorno No Urbano:

Equipos de Protección Individual y Colectiva:

- Equipo de protección general.
- chaleco reflectante.
- Vallas metálicas.
- Cinta o cadena de señalización.

Se acotará la zona de trabajo mediante cerramientos rígidos (vallas metálicas) o cintas de limitación. En este último caso, se colocará una cinta delimitadora a una altura mínima de 1 metro respecto del suelo, rodeando el perímetro de la excavación. Dicha cinta se fijará a piquetas, situadas a una distancia mínima de 2 metros entre ellas.

La señalización habrá de ser claramente visible por la noche, disponiendo de bandas reflectantes verticales de 10 cm. de anchura.

Los recintos vallados o balizados llevarán siempre luces propias, colocadas a intervalos máximos de 30 metros y siempre en los ángulos salientes.

Las excavaciones no se quedarán nunca sin proteger o señalizar.

En entorno no urbano, los trabajadores irán provistos de prendas de color amarillo o naranja, con elementos retroreflectantes siempre que realicen trabajos próximos a carreteras o caminos por donde pueda haber circulación de vehículos

Señalización en Carreteras (Norma de carreteras 8.3 – IC “Señalización De Obras”)

Equipos de Protección Individual y Colectiva:

- Equipo de protección general.
- chaleco reflectante.
- Vallas metálicas.
- Cinta o cadena de señalización.

Se seguirán siempre las indicaciones que proporcione el organismo propietario de la carretera.

Las señales deberán tener las dimensiones mínimas especificadas por la Norma de carreteras 8.3 – IC “Señalización de Obras”, y ser siempre reflectantes, de nivel 1 como mínimo si son obras fijas y de nivel 2 si es señalización móvil de obra (según norma UNE). Se recomienda utilizar siempre un nivel superior en lugares donde la iluminación ambiente dificulte su percepción y en lugares de elevada peligrosidad, asimismo las señales de STOP tendrán siempre, como mínimo, un nivel 2 de reflectancia.

El color amarillo que distingue a las señales de obra de las normales, solamente se debe emplear en las señales con fondo blanco.

En las obras en las que la señalización provisional esté implantada durante las horas nocturnas, las señales y los elementos de balizamiento no sólo serán reflectantes, sino que deberán ir acompañados de elementos luminosos. En general, las obras en el interior de túneles tendrán siempre la consideración de obras en horas nocturnas.

A juicio del Director de Obra y dependiendo de las circunstancias que concurran en la misma, se podrá señalizar horizontalmente con marcas en color amarillo o naranja, las alteraciones que se produzcan sobre la situación normal de la vía.

Estas marcas viales podrán ser sustituidas por captafaros TB-10, aplicados sobre el pavimento.

El material de señalización y balizamiento se descargará y se colocará en el orden en que haya de encontrarlo el usuario. De esta forma el personal encargado de la colocación trabajará bajo la protección de la señalización precedente.

Si no se pudieran transportar todas las señales y balizas en un solo viaje, se irán disponiendo primeramente fuera de la calzada y de espaldas al tráfico.

Se recomienda anular la señalización permanente cuando no sea coherente con la de obra, tapando para ello las señales necesarias, mientras la señalización de obra esté en vigor.

La retirada de la señalización y balizamiento se realizará en orden inverso al de colocación y siempre que sea posible desde la zona vedada al tráfico o desde el arcén, pudiendo entonces el vehículo dedicado a ello, circular con la correspondiente luz prioritaria en sentido opuesto al de la calzada.

Una vez retirada la señalización de obra, se restablecerá la señalización permanente que corresponda.

Si los operarios van en vehículos, su protección vendrá dada por el propio vehículo. Si los operarios van a pie sobre la calzada, deberán protegerse mediante un vehículo.

En todas las circunstancias, los operarios irán provistos de prendas de color amarillo o naranja, con elementos retroreflectantes.

Se recomienda que las máquinas y vehículos que se utilicen en señalización móvil sean de colores blanco, amarillo o naranja. Llevarán como mínimo, una luz ámbar giratoria o intermitente omnidireccional en su parte superior, dispuesta de forma tal que pueda ser perfectamente visible por el conductor al que se quiere indicar su presencia, con una potencia mínima de 55 vatios en el caso de luz giratoria y de 1,5 julios en el caso de luz intermitente.

Las señales TP-18 (peligro, obras) y TP-31 llevarán siempre tres luces ámbar intermitentes de encendido simultáneo y dispuestas en triángulo en los vértices.

Las dimensiones mínimas de las señales utilizadas en señalización móvil serán las clasificadas como “grandes” en la Tabla 4 de la Norma 8.3-I.C.

3.2.2.4. Trabajos con Riesgo Eléctrico

Todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un riesgo eléctrico deberá de efectuarse sin tensión, salvo en el caso de que las condiciones de explotación o de continuidad del suministro así lo requieran (4.4.b R.D. 614/2.001).

n ningún caso se prevé la realización de trabajos en tensión. Caso de ser necesaria la realización de este tipo de trabajos, se elaborará un plan específico para ello.

Trabajos sin tensión (ANEXO II. R.D. 614/2001)

Disposiciones generales

Las operaciones y maniobras para dejar sin tensión una instalación, antes de iniciar el «trabajo sin tensión», y la reposición de la tensión, al finalizarlo, las realizarán trabajadores autorizados que, en el caso de instalaciones de alta tensión, deberán ser trabajadores cualificados.

A.1 Supresión de la tensión.

Una vez identificados la zona y los elementos de la instalación donde se va a realizar el trabajo, y salvo que existan razones esenciales para hacerlo de otra forma, se seguirá el proceso que se describe a continuación, que se desarrolla secuencialmente en cinco etapas:

- Desconectar.
- Prevenir cualquier posible realimentación.
- Verificar la ausencia de tensión.
- Poner a tierra y en cortocircuito.
- Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.

Hasta que no se hayan completado las cinco etapas no podrá autorizarse el inicio del trabajo sin tensión y se considerará en tensión la parte de la instalación afectada. Sin embargo, para establecer la señalización de seguridad indicada en la quinta etapa podrá considerarse que la instalación está sin tensión si se han completado las cuatro etapas anteriores y no pueden invadirse zonas de peligro de elementos próximos en tensión.

A.2 Reposición de la tensión.

La reposición de la tensión sólo comenzará, una vez finalizado el trabajo, después de que se hayan retirado todos los trabajadores que no resulten indispensables y que se hayan recogido de la zona de trabajo las herramientas y equipos utilizados.

El proceso de reposición de la tensión comprenderá:

1. La retirada, si las hubiera, de las protecciones adicionales y de la señalización que indica los límites de la zona de trabajo.

2. La retirada, si la hubiera, de la puesta a tierra y en cortocircuito.
3. El desbloqueo y/o la retirada de la señalización de los dispositivos de corte.
4. El cierre de los circuitos para reponer la tensión.

Desde el momento en que se suprima una de las medidas inicialmente adoptadas para realizar el trabajo sin tensión en condiciones de seguridad, se considerará en tensión la parte de la instalación afectada.

Disposiciones particulares

Las disposiciones particulares establecidas a continuación para determinados tipos de trabajo se considerarán complementarias a las indicadas en la parte A de este anexo, salvo en los casos en los que las modifiquen explícitamente.

B.2 Trabajos en líneas aéreas y conductores de alta tensión.

En los trabajos en líneas aéreas desnudas y conductores desnudos de alta tensión se deben colocar las puestas a tierra y en cortocircuito a ambos lados de la zona de trabajo, y en cada uno de los conductores que entran en esta zona; al menos uno de los equipos o dispositivos de puesta a tierra y en cortocircuito debe ser visible desde la zona de trabajo.

En los trabajos en líneas aéreas aisladas, cables u otros conductores aislados, de alta tensión la puesta a tierra y en cortocircuito se colocará en los elementos desnudos de los puntos de apertura de la instalación o tan cerca como sea posible a aquellos puntos, a cada lado de la zona de trabajo.

3.3. Primeros Auxilios y Asistencia Sanitaria

Como medida general, cada grupo de trabajo o brigada contará con un botiquín de primeros auxilios completo, revisado mensualmente, que estará ubicado en lugar accesible, próximo a los trabajos y conocido por todos los trabajadores, siendo el Jefe de Brigada (Encargado o Capataz) el responsable de revisar y reponer el material.

En caso de producirse un accidente durante la realización de los trabajos, se procederá según la gravedad que presente el accidentado.

Ante los accidentes de carácter leve, se atenderá a la persona afectada en el botiquín instalado a pie de obra, cuyo contenido se detalla más adelante.

Si el accidente tiene visos de importancia (grave) se acudirá al Centro Asistencial de la mutua a la cual pertenece la Contrata o Subcontrata, (para lo cual deberán proporcionar la dirección del centro asistencial más cercano de la mutua a la que pertenezca), donde tras realizar un examen se decidirá su traslado o no a otro centro.

Si el accidente es muy grave, se procederá de inmediato al traslado del accidentado al hospital más cercano.

Por todo lo anterior, cada grupo de trabajo deberá disponer de un teléfono móvil y un medio de transporte, que le permita la comunicación y desplazamiento en caso de emergencia.

3.4. Responsables de seguridad en Obra

La organización de la seguridad en la obra es responsabilidad del Promotor, quien designará (cuando corresponda) al coordinador en materia de seguridad y salud en la fase de ejecución de obra, con las competencias y funciones descritas en el apartado de Obligaciones de las partes implicadas.

Cada empresa contratista contará a pie de obra con un responsable de seguridad y salud, que corresponderá con una persona de acreditada competencia (con formación en materia de prevención de riesgos y de primeros auxilios), siendo la encargada de organizar, dirigir y mantener el control y supervisión de los trabajos realizados por empleados de su Empresa así como de los realizados por otras Empresas subcontratadas. Como norma general tendrá asignadas las siguientes funciones:

- Organizar los trabajos dentro del ámbito de su competencia, para garantizar la realización de los mismos con las suficientes garantías de seguridad.
- Supervisar y controlar de forma continuada el cumplimiento de las normas de seguridad por parte de trabajadores propios como de trabajadores subcontratados.
- Permitir el acceso de sólo personal autorizado/cualificado a los lugares de especial peligrosidad, o a la realización de actividades de especial riesgo (trabajos en altura, eléctricos, etc.)

3.5. Reuniones de Seguridad en Obra

A lo largo de la ejecución del proyecto, se deben realizar reuniones de seguridad en obra, donde se traten todos aquellos aspectos que afecten a la seguridad de la misma, y especialmente se haga un seguimiento y control sobre los incumplimientos detectados.

A estas reuniones podrán asistir además de las empresas contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos, el coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra (en el caso en que sea necesario su nombramiento), la dirección facultativa y el promotor o representante del mismo.

3.6. Botiquín

El contenido mínimo del botiquín será: desinfectantes y antisépticos autorizados, gasas estériles, algodón hidrófilo, venda, esparadrapo, apósitos adhesivos, tijeras, pinzas y guantes desechables.

Junto al botiquín se dispondrá de un cartel en el que figuren de forma visible los números de teléfonos necesarios en caso de urgencias como los del hospital más próximo, centro asistencial más cercano, de la mutua de las distintas empresas intervinientes, servicio de ambulancias, bomberos, policía local...

3.7. Formación a los Trabajadores

De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y su salud en la obra.

La información deberá ser comprensible para los trabajadores afectados. Al ingresar en la obra se informará al personal de los riesgos específicos de los trabajos a los cuales van a ser asignados, así como las medidas de seguridad que deberán emplear personal y colectivamente.

Se insistirá en la importancia del uso de los medios preventivos puestos a su disposición, enseñando su correcto uso y explicando las situaciones peligrosas a que la negligencia o la ignorancia pueden llevar.

Conforme al artículo 8 del R.D. 773/1997, de 30 de mayo, el empresario deberá informar a los trabajadores, previamente al uso de los equipos, de los riesgos contra los que les protegen, así como de las actividades u ocasiones en las que deben utilizarse.

Asimismo, deberá proporcionarles instrucciones, preferentemente por escrito, sobre la forma correcta de utilizarlos y mantenerlos.

El empresario garantizará la formación y organizará, en su caso, sesiones de entrenamiento, para la correcta utilización de los Equipos de Protección Individual, especialmente cuando se requieran la utilización simultánea de varios equipos que por su especial complejidad así lo haga necesaria.

Eligiendo al personal más cualificado, se impartirán cursos de socorrismo y primeros auxilios, de forma de que en cada obra disponga de algún socorrista con todos los medios que precise.

3.8. Paralización de los Trabajos

Cuando el Coordinador de Seguridad y Salud o cualquier otra persona integrada en la Dirección Facultativa compruebe que la inobservancia de la normativa sobre prevención de riesgos laborales implica, a su juicio, un riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores podrá ordenar la paralización inmediata de tales trabajos o tareas, dejando constancia en el Libro de Incidencias.

Dicha medida será comunicada a la Empresa responsable, que la pondrá en conocimiento inmediato de los trabajadores afectados, del Delegado de Prevención o, en su ausencia, de los Representantes del Personal. Por otro lado, la persona que hubiera ordenado la paralización deberá dar cuenta a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social del cumplimiento de esta notificación.

La paralización de los trabajos se levantará por la Inspección de Trabajo y Seguridad Social si la hubiese decretado, por el Coordinador de Seguridad y Salud o por el Empresario tan pronto como se subsanen las causas que la motivaron, debiendo el empresario comunicarlo a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y/o al Coordinador de Seguridad y Salud, según el caso.

3.9. Libro de Incidencias

En cada centro de trabajo existirá con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud un Libro de incidencias que constará de hojas por duplicado, habilitado al efecto.

El Libro de incidencias, que deberá mantenerse siempre en la obra, estará en poder del técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

A dicho libro tendrán acceso la Dirección Facultativa, los Contratistas, los Subcontratistas y los Trabajadores Autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las Empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de las Administraciones Públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con los fines a que se refiere el párrafo primero de este apartado.

Efectuada una anotación el libro de incidencias, el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud, estará obligado a remitir, en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la Provincia en la que se realiza la obra. Igualmente deberá notificar las anotaciones en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

PARTE IV PRESUPUESTO

Capítulo 1. Mediciones

1.1. Equipamiento eléctrico del tramo Aéreo

1.1.1. Resumen de Apoyos

En la tabla que se muestra a continuación se resume el número de apoyos de cada uno de los tipos que se van a utilizar, empleando la designación del fabricante, indicando a su vez las acciones que se deberán realizar en cada uno de ellos.

Tipo	Medición
CO-27000-12-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-7000-18-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-7000-21-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-5000-21-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-5000-24-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	2
CO-9000-24-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-7000-27-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-7000-30-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	4
CO-7000-33-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	2

Tipo	Medición
CO-9000-33-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	3
CO-12000-33-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-18000-33-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
CO-27000-33-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
GCO-40000-27-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	1
GCO-40000-40-S4C Acopio y transporte de materiales Montaje, izado del apoyo, numeración y señalización	4

Tabla 72. Resumen de los apoyos y medición de los mismos

1.1.2. Conductor y Cable de Guarda

Cable	Medición [m]
LA-445 Condor Acopio y transporte de materiales 1m de tensado, tendido y retencionado	55.372
Cable de Guarda OPGW 92-AL3 Acopio y transporte de materiales 1m de tensado, tendido y retencionado	9.229

Tabla 73. Medición conductor aéreo y cable de guarda

1.1.3. Cadena de Aisladores

Cadena	Medición
Cadena Amarre - Conductor	36
Grapa amarre ref.:244004	2
Horquilla revirada N-247082	2
Yugo Y26241	1
Rotula horquilla R21855-22	1
Descargador inferior P43135	1
Descargador superior P21114	1
Grillete protección N-241030	1
Anilla bola protección N-242043	1
Aislador de vidrio E-160-146	13
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Cadena de Suspensión - Conductor	57
Grapa suspensión S90813	2
Horquilla paralela 247205-20	2
Yugo Y26241	1
Rotula horquilla R21855-22	1
Descargador inferior P33135	2
Descargador superior P11114	2
Anilla bola protección N-242043	1
Grillete recto N-241030	1
Aislador de vidrio E-160-146	13
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Cadena Amarre - Cable de Guarda	6
Retención pref. Amarre	1
Eslabón revirado 2129	1
Grillete normal recto N-241030	1
Grapa conexión sencilla 230013/2	1
Grapa conexión universal 259111	1
Tensor corredera 249026	1
Horquilla guardacabos SW1121	1
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Cadena de Suspensión - Cable de guarda	19
Grapa GSA S90216	1
Eslabón revirado 2129	1
Grillete normal recto N-241030	1
Grapa conexión sencilla 230013/2	1
Grapa conexión universal 259111	1
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	

Tabla 74. Acopio cadenas de aisladores

1.1.4. Puestas a Tierra

Cadena	Medición
Puesta a Tierra Apoyo Frecuentado	14
Grapa de conexión al cable de acero GC-AC	2
Cable acero galvanizado 50mm ²	32
Tubo PVC corrugado D36mm para puesta a tierra	1
Conexión anillo con estribo para cables paralelos	4
Anillo AC-CU S100 liso	4
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Puesta a Tierra Apoyo No Frecuentado	11
Grapa de conexión al cable de acero GC-AC	2
Cable acero galvanizado 50mm ²	32
Tubo PVC corrugado D36mm para puesta a tierra	1
Conexión pica con estribo para cables paralelos	4
Pica P.T AC-CU-2000x14,6 D lisa	4
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	

Tabla 75. Acopio puestas a tierra

1.1.5. Accesorios

Accesorios	Medición
Amortiguadores Stockbridge LA-455	21
Salvapájaros	923
Separadores E42428 MADE	922

Tabla 76. Accesorios aéreos adicionales

1.2. Equipamiento eléctrico tramo Subterráneo

1.2.1. Conductores

Tipo	Medición [m]
XLPE-Cu-2500/220 Acopio y transporte de materiales 1m de tensado, tendido y retencionado	2.970

Tabla 77. Medición conductor subterráneo

1.2.2. Autoválvulas, Botellas Terminales, Empalmes y demás Accesorios

Accesorio	Medición
Autoválvulas	3
Autoválvula ABB XH 245	1
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Botellas Terminales	3
Botella terminal APECB 2456 P	1
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Empalmes	12
Empalme JX-B 245 P	1
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	

Tabla 78. Acopio de accesorios tramo subterráneo

1.2.3. Puestas a Tierra

Puestas a Tierra	Medición
Cajas de Puesta a Tierra	4
Caja de puesta a tierra con limitador de tensión	2
Caja de puesta a tierra	2
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	
Cable de Conexión	120
Cable de conexión RZ1 0.6/1kV 1x185 Cu	120
Acopio y transporte de materiales	
Montaje del conjunto	

Tabla 79. Acopio elementos de puesta a tierra del tramo subterráneo

1.3. Ejecución del Material de Obra

1.3.1. Tramo Aéreo

Obra	Medición
Excavación de Cimentaciones para Apoyos	
Excavación de terreno medio [m ³]	253
Transporte de materiales	
Relleno cimentación de hormigón H-200	
Acopio y transporte de materiales	253
Suministro y vertido	
Protección Ladrillo Fosco de Apoyo Aéreo-Subterráneo	
Acopio y transporte de materiales	2
Suministro y vertido [m ³]	

Tabla 80. Ejecución del material de obra tramo aéreo

1.3.2. Tramo Subterráneo

Obra	Medición
Excavación de Zanja (0,4x1,3m) [m3] Apertura, tapado y compactado Transporte de materiales	514.8
Material de Canalización Acopio y transporte de materiales Suministro y vertido de relleno [m3] Colocación y ensamblaje de elementos auxiliares	514.8

Tabla 81. Ejecución del material del tramo subterráneo

Capítulo 2. Presupuestos

2.1. Maquinaria y Equipamiento Eléctrico

En este apartado se calcula el precio total de los materiales que tendrá cada una de las partes de las que consta el proyecto, separando los precios en precios unitarios de cada uno de los materiales, y el precio total contando todos los elementos que habrá en el sistema.

2.1.1. Tramo Aéreo

Elemento	Unidades	Precio Unitario [€]	Precio Total [€]
APOYOS			
CO-27000-12-S4C	1	4745.94	4,745.94
CO-7000-18-S4C	1	2941.52	2,941.52
CO-7000-21-S4C	1	3280.99	3,280.99
CO-5000-21-S4C	1	3007.09	3,007.09
CO-5000-24-S4C	2	3380.59	6,761.18
CO-9000-24-S4C	1	4653.81	4,653.81
CO-7000-27-S4C	1	4142.53	4,142.53
CO-7000-30-S4C	4	4609.82	18,439.28
CO-7000-33-S4C	2	5150.15	10,300.30
CO-9000-33-S4C	3	6370.25	19,110.75
CO-12000-33-S4C	1	6914.73	6,914.73
CO-18000-33-S4C	1	8351.46	8,351.46
CO-27000-33-S4C	1	10242.20	10,242.20
GCO-40000-27-S4C	1	9706.85	9,706.85
GCO-40000-40-S4C	4	16035.60	64,142.40
Señal Triangular "Riesgo Eléctrico" UNE-EN-60417-1	25	1.50	37.50
Placa de Empresa Propietaria	25	11.00	275.00
CONDUCTOR Y CABLES			
Conductor LA-445 Condor	55372	15.32	848,299.04
Cable de Guarda OPGW 92-AL3	9229	21.06	194,362.74
AISLADORES, HERRAJES Y ACCESORIOS			
Cadena Amarre Conductor	36	638.88	22,999.63
Cadena Suspensión Conductor	57	628.86	35,845.02
Cadena Amarre Cable de Guarda	6	218.45	1,310.70
Cadena Suspensión Cable de Guarda	19	115.10	2,186.90
Puesta a tierra apoyo FRECUENTADO	14	189.23	2,649.22
Puesta a tierra apoyo NO FRECUENTADO	11	91.30	1,004.30
Amortiguadores Stockbridge LA-455	21	31.10	653.10
Separadores E42428 MADE	922	9.82	9,054.04
Salvapájaros	923	9.78	9,026.94
TOTAL [€]			1,304,445.16

Tabla 82. Presupuesto tramo Aéreo

2.1.2. Tramo Subterráneo

Elemento	Unidades	Precio Unitario [€]	Precio Total [€]
CONDUCTORES Y CABLES			
XLPE-Cu-2500/220	2970	403.20	1,197,504.00
ACCESORIOS			
Autoválvula ABB XH 245	3	6230.21	18,690.63
Botella terminal APECB 2456 P	3	15825.23	47,475.69
Emplame JX-B 245 P	12	7212.40	86,548.80
PUESTA A TIERRA			
Caja de puesta a tierra con limitador de tensión	2	3257.36	6,514.72
Caja de puesta a tierra	2	1401.23	2,802.46
Cable de conexión RZ1 0.6/1kV 1x185 Cu	120	16.79	2,014.80
TOTAL [€]			1,361,551.10

Tabla 83. Presupuesto tramo Subterráneo

2.1.3. Ejecución del material de obra

Elemento	Unidades	Precio Unitario [€]	Precio Total [€]
TRAMO AÉREO			
Excavación de las cimentaciones	253	115.37	29,188.61
Relleno de hormigón	253	223.54	56,555.62
Protección ladrillo foscado PAS	2	120.00	240.00
TRAMO SUBTERRÁNEO			
Excavación de zanja	514.8	61.25	31,531.50
Material de canalización	514.8	3.15	1,621.62
TOTAL [€]			119,137.35

Tabla 84. Presupuesto ejecución del material de obra

2.2. Resumen

Resumen Presupuesto	
Tramo Aéreo	1,304,445.16
Tramo Subterráneo	1,361,551.10
Ejecución del Material de Obra	119,137.35
TOTAL [€] 2,785,133.61	

Tabla 85. *Resumen presupuesto total de la instalación*

El presupuesto final del presente proyecto asciende a una cantidad de DOS MILLONES SETECIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL CIENTO TREINTA Y TRES EUROS CON SESENTA Y UN CENTIMOS **(2,785,133.61€)**

