

PLAN ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURAS

PLANTA FOTOVOLTAICA “GUADARRAMA” E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DEL PROYECTO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS “BUENAVISTA”

DOCUMENTO PARA APROBACIÓN INICIAL

BLOQUE III. DOCUMENTACIÓN NORMATIVA - ANEXOS I

SERRANILLOS DEL VALLE – GRIÑÓN – MORALEJA DEL ENMEDIO
MÓSTOLES – FUENLABRADA – LEGANÉS – GETAFE



Marzo 2025

PLAN ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURAS
PLANTA FOTOVOLTAICA “GUADARRAMA” E
INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DEL PROYECTO DE
PLANTAS FOTOVOLTAICAS “BUENAVISTA”

III VOLUMEN 4.- ANEXOS

- Anexo I. Anteproyectos de las Infraestructuras



Acuerdo de evacuación conjunta a través de una
LÍNEA DE DOBLE CIRCUITO

PROYECTO OFICIAL DE EJECUCIÓN

L/220 kV GUADARRAMA III – BUENAVISTA REE (DC-TRAMO COMPARTIDO)

Términos Municipales de Carranque, Serranillos del Valle, Griñón
y Moraleja de Enmedio



(Provincia de Toledo y Madrid)



VISADO: 0335/22 - Fecha: 27/7/2022
Documento sellado con firma electrónica

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

ANEXO Nº1: CÁLCULOS

DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO Nº3: PRESUPUESTO

DOCUMENTO Nº4: PLANOS

DOCUMENTO Nº5: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

DOCUMENTO Nº6: RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS

DOCUMENTO Nº7: ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS

DOCUMENTO Nº8: PROYECTO DE DESMANTELAMIENTO

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

ÍNDICE

1.	Antecedentes y Finalidad	3
2.	Objeto	4
3.	Normativa Aplicable	5
3.1.	Normativa del Sector Eléctrico.....	5
3.2.	Normativa Ambiental	5
4.	Titular de la Instalación	6
5.	Descripción del Trazado	6
5.1.	Descripción del Trazado Aéreo de la Línea	6
5.2.	Descripción del Trazado Subterráneo de la Línea.....	10
6.	Características de la Línea	13
6.1.	Características Generales de la Línea Aérea	13
6.2.	Características de los Materiales del Tramo Aéreo	15
6.3.	Características Generales de la Línea Subterránea.....	22
6.4.	Características de los Materiales del Tramo Subterráneo	23
7.	Cronograma de ejecución.....	32
8.	Cruzamientos.....	34
8.1.	Normas Aplicables a líneas aéreas.....	34
8.2.	Normas Aplicables a líneas subterráneas	38
8.3.	Resumen de Distancias	44
8.4.	Relación de Cruzamientos, Paralelismos y Organismos Afectados	47
9.	Organismos Afectados	50
10.	Conclusión.....	51

1. ANTECEDENTES Y FINALIDAD

- Los Promotores FOTONES del Atlántico, S.L., Mitra Beta, S.L.U. y Fotovoltaica El Casar, S.L. están desarrollando los proyectos fotovoltaicos que se detallan a continuación en varios términos municipales de la provincia de Toledo, con punto de conexión en la Comunidad de Madrid y tramitando para ello ante la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (la “DGPEM”), los permisos, licencias y autorizaciones administrativas necesarias al efecto:

Promotor	Planta Fotovoltaica	Potencia nominal (MWn)	Expediente
Fotovoltaica El Casar, S.L.	FV El Casar	240 MW	PFot-748
Mitra Beta, S.L.U.	FV Guadarrama II	143 MW	PFot-466
Mitra Beta, S.L.U.	FV Guadarrama III	181 MW	PFot-466
FOTONES del Atlántico, S.L.	FV Gran Fregacedos	111,8 MW	PFot-239

- En relación a los permisos de acceso y conexión a red de los proyectos anteriores, FV El Casar obtuvo Informe de viabilidad de acceso a la red de transporte del Nudo Camino Fregacedos 220kV en fecha 15 de febrero de 2021, así como permiso de conexión en fecha 12 de mayo de 2022; mientras que FV Gran Fregacedos obtuvo Informe de viabilidad de acceso a la red de transporte del Nudo Camino Fregacedos 220kV en fecha 17 de junio de 2020; y FV Guadarrama II-III obtuvieron Informe de viabilidad de acceso a la red de transporte del Nudo Buenavista 220kV en fecha 9 de julio de 2020.
- Con base en los principios de eficiencia técnica, minimización de impacto ambiental y reducción de costes, los promotores han acordado desarrollar una solución de evacuación conjunta para las instalaciones FV Gran Fregacedos, FV Guadarrama II, FV Guadarrama III y FV El Casar, con el fin que las partes puedan utilizar unas mismas infraestructuras comunes de evacuación para evacuar la energía generada por dichas Instalaciones de Generación.
- Los promotores consideran que la infraestructura de evacuación compartida tiene las condiciones técnicas adecuadas para permitir la evacuación conjunta de las instalaciones FV Gran



Fregacedos, FV Guadarrama II, FV Guadarrama III y FV El Casar. Asimismo, esta alternativa de evacuación es la solución más favorable desde los puntos de vista ambiental y urbanístico.

- Con fecha 31 de mayo de 2022 y en base a lo anterior, los promotores FOTONES del Atlántico, S.L., Mitra Beta, S.L.U. y Fotovoltaica El Casar, S.L. firmaron un acuerdo de promotores que regula la solución de evacuación y el desarrollo de las infraestructuras comunes de evacuación objeto de este proyecto técnico “L/220 kV Guadarrama III – Buenavista REE (DC – Tramo compartido)”.

2. OBJETO

El presente documento se redacta con el siguiente objeto:

- En el orden técnico, para obtener la Aprobación del presente Proyecto, que ha sido redactado de acuerdo con lo preceptuado en el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- En el orden administrativo, obtener la Autorización Administrativa Previa de las instalaciones FV Gran Fregacedos, FV Guadarrama II, FV Guadarrama III y FV El Casar, así como la Autorización Administrativa de Construcción de las instalaciones FV Guadarrama II y FV Guadarrama III, según lo establecido en:
 - Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
 - Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
 - Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
 - Orden de 23 de marzo de 2004, de la Consejería de Economía, Industria e Innovación, por la que se regula el procedimiento de priorización de acceso y conexión a la red eléctrica para evacuación de energía de las instalaciones de producción en régimen especial.
 - Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
 - Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

3. NORMATIVA APLICABLE

Se aplicarán las normas citadas en los documentos que conforman el presente proyecto. Asimismo, se tendrán en cuenta las actualizaciones posteriores a dichas normas y que sean de aplicación a este proyecto.

3.1. NORMATIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO

- Ley 24/2013, que tiene por objeto establecer la regulación del sector eléctrico con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica, y de adecuarlo a las necesidades de los consumidores en términos de seguridad, calidad, eficiencia, objetividad, transparencia y al mínimo coste.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica
- Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
- Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
- Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo, por el que se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.
- Real Decreto 1074/2015, de 27 de noviembre, por el que se modifica distintas disposiciones en el sector eléctrico.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

3.2. NORMATIVA AMBIENTAL

La necesidad de realización del Estudio de Impacto Ambiental de este proyecto queda supeditada al Procedimiento de Evaluación de impacto ambiental ordinario para la formulación de la declaración de

impacto ambiental de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, modificado por la Ley 9/2018, de 5 de diciembre.

4. TITULAR DE LA INSTALACIÓN

El tramo de línea objeto de este proyecto será titularidad de una entidad jurídica común con los siguientes promotores como copropietarios, según lo establecido acuerdo de tramitación firmado con fecha de 31 de mayo de 2022.

Co-titular	Planta Fotovoltaica	Potencia nominal (MWn)
Fotovoltaica El Casar, S.L.	FV El Casar	240 MW
Mitra Beta, S.L.U.	FV Guadarrama II	143 MW
Mitra Beta, S.L.U.	FV Guadarrama III	181 MW
FOTONES del Atlántico, S.L.	FV Gran Fregacedos	111,8 MW

5. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO

Este proyecto corresponde al tramo compartido de la L/220 kV Guadarrama III – Buenavista Ree (Tramo DC Compartido) entre los apoyos **17 Entronque y 52 Entronque**. Tiene una longitud de 9,64 km totales aéreos, y 9,723 km totales subterráneos, teniendo una **longitud total de 19,363 km**.

La línea está dividida en tres tramos aéreos y dos tramos subterráneos, el primer tramo aéreo de 5,38 km, el segundo tramo aéreo de 2,21 km, y el tercer tramo aéreo 2,05 km.

El primer tramo subterráneo de 7,918 km en subterráneo, el segundo tramo de 1,805 km

La línea objeto de este proyecto, discurre por los términos municipales de Carranque (Toledo), Serranillos del Valle, Griñón, Moraleja de En medio (Madrid).

5.1. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO AÉREO DE LA LÍNEA

La línea aérea, de doble circuito y separada en tres tramos conectados mediante dos tramos de línea subterránea, discurre entre los apoyos 17 Entronque y apoyo 52 Entronque, dividido en los tramos:

- Tramo 1: 5,38 km entre los apoyos 17 Entronque y apoyo 34 PAS, y discurre por el término municipal de Carranque (Toledo).



- Tramo 2: 2,21 km entre los apoyos 35 PAS y el 45 PAS, discurre por el término municipal de Moraleja de Enmedio (Madrid)
- Tramo 3: 2,05 km entre los apoyos 46 PAS y el apoyo 52 Entronque, discurren en doble circuito hasta este punto, por el término municipal de Moraleja de Enmedio (Madrid).

La línea aérea discurre a través de 19 alineaciones y 36 apoyos.

5.1.1. ALINEACIONES Y TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

A continuación, se muestran los municipios por el que discurren las distintas alineaciones de la línea aérea.

Comunidad Autónoma: Castilla la Mancha y Madrid

Término municipal	Carranque	Serranillos del Valle	Moraleja de Enmedio
Apoyos	AP17 Entronque - AP 33	AP 34PAS	AP 35PAS -AP 45PAS AP 46PAS - AP 52ENTRONQUE

En la siguiente tabla se presentan las alineaciones de la línea objeto del presente proyecto, junto con sus características fundamentales:

- Apoyos inicial y final
- Ángulo con siguiente alineación en grados sexagesimales
- Longitud en metros

Nº Alineación	Apoyo inicio	Apoyo final	Ángulo con la siguiente alineación (º)	Longitud (m)
1	17 ENTRONQUE	19	0	665,17
2	19	20	23,18	400,97
3	20	21	-29,38	398,13
4	21	23	38,58	740,6
5	23	24	-26,21	262,66
6	24	25	-54,31	396,27
7	25	26	-15,92	372,69
8	26	27	22,84	196,55
9	27	28	10,57	184,18
10	28	29	6,86	234,5
11	29	31	11,16	532,23
12	31	32	-5,42	458,77



Nº Alineación	Apoyo inicio	Apoyo final	Ángulo con la siguiente alineación (º)	Longitud (m)
13	32	34PAS	-9,17	528,08
Tramo 1 Subterráneo				
14	35PAS	36	0	180,6
15	36	41	-40,92	688,4
16	41	43	34,44	618,44
17	43	45PAS	26,02	728,18
Tramo 2 Subterráneo				
18	46PAS	50	0	1424,09
19	50	52 ENTRONQUE	-19,48	634,59

5.1.2. COORDENADAS DE LOS APOYOS

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de los apoyos de la línea aérea (Zona 30N UTM):

N ° Apoyo	Denominación	Ángulo (°)	Vano posterior (m)	X _{UTM}	Y _{UTM}	Z _{UTM}
17 ENTRONQUE	IC-70000-30-N1333-ANC-EntradaSocio.str	0	344,11	418956,9	4447390,65	587
18	CO-18000-27-N3885-SUS.str	0	321,06	419292,7	4447465,84	609
19	GCO-40000-30-N1223-ANC.str	23,18	400,97	419606	4447536	613,41
20	IC-55000-30-N1333-ANC	-29,38	398,13	420000,18	4447462,52	609,84
21	IC-55000-30-N1333-ANC	38,58	383,06	420377,03	4447590,95	619,22
22	CO-18000-30-N3885-SUS.str	0	357,54	420737,52	4447461,41	624,99
23	IC-55000-25-N1333-ANC	-26,21	262,66	421074	4447340,5	620,3
24	IC-70000-25-N1333-FL.str	-54,31	396,27	421335	4447370	611,37
25	GCO-40000-30-N1223-ANC.str	-15,92	372,69	421528,59	4447715,77	615,72
26	GCO-40000-25-N1223-ANC.str	22,84	196,55	421614,47	4448078,43	619,99
27	GCO-40000-25-N1223-ANC.str	10,57	184,18	421730,44	4448237,12	629,9
28	CO-33000-21-N3776-ANC.STR	6,86	234,5	421864,55	4448363,37	635,24
29	GCO-40000-25-N1223-ANC.str	11,16	234,09	422053,27	4448502,55	630,58
30	CO-33000-39-N3776-ANC.str	0	298,14	422265	4448602,39	643,93
31	GCO-40000-35-N1223-ANC.str	-5,42	458,77	422534,67	4448729,55	639,7
32	GCO-40000-30-N1223-ANC.str	-9,17	296,33	422929,28	4448963,54	630,69
33	CO-18000-24-N3885-SUS.str	0	231,75	423156,82	4449153,38	636,52
34PAS	IC-70000-20-PAS.str	-4,06	0	423334,77	4449301,85	634
35PAS	IC-70000-20-PAS.str	0	180,6	425743,04	4456000,19	672,04
36	IC-55000-30-N1333-ANC	-40,92	189,58	425667	4456164	664
37	IC-55000-25-N1333-ANC	0	80,48	425494,05	4456241,66	663
38	P-Cruzamiento-12.str	0	154,43	425420,63	4456274,63	662
39	P-Cruzamiento-20.str	0	73,24	425279,75	4456337,89	655,98
40	IC-55000-30-N1333-ANC	0	190,67	425212,94	4456367,89	651
41	IC-55000-35-N1333-ANC	34,44	301,24	425039	4456446	644
42	CO-27000-33-N3776-AM.str	0	317,2	424882,16	4456703,19	663
43	GCO-40000-35-N1223-ANC.str	26,02	377,55	424717	4456974	662
44	CO-18000-33-N3885-SUS.str	0	350,63	424681,74	4457349,9	657
45PAS	IC-70000-20-PAS.str	30,77	0	424649	4457699	649
46PAS	IC-70000-20-PAS.str	0	336,1	425546,59	4458636,56	653
47	CO-18000-30-N3885-SUS.str	0	359,12	425821,64	4458829,72	649,34
48	CO-18000-30-N3885-SUS.str	0	363,16	426115,53	4459036,11	653
49	CO-18000-33-N3885-SUS.str	0	365,71	426412,72	4459244,82	650
50	GCO-40000-30-N1223-ANC.str	-19,48	317,91	426712	4459455	654
51	CO-18000-27-N3885-SUS.str	0	316,68	426896,36	4459714	662,7
52 ENTRONQUE	IC-55000-35-N1333-ANC-4cruz.str	-93,64	268,97	427080	4459972	655,43

5.2. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO SUBTERRÁNEO DE LA LÍNEA

La línea subterránea tiene una longitud total 9723 metros, dividida en 2 tramos:

- TRAMO 1 SUBTERRÁNEO: 7918 metros, en planta. Discurre por los términos municipales de Serranillos del Valle, Griñón y Moraleja de Enmedio (Madrid).
- TRAMO 2 SUBTERRÁNEO: 1805 metros, en planta. Discurre por el término municipal de Moraleja de Enmedio (Madrid)

Por tanto, dentro de las longitudes anteriores, no se incluye lo siguiente:

- 20 metros de bajada de cable desde el soporte del terminal de transición aéreo subterráneo en los apoyos 34PAS, 35PAS, 45PAS, 46PAS.

El trazado de la línea subterránea tendrá una (1) perforación dirigida, con la siguiente longitud:

- En el TRAMO 1 SUBTERRÁNEO:
 - Primera perforación dirigida, PD-1 a PD-2: 50 metros, para el cruce con la carretera M-404.

Los tramos de subida y bajada del cable aislado a los apoyos de transición aérea a subterránea se consideran dentro del alcance del tramo aéreo. Los metros de cable aislado se han tenido en cuenta de cara al presupuesto.

El detalle del recorrido de la línea subterránea se especifica en el documento “Planos” del presente proyecto.

5.2.1. COORDENADAS DE LOS VÉRTICES Y DE LOS POZOS DE PERFORACIÓN

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de los vértices y de los pozos de perforación dirigida de los tramos de línea subterránea (Zona 30N UTM):

Tramo 1:

Vértice	ETRS 89 UTM 30		
	Coord X	Coord Y	Perforación Dirigida
1	423334,91	4449301,84	
2	423313,82	4449321,37	
3	423405,12	4449407,93	
4	423502,18	4449533,39	
5	423566,48	4449618,23	
6	423708,76	4449853,72	

Vértice	ETRS 89 UTM 30		
	Coord X	Coord Y	Perforación Dirigida
7	423787,33	4450013,36	
8	423856,24	4450227,05	
9	423863,19	4450323,74	
10	423978,39	4450329,75	
11	424007,95	4450440,26	
12	423974,54	4450466,96	
13	423954,37	4450499,50	
14	423973,13	4450517,25	
15	423963,76	4450542,65	
16	423956,28	4450650,37	
17	423960,94	4450716,86	
18	423956,62	4450869,52	
19	423974,80	4451030,08	
20	423984,40	4451067,69	
21	423988,44	4451118,88	
22	424002,73	4451225,18	
23	424035,67	4451366,27	PD 1
24	424047,65	4451416,20	PD 2
25	424097,59	4451571,63	
26	424226,77	4451624,22	
27	424461,68	4451845,70	
28	424448,63	4451947,15	
29	424471,33	4452073,53	
30	424487,47	4452174,44	
31	424529,03	4452261,47	
32	424666,99	4452487,40	
33	424853,74	4452873,26	
34	424947,49	4453127,60	
35	424959,44	4453167,39	
36	425000,56	4453252,27	
37	425108,44	4453476,94	
38	425177,71	4453707,36	
39	425208,66	4453808,49	
40	425278,12	4453904,48	
41	425428,33	4454075,18	
42	425605,28	4454237,07	
43	425655,15	4454287,48	
44	425666,03	4454314,44	
45	425700,23	4454357,63	
46	425787,25	4454479,21	
47	425846,24	4454561,65	
48	425932,54	4454558,77	
49	425941,37	4454610,20	

Vértice	ETRS 89 UTM 30		
	Coord X	Coord Y	Perforación Dirigida
50	425930,72	4454633,53	
51	425923,85	4454715,80	
52	425923,85	4454753,12	
53	425928,99	4454774,02	
54	425982,89	4454794,78	
55	426015,92	4454848,63	
56	426030,66	4455022,07	
57	426030,66	4455119,22	
58	426011,54	4455157,02	
59	425962,48	4455215,91	
60	425914,48	4455406,10	
61	425900,58	4455425,34	
62	425815,58	4455615,85	
63	425744,46	4455728,75	
64	425625,57	4455864,66	
65	425739,55	4455996,25	

Tramo 2:

Vértice	ETRS 89 UTM 30		
	Coord X	Coord Y	Perforación Dirigida
1	424649,11	4457699,01	
2	424516,95	4457767,74	
3	424698,84	4458124,67	
4	424774,74	4458260,35	
5	424862,96	4458418,02	
6	425007,91	4458579,75	
7	425109,45	4458638,42	
8	425501,46	4458794,28	
9	425505,96	4458774,23	
10	425513,84	4458735,82	
11	425522,09	4458693,05	
12	425541,57	4458665,80	
13	425540,15	4458652,35	
14	425546,92	4458636,09	

6. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA AÉREA

La línea discurre como un doble circuito entre los apoyos 17 Entronque y el 52 Entronque los cuales son independientes entre sí pero que comparten la misma infraestructura. Denominaremos **circuito 1 (CEPSA)**, al circuito situado en la izquierda, en orden ascendente de la línea, y **circuito 2 (Fotones/Statkraft)** al situado a la derecha, en orden ascendente de la línea.

La línea aérea objeto del presente proyecto tiene como principales características las siguientes:

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Frecuencia (Hz)	50
Tensión nominal (KV)	220
Tensión más elevada de la red (KV)	245
Categoría	Especial
Nº de circuitos	2
Número de cables de fibra óptica	2
Tipo de cable de fibra óptica	OPGW 64k78 (7540)
Número de apoyos	36
Longitud total (km)	19,36
Provincias afectadas	Toledo y Madrid
Zona de aplicación	ZONA B
Nivel de contaminación	IV
Tipo de aislamiento	Vidrio
Apoyos	Torres Metálicas de Celosía
Cimentaciones	Tetrabloque, Cilíndricas con cueva
Puesta a tierra (no frecuentados)	Grapa de conexión, conductor de cobre y pica de puesta a tierra
Puesta a tierra (frecuentados – tipo PAS)	Anillo cerrado de acero descaburado

CIRCUITO 1 CEPSA

Tramo 1. 17 ENTRONQUE hasta 34PAS

Nº de conductores aéreos por fase	2
Tipo de conductor aéreo	LA-380
Potencia máxima de diseño (MWn)	324
Longitud (km)	5,38
Origen	17 ENTRONQUE
Final	34PAS



Tramo 2. 35PAS hasta 45PAS

Nº de conductores aéreos por fase	2
Tipo de conductor aéreo.....	LA-380
Potencia máxima de diseño (MWn)	324
Longitud (km).....	2,21
Origen	35PAS
Final.....	45PAS

Tramo 3. 46PAS hasta 52 ENTRONQUE

Nº de conductores aéreos por fase	2
Tipo de conductor aéreo.....	LA-380
Potencia máxima de diseño (MWn)	324
Longitud (km).....	2,32
Origen	46PAS
Final.....	52 Entronque

CIRCUITO 2 Fotones/Statkraft:

Tramo 1. 17 ENTRONQUE hasta 34PAS

Nº de conductores aéreos por fase	3
Tipo de conductor aéreo.....	LA-455
Potencia máxima de diseño (MVA)	708
Potencia máxima de transporte (MVA)	913,4
Longitud (km).....	5,38
Origen	17 ENTRONQUE
Final.....	34PAS

Tramo 2. 35PAS hasta 45PAS

Nº de conductores aéreos por fase	3
Tipo de conductor aéreo.....	LA-455
Potencia máxima de diseño (MVA)	708
Potencia máxima de transporte (MVA)	913,4
Longitud (km).....	2,21
Origen	35PAS
Final.....	45PAS

Tramo 3. 46PAS hasta 52 ENTRONQUE



Nº de conductores aéreos por fase	3
Tipo de conductor aéreo.....	LA-455
Potencia máxima de diseño (MVA)	708
Potencia máxima de transporte (MVA)	913,4
Longitud (km).....	2,32
Origen	46PAS
Final.....	52 Entronque

6.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DEL TRAMO AÉREO

6.2.1. CONDUCTORES

El conductor que se va a emplear en la construcción de la línea para el circuito 1 será de aluminio y acero recubierto de aluminio. A continuación, se definen sus principales características:

Tipo	DX GULL (LA 380)
Material	Aluminio – Acero recubierto
Diámetro (mm)	25,38
Sección total (mm ²)	381
Peso (daN/m)	1,254
Carga de rotura (daN)	10.900
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	4.910
Coefficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	23·10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica con cc a 20°C (Ω/Km)	0,0857
Composición	54 + 7

A continuación, se definen las principales características del conductor correspondiente al circuito 2 de la línea:

Tipo	TX-CONDOR-ACSR (LA 455)
Material	Aluminio – Acero recubierto
Diámetro (mm)	27,72
Sección total (mm ²)	454,5
Composición del conductor	54+7
Peso (daN/m)	1,491
Carga de rotura (daN)	12.544
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	6.900
Coefficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	19,3·10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica con cc a 20°C (Ω/Km)	0,0718



Intensidad máxima admisible (A) 799

6.2.2. CABLE DE FIBRA ÓPTICA

El cable de tierra compuesto de fibra óptica OPGW a utilizar en la construcción de la línea tendrá las siguientes características:

Denominación.....	OPGW 64k78 (7540)
Nº de fibras	48
Corriente máxima de falta 2s (kA)	151
Sección total (mm ²)	143,7
Diámetro total (mm)	16,4
Peso del cable (kg/m)	0,773
Carga de rotura (kg)	11.390
Módulo de elasticidad(daN/mm ²)	11.410
Coefficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	14,8·10 ⁻⁶

6.2.3. AISLADORES

Se utilizarán cadenas de aislamiento de vidrio compuestas por aisladores tipo U160BSP, para ambos circuitos.

Denominación.....	U160BSP
Paso (mm)	146
Diámetro (mm)	320
Línea de fuga (mm)	550
Carga mecánica (daN).....	16.000
Unión normalizada IEC-60120	20
Tensión soportada a 50 Hz bajo lluvia (kV)	55
Tensión soportada Impulso tipo rayo en seco (kV)	140
Peso neto aproximado (kg)	8,3

6.2.4. HERRAJES

6.2.4.1.

HERRAJES DEL CONDUCTOR DX GULL

Los herrajes serán de acero galvanizado en caliente, y estarán adecuadamente protegidos frente a la corrosión. Éstos cumplirán lo indicado en la norma UNE 21 006.

La cadena de suspensión tendrá los siguientes elementos principales:

- Grillete recto



- Anilla de bola de protección
- Rótula horquilla N20 AE
- Yugo triangular N20
- Horquilla revirada N20 AE
- Grapa de suspensión armada
- Aislador de cadena

La carga de rotura mínima de la cadena de suspensión es 12.000 daN.

La cadena de amarre tendrá los siguientes elementos principales:

- Grillete recto
- Eslabón N36
- Yugo triangular N36
- Horquilla bola de protección N20
- Rótula Horquilla N20 AE
- Yugo separador N20
- Horquilla revirada N20 AE
- Tensor de corredera N20
- Grillete normal N20 AE
- Raqueta de protección
- Grapa de amarre a compresión AE
- Aislador cadena de vidrio

La carga de rotura mínima de la cadena de amarre es 32.000 daN.

6.2.4.2.

HERRAJES DEL CONDUCTOR TX-CONDOR

- Para cadenas de suspensión tríplex:
 - Grillete recto
 - Anilla de bola de protección
 - Rótula horquilla N20 AE
 - Yugo sencillo tríplex
 - Horquilla revirada N20 AE
 - Grapa de suspensión armada
 - Aislador de cadena
- Para cadenas de amarre tríplex:
 - Grillete recto

- Eslabón N36
- Yugo triangular N36
- Horquilla bola de protección N20
- Rótula Horquilla N20 AE
- Yugo separador N20
- Horquilla revirada N20 AE
- Tensor de corredera N20
- Yugo triangular N20
- Grillete normal N20 AE
- Raqueta de protección
- Grapa de amarre a compresión AE
- Aislador cadena de vidrio

6.2.4.3.

HERRAJES DEL CABLE DE OPGW

Los herrajes del cable OPGW 64k78 (7540) pueden ser de suspensión o de amarre. En el caso de amarre pueden ser de amarre bajante o de amarre pasante.

Las cadenas de suspensión están compuestas por los siguientes elementos:

- Grillete recto
- Eslabón revirado
- Grapa de suspensión armada
- Manguito
- Varillas de grapa
- Grapa de conexión paralela
- Grapa de conexión a torre
- Tapón terminal

La carga de rotura mínima de la cadena de suspensión es de 6.000 daN.

Las cadenas de amarre bajante están compuestas por los siguientes elementos:

- Grillete recto
- Eslabón revirado
- Tensor de corredera
- Guardacabos
- Retención preformada

- Empalme de protección
- Grapa de conexión a torre

La carga de rotura mínima de la cadena de amarre bajante es de 12.000 daN.

Las cadenas de amarre pasante están compuestas por los siguientes elementos:

- Grillete recto
- Eslabón revirado
- Tensor de corredera
- Guardacabos
- Empalme de protección
- Retención de anclaje
- Grapa de conexión a torre

La carga de rotura mínima de la cadena de amarre pasante es de 12.000 daN.

6.2.5. SEPARADORES

Los separadores se utilizan para mantener las distancias entre conductores de una misma fase o subconductores del circuito, y garantizarán un perfecto servicio sobre cualquier condición climática. Responderán a lo reseñado en la UNE-EN 61 854:1999.

El separador ha de ofrecer, bajo las condiciones de servicio especificadas, entre otros, los siguientes requisitos:

- Mantener la separación entre subconductores en el lugar de aplicación del separador.
- Estar adaptados para su instalación fácil y segura evitando daños en los subconductores.
- Asegurar que los diferentes conductores no se aflojarán en servicio.
- Elasticidad para absorber las deformaciones por vibración, alteración del conductor por cortocircuito, cargas desequilibradas por formación de manguitos de hielo, etc.
- Ausencia de arcos debido a la continuidad eléctrica entre los elementos que la componen.
- Ausencia de efluvios y de perturbaciones.

Se instalarán separadores amortiguadores para una distancia fija entre conductores de 400 mm. Se trata de un separador lineal de cuerpo compuesto de material ligero resistente a la corrosión al igual que el componente elástico del mismo. Los tornillos de fijación de las grapas serán de acero galvanizado. En el interior de las mordazas del separador, y en contacto con el conductor, existe un inserto de neopreno que lo protege y actúa como absorbente de los movimientos de los conductores de las fases. Las mordazas se aprietan sobre el conductor utilizando un tornillo. El par de apriete será especificado por el fabricante.

Los separadores serán de aleación de aluminio.

6.2.6. EMPALMES

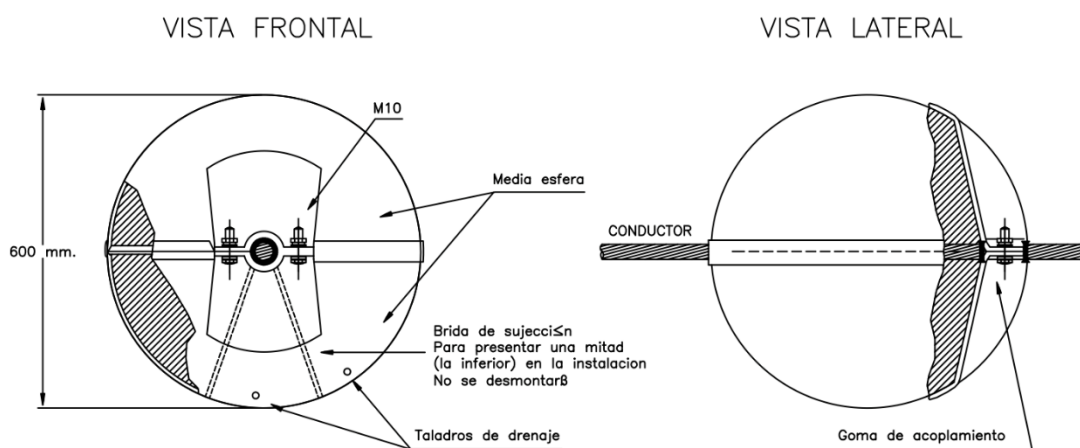
La unión de conductores y cables de tierra se efectuará por medio de empalmes comprimidos, con resistencia mecánica, al menos, igual al 95% de la carga de rotura del cable y resistencia eléctrica, igual o menor a la de un cable de la misma longitud.

Los empalmes del cable de tierra serán de acero inoxidable.

6.2.7. BALIZAS

Su función consiste en hacer más visibles los cables de tierra. Se colocarán para señalar la presencia de tendidos eléctricos en zonas con mayor densidad de tráfico aéreo, siguiendo los criterios siguientes:

- En vanos de cruce con autopistas y autovías, para prevenir accidentes de helicópteros que las recorren. Se instalarán 3 balizas, las extremas sobre cada calzada y la tercera en medio de las dos. En caso de existencia de dos hilos de tierra, se colocarán al tresbolillo.
- En zonas próximas a aeropuertos o de especial densidad de tráfico aéreo se seleccionarán los vanos que se encuentren en dicha zona y se instalarán balizas cada 30 m. En caso de existencia de dos hilos de tierra, se colocarán al tresbolillo, quedando separadas en este caso 60 m. en cada hilo de tierra. En cualquier caso, se cumplirá lo que especifique la autoridad en materia de navegación aérea.



6.2.8. PUESTA A TIERRA

Todos los apoyos de material conductor, como es el caso de los apoyos metálicos empleados en este proyecto, deberán conectarse a tierra mediante una conexión específica. Para el diseño de la puesta a tierra se tendrá en cuenta el efecto de los cables de tierra a lo largo de la línea.

Para poder identificar los apoyos en los que se deben garantizar los valores admisibles de las tensiones de contacto, en el aptdo. 7.3.4.2 del ITC 07 se establece la clasificación de los apoyos según su ubicación:

- **Apoyos Frecuentados.** Son los situados en lugares de acceso público y donde la presencia de personas ajenas a la instalación eléctrica es frecuente: donde se espere que las personas se queden durante tiempo relativamente largo, algunas horas al día durante varias semanas, o por un tiempo corto pero muchas veces al día, por ejemplo, cerca de áreas residenciales o campos de juego. Los lugares que sólo se ocupan ocasionalmente, como bosques, campo abierto, campos de labranza, etc., no están incluidos.
- **Apoyos No Frecuentados.** Son los situados en lugares que no son de acceso público o donde el acceso de personas es poco frecuente.

Los apoyos de la línea cumplen las condiciones de No Frecuentados, excepto los apoyos tipo PAS, que se considerarán como Frecuentados.

Por tanto, los apoyos no frecuentados con cimentación tetrabloque tendrán una puesta a tierra en cada pata mediante grapa de conexión, conductor de cobre y pica de puesta a tierra. Los apoyos tipo PAS, también con cimentaciones tetrabloque, tendrán una puesta a tierra con anillo cerrado de acero descarburado.

6.2.9. NUMERACIÓN Y AVISO DE PELIGRO

En cada apoyo se marcará el número de orden que le corresponda, el fabricante, la función, denominación según fabricante y el año de fabricación.

La placa de señalización de "riesgo eléctrico" se colocará en el apoyo a una altura visible y legible desde el suelo, pero suficiente para que no pueda ser retirada desde el suelo (aprox. 4 m).

6.2.10. AMORTIGUADORES

En general, tal como expone el apdo. 3.2.2 de la ITC-LAT 07 del RLAT, se recomienda que la tracción a temperatura de 15°C no supere el 22% de la carga de rotura, si se realiza el estudio de amortiguamiento y se instalan dichos dispositivos, o que bien no supere el 15% de la carga de rotura si no se instalan.

Será preciso un estudio de amortiguamiento que se solicitará al fabricante de estos para determinar el número real de amortiguadores y la colocación exacta de estos.

6.2.11. DISPOSITIVOS SALVAPÁJAROS

Según el Real Decreto 1432/2008, del 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de Alta Tensión en su artículo 7 relativo a medidas de prevención contra colisión, se establece que los nuevos tendidos se proveerán de salvapájaros o señalizadores visuales cuando así lo determine el órgano competente de la comunidad autónoma. Se han de colocar en los cables de tierra y si éstos no existiesen, en las líneas en las que únicamente exista un conductor por fase, y se colocarán directamente sobre aquellos conductores que su diámetro sea inferior a 20 mm.



Se estima la utilización de balizas salvapájaros del tipo:

- Tipo BAGTR: para las zonas con presencia de aves crepusculares o identificadas como alto riesgo de colisión.
 - Instalación manual o semiautomática mediante máquina sobre el cable de tierra.
 - Cadencia: cada 5 metros en un cable de tierra único y cada 10 metros alternos cuando la línea disponga de dos cables de tierra.

En el Documento Planos se mencionan las características del salvapájaros descrito.

El tipo de dispositivos salvapájaros, su ubicación, el número total y su colocación definitiva será confirmado en el Estudio de Impacto Ambiental.

6.2.12. APOYOS Y CIMENTACIONES

Los apoyos que se van a utilizar en la construcción de la línea aérea serán del tipo metálicos de celosía de las series CONDOR, ICARO, GRAN CONDOR , pórticos de cruzamiento y otros, del fabricante IMEDEXSA o similar. La configuración de los apoyos para la línea aérea del presente proyecto será en hexágono. Esta configuración facilita el respeto de distancias eléctricas y los cruzamientos con otras líneas de tensión.

Los apoyos seleccionados están contruidos con perfiles angulares totalmente atornillados, con el cuerpo formado por tramos tronco-piramidales de sección cuadrada con extensiones de 3 ó 5 m de altura hasta conseguir la altura útil deseada.

Todos los apoyos dispondrán de una doble cúpula para instalar los dos cables de fibra óptica por encima de los conductores. Las geometrías básicas de los apoyos pueden consultarse en el documento Planos.

En el hipotético caso que aparecieran rocas en el terreno que se ha considerado para un tipo de terreno normal, será necesario utilizar cimentaciones con anclajes.

Las características dimensionales de las cimentaciones para cada tipo de apoyo pueden consultarse en el documento Anexo1. Cálculos.

6.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA

Estas son las características generales de la línea subterránea:

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Frecuencia (Hz)	50
Tensión nominal (KV)	220
Tensión más elevada de la red (KV)	245
Categoría	Especial
Número de circuitos	n = 3



Número de cables por fase	n' = 1
Frecuencia (Hz)	f = 50
Potencia a transportar del Circuito 1 CEPSA (MVA)	348
Potencia a transportar del Circuito 2 Fotonos/Statkraft (MVA)	354/354 (2 Circuitos)
Tipo de cable aislado Circuito 1	RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250
Tipo de cable aislado Circuito 2	(2x)(RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI+H250)
Longitud total tramos subterráneos (km).....	9,723
Provincias afectadas	Madrid y Toledo
Número de cables de fibra óptica.....	2
Tipo de cable de fibra óptica	PKP 48
Tipo de instalación.....	Canalización tubular hormigonada
Disposición de los cables	Triple Circuito, cada uno al Tresbolillo
Anchura de la zanja.....	2,8 m
Profundidad de la zanja en terreno de cultivo	1,8 m
Profundidad de la zanja en camino de tierra.....	1,45 m

Longitud (m) / Puesta a tierra de TRAMO 1 SUBTERRÁNEO.....	7918 / Cross Bonding
Longitud (m) / Puesta a tierra de TRAMO 2 SUBTERRÁNEO.....	1805 / Cross Bonding

6.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DEL TRAMO SUBTERRÁNEO

6.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE

CIRCUITO 1 CEPSA:

El cable propuesto es un cable de 220 kV con denominación RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250.

Es un cable aislado de aislamiento XLPE 127/220 kV de aluminio, cuerda compacta redonda 1x2500 mm2 de sección con doble obturación longitudinal en conductor y pantalla, protección radial y pantalla compuesta por hilos de cobre con sección total de 250 mm2 y cubierta exterior de poliolefina (Z1) con capa exterior semiconductora extrusionada conjuntamente con la cubierta, características mecánicas tipo ST 7 y sin propiedades especiales ante la reacción al fuego. A continuación, se definen las principales características del cable:

Denominación.....	RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250
Tensión nominal del cable (kV).....	127/220
Tensión más elevada en el cable (kV)	1050



Temperatura máxima del conductor (en servicio normal)	90°C
Temperatura máxima del conductor (en cortocircuito)	250°C
Diámetro del conductor (mm)	59
Sección del conductor.....	2500 mm ² Aluminio
Resistencia del conductor cc a 20°C (Ω/km).....	0,0119
Aislamiento	XLPE
Pantalla	Hilos de cobre en hélice
Sección de la pantalla (mm ²)	250
Resistencia de la pantalla cc a 20°C (Ω/km)	0,0693
Diámetro nominal exterior (mm).....	126
Peso aproximado del cable (kg/km)	16,81
Esfuerzo máximo de tiro (daN)	8750
Radio de curvatura mínimo durante la instalación (m)	3,8
Radio de curvatura mínimo permanente (m)	3,2

CIRCUITO 2 Fotones/Statkraft:

El circuito denominado 2, irá en disposición de doble circuito, para poder transportar su potencia máxima de 708 MVA. Para ello, se ha considerado llevar el siguiente conductor, para ambos circuitos.

El cable propuesto es un cable de 220 kV con denominación RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250.

Denominación.....	RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250
Tensión nominal del cable (kV).....	127/220
Tensión más elevada en el cable (kV)	1050
Temperatura máxima del conductor (en servicio normal)	90°C
Temperatura máxima del conductor (en cortocircuito)	250°C
Diámetro del conductor (mm)	59
Sección del conductor.....	2500 mm ² Aluminio
Resistencia del conductor cc a 20°C (Ω/km).....	0,0119
Aislamiento	XLPE
Pantalla	Hilos de cobre en hélice
Sección de la pantalla (mm ²)	250
Resistencia de la pantalla cc a 20°C (Ω/km)	0,0693
Diámetro nominal exterior (mm).....	126
Peso aproximado del cable (kg/km)	16,81
Esfuerzo máximo de tiro (daN)	8750

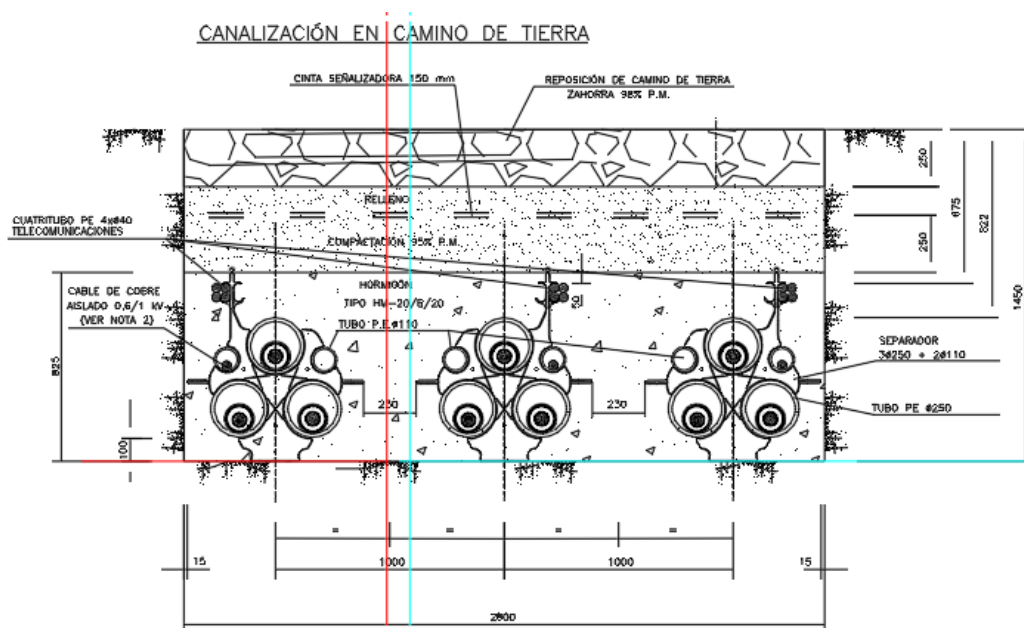


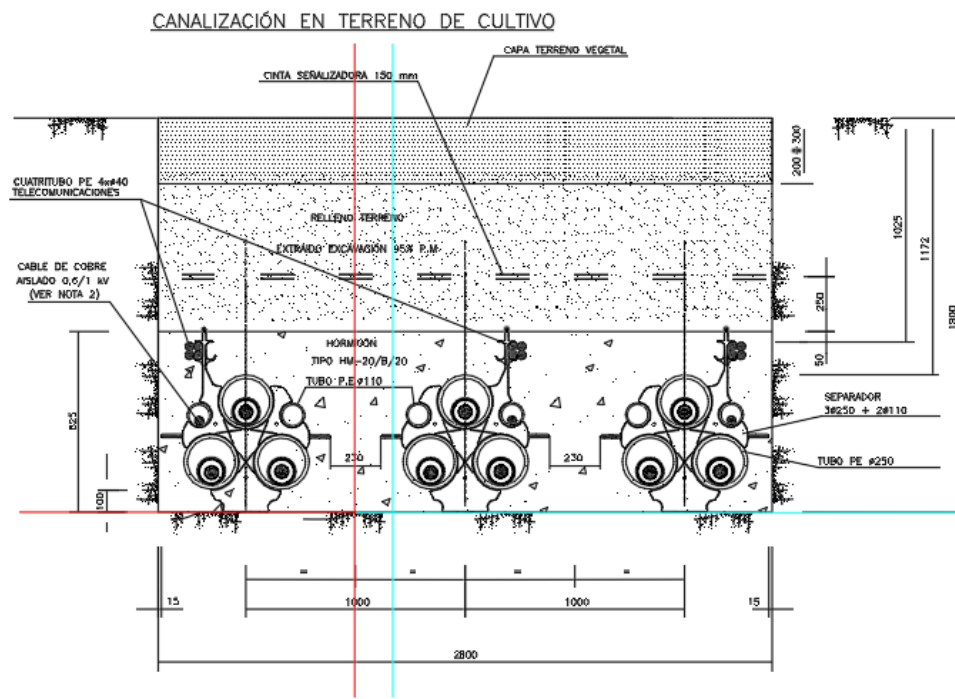
Radio de curvatura mínimo durante la instalación (m)	3,8
Radio de curvatura mínimo permanente (m)	3,2

6.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZANJA

La canalización de la línea se realizará en configuración Triple Circuito, cada uno de ellos con disposición de cables al tresbolillo, bajo tubo hormigonado (hormigón tipo HM-20/B/20) de 250 mm de diámetro interior. Se incluyen unas canalizaciones de tubo de plástico liso de 110 mm de diámetro para la configuración de puesta a tierra y seis bitubos de polietileno de alta densidad de 40 mm de diámetro para la instalación de los cables de comunicaciones y fibra óptica.

Se enterrarán una distancia tal que el exterior del tubo superior se encuentre a una distancia de la superficie de 0,882 metros y el exterior del tubo inferior se encuentre a 1,79 metros de profundidad. La disposición relativa de los tubos se especifica en la figura. En su transcurso por caminos de tierra, la zanja tipo tendrá unas dimensiones de 2,8 m de anchura y 1,45 m de profundidad, si discurrese por terreno de cultivo la profundidad sería de 1,80 m y de la misma anchura de zanja.





El simple circuito del lado rojo corresponde al circuito 1 de CEPSA.

El doble circuito del lado azul corresponde al Circuito 2 Fotones/Statkraft.

Se señalará todo el recorrido mediante cintas de señalización. Se rellenarán las capas superiores de la forma que se indica en la figura atendiendo a la colocación de los cables de comunicaciones.

6.4.3. TIPO DE CONEXIÓN PARA PUESTA A TIERRA

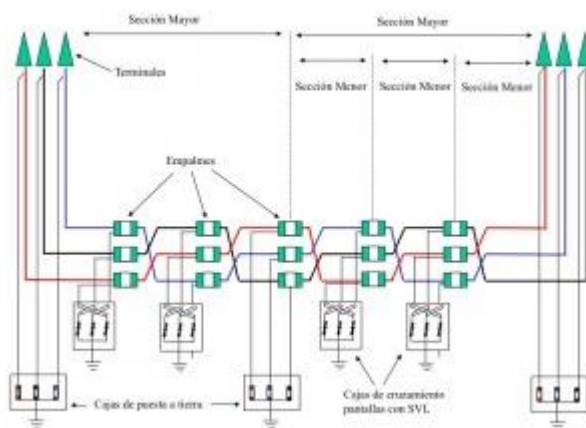
Para el primer y segundo tramo:

Los conductores disponen de una pantalla sobre la que se inducen tensiones, por lo que es necesario un sistema de conexión de puesta a tierra. En el caso de la presente línea se ha optado por el sistema Cross-Bonding, ya que se trata de un tramo subterráneo de más de un kilómetro de longitud.

Este método consiste esencialmente en la distribución de las pantallas de cable en secciones elementales llamadas secciones menores, y cruzando las pantallas de tal manera que se neutralice la totalidad del voltaje inducido en 3 secciones consecutivas.

Tres secciones menores juntas conforman una sección mayor. En un sistema de cruzamiento de pantallas, la ruta se divide en grupos de 3 longitudes iguales (así el sistema quedará eléctricamente equilibrado), con las pantallas puestas a tierra en los dos extremos de cada sección mayor pero no en todos los otros puntos.

De esta manera se induce una tensión entre la pantalla y tierra, pero se eliminan las corrientes inducidas.



Las 3 pantallas conectadas en serie están asociadas a conductores de diferentes fases y cuando los cables están dispuestos al tresbolillo, sus intensidades, y por lo tanto las tensiones inducidas en las pantallas, tienen la misma magnitud, pero con un desplazamiento de 120° . El resultado global es que la corriente inducida resultante en las tres pantallas son cero.

Este tipo de conexión no requiere un cable de continuidad de tierra.

Con esta conexión de pantallas se puede incrementar considerablemente la intensidad admisible del circuito, particularmente para conductores de sección muy grande. Este sistema se puede aplicar a longitudes grandes. No obstante, en los puntos donde se conecten las pantallas y esta conexión sea accesible, las tensiones inducidas no podrán superar los 65 voltios.

6.4.4. CAJAS DE CONEXIÓN UNIPOLARES DE PUESTA A TIERRA

Las cajas de conexión serán de tipo intemperie, y alojarán los descargadores de sobretensión, asociados al sistema de puesta a tierra.

Las tapas serán de acero inoxidable y garantizarán un grado de protección mínimo IP 58 para las cajas de tipo intemperie e IP 68 para cajas enterradas.

6.4.5. CAJAS DE CONEXIÓN TRIPOLARES DE PUESTA A TIERRA

Las cajas de conexión serán de dos tipos, enterradas y tipo intemperie, estas últimas alojarán los descargadores de sobretensión, asociados al sistema de puesta a tierra.

Las tapas serán de acero inoxidable y garantizarán un grado de protección mínimo IP 58 para las cajas de tipo intemperie e IP 68 para cajas enterradas.

6.4.6. CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA SUBTERRÁNEO

Los cables de fibra óptica serán de tipo OPSYCOM PKP de 48 fibras y estarán constituidos por un núcleo de fibra de vidrio, en donde se soportarán los cables de fibra óptica.

Contarán con cubierta de polietileno de baja densidad de mínimo 0,8 mm de espesor. Los cables están reforzados con hilos de poliamida y con una cubierta de polietileno de baja densidad mínimo de 1.5 mm de espesor.

6.4.7. CÁMARAS DE EMPALME

Puesto que la longitud de la línea es superior a la longitud máxima de cable a transportar en una bobina, es necesario realizar empalmes, de los que se habla a continuación, y dichos empalmes son instalados en cámaras diseñadas para tal fin.

Las cámaras de empalme se realizan con muros de hormigón armado.

Las cámaras de empalme pueden ser prefabricadas o pueden ejecutarse in-situ.

Los planos de las cámaras de empalme se representan en el documento Planos del presente Proyecto.

6.4.8. EMPALMES

Se instalarán empalmes prefabricados o premoldeados. Las unidades prefabricadas que conforman el empalme se ensayarán en fábrica.

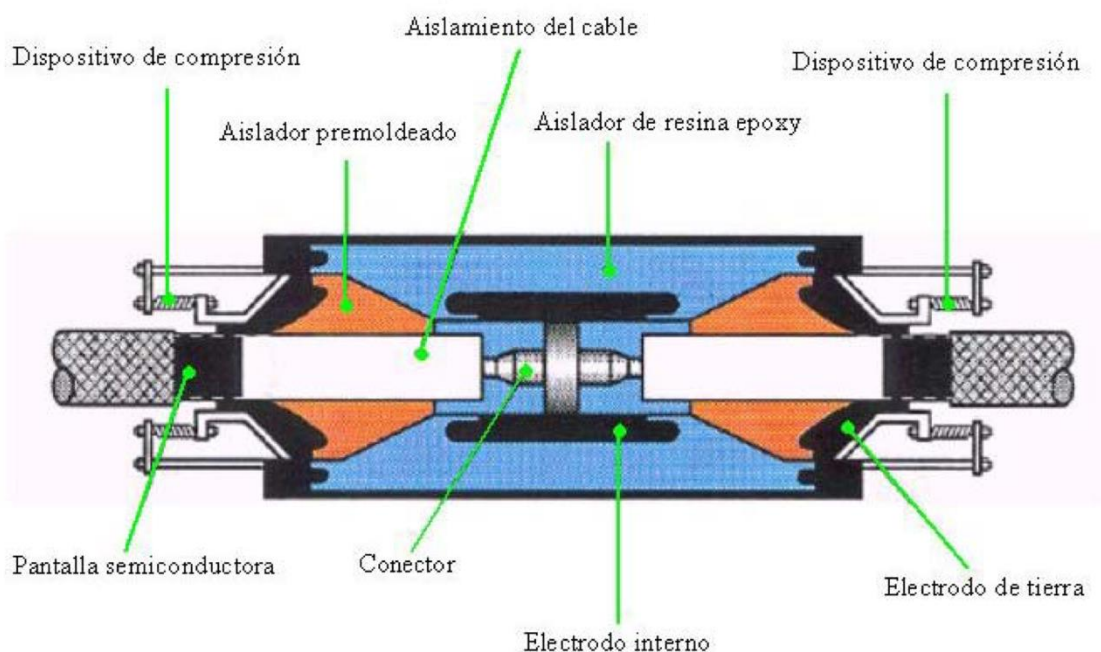
El empalme se realizará con el enfrentamiento de ambos cables, por lo que serán precisos dos conos deflectores opuestos de control del campo y un recubrimiento para la reducción de dicho campo. Finalmente será necesario un revestimiento conductivo de la superficie del empalme.

Para proteger el empalme contra la humedad y contra posibles daños mecánicos, se recubrirá mediante un alojamiento metálico protegido contra la corrosión y que pueda depositarse directamente enterrado.

El empalme debe poseer buenas características eléctricas y térmicas, siendo capaz de soportar los ciclos de calentamiento y las contracciones/expansiones de los cables. Por ello, se recomiendan los materiales de goma de silicona o EPR.

Por encima del a semiconductora externa debe instalarse un dispositivo para evitar cualquier propagación del agua en el empalme.

La cubierta exterior del empalme debe asegurar la protección mecánica del cuerpo del empalme, constituir una barrera radial de estanqueidad que facilite la reconstrucción del aislamiento y proporcionar un aislamiento eléctrico equivalente al de la cubierta del cable.



6.4.9. TERMINALES DE EXTERIOR (TRANSICIÓN AÉREO – SUBTERRÁNEO)

Los terminales de exterior serán de composite y para una tensión de 220 kV nominales. Estos terminales tienen el aislador de composite de pedestal anclado a una base metálica de fundición que a su vez está soportada por una placa metálica. Estos terminales se colocarán en el apoyo PAS.

El arranque del conector está protegido por una pantalla contra las descargas parciales.

Se emplea un cono deflector elástico preformado para el control del campo en la terminación del cable, que queda instalado dentro del aislador. El aislador se rellena de aceite de silicona, que no requiere un control de la presión de este.

Se utilizarán manguitos de conexión a presión diseñada para resistir esfuerzos térmicos y electromecánicos durante su funcionamiento habitual y los eventos de cortocircuito.

Esta descripción no corresponde a un tipo de terminal específico, en el momento de la construcción los terminales se determinarán en función de las ofertas reales del fabricante que cumplan con los requisitos de diseño.

6.4.10. PERFORACIÓN DIRIGIDA

En caso de que fueran necesarios para realizar cruzamientos con carreteras, ríos, vías de tren, etc. Que no permitan la apertura de zanja a través de ellos, se emplearía la perforación dirigida, que consiste en un topo que realiza una excavación parabólica bajo el cruzamiento a realizar.

Podrán realizarse perforación mediante tubos independientes para cada conductor o bien una vaina de polietileno de alta densidad que agrupe varios conductores.

La perforación subterránea horizontal dirigida sustituye la apertura de zanjas en aquellos ámbitos en los que no sea una opción viable. Se trata de un método rápido, limpio y ecológico.

Anterior al trabajo en campo, debe realizarse un estudio previo. El diseño del trabajo debe ser preciso para la elección de la máquina y útiles adecuados para cada obra. Así pues, es necesario realizar una topografía exacta de la zona de trabajo y una investigación geológica con sondeos de recuperación de testigo continuo para determinar el terreno a perforar.

Una vez en campo, la primera operación a realizar es la construcción del pozo de trabajo con unas dimensiones que dependerán del espacio de trabajo, del diámetro del tubo de revestimiento y de la máquina perforadora a emplear, entre otros. Las dimensiones se medirán desde el eje de la conducción, donde se ubicará la maquinaria de perforación. Los laterales de este pozo se deberán hormigonar o entibar o ataluzar si la profundidad de este, o las condiciones del terreno, así lo exigiesen.

Se deberá realizar una solera para que la máquina perforadora quede asentada bien en el suelo y así evitar el error que pudiera implicar el movimiento de la perforadora (debido a terrenos poco compactos, posibles vibraciones, niveles freáticos...)

En la cara posterior del pozo, visto éste en el sentido de avance, se deberá cuidar la perpendicularidad del eje, y si por la longitud y el diámetro del paso fuese necesario, se construirá un muro de reacción para soportar el empuje máximo a realizar. Una vez instalada la máquina en el pozo de trabajo y comprobadas la línea y cota, se procederá a la bajada del primer tubo de acero, con una longitud habitual de 6 metros, que aloja en su interior la broca de corte y los sinfines de extracción.

La máquina está dotada de un motor-reductor hidráulico que da giro al conjunto de broca y sinfines y de dos mecanismos de empuje, uno para el tubo y otro para el sinfín, lo que permite independizar el avance de cada uno, siendo la naturaleza del terreno, la que determine la posición de la broca dentro de la vaina, que solo estará avanzada respecto al tubo unos centímetros en terrenos donde la dureza y la estabilidad así lo requieran.

Cuando el primer tubo esté introducido en el terreno, se retirará hacia atrás el mecanismo de empuje, procediéndose a la bajada, alineación y soldadura del segundo tubo. Este ciclo se repite, hasta alcanzar la longitud deseada, tras lo cual se retiran los sinfines del interior de la vaina, quedando ésta dispuesta para colocar en su interior. La conducción deseada, que debe de tener unos centímetros menos de diámetro exterior para facilitar su instalación.

En la salida se necesita abrir un pozo de recepción para recuperar el escudo dirigible este tendrá 3 metros de largo (en el sentido de avance) x 2.5 metros de anchura x 0.80 metros (desde el eje de la perforación).

La tubería que se va a instalar contará con un revestimiento exterior de fibra de vidrio para protección catódica.

Una vez realizada la instalación del tubo principal, se procederá a introducir los conductores eléctricos en sus respectivos tubos. En la misma conducción principal se dispondrán un tubo de telecomunicaciones, así como dos tubos de reserva, uno para el circuito eléctrico y otro para la fibra óptica

7. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

El programa previsto para la ejecución de la línea, una vez realizado el Proyecto de ejecución y obtenidos todos los permisos y autorizaciones pertinentes por parte de los organismos afectados, tendrá una duración aproximada de catorce meses para el tramo aéreo y aproximadamente seis meses para el tramo subterráneo, distribuidos de acuerdo con el siguiente cronograma:

Para el tramo aéreo

		MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.0	LAAT /220 kV Guadarrama III – Buenavista REE (DC TRAMO COMPARTIDO)																								
1.1	Replanteo de apoyos																								
1.2	Desbroce y tala de arbolado (sólo si aplica)																								
1.3	Adecuación de accesos																								
1.4	Adecuación de campas de acopio																								
1.5	Acopio y clasificación de materiales																								
1.7	Excavación de cimentaciones																								
1.8	Hormigonado de cimentaciones																								
1.9	Montaje de estructuras e izado																								
1.10	Tendido conductores																								
1.11	Tensado, regulado y engrapado de conductores																								
1.12	Tendido conductores																								
1.13	Tensado, regulado y engrapado de cables de tierra y FO																								
1.14	Instalación de balizas protección avifauna																								
1.15	Señalización																								
1.16	Limpieza de áreas afectadas																								
1.17	Restauración de terrenos																								
1.18	Verificación e inspección inicial																								
2.0	Vigilancia mediambiental																								
3.0	Seguridad y salud																								

Para el tramo subterráneo:

		MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.0	LSAT /220 kV Guadarrama III – Buenavista REE (DC TRAMO COMPARTIDO)																								
1.1	Replanteo de canalización																								
1.2	Desbroce y tala de arbolado (sólo si aplica)																								
1.3	Adecuación de accesos																								
1.4	Adecuación de campos de acopio																								
1.5	Acopio y clasificación de materiales																								
1.6	Excavación de zanja																								
1.7	Colocación de tubos en la canalización																								
1.8	Hormigonado de zanja																								
1.9	Reposición del firme																								
1.10	Mandrilado de canalización																								
1.11	Tendido conductores																								
1.12	Confección de terminales																								
1.13	Confección de empalmes (sólo si aplica)																								
1.14	Pruebas de la instalación en vacío																								
1.15	Señalización																								
1.16	Limpieza de areas afectadas																								
1.17	Restauración de terrenos																								
1.18	Verificación e inspección inicial																								
2.0	Vigilancia medioambiental																								
3.0	Seguridad y salud																								

8. CRUZAMIENTOS

8.1. NORMAS APLICABLES A LÍNEAS AÉREAS

Las normas aplicables a los cruzamientos de esta línea están recogidas en el 5º apartado de la ITC-LAT-07 del vigente Reglamento de condiciones técnicas y de seguridad en líneas de alta tensión aprobado por el Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero.

A continuación, se incluye la tabla base a partir de la cual se determinarán las distancias, y posteriormente se detallarán las distancias de seguridad en los distintos casos de cruzamientos necesarios en este anteproyecto.

Tensión más elevada de la red U_s (kV)	D_{el} (m)	D_{pp} (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

Donde:

- D_{el} : Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento o rápido, D_{el} puede ser tanto interna, cuando se consideran distancias del conductor a la estructura de la torre, como externas, cuando se considera una distancia del conductor a un obstáculo.
- D_{pp} : Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido, D_{pp} es una distancia interna.

Distancias entre conductores y a partes puestas a tierra

Este apartado corresponde al 5.4.2 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.



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

Por tanto, la distancia mínima será de 1,7 m para líneas de 220 kV.

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

Este apartado corresponde al 5,5 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.

La distancia mínima de los conductores a cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficie de agua no navegable será de:

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el} [m]$$

Con un mínimo de 6 metros.

Por tanto, la distancia mínima será de 7 metros para líneas de 220 kV.

Distancias a otras líneas eléctricas aéreas o líneas aéreas de telecomunicación

Este apartado corresponde al 5,6 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.

Las líneas de telecomunicación serán consideradas como de baja tensión.

En caso de cruzamiento entre líneas eléctricas aéreas, se situará a mayor altura la de tensión más elevada.

Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los apoyos de la línea más elevada, pero la distancia entre los conductores de la línea inferior y las partes más próximas de los apoyos de la línea superior no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} [m]$$

Con un mínimo de:

- 2 metros para líneas de tensión hasta 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.

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

$$D_{add} + D_{pp} [m]$$

Tensión nominal de la red (kV)	D_{add} (m)
66	2,5
132	3
220	3,5

Tensión nominal de la red (kV)	D _{add} (m)
400	4

Siendo en este caso:

- D_{add} = 3,5 metros
- D_{pp} = 2 metros

Por tanto, la distancia mínima vertical entre los conductores de fase de ambas líneas en el punto de cruce será de 5,5 metros para líneas de 220 kV.

La mínima distancia vertical entre los conductores de fase de la línea superior y los cables de tierra convencionales o compuestos tierra-óptico (OPGW) de la línea inferior en el caso de que existan, no deberá de ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} [m]$$

Con un mínimo de 2 metros.

Por tanto, esta distancia mínima será de 3,2 metros para líneas de 220 kV.

Distancias a carreteras, ferrocarriles, tranvías y trolebuses

Este apartado corresponde a los subapartados 5.7, 5.8 y 5.9 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.

La distancia mínima de los conductores sobre la rasante de las carreteras o por las cabezas de los carriles de los ferrocarriles sin electrificar será de:

$$D_{add} + D_{el} [m]$$

Con una distancia mínima de 7 metros, siendo D_{add} igual a 7,5 para líneas de categoría especial.

Por tanto, esta distancia mínima será de 9,2 metros para líneas de 220 kV.

Para ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses, la distancia mínima vertical de los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical, sobre el conductor más alto de todas las líneas de energía eléctrica, telefónicas y telegráficas del ferrocarril será:

$$D_{add} + D_{el} = 3,5 + D_{el} [m]$$

Con un mínimo de 4 metros.

Por tanto, esta distancia mínima será de 5,2 metros para líneas de 220 kV.

Distancias a ríos y canales, navegables o flotables

La distancia mínima vertical de los conductores, con su máxima flecha vertical, sobre la superficie del agua para el máximo nivel que pueda alcanzar ésta será en líneas que no sean de categoría especial de:

$$G + D_{add} + D_{el} = G + 2,5 + D_{el} [m]$$



siendo G el gálibo. En el caso de que no exista gálibo definido se considerará este igual a 4,7 metros.

Por tanto, esta distancia mínima será de 8,9 metros (considerando un gálibo de 4,7 metros) para líneas de 220 kV conforme a lo establecido en la ITC 07.

Además, tomando el criterio que marcan varias confederaciones hidráulicas para los cursos de agua, la altura mínima de los conductores en su condición de máxima flecha sobre el nivel de máxima crecida del curso de agua se debe determinar mediante la expresión:

$$H = G + 2,3 + 0,01 \cdot U_N [m]$$

Por defecto, y a expensas de confirmación por parte de las confederaciones afectadas por la línea objeto del presente proyecto, se considerará un gálibo de 10,5 metros sobre embalses y ríos navegables, y de 4,7 metros en el resto de los cruces.

De este modo, la altura mínima de los conductores en su condición de máxima flecha sobre el nivel de máxima crecida del curso de agua resulta ser:

- 15 metros para cruzamientos con embalses y ríos navegables
- 9,2 metros para cruzamientos con el resto de cauce de agua

Esta es la altura mínima que se considerará en el proyecto, dado que es más restrictiva que la establecida por la ITC LAT 07.

Paso por bosques, árboles y masas de arbolado

Este apartado corresponde al 5.12.1 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.

Para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de una línea eléctrica aérea, deberá establecerse una zona de protección de la línea definida por la zona de servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia de seguridad a ambos lados de dicha proyección:

$$Dadd + Del = 1,5 + Del [m]$$

Con un mínimo de 2 metros.

Por tanto, la zona de servidumbre de vuelo se verá incrementada 3,2 metros a ambos lados de su proyección para líneas de 220 kV.

Edificios, construcciones y zonas urbanas

Este apartado corresponde al 5.12.2 de la ITC-LAT-07 citada anteriormente.

Conforme a lo establecido en el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, no se construirán edificios e instalaciones industriales en la servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia mínima de seguridad a ambos lados:



$$Dadd + Del = 3,3 + Del [m]$$

Con un mínimo de 5 metros.

Entonces, para la línea de 220 kV objeto del presente anteproyecto, esta distancia será 5 m.

Análogamente, no se construirán líneas por encima de edificios e instalaciones industriales en la franja definida anteriormente.

No obstante, en los casos de mutuo acuerdo entre las partes, las distancias mínimas que deberán existir en las condiciones más desfavorables, entre los conductores de la línea eléctrica y los edificios o construcciones que se encuentren bajo ella, serán las siguientes:

- Sobre puntos accesibles a las personas:

$$5,5 + Del [m]$$

Con un mínimo de 6 metros.

Entonces, para la línea de 220 kV objeto del presente anteproyecto, esta distancia será 7,2 metros.

- Sobre puntos no accesibles a las personas:

$$3,3 + Del [m]$$

Con un mínimo de 4 metros.

Entonces, para la línea de 220 kV objeto del presente anteproyecto, esta distancia será 5 metros.

Se procurará asimismo en las condiciones más desfavorables, el mantener las anteriores distancias, en proyección horizontal, entre los conductores de la línea y los edificios y construcciones inmediatos.

8.2. NORMAS APLICABLES A LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

Las normas aplicables a los cruzamientos de esta línea están recogidas en el 5º apartado de la ITC-LAT-06 del vigente Reglamento de condiciones técnicas y de seguridad en líneas de alta tensión.

8.2.1. CRUZAMIENTOS

Atendiendo a la ITC-LAT 06: LÍNEAS SUBTERRÁNEAS CON CABLES AISLADOS se presentan las características que deben cumplir los cruzamientos de cables subterráneos de alta tensión.

Calles y carreteras

Los cables subterráneos en calles y carreteras se deben colocar en canalizaciones entubadas y hormigonadas en toda su longitud. Se debe cumplir que la profundidad hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie no sea inferior a 0,6 m. Además, siempre que sea posible, el cruce se deberá hacer perpendicular al eje del vial.

Ferrocarriles

Al igual que en calles y carreteras, los cables se colocarán en canalizaciones entubadas hormigonadas y perpendiculares a la vía siempre que sea posible. Se debe cumplir que la profundidad hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie no sea inferior 1,1 m respecto de la cara inferior de la traviesa. Las canalizaciones entubadas rebasarán las vías férreas en 1,5 m por cada extremo.

Otros cables de Energía Eléctrica

Siempre que sea posible, los cables de alta tensión deben discurrir por debajo de los cables de baja tensión. La distancia mínima entre los cables de alta tensión y cualquier otro cable de energía eléctrica debe de ser de 0,25 m. La distancia del punto de cruce a los empalmes no será inferior a 1 m.

En caso de que estas distancias no puedan respetarse, el cable de instalación más reciente se dispondrá separado mediante tubos, conductor o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual a 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Cables de Telecomunicación

La distancia mínima entre cables de comunicación y cables de energía eléctrica no debe ser inferior a 0,20 m, La distancia del punto de cruce a los empalmes, tanto del cable de energía como del cable de telecomunicación, será superior a 1 m.

Al igual que en cables de energía eléctrica, si estas separaciones mínimas no pueden respetarse el cable instalado más recientemente se dispondrá separado mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Canalizaciones de Agua

La distancia mínima entre cables de energía eléctrica y canalizaciones de agua será de 0,2 m. Por motivos de seguridad, se evitarán tanto el cruce por la vertical de las juntas de canalizaciones de agua como el cruce de los empalmes de canalización eléctrica, situando unas y otros a una distancia siempre superior a 1 m del cruce. En caso de que estas distancias no puedan mantenerse, se realizará el mismo procedimiento que en los dos puntos anteriores: la canalización más reciente se dispondrá separada mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro

exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Canalizaciones de Gas

Se mantendrán las distancias mínimas que se presentan en la *Tabla: Distancias En Cruzamientos con Canalizaciones de Gas*, recogida en la ITC 06:

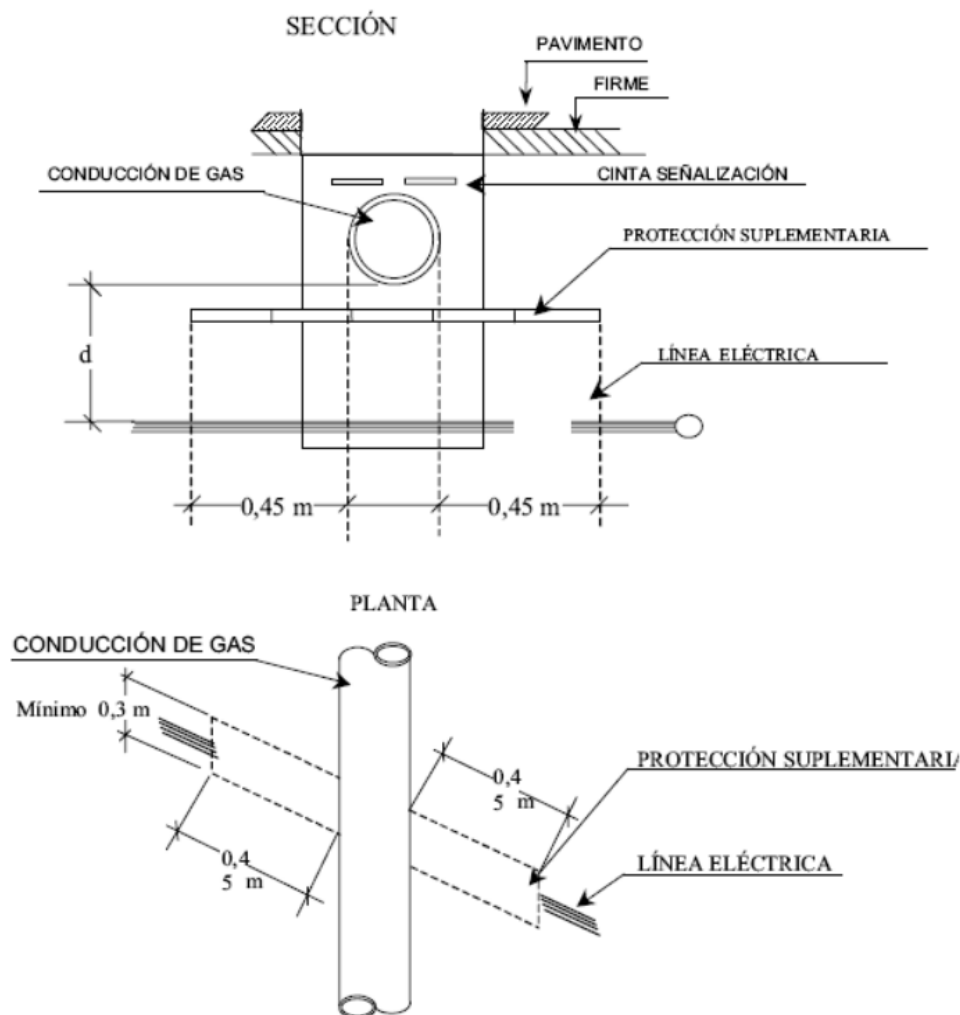
	Presión de la instalación de gas	Distancia mínima (d) sin protección suplementaria	Distancia mínima (d) con protección suplementaria
Canalizaciones y acometidas	En alta presión > 4 bar	0,40 m	0,25 m
	En media y baja presión ≤ 4 bar	0,40 m	0,25 m
Acometida interior*	En alta presión > 4 bar	0,40 m	0,25 m
	En media y baja presión ≤ 4 bar	0,40 m	0,25 m

Distancias en Cruzamientos con Canalizaciones de Gas

* Acometida interior: Es el conjunto de conducciones y accesorios comprendidos entre la llave general de acometida de la compañía suministradora (sin incluir ésta) y la válvula de seccionamiento existente en la estación de regulación y medida. Es la parte de acometida propiedad del cliente.

Según establece la normativa, en caso de que por causa justificada no se puedan mantener las distancias expuestas, podrá reducirse mediante colocación de una protección suplementaria hasta los mínimos establecidos en la tabla anterior. Esta protección deberá estar constituida por materiales preferentemente cerámicos,.

La protección suplementaria garantizará una mínima cobertura longitudinal de 0,45 metros a ambos lados del cruce y 0,30 metros de anchura centrada con la instalación que se pretende proteger, de acuerdo con la figura adjunta:



Sección de Canalizaciones de Gas

En caso de no poder cumplirse con la distancia mínima con protección suplementaria se pondrá en conocimiento de la empresa propietaria de la conducción de gas, para que indique las medidas a aplicar en cada caso.

En el caso de línea subterránea de alta tensión con canalización entubada, se considerará como protección suplementaria el propio tubo, no siendo de aplicación las coberturas mínimas indicadas anteriormente, Los tubos estarán constituidos por materiales con adecuada resistencia mecánica, una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Conducciones de Alcantarillado

Siempre que sea posible, los cables deberán pasar por encima de las conducciones de alcantarillado, y nunca se deberá incidir en su interior. Únicamente se admitirá incidir en su pared si se asegura que ésta no ha quedado debilitada. En caso contrario, se pasará por debajo y los cables quedarán separados mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Depósitos de Carburante

Los cables se dispondrán separados mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm. Los tubos distarán, como mínimo, 1,20 metros del depósito, Los extremos de los tubos rebasarán al depósito, como mínimo, 2 metros por cada extremo.

8.2.2. PARALELISMOS

Otros cables de Energía Eléctrica

Los cables subterráneos de alta tensión se podrán instalar paralelamente a otros (de baja o alta tensión) manteniendo entre ellos una distancia mínima de 0,25 m.

En caso de que no sea posible aplicar esta distancia, se procederá de igual modo que en casos anteriores, es decir, cuando no se pueda respetar esta distancia la conducción más reciente se dispondrá separada mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

En el caso que un mismo propietario canalice a la vez varios cables de A,T del mismo nivel de tensiones, podrá instalarlos a menor distancia, pero los mantendrá separados entre sí con cualquiera de las protecciones citadas anteriormente.

Cables de Telecomunicación

La distancia mínima entre los cables de energía eléctrica y los de telecomunicación será de 0,20 metros. Cuando no pueda mantenerse esta distancia, la canalización más reciente instalada se dispondrá separada mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro

exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Canalizaciones de Agua

La distancia mínima entre las canalizaciones de agua y los cables de energía eléctrica será de 0,20 m. Por otro lado, la distancia mínima entre los empalmes de los cables y las juntas de las canalizaciones será de 1 m. Al igual que en casos anteriores, si no se puede mantener esta distancia mínima, la canalización más reciente se dispondrá separada mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

Por otro lado, siempre que sea posible, se deberá mantener una distancia mínima de 0,20 m en proyección horizontal y la canalización del agua debe quedar por debajo del nivel del cable eléctrico.

Por último, las arterias importantes de agua se dispondrán alejadas de forma que se aseguren distancias superiores a 1 metro respecto a los cables eléctricos de alta tensión.

Canalizaciones de Gas

Se mantendrán las distancias mínimas que se presentan en la *Tabla: Distancias En Paralelismos con Canalizaciones de Gas*, recogida en la ITC 06:

	Presión de la instalación de gas	Distancia mínima (d) sin protección suplementaria	Distancia mínima (d) con protección suplementaria
Canalizaciones y acometidas	En alta presión > 4 bar	0,40 m	0,25 m
	En media y baja presión ≤ 4 bar	0,25 m	0,15 m
Acometida interior*	En alta presión > 4 bar	0,40 m	0,25 m
	En media y baja presión ≤ 4 bar	0,20 m	0,10 m

Distancias en Paralelismos con Canalizaciones de Gas

** Acometida interior: Es el conjunto de conducciones y accesorios comprendidos entre la llave general de acometida de la compañía suministradora (sin incluir ésta), y la válvula de seccionamiento existente en la estación de regulación y medida. Es la parte de acometida propiedad del cliente.*

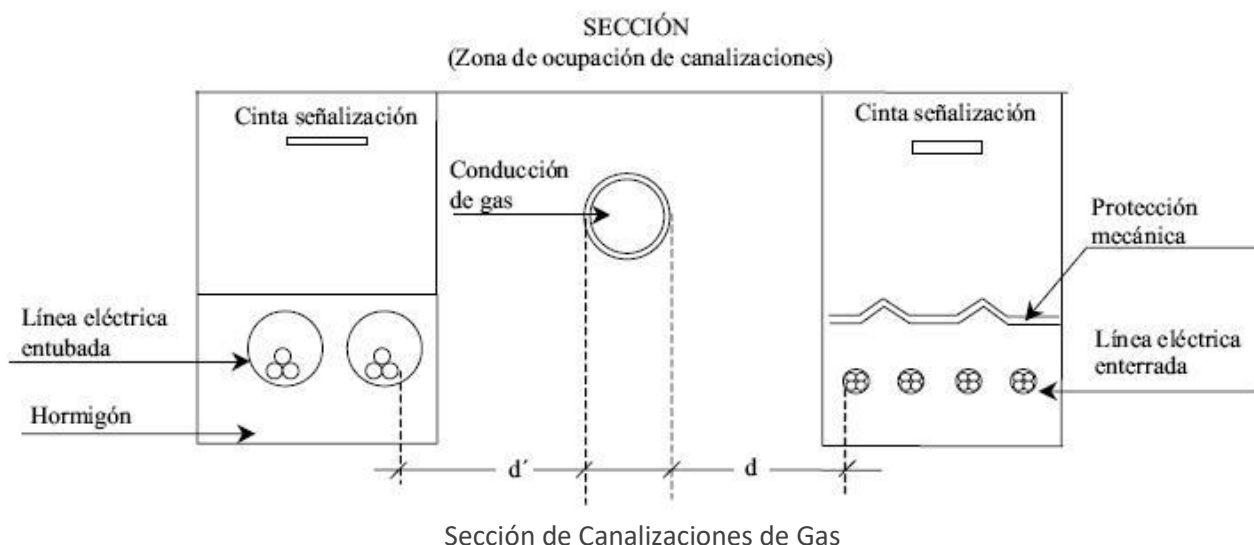
Según establece la normativa, en caso de que por causa justificada no se puedan mantener las distancias expuestas, podrá reducirse mediante colocación de una protección suplementaria hasta los mínimos establecidos en la tabla anterior. Esta protección deberá estar constituida por materiales preferentemente cerámicos o por tubos de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es



superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

La distancia mínima entre los empalmes de los cables de energía eléctrica y las juntas de las canalizaciones de gas será de 1 metro.

Se presenta en la siguiente imagen un diagrama de la zona de ocupación de canalizaciones:



8.2.3. ACOMETIDAS (CONEXIONES DE SERVICIO)

En el caso de que alguno de los dos servicios que se cruzan o discurren paralelos sea una acometida o conexión de servicio a un edificio, deberá mantenerse entre ambos una distancia mínima de 0,30 metros.

Cuando no pueda respetarse esta distancia, la conducción más reciente se dispondrá separada mediante tubos, conductos o divisorias constituidos por materiales de adecuada resistencia mecánica, con una resistencia a la compresión de 450 N y que soporten un impacto de energía de 20 J si el diámetro exterior del tubo no es superior a 90 mm, 28 J si es superior a 90 mm y menor o igual 140 mm y de 40 J cuando es superior a 140 mm.

La entrada de las acometidas o conexiones de servicio a los edificios, tanto cables de baja tensión como de alta tensión en el caso de acometidas eléctricas, deberá taponarse hasta conseguir su estanqueidad.

8.3. RESUMEN DE DISTANCIAS

A continuación, se muestra un resumen de las distintas distancias de seguridad en los distintos casos particulares:

8.3.1. LÍNEAS AÉREAS

Distancias de aislamiento	
Distancia	Tensión nominal 220 kV
Distancia a masa (m)	1,7
Distancia a fase (m)	2,0
Distancia mínima al terreno (m)	7
Bosques y árboles (m)	3,2

Distancias verticales en cruzamientos	
Distancia mínima a	Tensión nominal 220 kV
Caminos o sendas (m)	7
Cursos de agua no navegables (m)	7
Líneas eléctricas o líneas de telecomunicación (distancia a conductores) (m)	5,5
Líneas eléctricas o líneas de telecomunicación (distancia a cables de guarda) (m)	3,2
Carreteras y ferrocarriles sin electrificar (m)	9,2
Ferrocarriles electrificados, tranvías o trolebuses (m)	5,2 a conductor más alto de todas las líneas del ferrocarril
Ríos y canales, navegables o flotables (m)	G+4,2

8.3.2. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

Distancias en cruzamientos	
Distancia mínima a	Distancia mínima (salvo excepciones)
Calles y carreteras (m)	0,6
Ferrocarriles (m)	1,1
Otros cables de Energía Eléctrica (m)	0,25
Cables de Telecomunicación (m)	0,20
Canalizaciones de Agua (m)	0,20
Canalizaciones de Gas	Ver tabla: Distancias En Cruzamientos con Canalizaciones de Gas
Conducciones de Alcantarillado	No se rigen por norma general
Depósitos de Carburante	
Acometidas	0,30

Distancias en paralelismos	
Distancia mínima a	Distancia mínima (salvo excepciones)
Otros cables de Energía Eléctrica (m)	0,25
Cables de Telecomunicación (m)	0,20
Canalizaciones de Agua (m)	0,20
Canalizaciones de Gas	Ver tabla: Distancias En Paralelismos con Canalizaciones de Gas
Acometidas	0,30



8.4. RELACIÓN DE CRUZAMIENTOS, PARALELISMOS Y ORGANISMOS AFECTADOS

A continuación, se muestra un resumen de los cruzamientos del tramo aéreo y subterráneo de la línea, así como sus organismos afectados:

Tramo aéreo:

Cruzamiento	Apoyo inicial	Apoyo final	Cruzamientos	Paralelismos	Organismos afectados
C-1	17	18	Barranco		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-2			Barranco		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-3			Barranco		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-4	18	19	Barranco		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-5	19	20	Vereda Los Bartolos		Vías Pecuarias. Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad de Castilla-La Mancha.
C-6	21	22	Camino de Casarrubios a Carranque		Ayuntamiento de Carranque
C-7	22	23	Camino de Casarrubios a Carranque		Ayuntamiento de Carranque
C-8	23	24	Autopista AP-41		Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana
C-9	24	25	Arroyo de San Blas		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-10	25	26	Arroyo de San Blas		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-11	30	31	Línea Eléctrica 20kV S.C.		UFD
C-12			Línea Eléctrica 20kV S.C.		UFD
C-13	33	34PAS	Arroyo del Carrascal		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-14	35PAS	36	Carretera M-410		Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid
C-15	36	37	Línea Eléctrica a 45kV D.C		i-DE
C-16*	38	39	Línea Eléctrica a 400kV "MOR-VVI DC"		REE
C-17*			Línea Eléctrica a 400kV S.C.		REE
C-18	41	42	Línea Eléctrica a 45kV D.C.		i-DE
C-19			Colada del Camino del Monte de Batres		Vías Pecuarias. Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Comunidad de Madrid.
C-20	42	43	Línea Telefónica		Telefónica, S.A.

Cruzamiento	Apoyo inicial	Apoyo final	Cruzamientos	Paralelismos	Organismos afectados
C-21	49	50	Carretera M-413		Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid
C-22			Línea Telefónica		Telefónica, S.A.
C-23			Línea Eléctrica 30kV S.C.		i-DE
P-1				Línea Eléctrica de B.T.	i-DE
C-24	49	50	Barranco del Prado		Confederación Hidrográfica del Tajo
C-25			Línea Eléctrica 30kV S.C.		i-DE

***Para la correcta realización de los cruzamientos 16 y 17, se necesitará realizar una excavación de terreno de aproximadamente 80 cm para cumplir con los 7 metros al terreno, y cumplir con las distancias eléctricas a las líneas de 400 kV.**

Tramo subterráneo:

Cruzamiento	Vértice inicio	Vértice fin	Cruzamientos	Paralelismos	Organismos afectados
Tramo 1 Subterráneo					
Csat-1	5	6	Vereda de Batres		Vías Pecuarias. Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Comunidad de Madrid.
Csat-2	7	8	Línea Eléctrica 30kV S.C.		i-DE
Csat-3	9	10	Arroyo del Sotillo		Confederación Hidrográfica del Tajo
Csat-4	10	11	Arroyo del Sotillo		Confederación Hidrográfica del Tajo
Csat-5	14	15	Arroyo de la Alameda		Confederación Hidrográfica del Tajo
Csat-6	15	16	Línea Eléctrica de B.T.		i-DE
Csat-7			Línea Telefónica		Telefónica, S.A.
Csat-8	16	17	Línea Eléctrica 20kV S.C.		i-DE
Csat-9	23	24	Carretera M-404		Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid
Csat-10	30	31	Arroyo del Chorrillo		Confederación Hidrográfica del Tajo
Csat-11	31	32	Línea Eléctrica de 20 kV		i-DE



Cruzamiento	Vértice inicio	Vértice fin	Cruzamientos	Paralelismos	Organismos afectados
Csat-12	45	46	Arroyo de Moralejita		Confederación Hidrográfica del Tajo
Csat-13	50	51	Línea Eléctrica de B.T.		i-DE
Csat-14	56	57	Línea Eléctrica 400kV "MOT-VVI DC"		REE
Csat-15	59	60	Gaseoducto Enagas Semianillo Suroeste Madrid		Enagas
Csat-16	63	64	Arroyo de los Barrancos		Confederación Hidrográfica del Tajo
Psat 1	16	25		Autovía R-5	Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana
Psat 2	60	64		Autopista AP-41	Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana
Tramo 2 Subterráneo					
Csat-17	6	7	Arroyo de las Huertas		Confederación Hidrográfica del Tajo
Psat 3	6	8		Autovía R-5	Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana

9. ORGANISMOS AFECTADOS

A continuación, se presenta un listado resumen de los organismos afectados por la presente L/220kV Guadarrama III - Buenavista REE (DC-Tramo compartido):

- Ayuntamiento de Carranque (Toledo)
- Ayuntamiento de Serranillos del Valle (Madrid)
- Ayuntamiento de Griñón (Madrid)
- Ayuntamiento de Moraleja de Enmedio (Madrid)
- Confederación Hidrográfica del Tajo. Dirección General del Agua. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.
- UFD Distribución Electricidad
- i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
- Dirección General de Carreteras. Viceconsejería de Transportes, Movilidad e Infraestructuras. Consejería de Transportes, Movilidad e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid
- Vías Pecuarias. Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Viceconsejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Sostenibilidad. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Sostenibilidad.
- Enagás, S.A.
- Red Eléctrica de España, S.A.
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría de Estado de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría General de Infraestructuras. Dirección General de Carreteras.
- Telefónica, S.A.
- Vías Pecuarias. Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad de la Consejería de Desarrollo Sostenible de Castilla-La Mancha.

10. CONCLUSIÓN

Considerando expuestas en esta memoria del Proyecto Oficial de Ejecución de L/220 kV Guadarrama III – Buenavista REE (DC – Tramo compartido), todas las razones que justifican la necesidad de ésta, se espera sea concedida para el promotor **CEPSA la Autorización Administrativa Previa, la Autorización Administrativa de Construcción, así como la Declaración, en concreto, de Utilidad Pública** de la instalación de acuerdo con la ley 24/2013 de 26 de diciembre del Sector Eléctrico.

Igualmente, considerando expuestas en esta memoria del Proyecto Oficial de Ejecución de L/220 kV Guadarrama III – Buenavista REE (DC – Tramo compartido), todas las razones que justifican la necesidad de ésta, se espera sea concedida para los promotores **Statkraft/Fotones la Autorización Administrativa Previa**, de la instalación de acuerdo con la ley 24/2013 de 26 de diciembre del Sector Eléctrico.

Madrid, julio de 2022

Dña. María Inmaculada Blázquez García

Ingeniera Industrial y del ICAI

Col. Nº 3694/2924

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

ANEXO Nº1: CÁLCULOS

DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO Nº3: PRESUPUESTO

DOCUMENTO Nº4: PLANOS

DOCUMENTO Nº5: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

DOCUMENTO Nº6: RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS

DOCUMENTO Nº7: ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS

DOCUMENTO Nº8: PROYECTO DE DESMANTELAMIENTO

ANEXO Nº1: CÁLCULOS

ÍNDICE

1. Cálculos eléctricos línea aérea.....	5
1.1. Características generales.....	5
1.2. Características del conductor de fase	5
1.3. Cable de fibra óptica	6
1.4. Cálculo de matriz impedancias.....	6
1.4.1. Cálculo de la resistencia serie del terreno.....	10
1.4.2. Cálculo de la resistencia eléctrica del conductor.....	10
1.4.3. Matriz impedancia final.....	11
1.5. Calculo de matriz de admitancias	12
1.6. Reducción al monofásico equivalente	14
1.7. Impedancia Característica y Constante de Propagación.....	15
1.8. Potencia Característica.....	15
1.9. Modelo de parámetros distribuidos	15
1.10. Caída de Tensión	16
1.11. Pérdidas de Potencia.....	21
1.12. Impedancias Secuenciales.....	26
1.13. Potencia Máxima de Transporte	27
1.14. Efecto Corona	28
1.14.1. Tensión crítica disruptiva	28
1.14.2. Pérdidas de potencia debidas al efecto corona	29
1.15. Aislamiento.....	29
1.15.1. Características de los aisladores.....	29
1.15.2. Grado de aislamiento	30
2. Cálculos eléctricos de la línea subterránea.....	30
2.1. Características generales.....	30
2.2. Características del conductor de fase	31
2.3. Esquema eléctrico equivalente	32
2.4. Cálculo de la resistencia eléctrica real del conductor.....	33
2.5. Efecto de la temperatura	34
2.6. Impedancia Característica y Constante de Propagación.....	34
2.7. Potencia Característica.....	35
2.8. Modelo de parámetros distribuidos	35



2.9.	Caída de Tensión	36
2.10.	Pérdidas de Potencia.....	39
3.	Cálculos eléctricos de la línea completa	42
3.1.	Caída de tensión	42
3.2.	Pérdidas de potencia activa	44
4.	Resistencia Mecánica de las Cadenas de Aislamiento	47
5.	Cálculo Mecánico de Conductores	47
5.1.	Características del conductor.....	47
5.2.	Acciones consideradas	48
5.3.	Hipótesis de partida	49
5.4.	Hipótesis de cálculo.....	49
5.5.	Vano Ideal de Regulación	53
5.6.	Comparación de hipótesis.....	53
5.7.	Resultados de cálculo.....	54
5.8.	Tabla de regulación	63
5.9.	Distancias	69
6.	Cálculo Mecánico del Cable de Fibra Óptica	76
6.1.	Características del cable de fibra óptica	76
6.2.	Acciones consideradas	76
6.3.	Hipótesis de partida	77
6.4.	Hipótesis de cálculo.....	77
6.5.	Resultados de cálculo.....	80
6.6.	Tabla de regulación	88
7.	Cálculo Mecánico de Apoyos	90
7.1.	Hipótesis Normales	90
7.1.1.	Esfuerzos Verticales	91
7.1.2.	Esfuerzos Horizontales, Longitudinales y Transversales.....	95
7.1.3.	Esfuerzos Equivalente en el Apoyo.....	99
7.2.	Hipótesis Anormales	100
7.2.1.	Esfuerzos Verticales	100
7.2.2.	Esfuerzos Horizontales Individuales	101
7.2.3.	Esfuerzos Equivalente en el Apoyo.....	103
7.3.	Tablas de Resultados.....	104
8.	Cálculo Mecánico de Cimentaciones	110
8.1.	Cimentaciones de zapatas individuales	110



8.2.	Características dimensionales	113
9.	Cálculos de Puesta a Tierra.....	115
9.1.	Dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica	116
9.2.	Dimensionamiento con respecto a la seguridad de las personas	117
9.3.	Dimensionamiento para la protección contra los efectos del rayo	120

1. CÁLCULOS ELÉCTRICOS LÍNEA AÉREA

1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La línea aérea, de doble circuito y a la tensión de 220 kV tiene su origen en el apoyo 17 Entronque, situado en el término municipal de Carranque (Toledo) y discurre a través de 19 alineaciones y 36 apoyos, hasta el apoyo 52 Entronque, situada en el término municipal de Moraleja de Enmedio (Madrid).

Tensión nominal (kV)	220
Número de circuitos	2
Frecuencia (Hz)	50
Zona de aplicación	ZONA B
Potencia máxima a transportar Circuito 1 (MWn):.....	324
Potencia máxima a transportar Circuito 2 (MWn):.....	708
Longitud de la línea aérea tramo 1 (km).....	5,38
Longitud de la línea aérea tramo 2 (km).....	2,21
Longitud de la línea aérea tramo 2 (km).....	2,32

1.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR DE FASE

El conductor que se va a emplear en la construcción de la línea para el circuito 1 será de aluminio y acero recubierto de aluminio. A continuación, se definen sus principales características:

Tipo	DX GULL
Material	Aluminio – Acero recubierto
Diámetro (mm)	25,38
Sección total (mm ²)	381
Peso (daN/m)	1,254
Carga de rotura (daN)	10.900
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	4.910
Coefficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	23·10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica con cc a 20°C (Ω/Km)	0,0857
Composición	54 + 7



A continuación, se definen las principales características del conductor correspondiente al circuito 2 de la línea:

Tipo	TX-CONDOR-ACSR
Material	Aluminio – Acero recubierto
Diámetro (mm)	27,72
Sección total (mm ²)	454,5
Composición del conductor	54+7
Peso (daN/m)	1,491
Carga de rotura (daN)	12.544
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	6.900
Coeficiente de dilatación lineal (°C ⁻¹)	19,3·10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica con cc a 20°C (Ω/Km)	0,0718
Intensidad máxima admisible (A)	799

1.3. CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Es un conductor que combina las funciones de protección y de telecomunicaciones. El cable de tierra compuesto de fibra óptica OPGW a utilizar tendrá las siguientes características:

Denominación.....	OPGW 64k78 (7540)
Nº de fibras	48
Corriente máxima de falta 2s (kA)	151
Sección total (mm ²)	143,7
Diámetro total (mm)	16,4
Peso del cable (kg/m)	0,773
Carga de rotura (kg)	11.390
Módulo de elasticidad(daN/mm ²)	11.410
Coeficiente de dilatación lineal (°C-1)	14,8·10 ⁻⁶

1.4. CÁLCULO DE MATRIZ IMPEDANCIAS

Esta matriz define la impedancia de la línea en ohmios por metro. Los elementos de esta matriz vienen definidos por:

$$Zs'_{ii} = Rs'_i + Rg' + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{De}{RMG_i} \quad [\Omega/m]$$

$$Zs'_{ii} = Rg' + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{De}{D_{ij}} \quad [\Omega/m]$$

Donde:

- μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. Siendo esta $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ (H/m)
- ω : Pulsación del sistema, $\omega = 2\pi f$
- Rs'_i : Resistencia serie del conductor i por unidad de longitud (Ω/m)
- Rg' : Resistencia serie del terreno por unidad de longitud (Ω/m)
- RMG_i : Radio medio geométrico del conductor i (m).

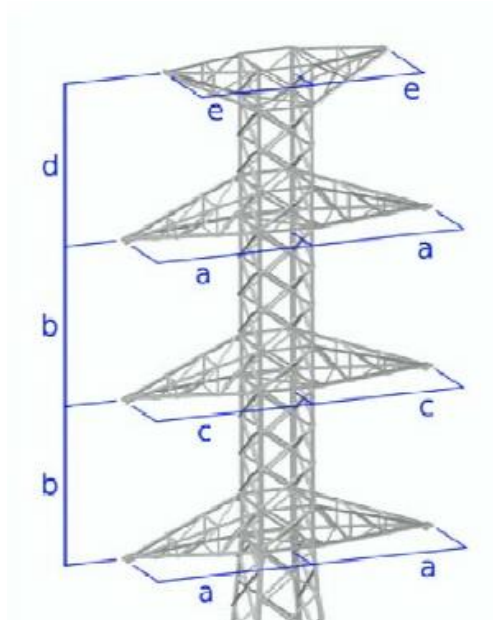
$$RMG_i = r_i \cdot e^{-\frac{1}{4}}$$

- D_{ij} : Distancia que separa los conductores i y j (m)
- D_e : distancia equivalente del terreno (m)

$$D_e = 658,368 \cdot \sqrt{\frac{\rho_g}{f}}$$

Siendo ρ_g la resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$), tomando como valor de referencia 110 Ω/m

Para la realización de los cálculos eléctricos se ha cogido como referencia el apoyo más común de la línea, siendo para los 3 tramos aéreos el apoyo **CO-N3885** de Imedexsa, cogiendo como altura útil **26 metros**. A continuación, se presentan las medidas de los armados de los apoyos en cuestión.



A partir de las dimensiones del armado y la altura escogida, se obtiene la matriz de distancias en metros.

TRAMO 1, 2 y 3:

Matriz de distancias																
0	0,4	10,89	11,24	11	11,01	9,38	9,6	9,83	5,5	5,5	5,52	14,45	14,6	14,75	14,4	16,24
0,4	0	11,24	11,59	11,01	11	9,78	10	10,23	5,52	5,5	5,5	14,72	14,87	15,02	14,45	16,43
10,89	11,24	0	0,4	10,89	11,24	5,5	5,5	5,52	9,38	9,6	9,83	5,5	5,5	5,52	11,69	8,96
11,24	11,59	0,4	0	11,24	11,59	5,52	5,5	5,5	9,78	10	10,23	5,52	5,5	5,5	11,96	9,05
11	11,01	10,89	11,24	0	0,4	14,45	14,6	14,75	5,5	5,5	5,52	9,38	9,6	9,83	3,71	8,38
11,01	11	11,24	11,59	0,4	0	14,72	14,87	15,02	5,52	5,5	5,5	9,78	10	10,23	3,91	8,75
9,38	9,78	5,5	5,52	14,45	14,72	0	0,23	0,45	10,85	11,04	11,24	11	11	11,01	16,23	14,4
9,6	10	5,5	5,5	14,6	14,87	0,23	0	0,23	11,04	11,24	11,43	11	11	11	16,34	14,43
9,83	10,23	5,52	5,5	14,75	15,02	0,45	0,23	0	11,24	11,43	11,63	11,01	11	11	16,45	14,46
5,5	5,52	9,38	9,78	5,5	5,52	10,85	11,04	11,24	0	0,23	0,45	10,85	11,04	11,24	8,96	11,68
5,5	5,5	9,6	10	5,5	5,5	11,04	11,24	11,43	0,23	0	0,23	11,04	11,24	11,43	9	11,83
5,52	5,5	9,83	10,23	5,52	5,5	11,24	11,43	11,63	0,45	0,23	0	11,24	11,43	11,63	9,05	11,98
14,45	14,72	5,5	5,52	9,38	9,78	11	11	11,01	10,85	11,04	11,24	0	0,23	0,45	8,35	3,7
14,6	14,87	5,5	5,5	9,6	10	11	11	11	11,04	11,24	11,43	0,23	0	0,23	8,56	3,81
14,75	15,02	5,52	5,5	9,83	10,23	11,01	11	11	11,24	11,43	11,63	0,45	0,23	0	8,77	3,93
14,4	14,45	11,69	11,96	3,71	3,91	16,23	16,34	16,45	8,96	9	9,05	8,35	8,56	8,77	0	6
16,24	16,43	8,96	9,05	8,38	8,75	14,4	14,43	14,46	11,68	11,83	11,98	3,7	3,81	3,93	6	0



Se obtiene además la matriz de distancias a las imágenes en metros.

TRAMO 1, 2 y 3:

Matriz de distancias a imágenes																
52	52	58,26	58,33	63	63	52,84	52,88	52,92	57,5	57,5	57,5	63,69	63,73	63,76	66,32	66,75
52	52	58,33	58,4	63	63	52,91	52,95	53	57,5	57,5	57,5	63,75	63,79	63,82	66,33	66,79
58,26	58,33	63	63	69,14	69,2	57,5	57,5	57,5	63,69	63,73	63,76	68,5	68,5	68,5	72,21	71,82
58,33	58,4	63	63	69,2	69,26	57,5	57,5	57,5	63,75	63,79	63,82	68,5	68,5	68,5	72,26	71,83
63	63	69,14	69,2	74	74	63,69	63,73	63,76	68,5	68,5	68,5	74,59	74,62	74,65	77,32	77,68
63	63	69,2	69,26	74	74	63,75	63,79	63,82	68,5	68,5	68,5	74,64	74,67	74,7	77,33	77,72
52,84	52,91	57,5	57,5	63,69	63,75	52	52	52	58,26	58,29	58,33	63	63	63	66,74	66,32
52,88	52,95	57,5	57,5	63,73	63,79	52	52	52	58,29	58,33	58,37	63	63	63	66,77	66,33
52,92	53	57,5	57,5	63,76	63,82	52	52	52	58,33	58,37	58,41	63	63	63	66,8	66,33
57,5	57,5	63,69	63,75	68,5	68,5	58,26	58,29	58,33	63	63	63	69,14	69,17	69,2	71,82	72,21
57,5	57,5	63,73	63,79	68,5	68,5	58,29	58,33	58,37	63	63	63	69,17	69,2	69,23	71,83	72,23
57,5	57,5	63,76	63,82	68,5	68,5	58,33	58,37	58,41	63	63	63	69,2	69,23	69,26	71,83	72,26
63,69	63,75	68,5	68,5	74,59	74,64	63	63	63	69,14	69,17	69,2	74	74	74	77,68	77,32
63,73	63,79	68,5	68,5	74,62	74,67	63	63	63	69,17	69,2	69,23	74	74	74	77,7	77,32
63,76	63,82	68,5	68,5	74,65	74,7	63	63	63	69,2	69,23	69,26	74	74	74	77,73	77,33
66,32	66,33	72,21	72,26	77,32	77,33	66,74	66,77	66,8	71,82	71,83	71,83	77,68	77,7	77,73	80,6	80,82
66,75	66,79	71,82	71,83	77,68	77,72	66,32	66,33	66,33	72,21	72,23	72,26	77,32	77,32	77,33	80,82	80,6



1.4.1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA SERIE DEL TERRENO

La resistencia serie del terreno viene calculada por la siguiente expresión.

$$R_g = 9,867 \cdot 10^{-7} \cdot f \quad [\Omega/m]$$

Obtenemos así una resistencia serie del terreno de **$4,9335 \cdot 10^{-5} \Omega/m$** .

1.4.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL CONDUCTOR

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

$$R'_{\theta cc} = R'_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)] \quad (\Omega/km)$$

Donde:

- $R'_{\theta cc}$: Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura θ °C (Ω/km)
- R'_{20} : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura de 20 °C (Ω/km).
- α_{20} : Coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura (°C). En este caso **$4,03 \cdot 10^{-3}$** .
- θ : Temperatura de servicio, calculada mediante la siguiente expresión, que depende del grado de carga del conductor.

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{max} - \theta_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{adm}} \right)^2$$

- θ_0 : Temperatura de referencia en °C. Se toma como referencia una temperatura de **20°C**.
- θ_{max} : Temperatura máxima admisible del conductor en °C. Se calcula para **85°C**.
- I : Intensidad nominal del circuito (A).
- I_{adm} : Intensidad máxima admisible del conductor.

La obtención de la resistencia en serie en corriente alterna a la temperatura dada, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R'_{\theta} = R'_{\theta cc} \cdot (1 + Y_p) \quad (\Omega/km)$$

Siendo

- Y_p : Factor de efecto pelicular.

Se obtiene así un valor de la resistencia en corriente alterna de:

TRAMO 1, 2 y 3:

Circuito 1: $R'_{\theta_{T1}} = 0,0958 \Omega/km$

Circuito 2: $R'_{\theta_{T1}} = 0,0841 \Omega/km$



1.4.3. MATRIZ IMPENDANCIA FINAL

Con los valores de resistencia y reactancia explicados previamente, se obtiene la siguiente matriz de impedancia en ohmios por kilómetro.

TRAMO 1, 2 y 3:

Matriz de impedancia																
0,15+0,72i	0,05+0,49i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,25i
0,05+0,49i	0,15+0,72i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,25i
0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,15+0,72i	0,05+0,49i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,28i	0,05+0,29i
0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,49i	0,15+0,72i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,27i	0,05+0,29i
0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,15+0,72i	0,05+0,49i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,35i	0,05+0,3i
0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,49i	0,15+0,72i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,34i	0,05+0,29i
0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,48i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,25i	0,05+0,26i
0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,25i	0,05+0,26i
0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,48i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,25i	0,05+0,26i
0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,48i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,29i	0,05+0,28i
0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,29i	0,05+0,27i
0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,48i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,29i	0,05+0,27i
0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,48i	0,05+0,3i	0,05+0,35i
0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,52i	0,05+0,29i	0,05+0,35i
0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,32i	0,05+0,32i	0,05+0,29i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,28i	0,05+0,48i	0,05+0,52i	0,13+0,71i	0,05+0,29i	0,05+0,34i
0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,28i	0,05+0,27i	0,05+0,35i	0,05+0,34i	0,05+0,25i	0,05+0,25i	0,05+0,25i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,3i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,74i	0,05+0,32i
0,05+0,25i	0,05+0,25i	0,05+0,29i	0,05+0,29i	0,05+0,3i	0,05+0,29i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,26i	0,05+0,28i	0,05+0,27i	0,05+0,27i	0,05+0,35i	0,05+0,35i	0,05+0,34i	0,05+0,32i	0,05+0,74i

1.5. CALCULO DE MATRIZ DE ADMITANCIAS

Esta matriz define la admitancia de la línea en ohmios por metro. La parte real de cada elemento de la matriz se corresponde con la conductancia en paralelo; mientras que la imaginaria, con la susceptancia en paralelo.

El valor de la conductancia es despreciable; mientras que la susceptancia en líneas aéreas se calcula con la matriz de potenciales de Maxwell (P), siendo los elementos de esta matriz:

$$P_{ii} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \ln \frac{2 \cdot H_i}{r_i}$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}}$$

Donde:

- ϵ_0 : permitividad eléctrica en el vacío, $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
- ω : pulsación del sistema, $\omega = 2\pi f$
- r_i : radio físico del conductor i (m)
- H_i : altura a la que se encuentra el conductor i del terreno (m)
- D_{ij} : distancia que separa los conductores i y j (m)
- D_{ij}' : distancia que separa el conductor i y el espejo del conductor j (m)

Una vez obtenida la matriz de Potenciales de Maxwell, la matriz de admitancia será:

$$Y = j \omega C_p$$

Donde:

- C_p = inversa de la matriz de Potenciales de Maxwell.

Con los datos anteriores, se obtiene la matriz de admitancia en micro siemens por kilómetro:

TRAMO 1, 2 y 3:

Matriz de admitancia																
3,35i	-1,72i	-0,07i	-0,06i	-0,06i	-0,06i	-0,09i	-0,06i	-0,08i	-0,15i	-0,11i	-0,15i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,05i	-0,04i
-1,72i	3,34i	-0,06i	-0,05i	-0,06i	-0,07i	-0,08i	-0,05i	-0,07i	-0,14i	-0,11i	-0,15i	-0,03i	-0,02i	-0,02i	-0,05i	-0,04i
-0,07i	-0,06i	3,39i	-1,67i	-0,06i	-0,05i	-0,14i	-0,11i	-0,14i	-0,07i	-0,05i	-0,05i	-0,13i	-0,1i	-0,14i	-0,07i	-0,1i
-0,06i	-0,05i	-1,67i	3,39i	-0,05i	-0,05i	-0,14i	-0,11i	-0,15i	-0,06i	-0,04i	-0,05i	-0,13i	-0,11i	-0,15i	-0,06i	-0,1i
-0,06i	-0,06i	-0,06i	-0,05i	3,4i	-1,68i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,14i	-0,1i	-0,14i	-0,07i	-0,05i	-0,06i	-0,36i	-0,14i
-0,06i	-0,07i	-0,05i	-0,05i	-1,68i	3,38i	-0,03i	-0,02i	-0,02i	-0,14i	-0,11i	-0,15i	-0,06i	-0,04i	-0,05i	-0,34i	-0,12i
-0,09i	-0,08i	-0,14i	-0,14i	-0,03i	-0,03i	4,11i	-1,93i	-0,91i	-0,05i	-0,03i	-0,04i	-0,04i	-0,03i	-0,04i	-0,03i	-0,04i
-0,06i	-0,05i	-0,11i	-0,11i	-0,02i	-0,02i	-1,93i	4,82i	-1,93i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,02i	-0,03i
-0,08i	-0,07i	-0,14i	-0,15i	-0,03i	-0,02i	-0,91i	-1,93i	4,11i	-0,04i	-0,03i	-0,03i	-0,04i	-0,03i	-0,05i	-0,03i	-0,04i
-0,15i	-0,14i	-0,07i	-0,06i	-0,14i	-0,14i	-0,05i	-0,03i	-0,04i	4,14i	-1,91i	-0,88i	-0,04i	-0,03i	-0,03i	-0,09i	-0,06i
-0,11i	-0,11i	-0,05i	-0,04i	-0,1i	-0,11i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-1,91i	4,83i	-1,91i	-0,03i	-0,02i	-0,02i	-0,07i	-0,04i
-0,15i	-0,15i	-0,05i	-0,05i	-0,14i	-0,15i	-0,04i	-0,03i	-0,03i	-0,88i	-1,91i	4,13i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,09i	-0,05i
-0,03i	-0,03i	-0,13i	-0,13i	-0,07i	-0,06i	-0,04i	-0,03i	-0,04i	-0,04i	-0,03i	-0,03i	4,15i	-1,91i	-0,88i	-0,11i	-0,29i
-0,02i	-0,02i	-0,1i	-0,11i	-0,05i	-0,04i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,03i	-0,02i	-0,02i	-1,91i	4,83i	-1,92i	-0,08i	-0,21i
-0,03i	-0,02i	-0,14i	-0,15i	-0,06i	-0,05i	-0,04i	-0,03i	-0,05i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,88i	-1,92i	4,13i	-0,1i	-0,26i
-0,05i	-0,05i	-0,07i	-0,06i	-0,36i	-0,34i	-0,03i	-0,02i	-0,03i	-0,09i	-0,07i	-0,09i	-0,11i	-0,08i	-0,1i	2,42i	-0,32i
-0,04i	-0,04i	-0,1i	-0,1i	-0,14i	-0,12i	-0,04i	-0,03i	-0,04i	-0,06i	-0,04i	-0,05i	-0,29i	-0,21i	-0,26i	-0,32i	2,43i



1.6. REDUCCIÓN AL MONOFÁSICO EQUIVALENTE

A continuación, se procede a realizar la reducción de las matrices previamente obtenidas al monofásico equivalente para la realización de los cálculos de caída de tensión y potencia.

Se han tenido en cuenta las siguientes reducciones:

- **Eliminación de conductores pasivos:** Estos elementos pasivos influyen en el modelado eléctrico de las líneas, y por ello, es necesario tenerlas en cuenta en el modelado de la línea. Sin embargo, el hecho de ser conductores pasivos permite reducirlos matemáticamente, de forma que su influencia no se pierda, pero eliminando sus tensiones y corrientes de las variables del sistema. Para ello se ha considerado que los conductores pasivos se encuentran conectados a tierra en dos puntos.
- **Reducción a conductores equivalentes:** Cuando sólo quedan conductores activos en la línea, el siguiente paso es sustituir cada fase por un solo conductor equivalente que la represente. De este modo, en aquellas fases con más de un conductor (dúplex, tríplex, etc.) se reducen todas las tensiones y corrientes a una.
- **Monofásico equivalente:** En los sistemas trifásicos RST el modo habitual de funcionamiento es el equilibrio de secuencia directa. La secuencia directa es aquella en la que las tres fases presentan el mismo módulo, mientras que la fase de S está 120° retrasada con respecto de R y la fase de T está 120° retrasada con respecto de S. Bajo estas circunstancias se plantea la idea de reducir el sistema a una sola impedancia serie y una sola admitancia paralelo que represente dicha secuencia directa.

Tras estas reducciones, se obtienen los siguientes valores de impedancia y admitancia monofásicas equivalentes en ohmios por km y siemens por km, respectivamente:

TRAMO 1, 2 y 3:

Circuito 1: $Z_{SEQ} = 0,048 + j0,322 \text{ (}\Omega/\text{km)}$

$$Y_{PEQ} = j3,61 \text{ (}\mu\text{S/km)}$$

Circuito 2: $Z_{SEQ} = 0,028 + j0,295 \text{ (}\Omega/\text{km)}$

$$Y_{PEQ} = j3,92 \text{ (}\mu\text{S/km)}$$



1.7. IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA Y CONSTANTE DE PROPAGACIÓN

Se define la impedancia característica y la constante de propagación de la línea como:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z'_s}{Y'_p}}$$

$$\gamma = \sqrt{Z'_s \cdot Y'_p}$$

Operando con los parámetros calculados anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

TRAMO 1,2,3:

Circuito 1: $Z_c = 299,76 - j22,24 \Omega$

$$\gamma = 0,08 + j1,08 \text{ mrad/km}$$

Circuito 2: $Z_c = 275,05 - j13,24 \Omega$

$$\gamma = 0,05 + j1,07 \text{ mrad/km}$$

1.8. POTENCIA CARACTERÍSTICA

Se define la Potencia Característica como:

$$P_c = \frac{U_2^2}{Z_c} (\text{MW})$$

Tomando U_2 con el valor de la tensión nominal de la línea y el módulo de Z_c , se obtiene:

TRAMO 1,2,3:

Circuito 1: $P_c = 161,01 \text{ MW}$

Circuito 2: $P_c = 175,76 \text{ MW}$

1.9. MODELO DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS

Para un cálculo más preciso, se utilizará el modelo de parámetros distribuidos de la línea. Un modelo matricial que emplea los parámetros calculados en apartados anteriores de la forma:

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma \ell) & -Z_c \cdot \text{sh}(\gamma \ell) \\ -\frac{1}{Z_c} \cdot \text{sh}(\gamma \ell) & \text{ch}(\gamma \ell) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$



Donde:

- V_0 = Tensión simple en el extremo generador (kV)
- V_L = Tensión simple en el extremo receptor (kV)
- I_0 = Intensidad de línea en el extremo generador (kV)
- I_L = Intensidad de línea en el extremo generador (kV)

1.10. CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión se calcula a partir de los valores obtenidos en el apartado anterior, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = \frac{|U_L| - |U_0|}{|U_0|} \cdot 100 (\%)$$

Calculado para un factor de potencia de **0,958**, obtenemos la siguiente caída de tensión:

TRAMO 1:

Circuito 1: **$\Delta U = 0,5307 \%$**

Circuito 2: **$\Delta U = 0,859 \%$**

TRAMO 2:

Circuito 1: **$\Delta U = 0,219 \%$**

Circuito 2: **$\Delta U = 0,358 \%$**

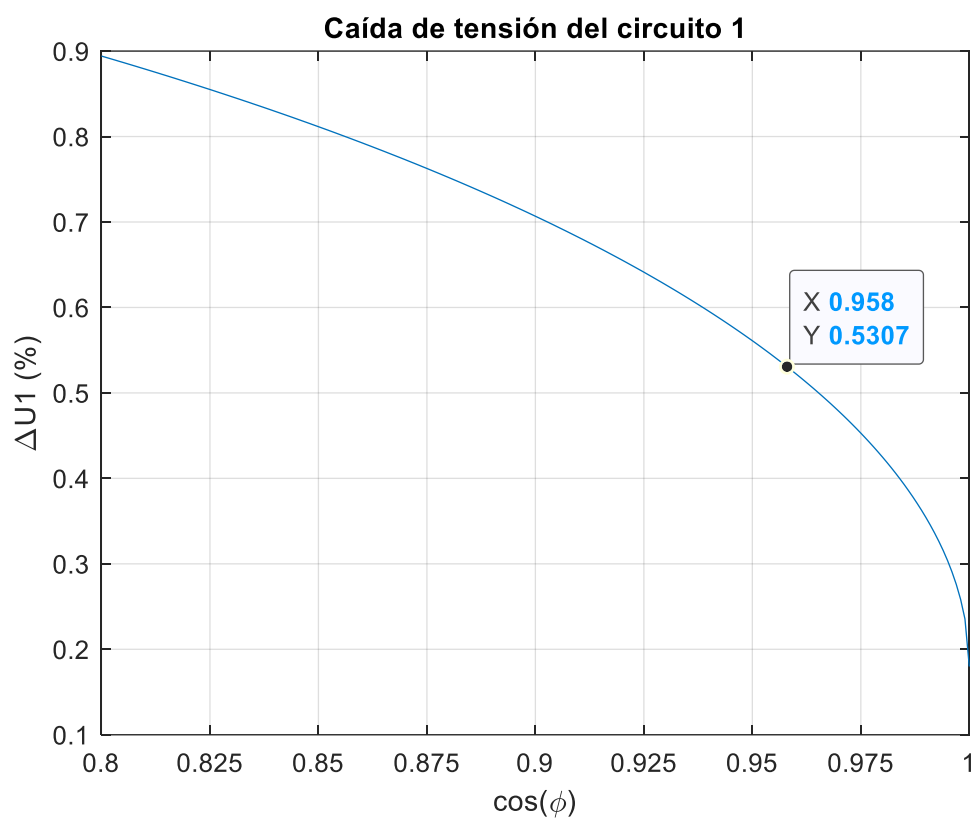
TRAMO 3:

Circuito 1: **$\Delta U = 0,23\%$**

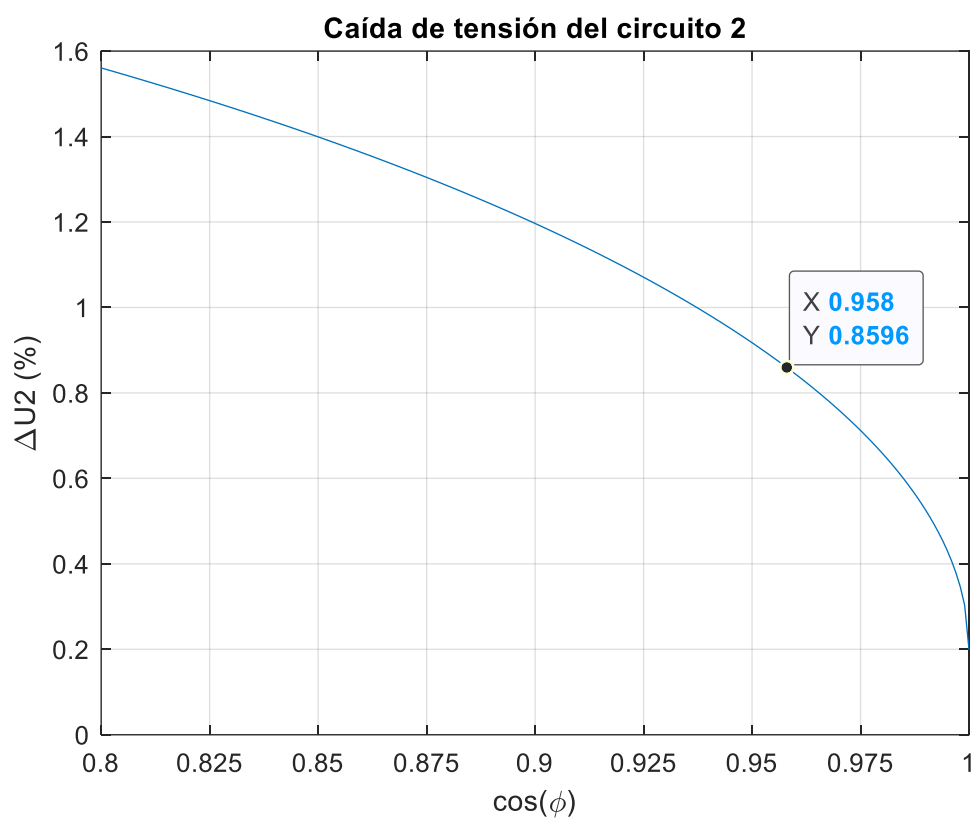
Circuito 2: **$\Delta U = 0,37 \%$**

Se obtiene, además, la siguiente gráfica que muestra la caída de tensión:

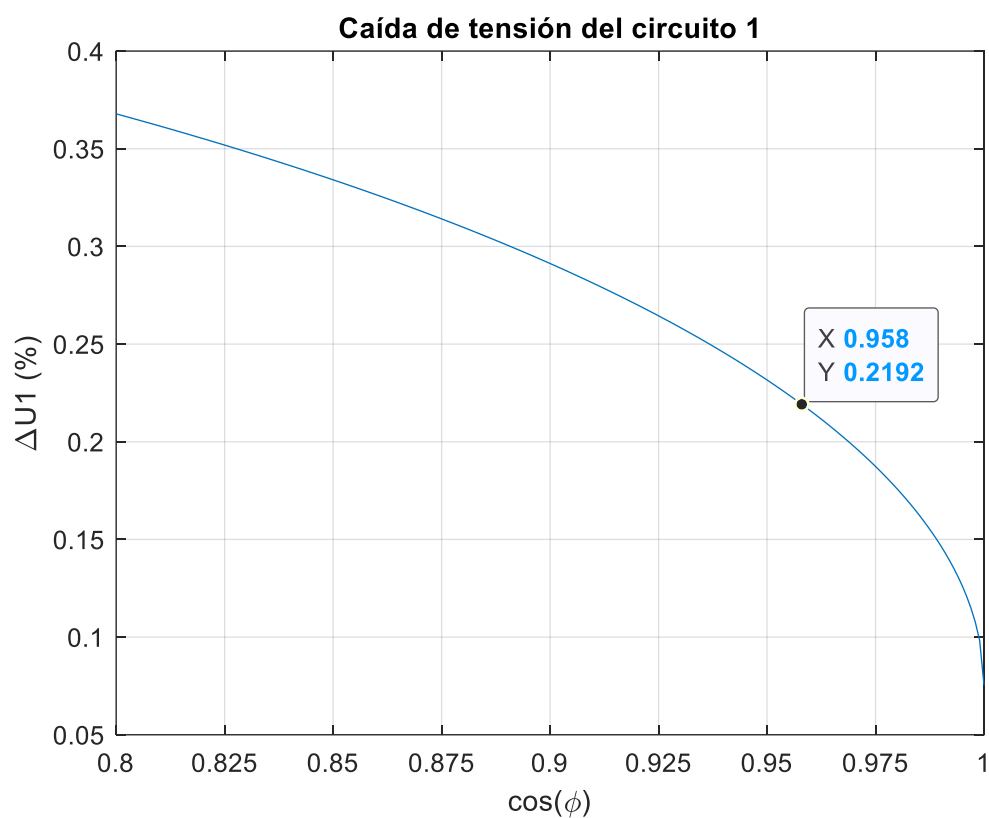
TRAMO 1, CIRCUITO 1:



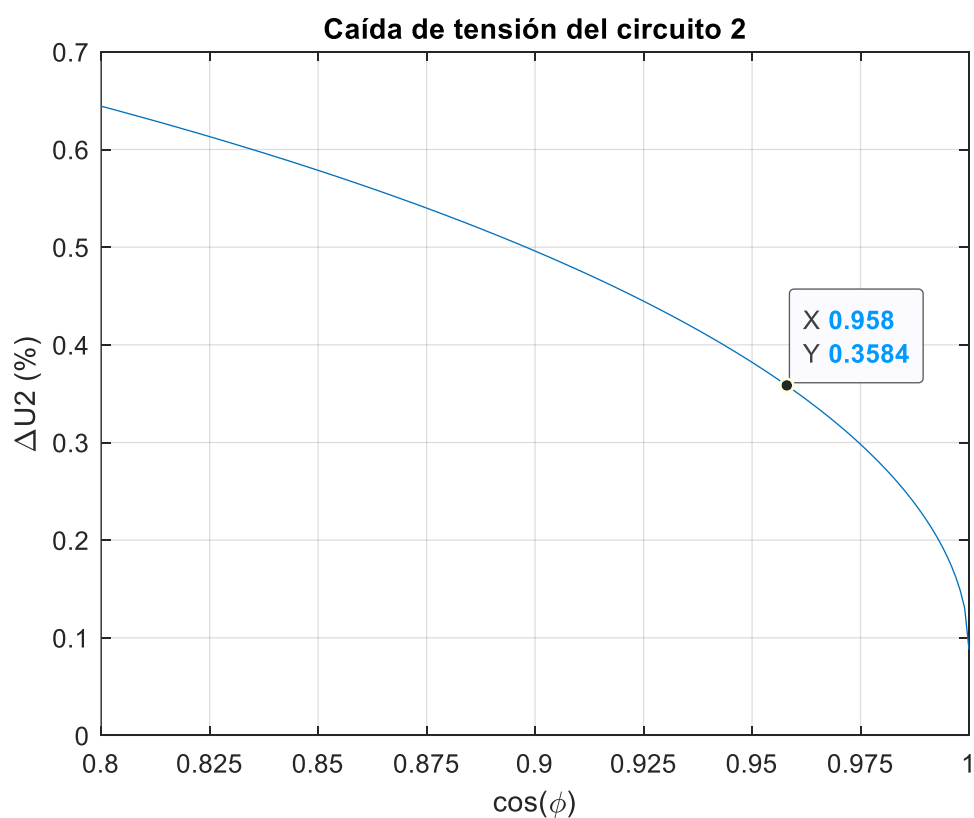
TRAMO 1, CIRCUITO 2:



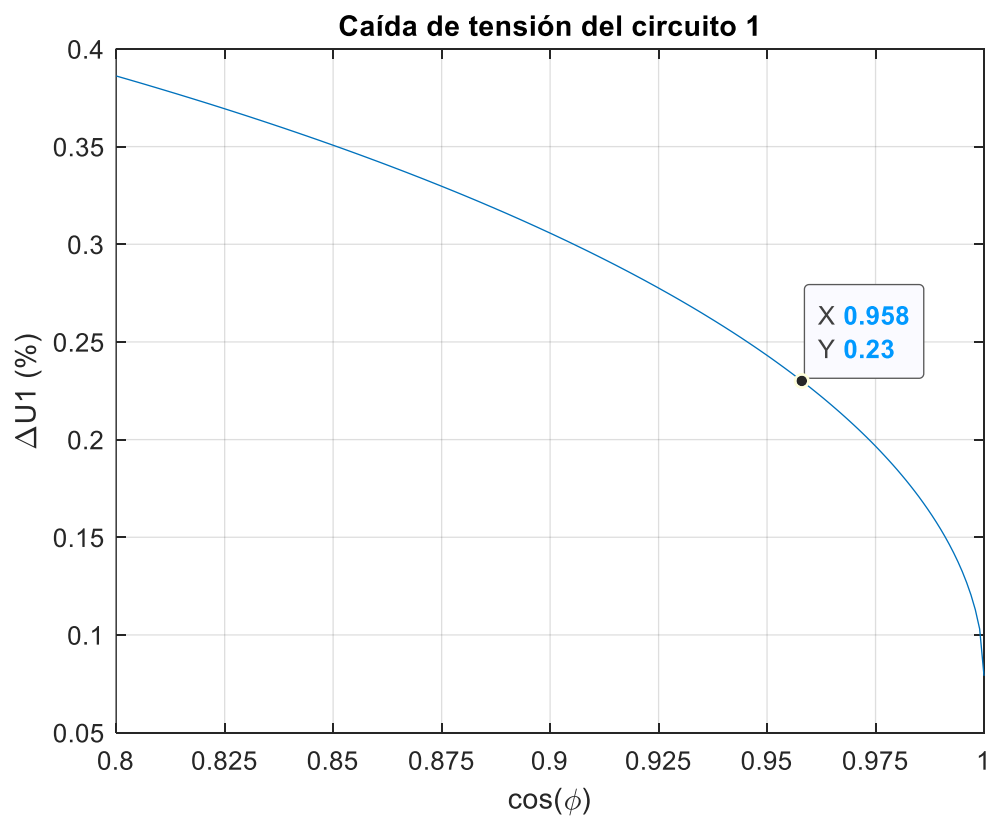
TRAMO 2, CIRCUITO 1:



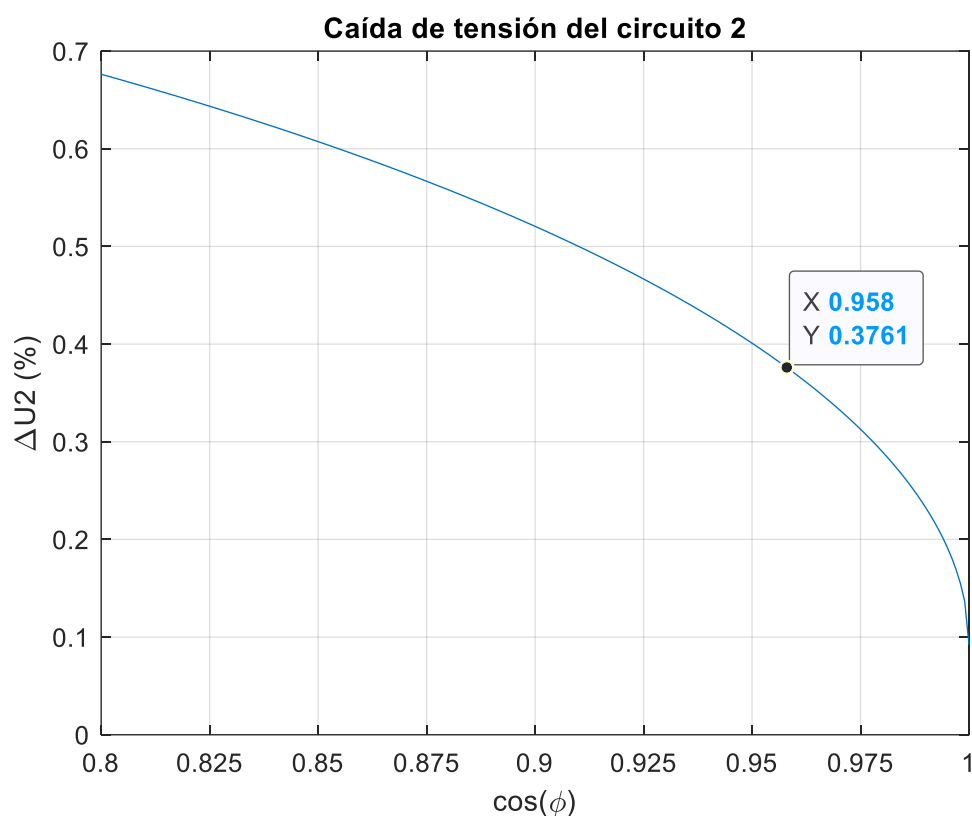
TRAMO 2, CIRCUITO 2:



TRAMO 3, CIRCUITO 1:



TRAMO 3, CIRCUITO 2:



1.11. Pérdidas de potencia

Las pérdidas vienen derivadas tanto por efecto joule en forma de calor como por corrientes de fuga a través de las capacidades de la línea.

Calculando la potencia en cualquier punto x de la línea mediante la siguiente expresión:

$$P_x = \text{real}(\sqrt{3} \cdot U_x \cdot I_x^*)$$

Por tanto, para un factor de potencia de **0,958** las pérdidas de potencia activa en la línea son:

TRAMO 1:

Circuito 1: **$\Delta P = 0,194 \%$**

Circuito 2: **$\Delta P = 0,234 \%$**

TRAMO 2:

Circuito 1: **$\Delta P = 0,0797 \%$**

Circuito 2: **$\Delta P = 0,0962 \%$**

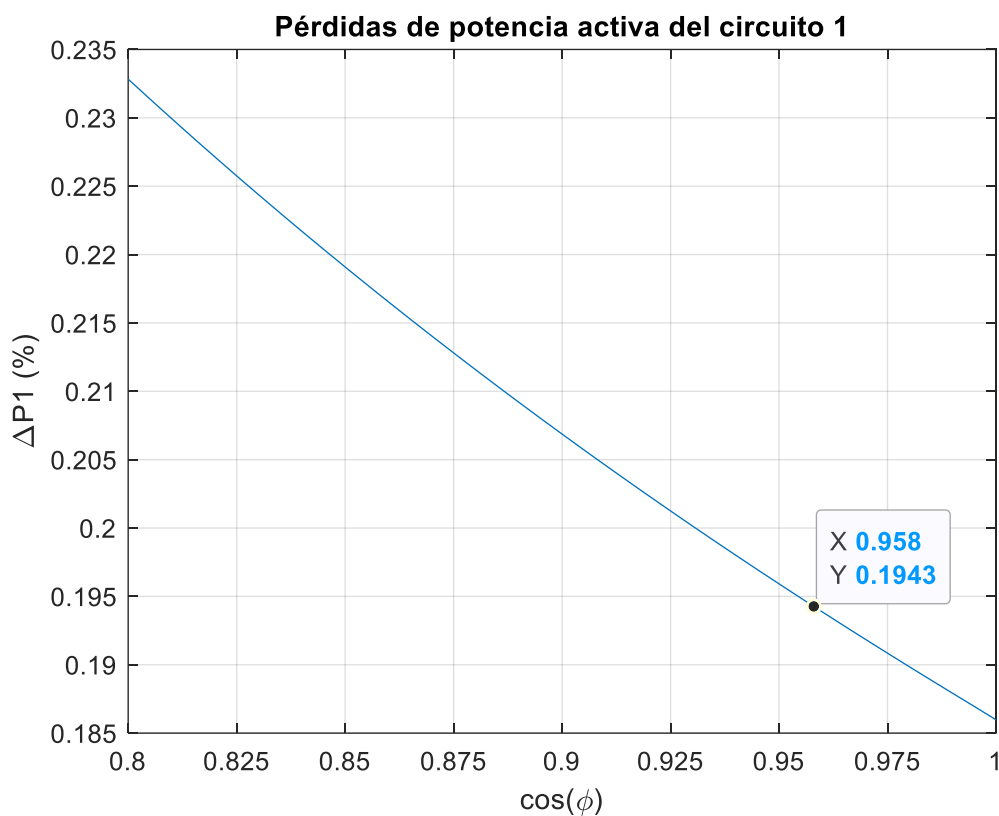
TRAMO 3:

Circuito 1: $\Delta P = 0,083 \%$

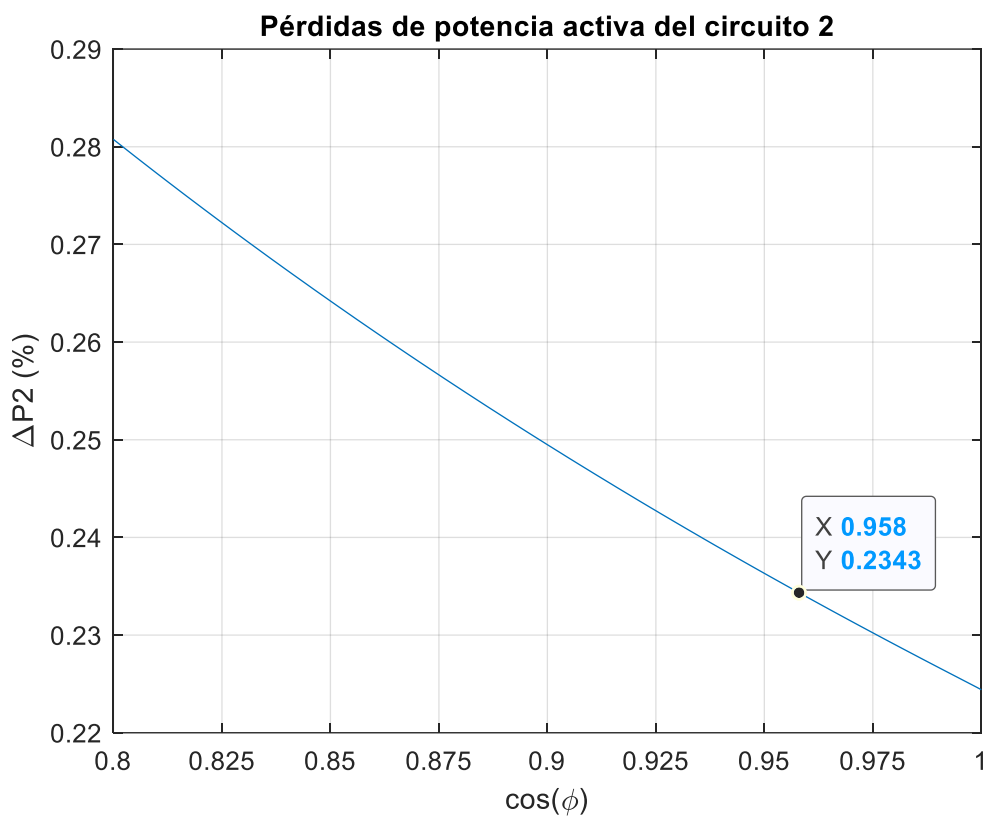
Circuito 2: $\Delta P = 0,101 \%$

Se obtiene, además, la siguiente gráfica que muestra las pérdidas de potencia:

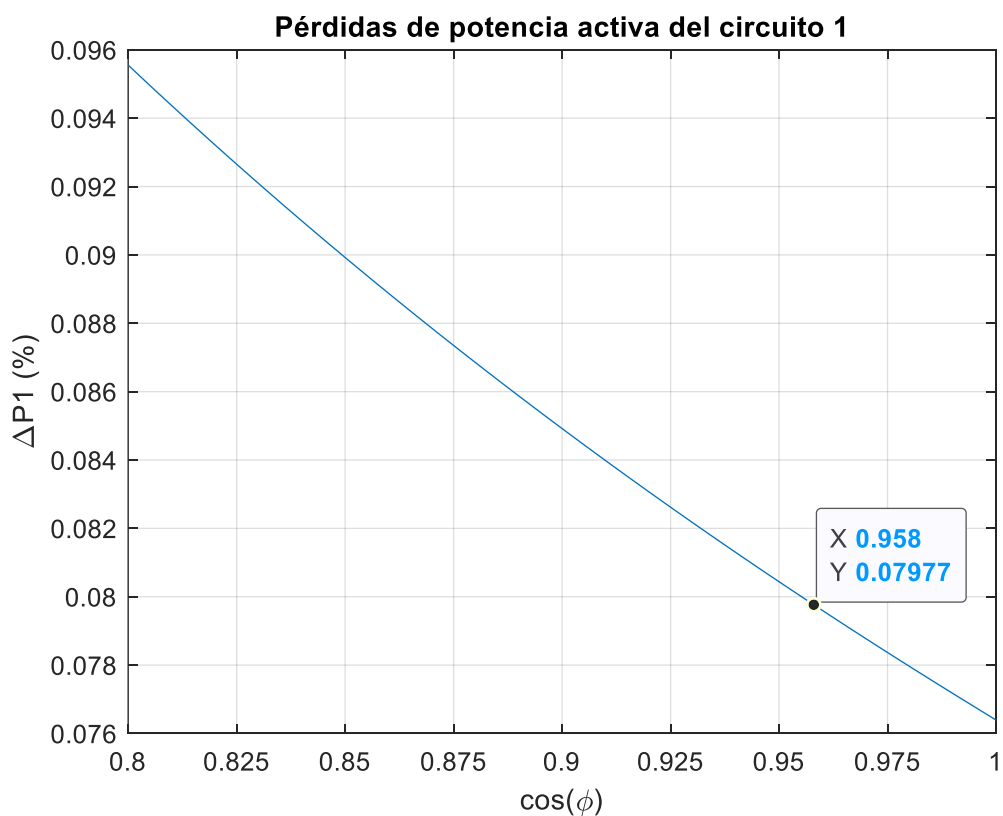
TRAMO 1, CIRCUITO 1:



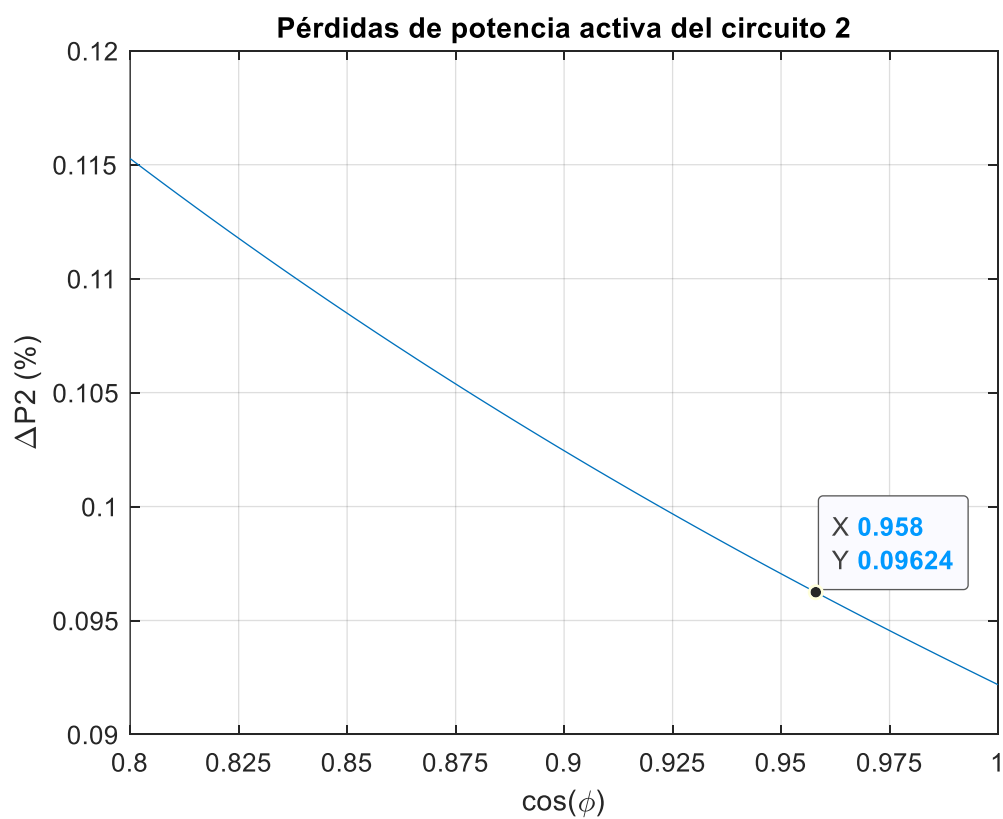
TRAMO 1, CIRCUITO 2:



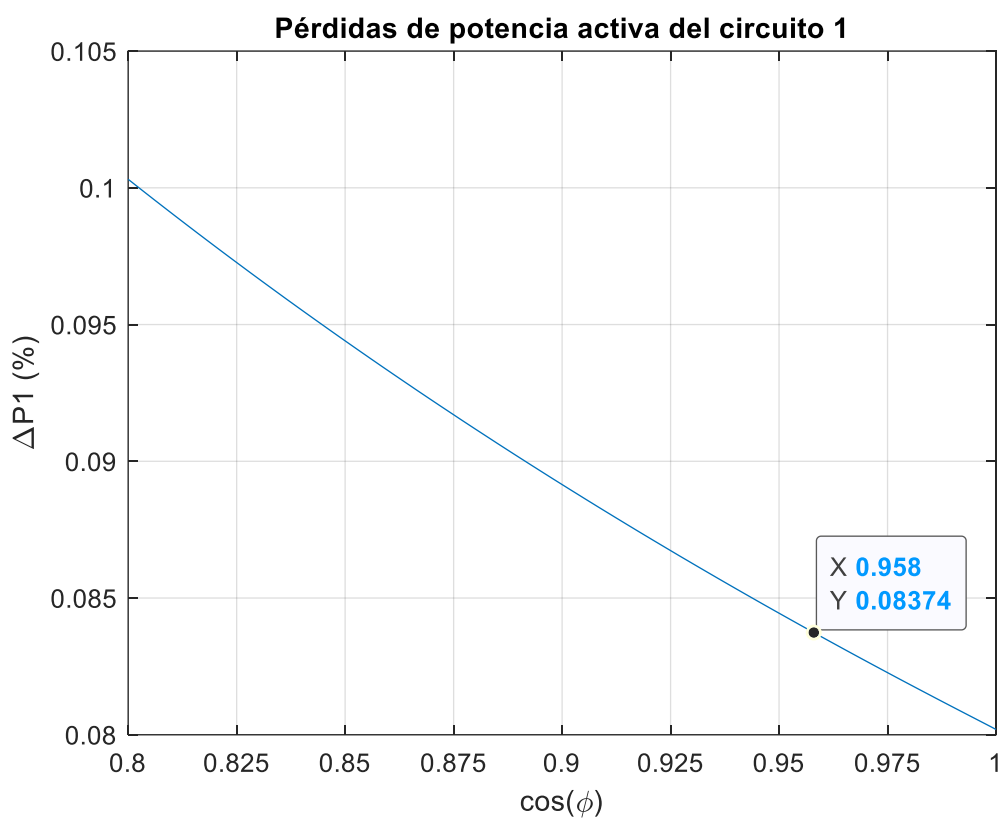
TRAMO 2, CIRCUITO 1:



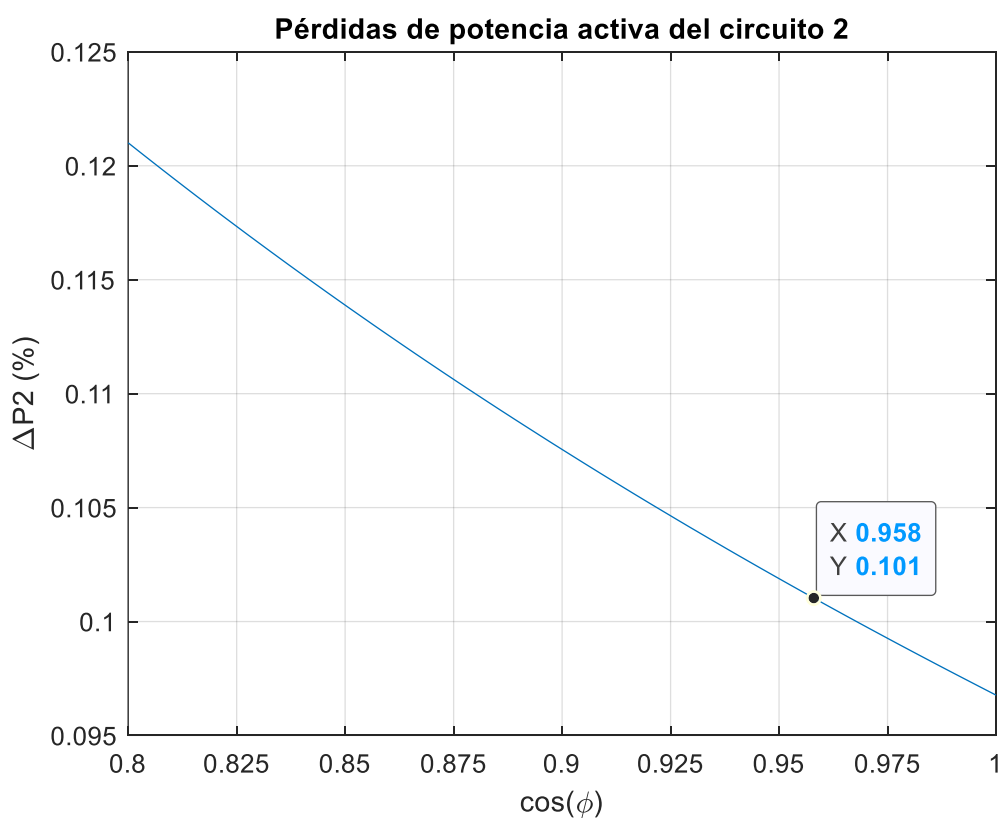
TRAMO 2, CIRCUITO 2:



TRAMO 3, CIRCUITO 1:



TRAMO 3, CIRCUITO 2:



1.12. IMPEDANCIAS SECUENCIALES

A partir de la matriz de impedancias de la línea, aplicando el teorema de Fortescue, se obtienen las siguientes impedancias en secuencia:

TRAMO 1:

Circuito 1

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,048+ j0,322**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,048+ j0,322**
- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,078+ j0,695**

Circuito 2

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,028+ j0,295**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,028+ j0,295**
- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,048+ j0,667**

TRAMO 2:

Circuito 1

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,048+ j0,32**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,048+ j0,32**
- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,078+ j0,69**

Circuito 2

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,028+ j0,295**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,028+ j0,295**
- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,059+ j0,667**

TRAMO 3:

Circuito 1

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,048+ j0,322**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,048+ j0,322**



- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,0786+ j0,694**

Circuito 2

- Impedancia de secuencia directa (Ω/km) **0,0285+ j0,29**
- Impedancia de secuencia inversa (Ω/km) **0,0285+ j0,29**
- Impedancia de secuencia homopolar (Ω/km) **0,059+ j0,667**

1.13. POTENCIA MÁXIMA DE TRANSPORTE

La densidad máxima de corriente en régimen permanente para corriente alterna y frecuencia de 50 Hz se deduce de la tabla de coeficientes de reducción contenidos en el apartado 4.2.1 de la ITC-LAT 07 del Reglamento de líneas de Alta Tensión.

CONDUCTOR LA-380	
Densidad de Corriente (A/mm^2)	1,87
Coeficiente corrector	0,95
Corriente Máxima (A)	712

CONDUCTOR LA-455	
Densidad de Corriente (A/mm^2)	1,758
Coeficiente corrector	0,95
Corriente Máxima (A)	799

La potencia máxima que puede transportar la línea vendrá limitada por la intensidad máxima admisible calculada en el apartado anterior.

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

$$S_{m\acute{a}x} = n \cdot n' \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{adm}$$

Donde:

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

Por tanto, la potencia máxima de transporte para el circuito 1 es:

$$S_{m\acute{a}x_A} = 542,62 \text{ MVA}$$

Por tanto, la potencia máxima de transporte para el circuito 2 es:

$$S_{m\acute{a}x_A} = 913,4 \text{ MVA}$$

1.14. EFECTO CORONA

Será preceptiva la comprobación del comportamiento de los conductores al efecto corona en las líneas de tensión nominal superior a 66 kV, tal como se recoge en el apartado 4.3 de la ITC 07.

1.14.1. TENSIÓN CRÍTICA DISRUPTIVA

Si los conductores de una línea eléctrica alcanzan un potencial lo suficientemente grande para que rebase la rigidez dieléctrica del aire, se producen pérdidas de energía debido a la corriente que se forma a través del medio. Es decir, es como si el aire se hiciera conductor, dando lugar a una corriente de fuga.

Cuando el gradiente de potencial en la superficie del conductor alcanza este valor crítico se generan pérdidas de energía importantes al producirse una ruptura parcial del dieléctrico que es el aire.

Este fenómeno va a tener lugar si la tensión de los conductores supera la tensión crítica disruptiva que va a venir determinada por la formulación de Peek.

$$U_c = \frac{30}{\sqrt{2}} \cdot n' \cdot m_a \cdot m_c \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{DMG}{RMG} (kV_{eficaz})$$

Donde:

- n' : Número de subconductores del haz.
- m_a : factor de corrección atmosférico. Toma el valor de 0,8 para tiempo lluvioso.
- m_c : factor de corrección del conductor. Toma el valor 0,85 para conductores formados por hilos.
- δ : Densidad relativa del aire respecto a 25°C y 760 mmHg según la expresión recogida en la UNE-EN 60071-2, siendo T_{amb} la temperatura ambiental, y h la altura media por donde discurre la línea en metros.

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + T_{amb}} \cdot e^{-h/8150}$$

- r : Radio del conductor en centímetros.
- DMG : Diámetro medio geométrico en metros.
- RMG : Radio medio geométrico en metros.

Para esta línea, y teniendo en cuenta la formulación de Peek, obtenemos un valor de tensión crítica simple de:



TRAMO 1,2,3, circuitos 1 y 2:

Ambiente seco: $U_c = 200,02 \text{ kV}$

Ambiente húmedo $U_c = 160,01 \text{ kV}$

Siendo la tensión simple más elevada de los conductores de esta línea:

$$U_{s_{f-n}} = 141,45 \text{ kV}$$

1.14.2. PÉRDIDAS DE POTENCIA DEBIDAS AL EFECTO CORONA

La pérdida de potencia de la línea debida al efecto corona por unidad de longitud se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_{co} = 3 \cdot n \cdot \left(\frac{241}{\delta} \right) \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{DMG}} \cdot (U_{s_{f-n}} - U_c)^2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right)$$

Donde:

- P_{co} : pérdidas de potencia por efecto corona por unidad de longitud.
- n : Número de circuitos
- δ : es el factor de corrección de la densidad del aire (adimensional).
- f : es la frecuencia de operación de la línea en Hz.
- r : es el radio del conductor en metros.
- DMG : es la distancia media geométrica entre fases en metros.
- $U_{s_{f-n}}$: es la tensión simple más elevada en kV.
- U_c : es la tensión crítica disruptiva en kV.

Dado que la tensión máxima de la línea es menor que la tensión crítica, no se producirá efecto corona y por lo tanto, las pérdidas que esta provoca son:

$$P_{co} = 0 \text{ kW}$$

1.15. AISLAMIENTO

1.15.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES

A continuación, se resumen las principales características de los aisladores de vidrio a utilizar.

Denominación.....	U160BSP
Paso (mm).....	146
Diámetro (mm)	320
Línea de fuga (mm)	550



Carga mecánica (daN)	16.000
Unión normalizada IEC-60120	20
Tensión soportada a 50 Hz bajo lluvia (kV)	55
Tensión soportada Impulso tipo rayo en seco (kV)	140
Peso neto aproximado (kg)	8,3

1.15.2. GRADO DE AISLAMIENTO

En la siguiente tabla se recogen los niveles de aislamiento mínimo que establece la ITC 07 dentro de la tabla 13 del apartado 4.4 que se refiere a la coordinación de aislamiento:

Tensión nominal (kV)	220
Tensión más elevada (kV eficaces)	245

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

Se considera un nivel de contaminación muy alto (IV) acorde con la clasificación del grado de contaminación reflejado en la norma UNE EN 60071-2, con lo que la línea de fuga mínima específica será de 31 mm/kV.

Acorde con lo establecido en la tabla 14 de la ITC 07, dada la tensión más elevada de la línea (245 kV), la línea de fuga mínima en la línea será:

$$\text{Línea de fuga mínima} = 31 \left(\frac{\text{mm}}{\text{kV}} \right) \cdot 245 \text{ (kV)} = 7595 \text{ (mm)}$$

Por ello, las cadenas de suspensión estarán formadas por una fila de 14 aisladores U160BSP, lo cual garantiza los niveles de aislamiento de la línea. Las cadenas de amarre llevarán un aislador más por razones operativas de mantenimiento de la línea.

$$\text{Línea de fuga} = 14 \text{ aisladores} \cdot 550 \text{ (mm)} = 7700 \text{ (mm)}$$

2. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Estas son las características generales de la línea subterránea:

Tensión nominal (kV)	220
Longitud del tramo 1 (m)	7918
Longitud del tramo 1 (m)	1805
Número de circuitos	n = 3
Número de cables por fase	n' = 1

Frecuencia (Hz) f = 50
 Potencia máxima de transporte (MWn) (Circuito 1): 348
 Potencia máxima de transporte (MWn) (Circuito 2): 354 y 354 (2 circuitos)

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR DE FASE

CIRCUITO 1 CEPSA:

El cable propuesto es un cable de 220 kV con denominación RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250.

Es un cable aislado de aislamiento XLPE 127/220 kV de aluminio, cuerda compacta redonda 1x2500 mm² de sección con doble obturación longitudinal en conductor y pantalla, protección radial y pantalla compuesta por hilos de cobre con sección total de 250 mm² y cubierta exterior de poliolefina (Z1) con capa exterior semiconductor extrusionada conjuntamente con la cubierta, características mecánicas tipo ST 7 y sin propiedades especiales ante la reacción al fuego. A continuación, se definen las principales características del cable:

Denominación..... RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAI + H250
 Tensión nominal del cable (kV)..... 127/220
 Tensión más elevada en el cable (kV) 1050
 Temperatura máxima del conductor (en servicio normal) 90°C
 Temperatura máxima del conductor (en cortocircuito) 250°C
 Diámetro del conductor (mm) 59
 Sección del conductor..... 2500 mm² Aluminio
 Resistencia del conductor cc a 20°C (Ω/km)..... 0,0119
 Aislamiento XLPE
 Pantalla Hilos de cobre en hélice
 Sección de la pantalla (mm²) 250
 Resistencia de la pantalla cc a 20°C (Ω/km) 0,0693
 Diámetro nominal exterior (mm)..... 126
 Peso aproximado del cable (kg/km) 16,81
 Esfuerzo máximo de tiro (daN) 8750
 Radio de curvatura mínimo durante la instalación (m) 3,8
 Radio de curvatura mínimo permanente (m) 3,2

Circuito 2:



El circuito denominado 2, irá en disposición de doble circuito, para poder transportar su potencia máxima de 708 MVA. Para ello, se ha considerado llevar el siguiente conductor, para ambos circuitos.

El cable propuesto es un cable de 220 kV con denominación RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAl + H250.

Denominación.....	RHZ1+2OL 127/220(245) kV 1x2500 KAl + H250
Tensión nominal del cable (kV).....	127/220
Tensión más elevada en el cable (kV)	1050
Temperatura máxima del conductor (en servicio normal)	90°C
Temperatura máxima del conductor (en cortocircuito)	250°C
Diámetro del conductor (mm)	59
Sección del conductor.....	2500 mm ² Aluminio
Resistencia del conductor cc a 20°C (Ω/km).....	0,0119
Aislamiento	XLPE
Pantalla	Hilos de cobre en hélice
Sección de la pantalla (mm ²)	250
Resistencia de la pantalla cc a 20°C (Ω/km)	0,0693
Diámetro nominal exterior (mm).....	126
Peso aproximado del cable (kg/km)	16,81
Esfuerzo máximo de tiro (daN)	8750
Radio de curvatura mínimo durante la instalación (m)	3,8
Radio de curvatura mínimo permanente (m)	3,2

2.3. ESQUEMA ELÉCTRICO EQUIVALENTE

Con los datos otorgados por el fabricante y los cálculos descritos a continuación se obtienen las siguientes magnitudes por conductor:

Tramo 1 y 2:

Circuito 1:

- Resistencia (R) = 0,015 Ω/km
- Reactancia (X) = 0,24 Ω/km
- Susceptancia (B) = 75,4 μS/km

Circuito 2:

- Resistencia (R) = 0,015Ω/km
- Reactancia (X) = 0,24 Ω/km
- Susceptancia (B) = 75,4 μS/km



2.4. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA REAL DEL CONDUCTOR

Para la obtención de la resistencia en servicio del conductor se contemplará la acción del incremento de temperatura del conductor y el efecto pelicular que se produce en los conductores debido a la frecuencia eléctrica del sistema mediante la siguiente expresión:

$$R'_{\theta} = R'_{20cc} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)(1 + Y_p)$$

Siendo:

- R'_{20cc} : Resistencia del conductor a 20°C en corriente continua en Ω/km .
- α : Coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura en $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- ΔT : Incremento de la temperatura del conductor en servicio frente a 20°C en $^{\circ}\text{C}$.
- Y_p : Factor de corrección por efecto pelicular.

2.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA

Para obtener la temperatura de servicio del conductor se realiza el siguiente cálculo:

$$T_f = T_o + (T_{max} - T_o) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2$$

Siendo:

- T_f : Temperatura de servicio del conductor en °C.
- T_o : Temperatura de referencia, en este caso 20°C.
- T_{max} : Temperatura máxima del conductor a plena carga, en este caso 105°C.
- I : Corriente de servicio del conductor en A.
- I_{max} : Corriente máxima nominal del conductor en A.

La obtención de la resistencia en serie en corriente alterna a la temperatura dada, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R'_\theta = R'_{\theta cc} \cdot (1 + Y_p) \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Siendo

- Y_p : Factor de efecto pelicular.

Se obtiene así un valor de la resistencia en corriente alterna de:

Tramo 1 y 2:

Circuito 1:

$$R = 0,0199 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Circuito 2:

$$R = 0,02 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

2.6. IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA Y CONSTANTE DE PROPAGACIÓN

Se define la impedancia característica y la constante de propagación de la línea como:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z'_s}{Y'_p}}$$

$$\gamma = \sqrt{Z'_s \cdot Y'_p}$$

Operando con los parámetros calculados anteriormente, se obtienen estos resultados:

Circuito 1:



$$Z_c = 56,81 - j \cdot 2,32 (\Omega)$$

$$\gamma = 0,175 + j4,28 (mrad/km)$$

Circuito 2:

$$Z_c = 56,81 - j \cdot 2,33 (\Omega)$$

$$\gamma = 0,176 + j4,28 (mrad/km)$$

2.7. POTENCIA CARACTERÍSTICA

Se define la Potencia Característica como:

$$P_c = \frac{U_2^2}{Z_c} (MW)$$

Tomando U_2 con el valor de 220 kV y el módulo de Z_c , se obtiene:

Circuito 1:

$$P_c = 851,12 (MW)$$

Circuito 2:

$$P_c = 851,12 (MW)$$

2.8. MODELO DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS

Para un cálculo más preciso de caídas de tensión y pérdidas de potencia activa, se utilizará el modelo de parámetros distribuidos de la línea. Un modelo matricial que emplea los parámetros calculados en apartados anteriores de la forma:

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma \ell) & -Z_c \cdot \text{sh}(\gamma \ell) \\ -\frac{1}{Z_c} \cdot \text{sh}(\gamma \ell) & \text{ch}(\gamma \ell) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

Donde:

- V_0 = Tensión simple en el extremo generador en kV.
- V_L = Tensión simple en el extremo receptor en kV.
- I_0 = Intensidad de línea en el extremo generador en kV.
- I_L = Intensidad de línea en el extremo generador en kV.

2.9. CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión se calcula a partir de los valores obtenidos en el apartado anterior, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = \frac{|U_L| - |U_0|}{|U_0|} \cdot 100 (\%)$$

Calculado para un factor de potencia de 0,958, obtenemos la siguiente caída de tensión.

Tramo 1:

Circuito 1:

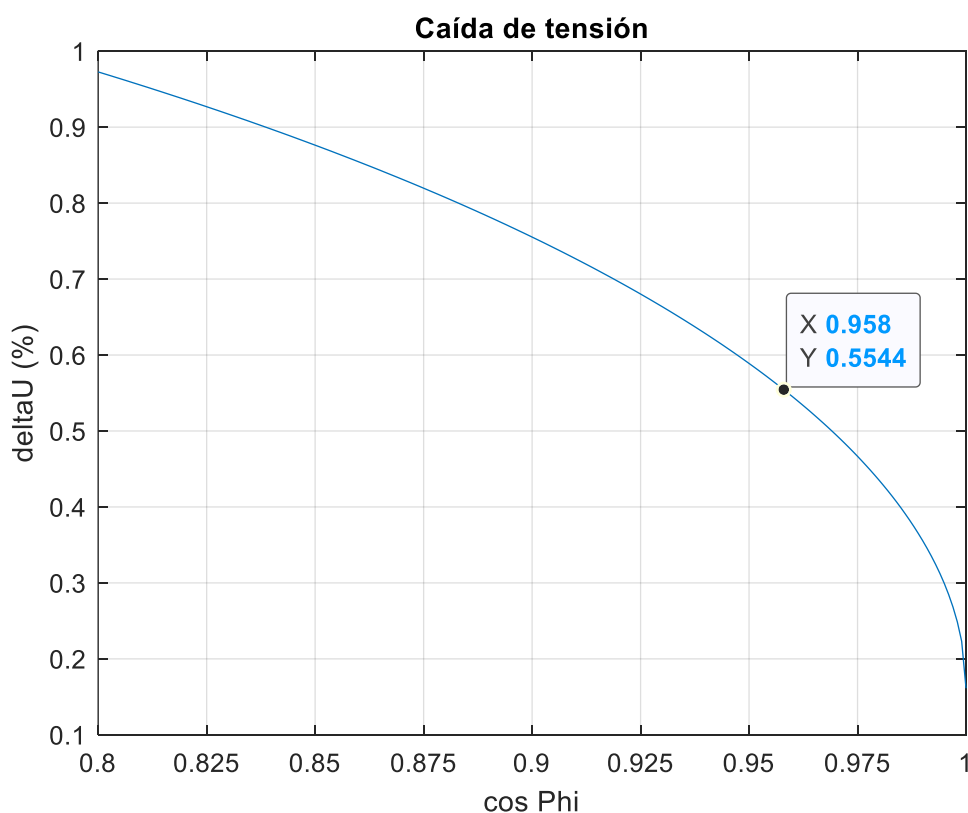
$$\Delta U = 0,5544 \%$$

Circuito 2 (Por cada subcircuito):

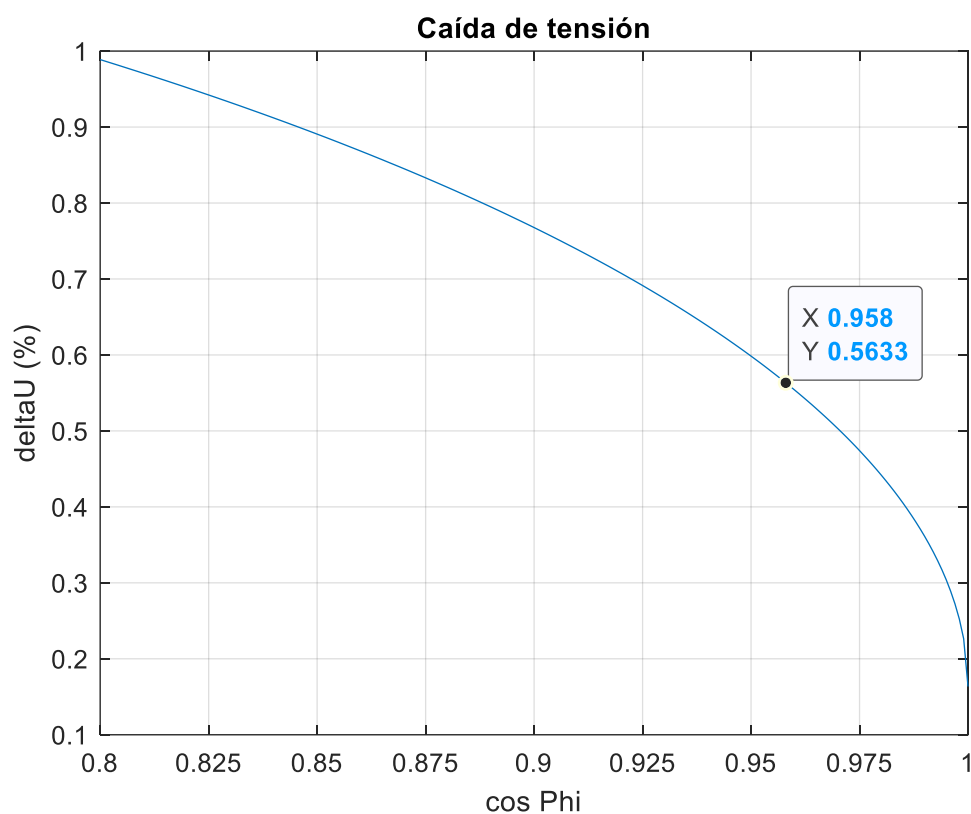
$$\Delta U = 0,56 \%$$

Se obtiene, además, la siguiente gráfica que muestra la caída de tensión para diferentes factores de potencia.

Circuito 1:



Circuito 2:



Tramo 2:

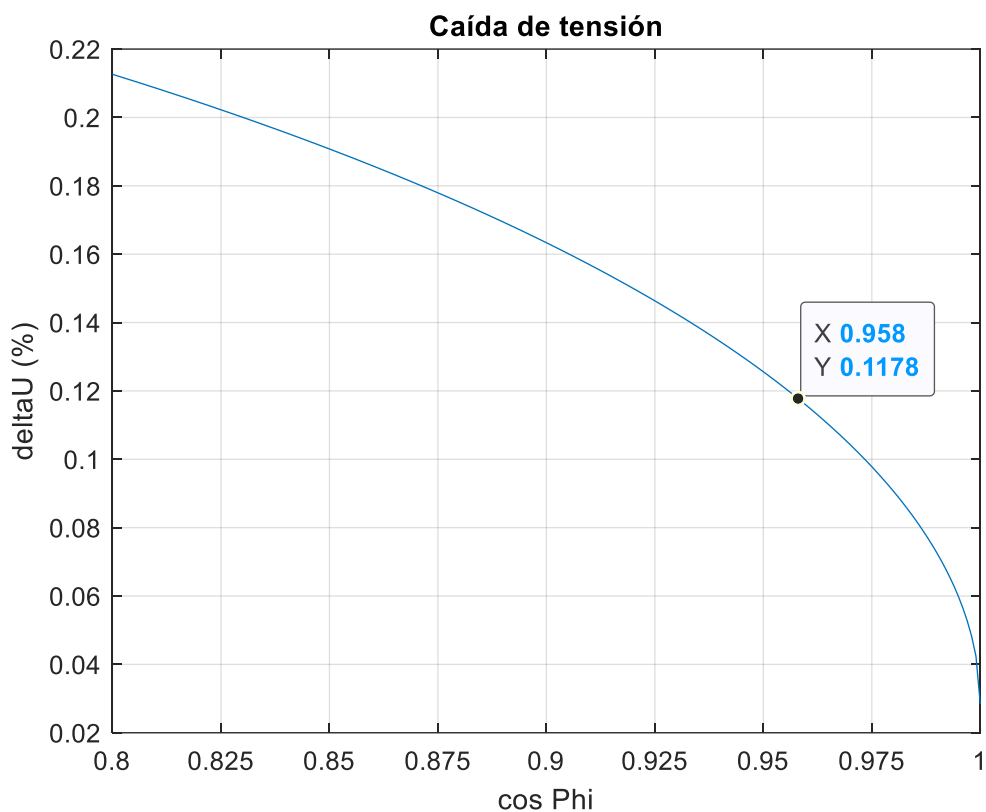
Circuito 1:

$$\Delta U = 0,118\%$$

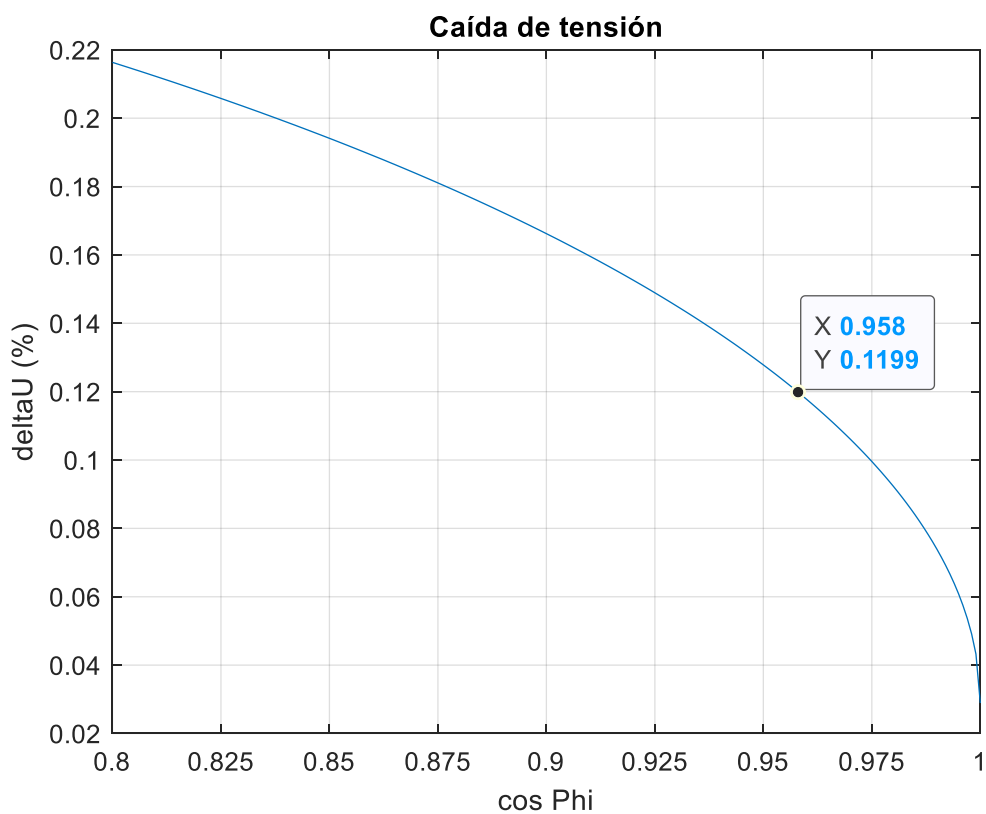
Circuito 2 (Por cada subcircuito):

$$\Delta U = 0,119\%$$

Circuito 1:



Circuito 2:



2.10. PÉRDIDAS DE POTENCIA

Las pérdidas vienen derivadas tanto por efecto joule en forma de calor como por corrientes de fuga a través de las capacidades de la línea.

Calculando la potencia en cualquier punto x de la línea mediante la siguiente expresión:

$$P_x = \text{real}(\sqrt{3} \cdot U_x \cdot I_x^*)$$

Por tanto, para un factor de potencia de **0,958** las pérdidas de potencia activa en la línea son:

Tramo 1:

Circuito 1:

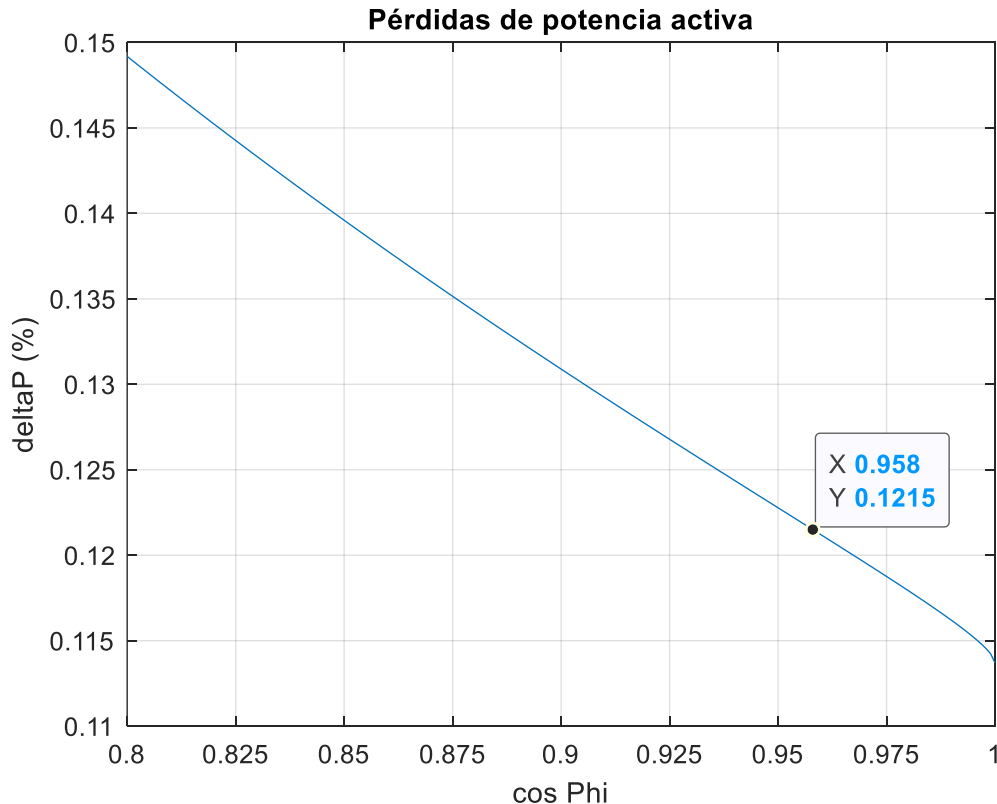
$$\Delta P = 0,1215 \%$$

Circuito 2 (Por cada sub circuito):

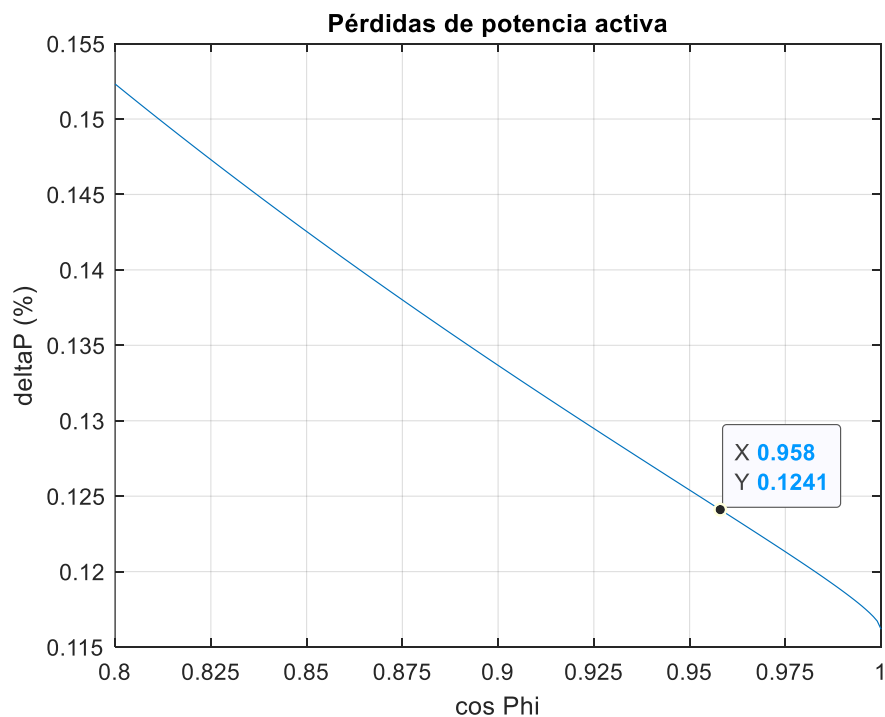
$$\Delta P = 0,1241 \%$$

Obtenemos además la siguiente gráfica dónde se muestran las pérdidas de potencia activa para diferentes factores de potencia.

Circuito 1:



Circuito 2:



Tramo 2:

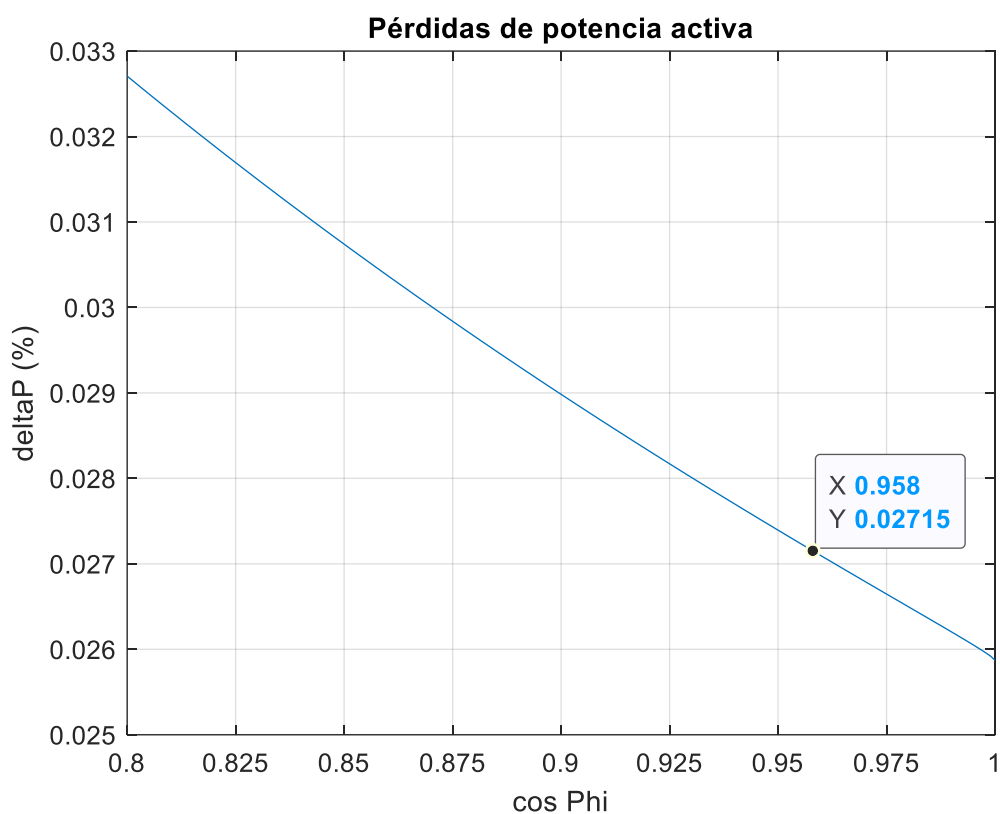
Circuito 1:

$$\Delta P = 0,027 \%$$

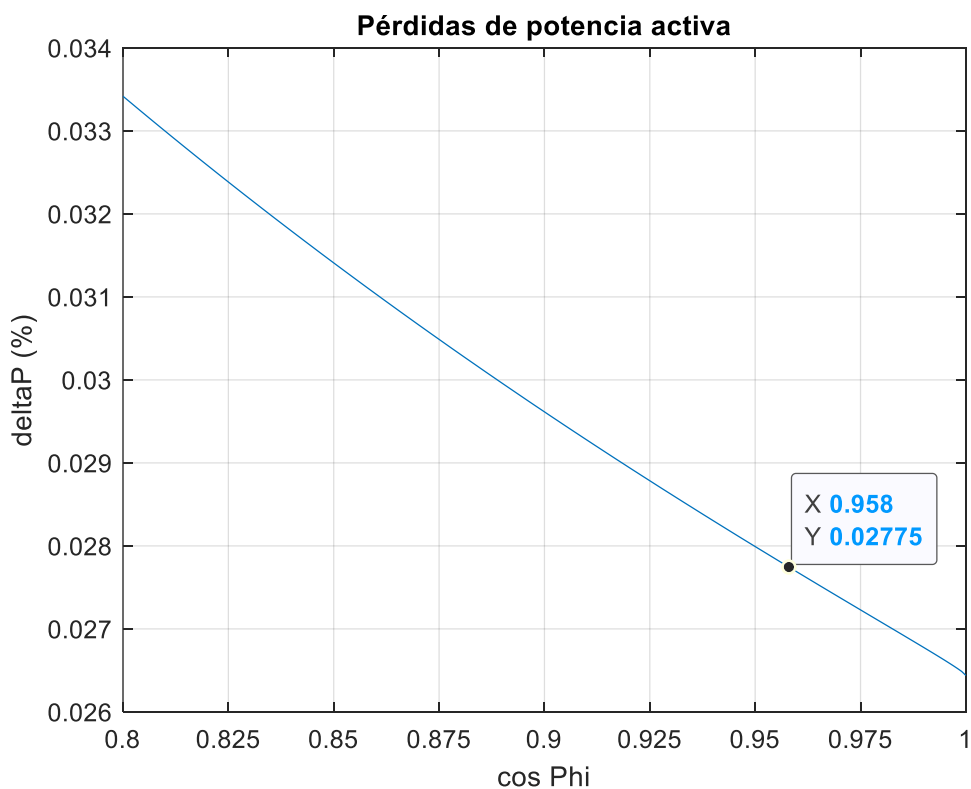
Circuito 2 (Por cada sub circuito):

$$\Delta P = 0,027 \%$$

Circuito 1:



Circuito 2:



3. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA COMPLETA

3.1. CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión se calcula a partir de los valores obtenidos en el apartado anterior, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = \frac{|U_L| - |U_0|}{|U_0|} \cdot 100 (\%)$$

Calculado para un factor de potencia de **0,958**, obtenemos la siguiente caída de tensión.

CIRCUITO 1:

$$\Delta U = 1,652\%$$

CIRCUITO 2 Aéreo:

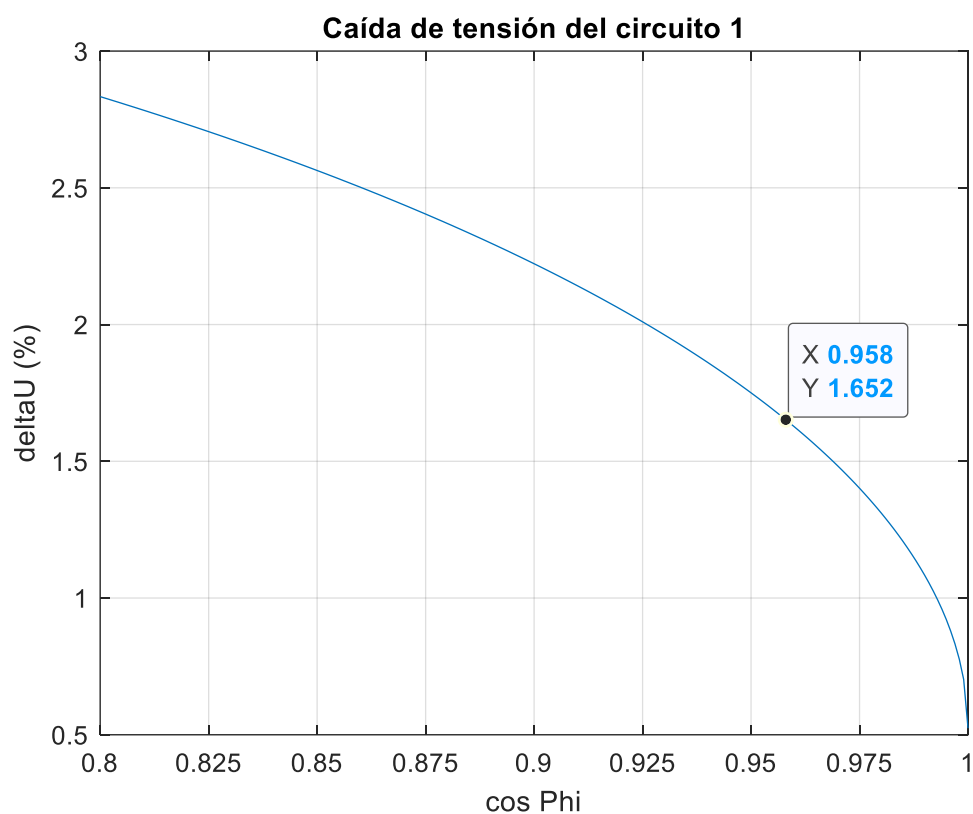
$$\Delta U = 1,594 \%$$

CIRCUITO 2: Subterráneo

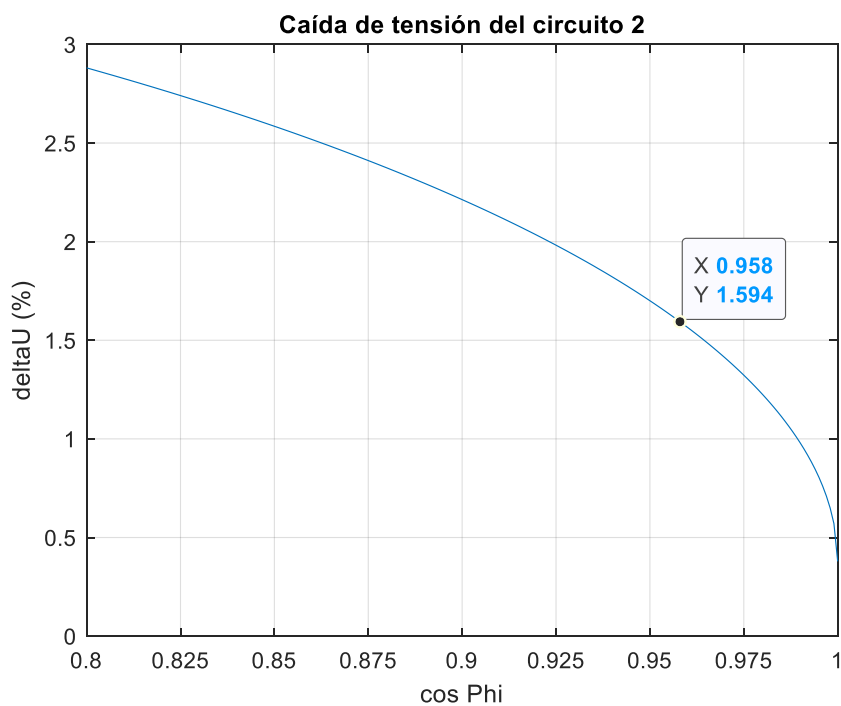
$$\Delta U = 0,68 \%$$

Se obtiene además la siguiente gráfica que muestra la caída de tensión para diferentes factores de potencia.

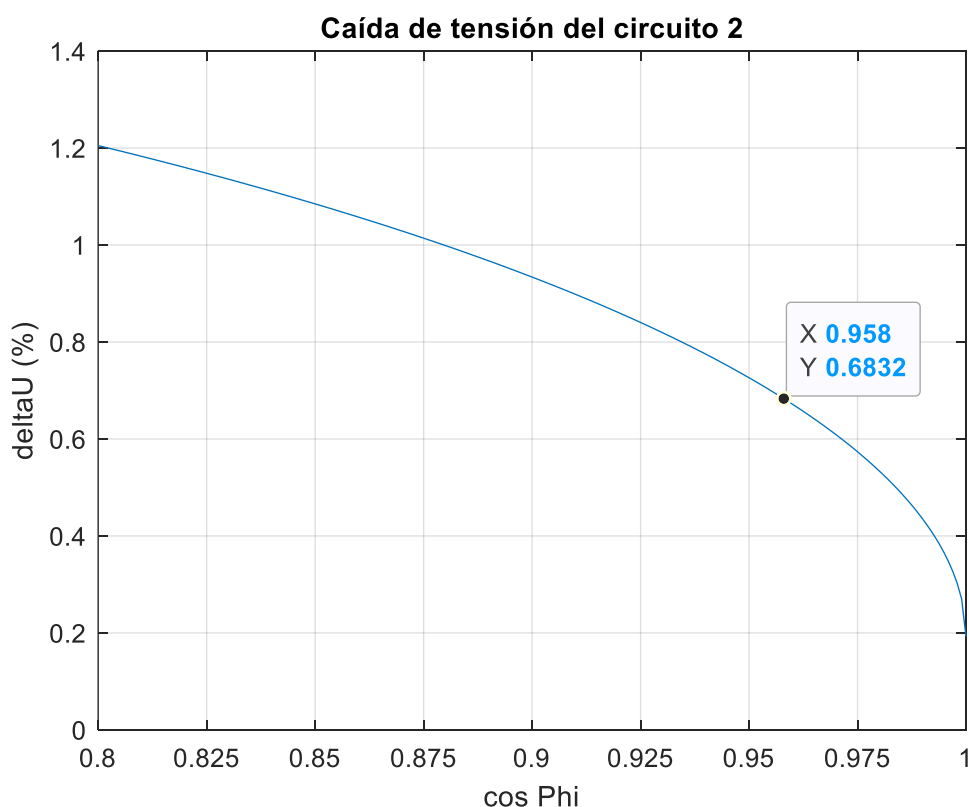
CIRCUITO 1:



CIRCUITO 2 Aéreo:



CIRCUITO 2 Subterráneo:



3.2. PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA

Las pérdidas de potencia activa se deben tanto al calentamiento de los conductores por el efecto joule como a las fugas de corriente capacitiva de la línea. Utilizando la siguiente expresión se calcula la potencia activa en cualquier punto genérico x de la línea:

$$P_x = 3 \cdot \text{real}(U_x \cdot I_x^*)$$

Calculado para un factor de potencia de **0,958**, obtenemos las siguientes pérdidas de potencia activa.

CIRCUITO 1:

$$\Delta P = 0,5064 \%$$

CIRCUITO 2 Aéreo:

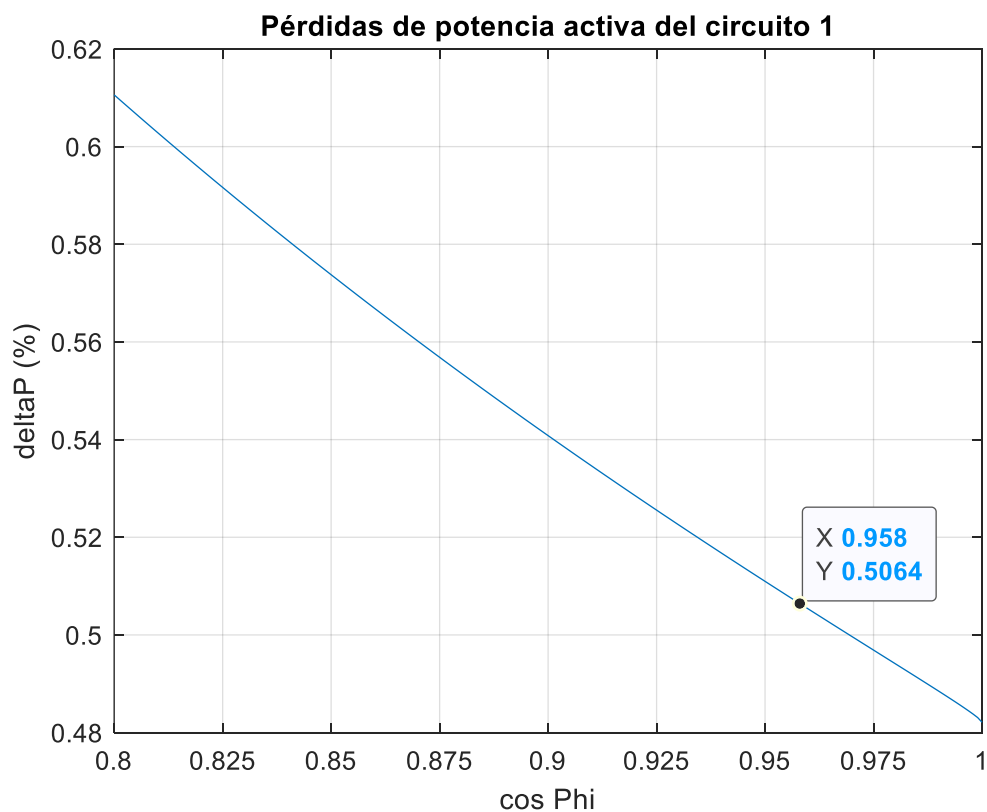
$$\Delta P = 0,43 \%$$

CIRCUITO 2 Subterráneo:

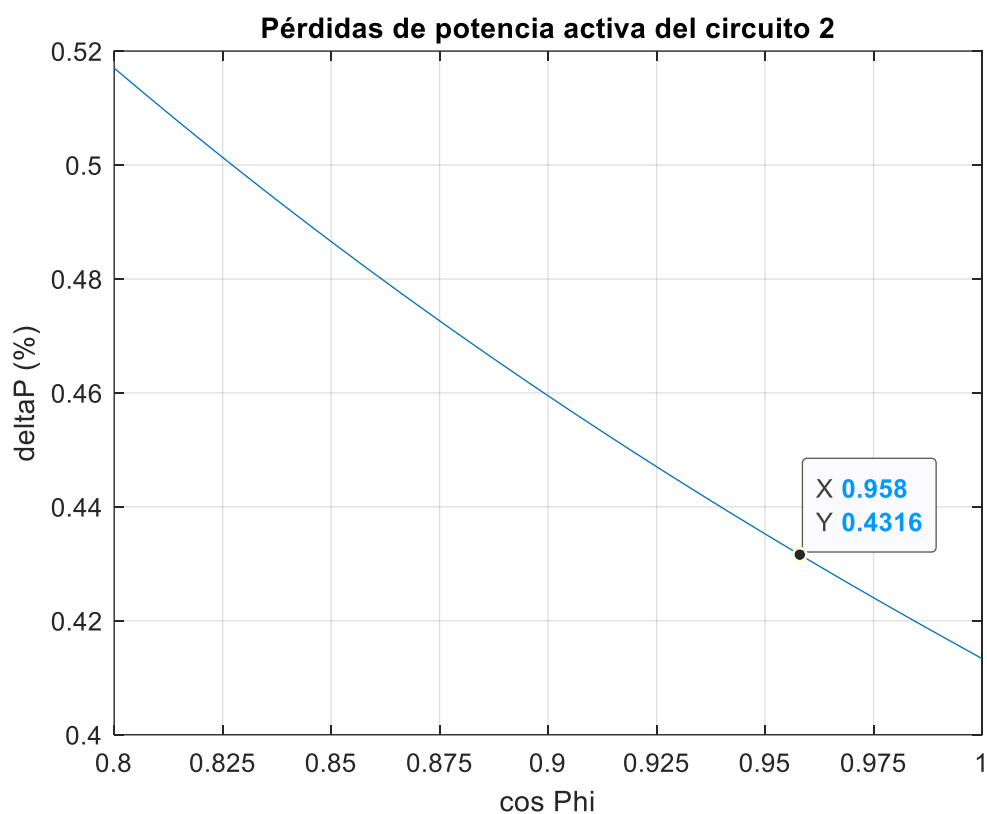
$$\Delta P = 0,303 \%$$

Se obtiene además la siguiente gráfica que muestra las pérdidas de potencia activa para diferentes factores de potencia.

CIRCUITO 1:



CIRCUITO 2 Aéreo:



CIRCUITO 2 Subterráneo:

