



EPS

Escola Politècnica
Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Línia aèria 66kV, circuit simple, entre Ripoll i Sant Quirze de Besora

Document: 1. Memòria

Alumne: Natàlia Arnau Vert

Director/Tutor: Josep Xargayó Bassets

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: ESA

Convocatòria (mes/any): juny/2014

Índex

1. INTRODUCCIÓ	4
1.1 Antecedents	4
1.2 Objecte.....	4
1.3 Especificacions i abast	4
2. REGLAMENTACIÓ.....	5
3. DESCRIPCIÓ GENERAL DE LA INSTAL·LACIÓ	7
3.1 Característiques dels conductors	8
3.2 Suports.....	9
3.3 Aïllament	11
3.4 Ferramentes.....	12
3.5 Empalmaments pel conductor i cable de terra.....	14
3.6 Numeració i senyalització.....	14
4. CÀLCULS ELÈCTRICS	15
4.1 Resistència.....	15
4.2 Reactància	16
4.2 Susceptància.....	17
4.3 Conductància	18
4.4 Model equivalent de la línia	19
4.5 Caiguda de tensió	19
4.6 Capacitat de transport	20
4.7 Efecte corona.....	21
4.8 Pèrdues de potència totals	21
5. CÀLCULS MECÀNICS	22
5.1 Càlcul mecànic dels conductors	22
5.1.1 Tracció màxima.....	22
5.1.2 Hipòtesi CHS	25
5.1.3 Hipòtesis EDS.....	26

5.1.4 Fletxa màxima del conductor i cable de terra	27
5.1.5. Taules de regulació.....	27
5.2 Càlcul mecànic dels suports	28
6. DISTÀNCIES MÍNIMES, ENCREUAMENTS I PARAL·LELISMES.....	29
6.1 Distància entre els conductors.....	30
6.2 Distància dels conductors al terreny	32
6.3 Distàncies a carreteres.....	32
6.4 Distàncies a boscos, arbres i masses d'arbrat.....	33
7. FONAMENTACIONS	34
8. POSADA A TERRA DELS SUPORTS	35
8.1 Classificació dels suports segons la seva ubicació	35
8.2 Elements de la posada a terra.....	35
8.2.1 Línia de terra.....	35
8.2.2 Elèctrode de posada a terra.....	36
8.3 Dimensionament de la posada a terra	36
8.3.1 Dimensionament respecte a la resistència tèrmica	36
8.3.2 Dimensionament respecte a la seguretat de les persones	37
8.3.3 Dimensionament respecte a protegir contra els efectes del llamp.....	37
9. RESUM DEL PRESSUPOST.....	38
10. CONCLUSIONS.....	39
11. RELACIÓ DE DOCUMENTS	40
12. BIBLIOGRAFIA.....	41
13. GLOSSARI	43
A. IMPACTE AMBIENTAL	44
A.1 Medi físic.....	44
A.1.1 Sòl.....	44
A.1.2 Aigua	44
A.1.3 Atmosfera.....	45
A.2 Medi biòtic.....	45

A.2.1 Vegetació	45
A.2.2 Fauna	46
A.3 Medi socioeconòmic	46
A.4 Paisatge.....	47
B. CÀLCUL ELÈCTRIC.....	48
B.1 Resistència	49
B.2 Reactància.....	51
B.3 Susceptància	52
B.4 Caiguda de tensió de la línia	53
B.5 Pèrdues de potència	54
C. CÀLCUL MECÀNIC.....	55
C.1 Càrregues permanents	55
C.2 Forces del vent sobre els components de la línia.....	55
C.3 Sobrecàrregues motivades pel gel.....	56
C.4 Tracció màxima admissible.....	56
C.5 Fletxes màximes dels conductors	57
C.6.1 Hipòtesi de gel	57
C.2.2 Hipòtesi de vent per canvi de condicions.....	60
C.6 Taules de regulació	65
D. PROGRAMA	73

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Es parteix d'un punt hipotètic en el que al municipi de Sant Quirze de Besora hi ha hagut un increment important de la demanda d'energia deguda a l'augment de població. Tenint en compte que a Ripoll hi ha un excedent d'energia ja que moltes indústries han deixat de produir, s'ha trobat convenient la instal·lació d'una nova línia aèria entre aquests dos municipis per tal de cobrir aquest augment de la demanda.

1.2 Objecte

Es pretén dissenyar una línia de circuit simple de 66kV entre aquests dos municipis, la longitud total de la qual serà d'aproximadament 12 quilòmetres i estarà dividida en dos trams: el primer començarà a Ripoll i finalitzarà a Santa Maria de Besora; i el segon començarà a Santa Maria de Besora i finalitzarà a Sant Quirze de Besora, coincidint amb el final de línia.

1.3 Especificacions i abast

En aquests projecte es faran els càlculs elèctrics i mecànics, tant dels conductors com dels suports i accessoris, per tal de dissenyar la línia; així com l'estudi de l'impacte ambiental produït per aquesta. A més a més, es farà la descripció de les cimentacions i fonaments corresponents amb l'ajuda del programa Imedexsa.

2. REGLAMENTACIÓ

Per a la realització d'aquest projecte s'han tingut en compte cada una de les especificacions següents.

Reglament de Línies Elèctriques d'Alta Tensió (R.D. 223/2008, 15 de febrer).

Llei del Sector Elèctric (Llei 54/1997, 27 de novembre).

Llei 17/2007 de 4 de juny.

Real Decret 1955/2000, d'1 de desembre, pel que es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediment d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.

Real Decret 1432/2008. De 29 d'agost, pel que s'estableixen mesures de protecció de l'avifauna contra la col·lisió i electrocució en línies elèctriques d'alta tensió.

A més, també s'ha seguit la normativa particular d'Endensa Distribución Eléctrica.

LDZ001, criteris de disseny de línies elèctriques d'alta tensió.

LME001, procediment per a la construcció de línies aèries d'alta tensió.

LNE001, conductors nus per línies aèries d'alta tensió, de tensió nominal superior a 30kV.

LNE003, aïlladors de vidre per cadenes de línies aèries d'alta tensió, de tensió superior a 30kV.

LNE004, cables de terra per a línies aèries d'alta tensió, de tensió superior a 30kV.

LNE005, norma de ferramentes i accessoris per a línies aèries d'alta tensió, de tensió superior a 30kV.

LNE008, norma de suports de gelosia per a línies aèries d'alta tensió, de tensió superior a 30kV.

NNJ001, norma de cables compostos terra-òptics (OPGW) per a línies aèries d'alta tensió.

Normes UNE corresponents

3. DESCRIPCIÓ GENERAL DE LA INSTAL·LACIÓ

El projecte es basa en el disseny d'una línia de 66kV entre Ripoll i Sant Quirze de Besora, sumant una longitud total de la línia de 12 quilòmetres.

Les característiques d'aquesta línia són les que venen resumides a la Taula 1.

Tensió nominal (kV)	66
Tensió més elevada (kV)	72,5
Freqüència (Hz)	50
Potència màxima de transport (MVA)	32,72
Conductor	LA 110
Número de circuits	1
Número de conductors per fase	1
Cable fibra òptica/terra	AC 50
Tipus d'aïlladors	Vidre
Longitud de la línia (km)	12
Suport d'origen	1
Suport final	53
Zona d'aplicació	B
Número de suports d'angle	1
Número de suports d'alineació	51
Número de suports de final de línia	1

Taula 1. Característiques generals de la línia

La línia s'ha dividit amb diferents cantons seguint els canvis de desnivell del terreny. S'anomena cantó als suports que hi ha entre dos suports d'amarratge o ancoratge.

En aquest cas, s'ha escollit posar suports d'ancoratge a prop d'un canvi de desnivell, a més, al tenir cantons de poca longitud afavorim a la seguretat en el cas de que un suport caigui i es produeixi l'efecte dominó. Els cantons que s'han establert i les seves característiques venen resumides a la Taula 2.

Cantó	Suport inicial	Suport final	Angle amb el següent cantó	Longitud (m)	Creuaments
1	1	5	0	255	2 rius i 1 carretera
2	5	7	0	225	
3	7	9	0	265	
4	9	11	0	225	
5	11	14	0	225	1 riu
6	14	16	0	203	
7	16	18	0	225	1 carretera
8	18	20	0	225	1 riu
9	20	22	0	265	
10	22	25	0	225	3 rius
11	25	27	0	225	
12	27	29	0	241	
13	29	31	0	236	
14	31	35	0	225	4 rius
15	35	37	120°	225	
16	37	42	0	238	1 carretera
17	42	44	0	225	
18	44	46	0	265	
19	46	48	0	225	1 riu
20	48	51	0	225	
21	51	53	0	203	1 riu

Taula 2. Resum de cantons

3.1 Característiques dels conductors

La línia està dotada d'un conductor d'alumini amb ànima d'acer galvanitzat del tipus 94-AL1/ST1A (LA 110), d'acord amb les Normes UNE-EN 50182, tipus AL1/ST1A i GE LNE001, les característiques del qual són les següents.

Secció total (mm ²)		Alumini	94,2
		Total	116,2
Equivalent en coure (mm ²)			60
Diàmetre total (mm)		Acer	6
		Total	14
Composició	Filferro d'alumini	Número	30
		Diàmetre(mm)	2
	Filferro d'acer	Número	7
		Diàmetre(mm)	2
Càrrega de ruptura (daN)			4310
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)			0,3066
Massa (kg/km)			433
Mòdul d'elasticitat (daN/mm ²)			8000
Densitat de corrent de l'alumini (A/mm ²)			2,988
Coeficient de dilatació lineal (°C ⁻¹ x10 ⁻⁶)			17,8

Taula 3. Característiques del conductor LA 110

Per protecció a les descàrregues atmosfèriques i per a comunicacions, la línia aèria està dotada d'un cable de terra compostat de terra-fibra òptica del tipus 50-ST1A (AC-50).

Secció resistent (mm ²)	49,48
Diàmetre exterior (mm)	9,00
Nombre de filferros	7,00
Diàmetre dels filferros (mm)	3,00
Càrrega de ruptura (daN)	6,17
Pes aproximat (daN/m)	0,39
Mòdul d'elasticitat teòric (daN/mm ²)	18,00
Resistència elèctric a 20°C (Ω/km)	4,09
Coefficient dilatació linial (°C ⁻¹)	11,50x10 ⁻⁶

Taula 4. Característiques del conductor de terra

3.2 Suports

Els suports a utilitzar seran del tipus metàl·lic de gelosia de les series contemplades en la norma Endesa LNE 008, dissenyats per la instal·lació d'un circuit de 66 kV i amb una cúpula per a la instal·lació del cable de terra.

Els materials per a perfils d'acer compliran la norma UNE-EN 10025.

Els perfils, l'amplada mínima dels quals serà de 40mm, i la resta de components han d'haver estat fabricats d'acord amb la norma UNE-EN 10056 amb acer AE 275-B (S 275 JR) o AE 355-B (S 355J0) de límit elàstic R=275 o 355N/mm² respectivament.

Els cargols utilitzats seran del tipus M-14 o superior i de qualitat mínima de 5.6 garantida. La composició de la matèria primera, la designació i les propietats mecàniques compleixen la norma UNE 17115:2010. A més, s'ajustaran al que prescriu aquesta norma les dimensions dels cargols, la volandera i les femelles hexagonals.

Tots els suports tindran protecció per galvanitzat en calent. El galvanitzat per immersió en calent es farà d'acord amb la norma UNE-EN ISO 1461:2010.

La superfície presentarà una galvanització llisa adherent, sense discontinuïtat, sense taques i amb un espessor local del recobriment mínim de 75µm, tal i com indica la norma LNE008 de EDE.

L'altura escollida dels suports està determinada per la distància mínima a mantenir entre el terreny i demés obstacles i els conductors de la línia aèria, segons l'establert en l'apartat 5 de la ITC-LAT 07 del RLEAT i en la norma LDZ001 d'Endesa.

La separació entre fases ve donada per la distància a mantenir dels conductors entre sí en els vans de la línia aèria, segons l'indicat en l'apartat 5.4.1 de la ITC-LAT 07 del RLEAT i en la norma LDZ001.

La posició de cada suport ve donat per les seves coordenades expressades a la Taula 5 i la Taula 6. A l'hora d'instal·lar els suports, es podrà variar les coordenades si el terreny impossibilita la instal·lació del suport a la coordenada establerta.

Suport	Funció del suport	Denominació	X	Y
1	FL	FL-1-66-18u D=2,50	434000,0	4671130,5
2	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	434099,0	4670825,0
3	AL-SU	AL-1-66-21u D=3,00	434213,0	4670624,5
4	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	434365,0	4670382,5
5	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	434479,0	4670186,5
6	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	434612,5	4669967,5
7	AL-ANC	AM-1-66-12u D=3,00	434686,5	4669837,5
8	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	434865,0	4669570,5
9	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	434975,0	4669355,5
10	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	435075,0	4669190,5
11	AL-ANC	AM-1-66-18u D=3,00	435195,0	4668980,5
12	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	435315,0	4668795,5
13	AL-AM	AM-1-66-10u D=3,00	435410,0	4668610,5
14	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	435540,0	4668405,5
15	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	435670,0	4668180,5
16	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	435750,0	4668065,5
17	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	435870,0	4667870,5
18	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	435985,0	4667660,5
19	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	436090,0	4667500,5
20	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	436215,0	4667300,5
21	AL-AM	AM-1-66-15u D=3,00	436365,0	4667045,5
22	AL-ANC	AM-1-66-18u D=3,00	436485,0	4666850,5
23	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	436595,0	4666660,5
24	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	436700,0	4666480,5
25	AL-ANC	AM-1-66-18u D=3,00	436825,0	4666270,5
26	AL-AM	AM-1-66-12u D=3,00	436956,0	4666065,0
27	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	437036,0	4665905,0
28	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	437167,0	4665714,5
29	AL-ANC	AM-1-66-18u D=3,00	437307,0	4665489,5
30	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	437412,0	4665304,5

Taula 5. Tipus de suport i coordenades

Suport	Funció del suport	Denominació	X	Y
31	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	437534,0	4665088,5
32	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	437654,0	4664883,5
33	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	437752,0	4664730,0
34	AL-AM	AM-1-66-15u D=3,00	437692,0	4664534,0
35	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	437594,0	4664284,0
36	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	437518,0	4664090,0
37	AN-ANC (120°)	AG-1-66-10u D=3,00	437433,0	4663886,5
38	AL-AM	AM-1-66-18u D=3,00	437243,0	4663381,5
39	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	437163,0	4663375,5
40	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	437068,0	4662941,5
41	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	436998,0	4662771,5
42	AL-ANC	AM-1-66-12u D=3,00	436953,0	4662611,5
43	AL-SU	AL-1-66-18u D=3,00	436853,0	4662386,5
44	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	436753,0	4662141,5
45	AL-AM	AM-1-66-15u D=3,00	436668,0	4661901,5
46	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	436587,0	4661684,0
47	AL-SU	AL-1-66-21u D=3,00	436503,0	4661488,0
48	AL-ANC	AM-1-66-10u D=3,00	436431,0	4661294,0
49	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	436339,0	4661064,0
50	AL-SU	AL-1-66-15u D=3,00	436243,0	4660860,5
51	AL-ANC	AM-1-66-15u D=3,00	436151,0	4660658,5
52	AL	AL-1-66-15u D=3,00	436087,0	4660558,5
53	FL	FL-1-66-10u D=2,50	436001,0	4660453,5

Taula 6. Tipus de suport i coordenades

3.3 Aïllament

L'aïllament estarà dimensionat mecànicament pel conductor LA 110, garantint un coeficient de seguretat a ruptura superior a 3, i elèctricament per a 66kV. Aquest constarà de cadenes senzilles amb aïlladors de vidre.



Figura 1. Aïlladors de vidre

Cada cadena d'aïlladors estarà constituïda per 6 elements de vidre del tipus estàndard, amb les característiques especificades a la Taula 7.

	Suport de suspensió	Suport d'amarratge/ancoratge
Marca	La Granja	La Granja
Denominació	U40B	U70BL
Pas (mm)	110	146
Diàmetre (mm)	255	255
Línia de fuga (mm)	320	320
Càrrega de ruptura(kN)	40	70
Norma d'acoblament	11	16A

Taula 7. Característiques dels aïlladors

Les característiques del conjunt d'aïlladors són les que s'especifiquen a la Taula 8.

Tensió suportada de curta durada a freqüència industrial (kV)	420
Tensió suportada als impulsos tipus llamp (kV)	600
Longitud de línia de fuga (mm)	1920

Taula 8. Característiques del conjunt d'aïlladors

Les tensions són superiors a les tensions que ens indica l'apartat 4.4 de la ITC-07 del RLEAT, per tant, el tipus d'aïllador escollit compleix amb la normativa.

La normativa que s'ha de complir a l'hora de la fabricació d'aquests aïlladors és la següent.

Norma GE LNE003 de EDE – Aïlladors de vidre per a línies aèries d'A.T. de tensió nominal superior a 30kV.

UNE-EN 60.383 – Assajos d'aïlladors per a línies superiors a 1000V.

3.4 Ferramentes

Les ferramentes a instal·lar han de complir amb els requisits de les normes UNE-EN 61284, UNE-EN 61854 o UNE-EN 61897.

El tipus de ferramenta depèn del tipus de cadena d'aïlladors escollida. S'ha de tenir en compte que les dimensions de les ferramentes han de permetre unir-les als aïlladors. A més a més, la seva càrrega de ruptura ha de ser superior a 3 vegades la càrrega de ruptura dels aïlladors, segons l'apartat 3.3 de la ITC-07 del RLEAT. En canvi, les grapes han de suportar el 95% de la càrrega de ruptura dels aïlladors

Els elements que formen les ferramentes es poden veure a la Taula 9.

Element	Tipus
Estrep	E 4
Forquilla bola en "V" de protecció	HBVP 16
Grilló normal	GN
Baula (cadenes de suspensió)	ES 1
Ròtula (cadenes de suspensió)	RLP 16/1
Jou	YT 1
Forquilla revirada	HRT 1
Varetes de protecció	VP 3
Grapes de suspensió	GS 2
Grapes d'amarratge	GA 2

Taula 9. Elements que formen les ferramentes

Les característiques de cada element es poden veure al document d'EDP HC Energia citat a la bibliografia.

A la Figura 2 podem veure els components que formen les ferramentes.

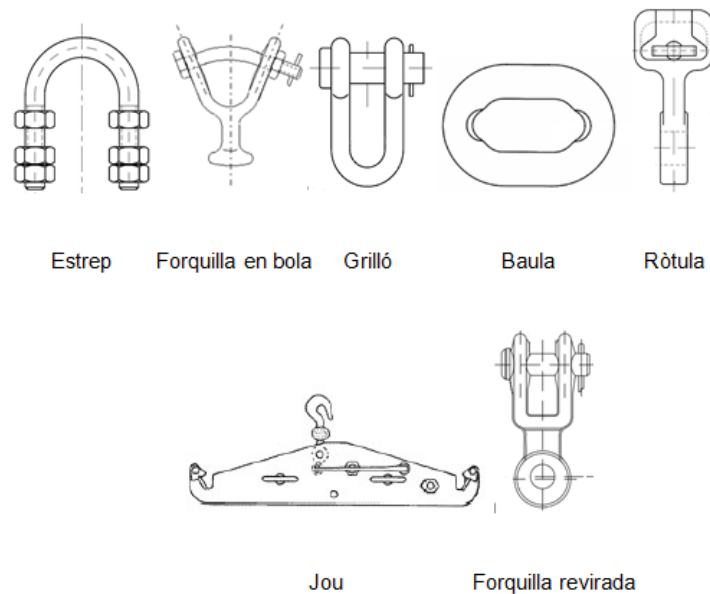


Figura 2. Elements de les ferramentes

A la Figura 3 podem observar els dos tipus de grapes diferents segons el tipus de cadena d'aïlladors.

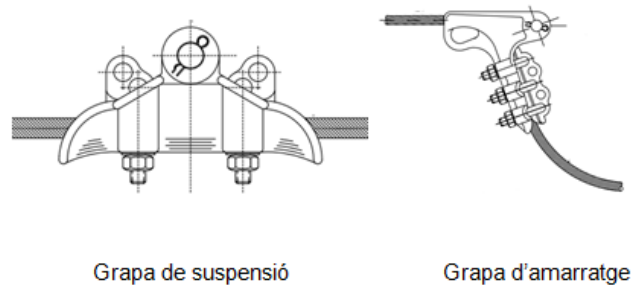


Figura 3. Tipus de grapes

3.5 Empalmaments pel conductor i cable de terra

Els empalmaments dels conductors entre seran d'un material pràcticament inoxidable i homogeni amb el material del conductor que uneixen, per tal d'evitar la formació d'un parell elèctric.

Un com fet l'empalmament, aquest ha de tenir una resistència mecànica igual al 95% de la del cable que esta unint i una resistència elèctrica igual a la d'un tros de cable sense empalmar de la mateixa longitud. Compliran amb la norma UNE 21021.

3.6 Numeració i senyalització

Cada suport estarà degudament senyalitzat amb una placa on hi constarà el fabricant, la funció del suport i el número d'aquest segons els plànols.

A més a més, tal i com indica l'apartat 2.4.7 de la ITC-07 del RLEAT, es col·locarà una placa de senyalització de risc elèctric a cada un dels suports. Aquesta es situarà a una altura tal que no es pugui ser retirada però que sigui perfectament llegible des de terra.

4. CÀLCULS ELÈCTRICS

Els càlculs elèctrics ens permeten definir les característiques elèctriques de la línia.

Tensió nominal (kV)	66
Tensió més elevada (kV)	72,5
Freqüència (Hz)	50
Número de circuits	1
Número de conductors per fase	1
Longitud de la línia (km)	12,5
Zona d'aplicació	B

Taula 10. Característiques de la línia

Les característiques del conductor escollit també intervenen en el procés de definir les característiques de la línia.

Secció total (mm ²)	116,2
Diàmetre total (mm)	14
Composició	30+7
Càrrega de ruptura (daN)	4310
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)	0,3066
Massa (kg/km)	433
Mòdul d'elasticitat (daN/mm ²)	8000
Densitat de corrent de l'alumini (A/mm ²)	2,988
Coefficient de dilatació lineal (°C ⁻¹ x10 ⁻⁶)	17,8

Taula 11. Característiques del conductor LA110

4.1 Resistència

La resistència presentada pels conductors d'una línia és la causa més important de pèrdua de potència a les línies d'alta tensió. Aquest paràmetre depèn tant de les característiques del conductor com de factors externs com la temperatura.

La resistència en corrent alterna d'un conductor a la temperatura θ ve donada per l'Equació 1.

$$R_{\theta} = R_{\theta}'(1 + y_s) \quad (\text{Eq. 1})$$

On

y_s factor d'efecte pel·licular

R'_θ : la resistència del conductor en corrent contínua a la temperatura θ

Obtenim un valor de resistència de la línia depenent de la temperatura.

Temperatura (°C)	20	60	75	85	90
Res. c.c. (Ω/km)	0,307	0,356	0,374	0,386	0,392
Res c.a. (Ω/km)	0,307	0,356	0,374	0,386	0,392

Taula 12. Valors de resistència en funció de la temperatura

Podem veure fàcilment l'augment de la resistència a la Figura 4.

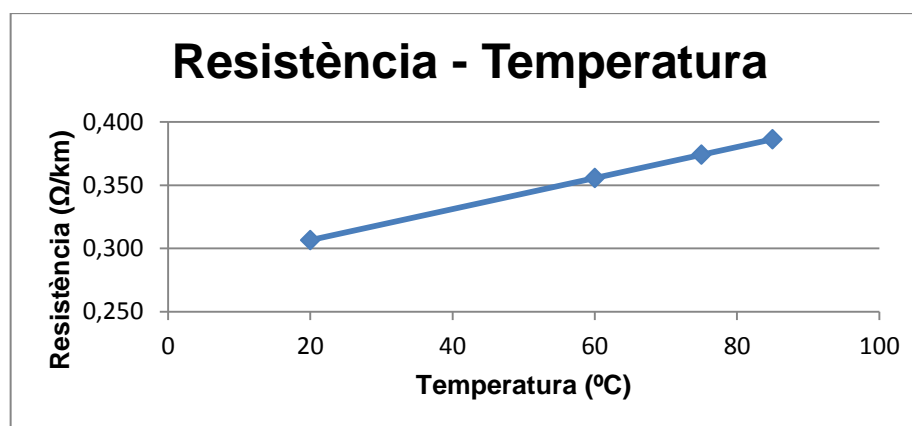


Figura 4. Evolució de la resistència en funció de la temperatura

4.2 Reactància

Tot conductor es troba sota l'efecte de dos fluxos de diferent naturalesa. Per una banda, el flux que s'indueix en el propi conductor degut al pas de la corrent, afectant tant a l'interior del conductor com a la part exterior. Per altra banda, la suma dels fluxos originats per altres conductors propers. Aquests fluxos creen unes forces electromotrius (fem) autoinduides que originen una reactància X , definida per l'Equació 2.

$$X=2\pi fL$$

(Eq. 2)

On

$$L = \left(\frac{1}{2n} + 4,605 \log \frac{DMG}{RMG'} \right) 10^{-4} \quad (\text{Eq. 3})$$

f: Freqüència (50Hz)

L: Coeficient de inducció mútua

DMG i RMG': corresponen a la distància mitja geomètrica entre conductors i el radi equivalent del feix de subconductors respectivament. Aquests paràmetres depenen del tipus de creueta que s'utilitzi. A la Figura 5 s'indiquen les dimensions de les creuetes.

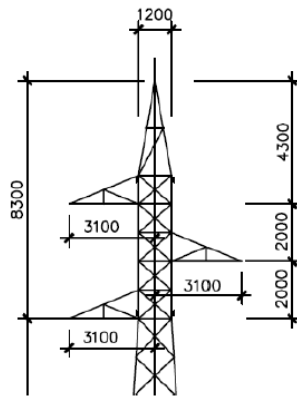


Figura 5. Creueta dels suports

Aplicant les fórmules corresponents s'obtenen els resultats especificats a la Taula 13.

DMG (mm)	5537,051
RMG' (mm)	5,452
L (H/km)	0,00143
X (Ω/km)	0,451
X (Ω)	5,634

Taula 13. Reactància de la línia

4.2 Susceptància

La diferència de potencial entre els conductors que formen la línia, dóna lloc a la capacitat. Es pot definir la capacitat com la càrrega per unitat de diferència de potencial. El valor

d'aquest paràmetre depèn tant de les propietats del conductor com de la geometria de la creueta i queda definit per l'Equació 4.

$$B=2\pi fC \quad (\text{Eq. 4})$$

On

$$C = \frac{24,2}{\log \frac{DMG}{RMG}} 10^{-9} \quad (\text{Eq. 5})$$

RMG: Radi del feix de subconductors

DMG: Distància mitja geomètrica entre conductors (mm)

Aplicant les fórmules corresponents s'obtenen els resultats especificats a la Taula 14.

C (F/km)	8,350E-09
B (S/km)	2,623E-06
B(S)	3,279E-05

Taula 14. Susceptància de la línia

4.3 Conductància

La conductància representa la facilitat d'un conductor al pas de la corrent. Aquest paràmetre depèn de múltiples factors com la tensió, la temperatura, el tipus d'aïllador utilitzat i el número d'aïlladors per km.

Degut a que tant les pèrdues per efecte corona com les pèrdues en els aïlladors, considerant la longitud de la línia, es poden considerar menyspreables, es considera que el valor de la conductància és zero.

4.4 Model equivalent de la línia

Amb l'objectiu de representar el comportament d'una línia, s'utilitzen tres models en funció de les característiques de la línia: el model en sèrie, el model en π i el model de paràmetres distribuïts.

El model en sèrie és el més senzill i es adequat per a línies curtes, amb una longitud màxima de 100km. El model en π és recomanat per a línies de longitud mitja, entre 100 i 300km. El model de paràmetres distribuïts és el més complexa dels tres models i està recomanat per a línies llargues, de més de 300km.

Per tant, aquesta línia es pot representar mitjançant el model en sèrie ja que la seva longitud, 12km, és menor que la longitud màxima recomanada per a la utilització d'aquest model.

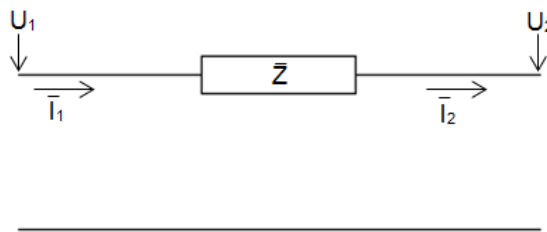


Figura 6. Representació del model de la línia en sèrie

El valor de Z l'obtenim del valor de la resistència i reactància de la línia, i és de $(0.374+j0.451) \Omega/\text{km}$.

4.5 Caiguda de tensió

Utilitzant el model equivalent en sèrie descrit a l'apartat anterior, es calcula la caiguda de tensió que es produeix a la línia.

$$\Delta U = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_2|} 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

$$I_1=I_2=\left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3}\cdot U_N}\right)^* \quad (\text{Eq. 7})$$

On:

U_2 : Tensió composta

U_N : Tensió composta

S: Potència aparent de la línia

La línia té una caiguda de tensió del 3,19%.

4.6 Capacitat de transport

La potència màxima que pot ser transportada ve donada per la intensitat màxima, que està limitada pel conductor empleat i per la caiguda de tensió.

La caiguda de tensió de la línia és menor al 5% que marca el reglament, per tant, no suposarà una limitació.

La intensitat màxima del conductor serà l'únic factor que limiti la potència màxima que pot transportar la línia.

$$P_{\max}=mn\sqrt{3}U_{\max}\cos\varphi \quad (\text{Eq. 8})$$

On

m: número de circuits (1)

n: número de conductors per fase (1)

I_{\max} : intensitat màxima admesa pel conductor (318,04 A)

U: tensió nominal composta (66kV)

$\cos\varphi$: factor de potència (0,9)

La potència màxima que es pot transportar és de 32,721MW.

4.7 Efecte corona

L'efecte corona és un fenomen que es produeix quan els conductors d'una línia elèctrica assolixen un potencial amb un valor superior o igual a la rigidesa dielèctrica de l'aire. En aquesta situació, l'aire actua com a conductor i es produeixen corrents de fuga, donant lloc a pèrdues de potència.

L'apartat 4.3 de la ITC-07 del RLEAT ens marca la necessitat de comprovació del component dels conductors a l'efecte corona en les línies de tensió nominal superior a 66kV.

Per tant, al ser una línia de 66kV podem menysprear les pèrdues per efecte corona.

4.8 Pèrdues de potència totals

Generalment, les pèrdues de potència totals en una línia són la suma de les pèrdues produïdes per l'efecte Joule i les pèrdues causades per l'efecte corona. En l'apartat anterior ha quedat demostrada l'absència d'efecte corona per la qual cosa no es produiran pèrdues associades a aquest efecte.

Les pèrdues degudes a l'efecte Joule depenen de la intensitat de corrent i es calculen mitjançant la següent expressió:

$$P_J = 3I^2R \quad (\text{Eq. 9})$$

On:

R: resistència de la línia

I: Intensitat de la línia

Les pèrdues de la línia són de 1,46W.

5. CÀLCULS MECÀNICS

La cota mínima per on passa la línia a instal·lar és de 680m i la màxima de 950, aproximadament. Per tant, segons l'apartat 3.1 de la ITC-07 del RLEAT la línia es troba en zona B.

Segons l'apartat 3.1 de la ITC-07 del RLEAT, pel càlcul mecànic dels elements constituents de la línia, s'han de considerar les càrregues i sobrecàrregues següents: càrregues permanents, forces del vent sobre els components de les línies aèries i sobrecàrregues motivades pel gel.

5.1 Càlcul mecànic dels conductors

5.1.1 Tracció màxima

Segons l'apartat 3.2.1 de la ITC-07 del RLEAT, la tracció màxima dels conductors i cables de terra no ha de ser superior a la seva càrrega de trencament mínima dividida per 2.5 i es consideren sotmesos a diferents hipòtesis depenent de la zona on es troba la línia.

Conductor	Càrrega de ruptura (daN)	Coefficient de seguretat C_s	Tracció màxima (daN)
LA 110	4310	2,5	1724
Ac-50	6,17	2,5	2,47

Taula 15. Tracció màxima dels conductors

En aquest cas, la línia està en zona B, per tant, segons la taula 4 del mateix apartat del RLEAT, s'han de considerar les sobrecàrregues per vent i per gel. Les condicions a tenir en compte són les especificades a la Taula 16.

Hipòtesi	Temperatura (°C)	Sobrecàrrega
Tracció màxima vent	-10	Vent a 120km/h
Tracció màxima gel	-15	Maneguet de gel de $0,18\sqrt{d}$

Taula 16. Condicions de les hipòtesis

Pel càlcul de sobrecàrrega per vent, segons l'apartat 3.1.2 de la ITC-07 del RLEAT, es considera la pressió del vent sobre el conductor en funció del diàmetre d'aquest i de la velocitat del vent.

$$F_c = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{Eq. 10})$$

On

d: diàmetre del conductor

a_1 i a_2 són longituds de les obertures de regulació adjacents.

$$q = 60 \cdot \left(\frac{V_v}{120} \right)^2 \quad (\text{Eq. 11})$$

V_v : velocitat del vent (120km/h)

A més, també s'ha de tenir en compte el pes propi del conductor.

$$p_{\text{vent}} = \sqrt{P_p^2 + P_v^2} \quad (\text{Eq. 12})$$

Per tant, tenint en compte els diferents diàmetres dels conductors i les diferents obertures dels cantons, obtenim aquests valors de pes propi en sobrecàrrega de vent i pressió del vent sobre els conductors.

Conductor	P_p (daN/m)	P_v (daN/m)	P_{vent} (daN/m)
LA 110	0,425	0,48	0,941
AC-50	0,39	0,54	0,666

Taula 17. Pes propi amb sobrecàrrega de vent

La força del vent sobre el conductor a cada cantó queden expressades a les Taules 18 i 19.

	Conductor	F_c (daN)
C1	LA110	94,50
	AC-50	60,75
C2	LA110	218,77
	AC-50	140,64
C3	LA110	189,00
	AC-50	121,50
	AC-50	132,30

Taula 18. Força del vent sobre els conductors

	Conductor	Fc (daN)
C4	LA110	205,80
	AC-50	132,30
C5	LA110	179,83
	AC-50	115,60
C6	LA110	189,00
	AC-50	121,50
C7	LA110	179,83
	AC-50	115,60
C8	LA110	205,80
	AC-50	132,30
C9	LA110	189,00
	AC-50	121,50
C10	LA110	205,80
	AC-50	132,30
C11	LA110	195,89
	AC-50	125,93
C12	LA110	193,51
	AC-50	124,40
C13	LA110	195,89
	AC-50	125,93
C14	LA110	193,51
	AC-50	124,40
C15	LA110	291,42
	AC-50	187,34
C16	LA110	283,50
	AC-50	182,25
C17	LA110	211,08
	AC-50	135,69
C18	LA110	189,00
	AC-50	121,50
C19	LA110	205,80
	AC-50	132,30
C20	LA110	179,71
	AC-50	115,53
C21	LA110	94,50
	AC-50	60,75

Taula 19. Força del vent sobre els conductors

Pel càlcul de sobrecàrrega per gel, segons l'apartat 3.1.3 de la ITC-07 del RLEAT, en zona B s'ha de considerar la sobrecàrrega d'un maneguet de gel sobre el conductor i cable de terra de valor que depèn del diàmetre del conductor.

$$P_h = 0,18 \cdot \sqrt{d} \quad (\text{Eq. 13})$$

Pel conductor LA 110 el seu valor és de 0.673 daN/m i pel conductor de terra és de 0,54 daN/m.

De la mateixa manera que per sobrecàrrega de vent, és necessari tenir en compte el pes del propi conductor.

$$P_{\text{gel}} = P_p + P_h \quad (\text{Eq. 14})$$

Per tant, tenint en compte els diferents diàmetres dels conductors, obtenim aquests valors de pes propi en sobrecàrrega de gel.

Conductor	P _p (daN/m)	P _h (daN/m)	P _{gel} (daN/m)
LA 110	0,425	0,673	1,098
AC-50	0,39	0,54	0,93

Taula 20. Pes propi amb sobrecàrrega de gel

5.1.2 Hipòtesi CHS

La hipòtesi de càrrega CHS té en compte el fenomen de vibració del conductor en condicions de tensió més elevada (a -5°C en zona B) sense sobrecàrrega de tal manera que la tensió del cable no superi mai un 20% de la càrrega de ruptura en aquestes condicions

Cantó	Θ ₂ (°C)	m ₂	K	A	B	t ₂	T ₂	
1	-5	1	1,03	2,46	291,67	5,91	686,23	16%
2	-5	1	-2,33	-0,90	225,50	6,40	744,02	17%
3	-5	1	1,88	3,30	312,80	5,85	679,40	16%
4	-5	1	-2,31	-0,89	225,50	6,40	743,34	17%
5	-5	1	-2,15	-0,72	225,50	6,34	736,35	17%

Taula 21. Valors de CHS per a cada cantó

Cantó	Θ_2 (°C)	m_2	K	A	B	t_2	T_2	
6	-5	1	-4,14	-2,72	183,85	6,75	784,56	18%
7	-5	1	-2,04	-0,62	225,50	6,30	732,07	17%
8	-5	1	-2,26	-0,83	225,50	6,38	741,09	17%
9	-5	1	1,93	3,35	312,80	5,84	678,11	16%
10	-5	1	-2,21	-0,78	225,50	6,36	739,01	17%
11	-5	1	-2,09	-0,67	225,50	6,32	734,05	17%
12	-5	1	-0,65	0,77	259,57	6,13	712,44	17%
13	-5	1	-0,93	0,50	247,55	6,12	710,88	16%
14	-5	1	-2,14	-0,72	225,50	6,34	736,28	17%
15	-5	1	-2,26	-0,83	225,50	6,38	740,99	17%
16	-5	1	3,25	4,67	251,40	5,08	590,12	14%
17	-5	1	-2,04	-0,62	225,50	6,30	732,00	17%
18	-5	1	1,95	3,37	312,81	5,83	677,42	16%
19	-5	1	-1,84	-0,42	225,50	6,23	723,87	17%
20	-5	1	-2,05	-0,62	225,50	6,30	732,31	17%
21	-5	1	-4,24	-2,82	183,34	6,79	789,14	18%

Taula 22. Valors de CHS per a cada cantó

Podem comprovar que en cap cas es supera el 20% de la càrrega de ruptura.

5.1.3 Hipòtesis EDS

La hipòtesi de càrrega EDS té en compte el fenomen vibratori del conductor en condicions de temperatura normal (15°C per a totes les zones) sense sobrecàrrega.

Es recomana que la tracció a temperatura de 15°C sigui inferior al 15% de la càrrega de trencament. Si es troba entre el 15% i el 22% és recomanable posar amortidors.

Cantó	Θ_2 (°C)	m_2	K	A	B	t_2	T_2	
1	15	1	1,03	5,31	291,67	5,26	610,67	14,17%
2	15	1	-2,33	1,95	225,50	5,50	639,39	14,83%
3	15	1	1,88	6,15	312,80	5,24	608,91	14,13%
4	15	1	-2,31	1,96	225,50	5,50	638,88	14,82%
5	15	1	-2,15	2,13	225,50	5,45	633,76	14,70%
6	15	1	-4,14	0,13	183,85	5,64	655,77	15,22%
7	15	1	-2,04	2,23	225,50	5,43	630,62	14,63%
8	15	1	-2,26	2,01	225,50	5,48	637,24	14,79%
9	15	1	1,93	6,20	312,80	5,23	607,91	14,10%
10	15	1	-2,21	2,06	225,50	5,47	635,71	14,75%

Taula 23. Valors de EDS per a cada cantó

Cantó	Θ_2 (°C)	m_2	K	A	B	t_2	T_2	
11	15	1	-2,09	2,18	225,50	5,44	632,07	14,67%
12	15	1	-0,65	3,62	259,57	5,37	624,24	14,48%
13	15	1	-0,93	3,34	247,55	5,34	620,41	14,39%
14	15	1	-2,14	2,13	225,50	5,45	633,71	14,70%
15	15	1	-2,26	2,02	225,50	5,48	637,17	14,78%
16	15	1	3,25	7,52	251,40	4,56	530,11	12,30%
17	15	1	-2,04	2,23	225,50	5,43	630,57	14,63%
18	15	1	1,95	6,22	312,81	5,23	607,38	14,09%
19	15	1	-1,84	2,43	225,50	5,38	624,61	14,49%
20	15	1	-2,05	2,22	225,50	5,43	630,80	14,64%
21	15	1	-4,24	0,03	183,34	5,67	658,89	15,29%

Taula 24. Valors de EDS per a cada cantó

S'hauran de posar amortidors en els suports dels cantons 6 i 21.

5.1.4 Fletxa màxima del conductor i cable de terra

Segons l'apartat 3.2.3 de la ITC-07 del RLEAT, s'ha de considerar tres hipòtesis pel càlcul de la fletxa màxima dels conductors. Les tres hipòtesis són de vent, de gel i de temperatura.

Pel càlcul de la hipòtesis de vent, es té en compte el mateix pes que s'ha utilitzat per la hipòtesis de vent pel càlcul de la tracció màxima. En aquest cas però, la temperatura s'ha de considerar de 15°C.

De la mateixa manera que per la hipòtesis de vent, es té en compte el mateix pes que s'ha considerat en la hipòtesis de gel de la tracció màxima. En aquest cas però, la temperatura s'ha de considerar de 0°C.

En la hipòtesis de temperatura es té en compte el pes propi del conductor, sense l'acció d'altres sobrecàrregues. A més, es considera que els conductors es troben a la temperatura màxima previsible de la zona. Segons l'apartat 3.2.3 de la ITC-07 del RLEAT, s'ha de considerar com a mínim una temperatura màxima de 50°C.

Es poden veure els resultats a l'annex dels càlculs mecànics.

5.1.5. Taules de regulació

Les taules de regulació indiquen les fletxes amb les que ha de ser instal·lat el cable en funció de la temperatura i sense actuar cap tipus de sobrecàrrega.

La component horitzontal de la tensió de cada cantó es calcularà mitjançant l'equació de canvi de condicions mencionada a l'annex B.

Es poden veure els resultats a les taules de l'annex de càlculs mecànics.

5.2 Càlcul mecànic dels suports

Els càlculs mecànics dels suports s'han fet a partir del programa Imedexsa. Els documents proporcionats pel programa es poden trobar a l'arrel del CD de l'annex D.

6. DISTÀNCIES MÍNIMES, ENCREUAMENTS I PARAL·LELISMES

En les línies aèries és necessari distingir entre distàncies internes i externes.

Les distàncies internes són donades únicament per dissenyar una línia amb una acceptable capacitat de resistir les sobretensions.

Les distàncies externes són utilitzades per determinar les distàncies de seguretat entre els conductors en tensió i els objectes a sota o a les proximitats de la línia.

L'objectiu de les distàncies externes és evitar el dany de les descàrregues elèctriques al públic en general, a les persones que treballen pels voltants de la línia elèctrica i a les persones que treballen en el seu manteniment.

A l'apartat 5.2 de la ITC-07 del RLEAT es consideren tres tipus de distàncies elèctriques.

D_{ei} : distància d'aïllament en l'aire mínima especificada per prevenir una descàrrega disruptiva entre conductors de fase i objectes a potencial de terra en sobretensions de front lent o ràpid.

D_{pp} : Distància d'aïllament en l'aire mínima especificada, per prevenir una descàrrega disruptiva entre conductors de fase durant sobretensions en front lent o ràpid.

a_{som} : valor mínim de la distància de descàrrega de la cadena d'aïlladors, definida com la distància més curta en línia recta entre les parts en tensió i les parts posades a terra.

A més, a la distància D_{ei} se l'hi ha d'afegir una distància d'aïllament addicional D_{add} , perquè en les distàncies mínimes de seguretat a terra, a línies elèctriques, a zones d'arbrat, etc. s'asseguri que les persones o els objectes no s'acostin a una distància inferior D_{ei} de la línia elèctrica.

Segons el mateix apartat de la ITC i la tensió més elevada de la xarxa obtenim les distàncies especificades a la taula següent.

Tensió més elevada de la xarxa U_s (kV)	D_{el} (m)	D_{pp} (m)
72,5	0,70	0,80

Taula 25. Distàncies d'aïllament elèctric per evitar descàrregues

6.1 Distància entre els conductors

Segons l'apartat 5.4.1 de la ITC-07 del RLEAT, la distància entre els conductors de fase del mateix circuit o circuits diferents ha de ser tal que no hi hagi cap risc de curtcircuit entre fases, tenint present els efectes de les oscil·lacions dels conductors degudes al vent i al despreniment de la neu acumulada sobre aquests.

La distància mínima entre conductors de fase s'ha de determinar segons l'Equació 15.

$$D = K\sqrt{F+L} + K'D_{pp} \quad (\text{Eq. 15})$$

On:

D: separació entre conductors de fase del mateix circuit en metres.

K= coeficient que depèn de l'oscil·lació dels conductors amb el vent.

K': coeficient que depèn de la tensió nominal de la línia (0,75 per a línies no especials).

L: longitud de la cadena d'aïlladors (0 per suports de suspensió i 0,876 per suports d'amarratge/ancoratge)

F: fletxa màxima en metres

L'angle d'oscil·lació és superior a 65°, per tant, el valor de K és de 0,7.

Suport	Fletxa va anterior (m)	Fletxa va posterior (m)	L (m)	Distància mínima (m)
1	0	17,39	0	3,69
2	17,39	17,39	0,876	3,77
3	17,39	17,39	0,876	3,77
4	17,39	17,39	0,876	3,77
5	17,39	13,44	0	3,69

Taula 26. Distància entre conductors

Distàncies entre els suports 6 i 47:

Suport	Fletxa va anterior (m)	Fletxa va posterior (m)	L (m)	Distància mínima (m)
6	13,44	13,44	0,876	3,40
7	13,44	18,54	0	3,79
8	18,54	18,54	0,876	3,86
9	18,54	13,44	0	3,79
10	13,44	13,44	0,876	3,40
11	13,44	13,53	0	3,32
12	13,53	13,53	0,876	3,41
13	13,53	13,53	0,876	3,41
14	13,53	11,09	0	3,32
15	11,09	11,09	0,876	3,15
16	11,09	13,58	0	3,32
17	13,58	13,58	0,876	3,41
18	13,58	13,47	0	3,32
19	13,47	13,47	0,876	3,40
20	13,47	18,56	0	3,79
21	18,56	18,56	0,876	3,87
22	18,56	13,49	0	3,79
23	13,49	13,49	0,876	3,40
24	13,49	13,49	0,876	3,40
25	13,49	13,55	0	3,32
26	13,55	13,55	0,876	3,41
27	13,55	15,45	0	3,51
28	15,45	15,45	0,876	3,59
29	15,45	14,89	0	3,51
30	14,89	14,89	0,876	3,54
31	14,89	13,53	0	3,45
32	13,53	13,53	0,876	3,41
33	13,53	13,53	0,876	3,41
34	13,53	13,53	0,876	3,41
35	13,53	13,47	0	3,32
36	13,47	13,47	0,876	3,40
37	13,47	17,04	0	3,66
38	17,04	17,04	0,876	3,73
39	17,04	17,04	0,876	3,73
40	17,04	17,04	0,876	3,73
41	17,04	17,04	0,876	3,73
42	17,04	13,58	0	3,66
43	13,58	13,58	0,876	3,41
44	13,58	18,57	0	3,79
45	18,57	18,57	0,876	3,87
46	18,57	13,67	0	3,79
47	13,67	13,67	0,876	3,42

Taula 27. Distància entre conductors

Distàncies entre els suports 48 i 53:

Support	Fletxa va anterior (m)	Fletxa va posterior (m)	L (m)	Distància mínima (m)
48	13,67	13,57	0	3,33
49	13,57	13,57	0,876	3,41
50	13,57	13,57	0,876	3,41
51	13,57	11,03	0	3,32
52	11,03	11,03	0,876	3,15
53	11,03	0	0	3,05

Taula 28. Distància entre conductors

6.2 Distància dels conductors al terreny

Segons l'apartat 5.5 de la ITC-07 del RLEAT, l'altura dels suports ha de ser la necessària perquè els conductors, amb la seva fletxa màxima vertical segons les hipòtesis de temperatura i de gel, quedin situats per damunt de qualsevol punt del terreny o superfície d'aigua no navegable, a una altura mínima que ve definida per l'Equació 16 amb un mínim de 6 metres.

$$D_{add} + D_{el} = 5.3 + D_{el} \quad (\text{Eq. 16})$$

En aquest cas, D_{el} té un valor de 0.7 metres, per tant, la distància mínima al terreny resultant és de 6 metres.

Als plànols de perfil es pot comprovar com es compleix amb la distància mínima en tots els vans.

6.3 Distàncies a carreteres

Segons l'apartat 5.7.1 de la ITC-07 del RLEAT, la distància mínima dels conductors sobre la rasant de la carretera és la definida a l'Equació 17 amb un mínim de 7 metres.

$$D_{add} + D_{el} \quad (\text{Eq. 17})$$

En línies que no són de categoria especial D_{add} pren un valor de 6.3 metres, per tant, la distància mínima resultant entre conductors i la carretera és de 7 metres.

Segons el mateix apartat de la ITC, els suports s'han d'instal·lar a una distància mínima de 100 metres des de l'aresta exterior de l'esplanació en el cas d'autopistes, autovies i vies ràpides; i una distància de 50 metres en la resta de les vies.

En aquest cas la carretera no és ni autovia, autopista ni via ràpida, per tant els suports s'instal·laran a una distància de 50 metres.

Support anterior	Support posterior	Distància vertical (m)
4	5	8,47
17	18	7,12
40	41	7,95

Taula 29. Distàncies dels conductors a la carretera

6.4 Distàncies a boscos, arbres i masses d'arbrat

Segons l'apartat 5.12.1 de la ITC-07 del RLEAT, per evitar les interrupcions del servei i els possibles incendis produïts pel contacte de branques o troncs d'arbres amb els conductors d'una línia elèctrica aèria, s'ha d'establir una zona de protecció de la línia incrementada per la següent distància de seguretat amb un mínim de 2 metres.

$$D_{add} + D_{el} = 1.5 + D_{el} \quad (\text{Eq. 18})$$

En aquest cas, la distància mínima que s'ha de respectar és de 2.2 metres. Considerem una altura màxima dels arbres de 5 metres, per tant, l'altura mínima del conductor ha de ser de 7.2 metres.

Es pot comprovar el compliment de la distància als plànols de perfil de la línia.

7. FONAMENTACIONS

Les fonamentacions utilitzades en aquesta línia seran monobloc o fraccionades, depenent del tipus de terreny, totes dues de formigó.

L'apartat 3.6.1 de la ITC-07 del RLEAT marca que aquest tipus de fonamentacions han de tenir un coeficient de seguretat a la bolcada d'1.5 per a hipòtesis normals. Aquest coeficient de seguretat és la relació entre el moment estabilitzador mínim respecte a l'aresta més carregada de la fonamentació i el moment bolcador màxim motivat per les forces externes.

Les fonamentacions fraccionades estaran constituïdes per quatre massissos de formigó en massa, de forma prismàtica amb base quadrada.

Les fonamentacions monobloc estan formades per un massís prismàtic de secció quadrada de formigó.

Aquestes fonamentacions tindran les dimensions necessàries per suportar les càrregues tant de compressió com d'arrancada que el suport transmet al terra.

Tal i com s'indica a l'apartat 3.6 de la ITC-07 del RLEAT, s'han de realitzar comprovacions a l'arrancada, a compressió i l'adherència entre ancoratge i fonamentació.

8. POSADA A TERRA DELS SUPORTS

La posada a terra dels suports es realitzarà tenint en compte el que s'especifica a l'apartat 7 de la ITC-07 del RLEAT, considerant que la línia disposa d'un sistema de desconexió automàtica, amb un temps de desacoblament inferior a 1 segon.

8.1 Classificació dels suports segons la seva ubicació

Per tal d'identificar els suports en els que s'han d'assegurar els valors admissibles de les tensions de contacte i , segons l'apartat 7.3.4.2 de la ITC-07, s'han classificat els suports segons la seva ubicació.

Els suports freqüentats estan situats en llocs d'accés públic i on la presència de persones alienes a la instal·lació elèctrica és freqüent: on s'espera que les persones es quedin durant un temps relativament llarg, algunes hores al dia durant varies setmanes, o per un temps curt però moltes vegades al dia. No s'inclouran llocs amb ocupació ocasional com boscos.

Els suports no freqüentats estan situats en llocs que no són d'accés públic o on l'accés de persones és poc freqüent.

Segons el tipus de suport, el sistema de posada a terra ha de complir els requisits esmentats a la Taula 30.

Tipus de suport	Requisits del sistema de posada a terra
Suport freqüentat	Correcta actuació de les proteccions Complir tensions de contacte admissibles Dimensionament davant els efectes del llamp
Suport no freqüentat	Correcta actuació de les proteccions

Taula 30. Requisits del sistema de posada a terra

8.2 Elements de la posada a terra

8.2.1 Línia de terra

L'objectiu de la línia de terra és unir l'estructura metàl·lica del suports amb l'elèctrode de posada a terra enterrat. El conductor a utilitzar, ha de suportar el total del corrent de falta ja que, en cas de falta, la totalitat del corrent circularà per aquest conductor.

L'apartat 7.3.2.2 de la ITC-07 estableix que la secció mínima del conductor d'acer de la línia de terra és de 50mm^2 , essent un total de 4 conductors. Cada suport disposarà de dues línies de terra instal·lades als costats oposats del suport.

8.2.2 Elèctrode de posada a terra

En els suports no freqüentats la instal·lació constarà de 2 piques de difusió vertical de 2 metres de longitud i 14mm de diàmetre. En el cas de suports freqüentats, s'utilitzarà un anell difusor de coure nu amb una secció de 50mm^2 i 4 piques de difusió vertical de 2 metres de longitud i 14mm de diàmetre.

En tots els casos, la part visible del cable de coure fins al punt d'unió amb el suport es protegirà amb un tub de PVC rígid i, a la unió amb la pica enterrada, es col·locarà pasta aïllant per evitar humitat que malmeti per oxidació aquest unió.

8.3 Dimensionament de la posada a terra

Segons l'apartat 7.1 de la ITC-07 del RLEAT, el sistema de posada a terra ha de ser dimensionat per a que resisteixi als esforços mecànics i a la corrosió; que resisteixi, des d'un punt de vista tèrmic, al corrent de falta més elevat; per a que garanteixi la seguretat de les persones respecte a tensions que apareguin durant una falta a terra als sistemes de posada a terra i per a que protegeixi de danys a propietats i equips i garantir la fiabilitat de la línia.

8.3.1 Dimensionament respecte a la resistència tèrmica

És necessari comprovar el comportament de tots els elements que formen el sistema de posada a terra respecte a la resistència tèrmica.

Tal i com s'estableix a l'apartat 3.7.2.1 de la ITC-07, la línia de terra ha de suportar la totalitat del corrent de falta. Tot i així, en el cas de l'anell difusor, es suficient que suporti la mitat del corrent ja que, una vegada a la malla anular de coure, el corrent es dividirà entre els dos camins de pas possibles.

8.3.2 Dimensionament respecte a la seguretat de les persones

Quan es produeix una falta a terra, certes parts de la instal·lació poden posar-se en tensió suposant un risc per a les persones o animals que puguin trobar-se a la zona i estar en contacte amb la instal·lació. Per tant, l'apartat 7.3.4 de la ITC-07 del RLEAT estableix que la posada a terra ha de dimensionar-se de tal manera que eviti aquest risc. segons l'apartat 7.3.6 de la mateixa ITC, aquest criteri només és necessari en suports freqüentats.

En aquest cas, els suports freqüentats estaran aïllats de tal manera que les parts metàl·liques del suport queden fora del volum d'accessibilitat limitat per una distància horitzontal de 2 metres, utilitzant balles aïllants.

D'aquesta manera, des del punt de vista de la seguretat de les persones, el suports freqüentats podran considerar-se extints del compliment de les tensions de contacte. Tot i així, s'ha de garantir que es compleixen les tensions de pas aplicades.

8.3.3 Dimensionament respecte a protegir contra els efectes del llamp

Per a protegir propietats i equips de possibles danys i garantir la fiabilitat de la línia, es dimensionarà el sistema de posada a terra de tal manera que possibles descàrregues atmosfèriques no suposin un risc per la instal·lació.

L'apartat 7.3.5 de la ITC-07 estableix que la magnitud a considerar per a protegir l'equip contra els efectes del llamp és la impedància d'ona de l'elèctrode de terra. El valor d'aquesta impedància és pràcticament igual al valor de la resistència. De la mateixa manera que en el criteri anterior, aquesta consideració només és necessària en els suports freqüentats.

La comprovació dels criteris esmentats depèn, entre d'altres factors, de les característiques de les proteccions. Aquests no són objectes d'aquest projecte, per tant, s'assumeix que els models normalitzats utilitzats són vàlids i s'utilitzarà com a únic criteri la ubicació dels suports per a l'elecció del sistema de posada a terra.

9. RESUM DEL PRESSUPOST

El cost econòmic del disseny d'una línia d'alta tensió entre els municipis de Ripoll i Sant Quirze de Besora, el qual està detallat en el pressupost, ascendeix a sis-cents catorze mil dos-cents vint-i-dos euros amb seixanta-quatre cèntims, sense IVA.

10. CONCLUSIONS

En els apartats d'aquesta memòria s'ha exposat la finalitat i la justificació de la línia aèria de 66kV, de circuit simple, entre Ripoll i Sant Quirze de Besora.

En els annexos que acompanyen a la memòria es justifiquen i detallen càlculs que han servit de base per a la confecció del projecte, els quals compleixen amb el que estableix el vigent Reglament de Línies elèctriques d'Alta Tensió (R.D. 223/2008).

Amb les dades exposades a la memòria, i amb suport dels documents que l'acompanyen, es creu haver donat una idea clara de l'obra a realitzar.

Natàlia Arnau Vert
Graduada en Enginyeria Elèctrica

Girona, 21 de maig de 2014.

11. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest projecte consta dels següents documents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

12. BIBLIOGRAFIA

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió. Dimecres 19 de març de 2008.

(http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2008/03/19/pdfs/BOE-A-2008-5269-C.pdf, 21 de maig de 2014)

DAMPERS. Amortiguadores. (<http://www.saprem.com/2amortigua.pdf>, 19 de maig de 2014)

EDP. Especificación técnica. (<http://www.edphcenergia.es/recursosedp/doc/distribucion-luz/20130813/especificaciones-tecnicas/herrajes-para-formacion-de-cadenas-en-lineas-aereas.pdf>, 22 d'abril de 2014)

ENDESA DISTRIBUCIÓN. Proyecto de ejecución línea aérea alta tensión.

IMEDEXSA. Catálogo general.

(https://dl.dropboxusercontent.com/u/46503025/CatalogoCompleto2012_ES.pdf, 10 de maig de 2014)

INAEL. Aisladores, grapes y herrajes para líneas eléctricas.

(http://www.inael.com/pop/5b_aisladores.pdf, 19 de maig de 2014)

INMELA. Catálogo de Servicios. (http://www.inmela.com/pdf/INMELA_catalogo_2012_w.pdf, 10 de maig de 2014)

LA GRANJA. Aisladores de vidrio.

(<http://www.sgdlagranja.es/images/stories/aisladores/CatAisladores.pdf>, 22 d'abril de 2014)

MADE TORRES. Serie Arce.

(http://www.invertaresa.com/GRUPO/made/espanol/descargas/catalogos/05_serie_arce.pdf, 09 d'abril de 2014)

NEXANS. Accesorios de energia para baja, media y alta tensión.

(<http://www.nexans.es/eservice/Spain->

en/fileLibrary/Download_540203972/Spain/files/catalogo%20accesorios%202011.pdf, 10 de maig de 2014)

OSORO SÁNCHEZ, J. Línea de alta tensión simple circuito a 132kV entre las subestaciones B y M en Ciudad Real. Projecte Fi de Carrera. Ingeniería Industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad Pontificia Comillas. Maig de 2012.

POSTEMEL S.L. (http://www.postemel.es/productos/post_especifica_endesa.html, 20 d'abril de 2014)

13. GLOSSARI

AT: Alta Tensió

CHS: Cold Hour Stress

EDS: Every Day Stress

EHE: Institución Española del Hormigón Estructural.

ISO: International Organization for Standardization

ITC: Instrucció Tècnica Complementària.

LAT: Línies d'Alta Tensió

OPGW: Optical Ground Wire

PVC: Clorur de Polivinil

RLEAT: Reglament de Línies elèctriques d'Alta Tensió.

UNE: Une Norma Española.

A. IMPACTE AMBIENTAL

A.1 Medi físic

A.1.1 Sòl

Es tracta d'alteracions superficials derivades de les cimentacions de les torres de la línia elèctrica, així com el trànsit de la maquinària i dels processos erosius derivats de la creació d'accessos a les bases de les torres de la línia elèctrica, sobretot si aquesta es troba en zones de pendents pronunciades. Els efectes més importants per al substrat i la morfologia del terreny es produeixen durant la fase de construcció.

Existeixen nombroses mesures preventives i correctores que permeten minimitzar i inclús anular els previsibles impactes que poden produir en aquest sentit quan s'executi el projecte de construcció. Aquestes mesures són pràctiques habituals per part de les empreses que s'encarreguen de la seva construcció. Algunes d'aquestes són la determinació del traçat aprofitant al màxim la xarxa de camions existents en el cas de les línies, la recuperació de la vegetació afectada en el procés de l'apertura dels camins, entre d'altres.

A.1.2 Aigua

Es poden produir interrupcions accidentals per l'acumulació de materials o per avocacions dels materials de les obres. En ambdós casos es tracta d'actuacions prohibides per les empreses constructores i es redueixen a els casos accidentals.

De la mateixa manera que en el cas del sòl, les possibles afectacions tindrien lloc durant la construcció de les infraestructures, ja que es tracta d'una instal·lació industrial que per les seves característiques no produeix residus que puguin interaccionar amb la xarxa de drenatge existent.

Les especificacions mediambientals d'acord amb el sistema de gestió de residus que es realitzen de manera concreta per a cada instal·lació, així com l'estricta supervisió de les actuacions de tots els agents que intervenen a l'obra, asseguren que la conducta dels contractistes sigui responsable des del punt de vista mediambiental i així la probabilitat d'aparició d'accidents sigui la mínima.

A.1.3 Atmosfera

L'efecte més significatiu en el cas de les línies és l'aparició de soroll per l'efecte corona que es produeix en l'entorn dels conductors, tot i que no es un efecte molt significatiu.

Respecte als camps elèctric i magnètics generats per aquest tipus d'instal·lació, s'ha de destacar que es possiblement l'efecte sobre la salut més estudiat del món. La comunitat científica internacional està d'acord en que l'exposició als camps elèctrics i magnètics de freqüència industrials generats per les instal·lacions elèctriques d'alta tensió no suposa un risc per a la salut pública.

A.2 Medi biòtic

A.2.1 Vegetació

Les actuacions en las que la vegetació es veu més afectada són degudes a l'ocupació de sòl per a l'apertura d'accessos i a la construcció de les línies, ja que per això es necessari eliminar la vegetació existent.

Un altre efecte rellevant des del punt de vista mediambiental és la necessitat, en alguns casos, d'obrir un carrer de seguretat desproveïda de vegetació arbòria incompatible amb la línia elèctrica. Aquest carrer és necessari per evitar que qualsevol element estigui a una distància inferior de la de seguretat dels conductors i generi un arc elèctric, amb la consegüent falta de servei a la instal·lació i el consegüent risc d'incendi.

Existeixen mesures preventives i correctores que serveixen per a minimitzar, en fase de projecte, els impactes generats sobre la vegetació durant la fase de construcció i explotació, com poden ser l'elecció d'un emplaçament sense vegetació en el cas de la subestació, l'apertura d'accessos mitjançant medis no mecanitzats, tala selectiva de la vegetació, selecció de traçats de les línies i ubicació de les torres allunyades de les masses forestals denses, minimització de l'apertura d'accessos, entre d'altres.

A.2.2 Fauna

Les principals molèsties generades sobre tots els grups faunístics en general, son degudes a les actuacions durant l'obra, especialment pel trànsit de maquinària pesada que genera soroll i pols, per l'apertura d'accessos i eliminació de vegetació, etc.

En les línies elèctriques de distribució existeix risc d'electrocució i col·lisió per a l'avifauna. La col·lisió es produeix contra el cable de terra per ser poc visible al tenir un diàmetre menor que els conductors. Habitualment són les espècies més grans i pesades les que són més sensibles a aquest factor per a la seva poca maniobrabilitat, ja que les petites i lleugeres poden modificar el rumb del seu vol al veure el cable i evitar-lo. La poca visibilitat per la pluja o boira augmenten el risc.

Durant l'execució de projectes de noves línies s'adopten nombroses mesures preventives i correctores que eviten l'impacte que es genera sobre la fauna en general com és evitar durant el traçat de les línies travessar àrees de pas d'aus això com zones humides, senyalització del cable de terra, evitar l'entorn de zones de nidificació i d'alimentació, etc.

A.3 Medi socioeconòmic

Els efectes més significatius sobre el medi socioeconòmic són positius, ja que, aquest tipus d'instal·lacions contribueixen al desenvolupament de la regió en la que es troben, al suposar una millora en la qualitat i garantia del subministrament elèctric, el que permet un major desenvolupament de les activitats industrials. A més a més, suposen un augment de l'eficiència energètica, aspecte que s'ha de tenir en compte, ja que la construcció de noves línies pot regular fluxos a nivell supraregional o nacional, el que permet evitar pèrdues en el transport d'energia incidint de forma directa i indirecta sobre altres activitats potencialment causants d'impacte ambiental (reduint residus, abocaments, emissions de gasos contaminants o d'efecte hivernacle, etc.). aquest anàlisi és clau des del punt de vista d'una planificació energètica respectuosa amb el medi ambient.

Els efectes negatius des del punt de vista socioeconòmic es deuen a que hi ha activitats que per la seva naturalesa presenten certes incompatibilitats que, si bé no han que ser excloents, poden interactuar de manera negativa. Un exemple d'aquestes activitats poden ser les concessions mineres en general, la presència d'altres infraestructures que, per motius de seguretat, han de respectar certes distàncies (carreteres, línies de ferrocarril,

gasoductes, etc.) i altres com els aeroports que presenten servituds físiques i radiomètriques incompatibles amb les línies elèctriques.

Un altre efecte a considerar és el que es produeix sobre el patrimoni cultural, la principal afecció de l'apertura d'accessos i especialment en les cimentacions de les torres. Durant l'execució dels projectes es segueixen les recomanacions realitzades per les autoritats competents per part d'un arqueòleg autoritzat.

Des del punt de vista social les infraestructures de transformació, distribució i transport d'energia elèctrica no presenten una acceptació social com la poden tenir altres tipus d'infraestructures lineals (ferrocarrils o carreteres) ja que el benefici que aporta no es percebut pels ciutadans de manera particular.

A.4 Paisatge

L'efecte sobre el paisatge és el resultat de la intromissió d'un nou element en el medi, la magnitud de l'efecte està en funció de la qualitat i fragilitat de l'entorn, que defineixen el valor intrínsec del medi en el que es trobi. També influeix el potencial nombre d'observadors de les noves instal·lacions

Durant la fase de projecte s'estableixen mesures preventives i correctores que permeten disminuir aquests efectes, com el disseny dels corredors allunyats dels nuclis urbans i evitant les zones o enclavaments de valor paisatgístic o cultural. A la distribució de les torres s'eviten els cims, divisòries d'aigües així com l'apertura d'accessos en zones d'elevades pendent que poden suposar una gran modificació de la fisiografia del terreny, sempre que sigui possible.

B. CÀLCUL ELÈCTRIC

L'apartat 4.1 de la ITC-07 del RLEAT ens indica que s'han de fer els càlculs elèctrics de la línia posant en manifest els paràmetres elèctrics d'aquesta, les intensitats màximes, caigudes de tensió i de potència.

Les característiques necessàries per a realitzar els càlculs elèctrics queden especificades a la Taula 31.

CARACTERÍSTIQUES GENERALS	
Tensió nominal (kV)	66
Freqüència (Hz)	50
Caiguda de tensió	6%
Cosφ	0,9
Número de circuits	1
Número de conductors per fase	1
Longitud de la línia (km)	12

Taula 31. Característiques elèctriques de la línia

Els conductors que constitueix la línia de circuit simple són del tipus 94-AL1 / 22-ST1A (LA-110). Les seves característiques queden resumides a la Taula 32.

CARACTERÍSTIQUES DEL CONDUCTOR	
Material	Alumini-Acer
Secció total (mm ²)	116,2
Composició	30+7
Diàmetre total (mm)	14
Resistència elèctrica c.c. a 20°C (Ω/km)	0,3066
Densitat de corrent de l'alumini (A/mm ²)	2,988
Coefficient de dilatació lineal (°C ⁻¹)	17,9x10 ⁻⁶

Taula 32. Característiques del cable LA-110

L'apartat 4.2.1 de la ITC-07 del RLEAT ens indica que les densitats de corrent màximes en règim permanent no han de sobrepassar uns valors específics. Per una secció nominal del cable d'alumini de 95mm², la densitat de corrent és de 3,20A/mm². Per altra banda, per una secció de 125mm², la densitat de corrent disminueix a 2,90A/mm².

El nostre conductor té una secció de 116mm², per tant li correspon una densitat de corrent de 2,988A/mm².

Aquest mateix apartat també ens indica que pels cables d'alumini-acer amb composició 30+7, s'ha d'aplicar un coeficient corrector a la densitat de corrent de 0,916. El valor resultant s'ha d'aplicar per a la secció total del conductor.

Per tant, aplicant el factor de correcció de 0,916 i aplicant el valor per a tota la secció, obtenim una intensitat màxima de circulació pel cable de 318,04A.

Aquesta intensitat ens marca la potència màxima que pot transportar la línia. En el nostre cas és del valor de 32,721MW.

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{\max} \cdot \cos\varphi \quad (\text{Eq. 19})$$

On:

U_N : tensió nominal de la línia (66kV)

I_{\max} : intensitat màxima del conductor (318,04A)

$\cos\varphi$: factor de potència de la línia (0,9)

Per a trobar el valor de caiguda de tensió i de pèrdua de potència hem de calcular els valors de resistència, reactància i susceptància de la línia.

B.1 Resistència

La resistència en corrent alterna d'un conductor a la temperatura θ ve donada per l'Equació 20.

$$R_{\theta} = R'_{\theta} \cdot K \quad (\text{Eq.20})$$

On:

K: factor d'efecte pel·licular

R'_{θ} : la resistència del conductor en corrent contínua a la temperatura θ , donada per l'Equació 21

$$R'_\theta = R'_\beta [1 + \alpha_\beta (\theta - \beta)] \quad (\text{Eq. 21})$$

On:

R'_β : Resistència del conductor en corrent continua a la temperatura β (0,3066 Ω /km)

α_β : Coeficient de temperatura (0,00403 $^\circ\text{C}^{-1}$)

θ : Temperatura de servei (70 $^\circ\text{C}$)

β : Temperatura de 20 $^\circ\text{C}$

Per a trobar el factor d'efecte pel·licular s'aplica l'Equació 22.

$$x = 0,063598 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \mu}{R'_\theta \cdot l}} \quad (\text{Eq. 22})$$

On:

f : freqüència de la línia (50Hz)

μ : permeabilitat del conductor ($12,56 \cdot 10^{-7}$)

R'_θ : resistència del conductor en corrent contínua (0,374 Ω /km)

l : longitud de la línia (12km)

Aquest valor d' x és d'aproximadament 0. Mirant la taula de relacions d'efecte pel·licular, trobem que K té un valor d'1.

x	K	K'	x	K	K'	x	K	K'	x	K	K'
0.0	1.00000	1.00000	2.9	1.28644	0.86012	6.6	2.60313	0.42389	17.0	6.26817	0.16614
0.1	1.00000	1.00000	3.0	1.31809	0.84517	6.8	2.67312	0.41171	18.0	6.62129	0.15694
0.2	1.00001	1.00000	3.1	1.35102	0.82975	7.0	2.74319	0.40021	19.0	6.97446	0.14870
0.3	1.00004	0.99998	3.2	1.38504	0.81397	7.2	2.81334	0.38933	20.0	7.32767	0.14128
0.4	1.00013	0.99993	3.3	1.41999	0.79794	7.4	2.88355	0.37902	21.0	7.68091	0.13456
0.5	1.00032	0.99984	3.4	1.45570	0.78175	7.6	2.95380	0.36923	22.0	8.03418	0.12846
0.6	1.00067	0.99966	3.5	1.49202	0.76550	7.8	3.02411	0.35992	23.0	8.38748	0.12288
0.7	1.00124	0.99937	3.6	1.52879	0.74929	8.0	3.09445	0.35107	24.0	8.74079	0.11777
0.8	1.00212	0.99894	3.7	1.56587	0.73320	8.2	3.16480	0.34263	25.0	9.09412	0.11307
0.9	1.00340	0.99830	3.8	1.60314	0.71729	8.4	3.23518	0.33460	26.0	9.44748	0.10872

Figura 7. Taula de relacions d'efecte pel·licular

Per tant, obtenim una resistència en corrent altern de $0,374\Omega/\text{km}$.

B.2 Reactància

Els fluxos de corrent originat pel propi conductor com pels conductors que té al voltant, originen unes forces electromotrius autoïnduides que creen una reactància X, definida per l'Equació 23.

$$X=2\pi fL \quad (\text{Eq. 23})$$

On

f: Freqüència (50Hz)

L: Coeficient de inducció mútua, donada per l'Equació 24

$$L=\left(\frac{1}{2n}+4,605\log\frac{\text{DMG}}{\text{RMG}'}\right)10^{-4} \quad (\text{Eq. 24})$$

On DMG i RMG' corresponen a la distància mitja geomètrica entre conductors i el radi equivalent del feix de subconductors respectivament. Aquests paràmetres depenen del tipus de creueta que s'utilitzi que depenen del tipus de torre.

$$\text{RMG}'=e^{-1/4}r \quad (\text{Eq. 25})$$

$$\text{DMG}=\sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}} \quad (\text{Eq. 26})$$

On:

r: Radi del conductor (7mm)

d_{ij} : Distància entre el conductor i i el conductor j (mm) (veure Figura 8)

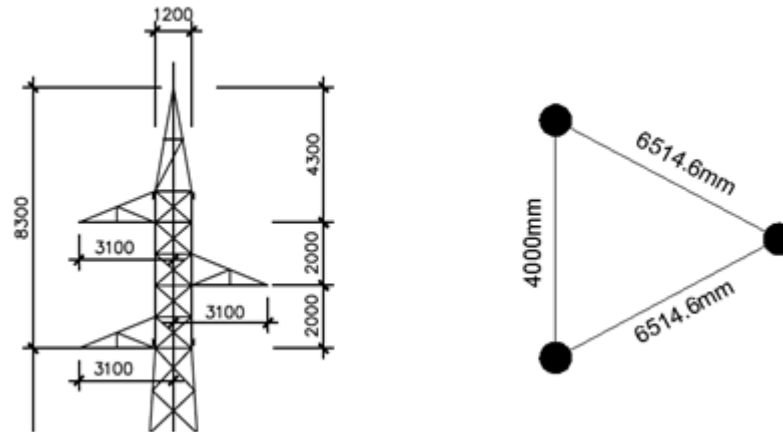


Figura 8. Dimensions de la creueta i distància entre conductors

En conclusió, els valors obtinguts pel conductor i creueta són els mostrats a la Taula 33.

X_L (Ω/km)	0,414
DMG (mm)	5537,05
RMG' (mm)	5,452
L (H/km)	0,0014

Taula 33. Valor de la reactància

B.3 Susceptància

La diferència de potencial entre els conductors que formen la línia, dóna lloc a la capacitat. El valor d'aquest paràmetre queda definit per l'Equació 27.

$$C = \frac{24,2}{\log \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}}} 10^{-9} \quad (\text{Eq. 27})$$

On

RMG: Radi del feix de subconductors (7mm)

DMG: Distància mitja geomètrica entre conductors (mm) (veure Taula 13)

La susceptància s'obté multiplicant el valor de la capacitat obtingut per la pulsació, segons l'Equació 28.

$$X_C = 2\pi fC \quad (\text{Eq. 28})$$

Els seus valors corresponents son $X_C = 2,623 \times 10^{-6} \Omega/\text{km}$ i $C = 8,35 \times 10^{-9} \text{ F}/\text{km}$.

B.4 Caiguda de tensió de la línia

Aquesta línia es pot representar mitjançant el model en sèrie ja que la seva longitud, 12km, és menor que la longitud màxima recomanada per a la utilització d'aquest model (100km). En aquest model es pot obviar l'efecte de susceptància en els conductors.

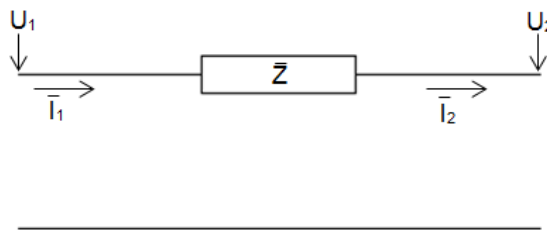


Figura 9. Representació del model de la línia en sèrie

La Z és la suma de la resistència i la reactància. El seu valor és de $(0,198 + j0,414) \Omega/\text{km}$.

Aquest esquema es pot representar en forma de matriu amb els valors de voltatge, intensitat i inductància.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & Z \cdot l \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (\text{Eq. 29})$$

On:

Z: inductància de la línia $((0,374 + j0,45) \Omega/\text{km})$

l: longitud de la línia (12km)

V_2 : tensió nominal de la línia ($66 \angle 0^\circ \text{ kV}$)

I_2 : $0,3299 \angle -25,84^\circ \text{ A}$

Al poder aplicar el model en sèrie obtenim els valors de les intensitats segons l'Equació 30.

$$I_1=I_2=\left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3}\cdot U_N}\right)^* \quad (\text{Eq. 30})$$

On:

U_N : Tensió composta (66 L 0° kV)

S : Potència aparent de la línia (32,71 L 25,84° MVA)

En aquest cas la línia presenta una caiguda de tensió del 3,19%, el valor màxim recomanat per aquest tipus d'instal·lació.

B.5 Pèrdues de potència

Generalment, les pèrdues de potència totals en una línia són la suma de les pèrdues produïdes per l'efecte Joule i les causades per l'efecte corona. Ha quedat demostrada l'absència d'efecte corona per tant, no es produiran pèrdues associades a aquest efecte.

$$P_J=3I^2R \quad (\text{Eq. 31})$$

On:

R : resistència de la línia (4,675Ω)

I : Intensitat de la línia (318,14A)

Les pèrdues totals de la línia són de 1,14MW.

C. CÀLCUL MECÀNIC

Segons l'apartat 3.1 de la ITC-07 del RLEAT, pel càlcul mecànic dels elements constituents de la línia, s'han de considerar les càrregues i sobrecàrregues següents: càrregues permanents, forces del vent sobre els components de les línies aèries i sobrecàrregues motivades pel gel. En el nostre cas només operarem sobre els conductors de línia.

C.1 Càrregues permanents

S'han de considerar les càrregues verticals degudes al pes propi del conductor.

C.2 Forces del vent sobre els components de la línia

Per a calcular la força del vent sobre els conductors, l'apartat 3.1.2.1 de la ITC-07 del RLEAT ens indica la fórmula per a fer-ho:

$$F_c = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{Eq. 32})$$

On

d: diàmetre del conductor ($14 \times 10^{-3} \text{m}$)

a_1 i a_2 són longituds de les obertures adjacents

q: pressió del vent donada per l'Equació 33 en daN/m^2

$$q = 60 \cdot \left(\frac{V_v}{120} \right)^2 \quad (\text{Eq. 33})$$

On

V_v : velocitat del vent (120km/h)

Per al suport en angle, aplicarem un coeficient de seguretat de 1,5.

C.3 Sobrecàrregues motivades pel gel

La línia està situada entre 77 i 980 metres sobre el nivell del mar, per tant, segons l'apartat 3.1.3 de la ITC-07 del RLEAT ens trobem en la Zona B. Per tant, per aquesta zona es consideren sotmesos els conductors i cables de terra a la sobrecàrrega d'un maneguet de gel de valor:

$$P_h = 0,18 \cdot \sqrt{d} \quad (\text{Eq. 34})$$

On

d: diàmetre del conductor (14mm)

C.4 Tracció màxima admissible

Segons l'apartat 3.2.1 de la ITC-07 del RLEAT, la tracció màxima dels conductors no ha de ser superior a la seva càrrega de trencament dividida per 2,5 (en el meu cas he fet servir 3 per a augmentar la seguretat) i es consideren sotmesos a la hipòtesi de sobrecàrrega de la Figura 10.

ZONA A			
Hipòtesi	Temperatura (°C)	Sobrecàrrega vent	Sobrecàrrega gel
Tracció màxima vent	-5	Segons l'apartat 3.1.2 Mínim 120 o 140 km/h segons la tensió de línia	No s'aplica
ZONA B			
Hipòtesi	Temperatura (°C)	Sobrecàrrega vent	Sobrecàrrega gel
Tracció màxima vent	-10	Segons l'apartat 3.1.2 Mínim 120 o 140 km/h segons la tensió de línia	No s'aplica
Tracció màxima de gel	-15	No s'aplica	Segons l'apartat 3.1.3
Tracció màxima gel + vent (1)	-15	Segons l'apartat 3.1.2 Mínim 60 km/h	Segons l'apartat 3.1.3.
ZONA C			
Hipòtesi	Temperatura (°C)	Sobrecàrrega vent	Sobrecàrrega gel
Tracció màxima vent	-15	Segons l'apartat 3.1.2 Mínim 120 o 140 km/h segons la tensió de línia	No s'aplica
Tracció màxima de gel	-20	No s'aplica	Segons l'apartat 3.1.3
Tracció màxima gel + vent (1)	-20	Segons l'apartat 3.1.2 Mínim 60 km/h	Segons l'apartat 3.1.3.

(1) La hipòtesi de tracció màxima de gel + vent s'aplica a les línies de categoria especial i a totes les línies en què la norma particular de l'empresa elèctrica així ho estableixi o quan el projectista consideri que la línia pot estar sotmesa a l'esmentada càrrega combinada.

Figura 10. Condicions de les hipòtesis que limiten la tracció màxima admissible

C.5 Fletxes màximes dels conductors

Segons l'apartat 3.2.3 de la ITC-07 del RLEAT s'ha de determinar la fletxa màxima dels conductors en les hipòtesis de gel, de temperatura i de vent.

C.6.1 Hipòtesi de gel

Ja que la línia té vans de diferents longituds (a_i) i el terreny està desnivellat, s'ha de calcular l'obertura de regulació (a_r) segons l'Equació 35:

$$a_r = \frac{\sum b_i^3 / a_i^2}{\sum b_i^2 / a_i} \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum b_i^2 / a_i}} \quad (\text{Eq. 35})$$

Els valors dels vans es poden veure a les Taules 34 i 35:

	Obertura	a (m)	d (m)	b (m)	ar (m)	Tm (DaN)	Tm0 (DaN)
C1	1	265	26,500	266,322	255,892	1414,555	1407,534
	2	265	25,600	266,234		1415,056	1408,499
	3	275	19,250	275,673		1418,015	1414,554
	4	196	13,630	196,473		1425,098	1421,665
C2	1	225	4,500	225,045	225,000	1428,851	1428,566
	2	225	4,500	225,045		1428,851	1428,566
C3	1	265	16,300	265,501	265,000	1420,232	1417,553
	2	265	21,200	265,847		1417,508	1412,993
C4	1	225	5,640	225,071	225,000	1428,222	1427,773
	2	225	4,500	225,045		1428,851	1428,566
C5	1	225	9,540	225,202	225,000	1426,066	1424,786
	2	225	15,750	225,551		1422,626	1419,153
	3	225	5,150	225,059		1428,492	1428,118
C6	1	225	6,750	225,101	203,162	1427,608	1426,967
	2	170	4,950	170,072		1430,901	1430,294
C7	1	225	27,000	226,614	225,000	1416,373	1406,284
	2	225	27,000	226,614		1416,373	1406,284

Taula 34. Valors dels vans de regulació i tensions

	Obertura	a (m)	d (m)	b (m)	ar (m)	Tm (DaN)	Tm0 (DaN)
C8	1	225	1,160	225,003	225,000	1430,694	1430,675
	2	225	9,000	225,180		1426,365	1425,225
C9	1	265	18,900	265,673	265,000	1418,787	1415,192
	2	265	23,850	266,071		1416,032	1410,332
C10	1	225	3,090	225,021	225,000	1429,630	1429,495
	2	225	4,500	225,045		1428,851	1428,566
	3	225	11,820	225,310		1424,804	1422,842
C11	1	225	20,250	225,909	225,000	1420,128	1414,411
	2	225	12,970	225,374		1424,167	1421,807
C12	1	225	9,000	225,180	241,402	1426,365	1425,225
	2	255	13,440	255,354		1422,374	1420,403
C13	1	255	33,150	257,146	235,744	1411,399	1399,622
	2	210	27,100	211,741		1417,015	1405,361
C14	1	225	15,750	225,551	225,000	1422,626	1419,153
	2	225	15,750	225,551		1422,626	1419,153
	3	225	17,510	225,680		1421,650	1417,364
	4	225	18,000	225,719		1421,378	1416,851
C15	1	225	9,180	225,187	225,000	1426,265	1425,079
	2	225	2,250	225,011		1430,093	1430,022
C16	1	265	10,110	265,193	237,570	1423,667	1422,632
	2	265	26,050	266,277		1414,806	1408,019
	3	225	18,260	225,740		1421,233	1416,576
	4	25	13,500	28,412		1429,168	1257,533
	5	170	10,020	170,295		1428,103	1425,628
C17	1	225	27,000	226,614	225,000	1416,373	1406,284
	2	225	27,080	226,624		1416,329	1406,181
C18	1	265	13,560	265,347	265,001	1421,754	1419,896
	2	265	23,850	266,071		1416,032	1410,332
C19	1	225	33,310	227,452	225,001	1412,854	1397,621
	2	225	38,250	228,228		1410,093	1390,148
C20	1	225	21,090	225,986	225,001	1419,662	1413,466
	2	225	13,500	225,405		1423,873	1421,317
	3	225	7,140	225,113		1427,393	1426,675
C21	1	225	0,000	225,000	202,882	1431,334	1431,334
	2	169	0,000	169,000		1433,663	1433,663

Taula 35. Valors dels vans de regulació i tensions

Llavors analitzem la hipòtesi de gel amb les següents equacions per cada obertura:

$$T_m = \frac{1}{4} \left[2T_B - pd + \sqrt{(pd - 2T_B)^2 - (2p^2b^2)} \right] \quad (\text{Eq. 36})$$

On

d: metres de desnivell per a cada suport

b: distància entre cada suport

a: distància horitzontal entre cada suport

p: pes total del conductor (veure Equació 37)

T_B : tracció màxima admissible (veure Equació 38)

$$P_{gel} = P_p + P_h \quad (\text{Eq. 37})$$

On

P_p : pes propi del conductor (0,425 daN/m)

P_h : pes del maneguet de gel (veure Equació 34)

La tracció màxima admissible del cable ve donada per la següent expressió:

$$T_B = \frac{\sigma_{ruptura}}{3} \quad (\text{Eq. 38})$$

On

$\sigma_{ruptura}$: tensió de ruptura del cable (4310 daN)

Per a calcular la tracció per la hipòtesi de gel per a cada cantó apliquem la següent equació:

$$T_1 = t_1 \cdot s \quad (\text{Eq. 39})$$

$$t_1 = \frac{T_{m0(\text{mínima})} \cdot \Gamma}{s} \quad (\text{Eq. 40})$$

On

$T_{m0(mínima)}$: mínima per cada cantó (veure Equació 41)

s: secció del conductor (116,2mm²)

Γ : factor de correcció (veure Equació 42)

$$T_{m0} = T_m \cdot a/b \quad (\text{Eq. 41})$$

$$\Gamma = \frac{\sum b_i^3/a_i^2}{\sum b_i^2/a_i} \quad (\text{Eq. 42})$$

On

a_i : distància horitzontal entre els suports d'un cantó

b_i : distància entre els suports d'un cantó

Finalment trobem la fletxa per a cada cantó (cada va del cantó):

$$f = \frac{a_r^2 \cdot p}{8 \cdot T_m} \quad (\text{Eq. 43})$$

C.2.2 Hipòtesi de vent per canvi de condicions

Un cop obtenim la tracció i la fletxa per hipòtesi de gel procedim a fer el canvi de condicions per a trobar la tracció i fletxa per hipòtesi de vent:

$$T_2 = t_2 \cdot s \quad (\text{Eq. 44})$$

$$t_2^2 (t_2 + A) = B \quad (\text{Eq. 45})$$

On

t_2 : tracció per hipòtesi de vent

A i B: veure equacions 46 i 47.

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K \quad (\text{Eq. 46})$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot \omega^2 \cdot m_2^2}{24} \quad (\text{Eq. 47})$$

$$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot \omega^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_1^2} \cdot t_1 \quad (\text{Eq. 48})$$

On

α : coeficient de dilatació del conductor ($0,0000178 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

E: mòdul d'elasticitat del conductor (8000 daN/mm^2)

θ_1 : temperatura en hipòtesi de gel ($^\circ\text{C}$)

θ_2 : temperatura en hipòtesi de vent ($^\circ\text{C}$)

ω : pes propi del conductor per unitat de superfície ($P_p/s \text{ daN/mm}^2$)

m_1 : coeficient de sobrecàrrega en hipòtesi de gel

m_2 : coeficient de sobrecàrrega en hipòtesi de vent

$$m = \frac{P_{(\text{gel o vent})}}{P_p} \quad (\text{Eq. 49})$$

$$P_{\text{vent}} = \sqrt{P_p^2 + P_v^2} \quad (\text{Eq. 50})$$

On P_v és el pes degut al vent que ve donat per l'Equació 51:

$$P_v = q \cdot \frac{\emptyset}{1000} \quad (\text{Eq. 51})$$

On

\emptyset : diàmetre del conductor (14mm)

q: veure equació 33.

Un cop obtingut el valor de tracció per hipòtesi de vent podem trobar la fletxa en aquest cas aplicant l'Equació 43 substituint T_m per T_2 .

A les taules següents es poden veure els valors de les fletxes per a cada cantó.

CANTÓ 1								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	1,03	5,31	1.432,28	9,75	1133,27	7,93
T ^a	50	1	1,03	10,29	291,67	4,45	516,93	17,39
Gel	0	2,59	1,03	3,17	1.949,83	11,52	1338,73	6,71
CANTÓ 2								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,33	1,95	1.107,34	9,74	1131,35	6,14
T ^a	50	1	-2,33	6,93	225,50	4,45	517,24	13,44
Gel	0	2,59	-2,33	-0,19	1.507,48	11,53	1339,79	5,19
CANTÓ 3								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	1,88	6,15	1.536,06	9,81	1139,92	8,46
T ^a	50	1	1,88	11,14	312,80	4,48	520,14	18,54
Gel	0	2,59	1,88	4,02	2.091,12	11,58	1345,56	7,16
CANTÓ 4								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,31	1,96	1.107,34	9,73	1130,80	6,15
T ^a	50	1	-2,31	6,95	225,50	4,45	516,94	13,44
Gel	0	2,59	-2,31	-0,17	1.507,48	11,52	1339,16	5,19
CANTÓ 5								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,15	2,13	1.107,34	9,68	1125,19	6,18
T ^a	50	1	-2,15	7,11	225,50	4,42	513,83	13,53
Gel	0	2,59	-2,15	-0,01	1.507,48	11,47	1332,73	5,21
CANTÓ 6								
	θ_2	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-4,14	0,13	902,82	9,62	1118,09	5,07
T ^a	50	1	-4,14	5,11	183,85	4,40	510,91	11,09
Gel	0	2,59	-4,14	-2,01	1.229,06	11,42	1327,48	4,27

Taula 36. Fletxes màximes pels cantons 1 al 6

Fletxes del cantó 7 al cantó 14:

CANTÓ 7								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,04	2,23	1.107,34	9,65	1121,73	6,20
T ^a	50	1	-2,04	7,21	225,50	4,41	511,92	13,58
Gel	0	2,59	-2,04	0,09	1.507,48	11,44	1328,76	5,23
CANTÓ 8								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,26	2,01	1.107,34	9,72	1129,00	6,16
T ^a	50	1	-2,26	7,00	225,50	4,44	515,94	13,47
Gel	0	2,59	-2,26	-0,12	1.507,48	11,51	1337,10	5,20
CANTÓ 9								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	1,93	6,20	1.536,06	9,80	1138,67	8,47
T ^a	50	1	1,93	11,18	312,80	4,47	519,47	18,56
Gel	0	2,59	1,93	4,06	2.091,12	11,57	1344,11	7,17
CANTÓ 10								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,21	2,06	1.107,34	9,70	1127,33	6,17
T ^a	50	1	-2,21	7,05	225,50	4,43	515,01	13,49
Gel	0	2,59	-2,21	-0,07	1.507,48	11,49	1335,18	5,21
CANTÓ 11								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,09	2,18	1.107,34	9,67	1123,33	6,19
T ^a	50	1	-2,09	7,17	225,50	4,41	512,80	13,55
Gel	0	2,59	-2,09	0,05	1.507,48	11,45	1330,60	5,22
CANTÓ 12								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-0,65	3,62	1.274,67	9,76	1134,09	7,05
T ^a	50	1	-0,65	8,61	259,57	4,46	517,97	15,45
Gel	0	2,59	-0,65	1,49	1.735,27	11,54	1341,10	5,97
CANTÓ 13								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-0,93	3,34	1.215,61	9,67	1123,19	6,79
T ^a	50	1	-0,93	8,33	247,55	4,41	512,27	14,89
Gel	0	2,59	-0,93	1,21	1.654,88	11,44	1329,19	5,74
CANTÓ 14								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,14	2,13	1.107,34	9,68	1125,13	6,18
T ^a	50	1	-2,14	7,11	225,50	4,42	513,80	13,53
Gel	0	2,59	-2,14	-0,01	1.507,48	11,47	1332,66	5,22

Taula 37. Fletxes màximes pels cantons 7 a 14

Fletxes del cantó 15 al cantó 21:

CANTÓ 15								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,26	2,02	1.107,34	9,72	1128,92	6,16
T ^a	50	1	-2,26	7,00	225,50	4,44	515,90	13,47
Gel	0	2,59	-2,26	-0,12	1.507,48	11,51	1337,01	5,20
CANTÓ 16								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	3,25	7,52	1.234,53	8,72	1013,22	7,65
T ^a	50	1	3,25	12,50	251,40	3,91	454,75	17,04
Gel	0	2,59	3,25	5,38	1.680,62	10,34	1201,45	6,45
CANTÓ 17								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,04	2,23	1.107,34	9,65	1121,68	6,20
T ^a	50	1	-2,04	7,21	225,50	4,41	511,89	13,58
Gel	0	2,59	-2,04	0,09	1.507,48	11,43	1328,70	5,23
CANTÓ 18								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	1,95	6,22	1.536,07	9,79	1138,00	8,47
T ^a	50	1	1,95	11,21	312,81	4,47	519,11	18,57
Gel	0	2,59	1,95	4,09	2.091,12	11,56	1343,34	7,18
CANTÓ 19								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-1,84	2,43	1.107,35	9,60	1115,06	6,23
T ^a	50	1	-1,84	7,41	225,50	4,37	508,25	13,67
Gel	0	2,59	-1,84	0,29	1.507,49	11,37	1321,11	5,26
CANTÓ 20								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-2,05	2,22	1.107,35	9,66	1121,93	6,19
T ^a	50	1	-2,05	7,21	225,50	4,41	512,02	13,57
Gel	0	2,59	-2,05	0,09	1.507,49	11,44	1328,99	5,23
CANTÓ 21								
	$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
Vent	15	2,22	-4,24	0,03	900,33	9,65	1120,79	5,04
T ^a	50	1	-4,24	5,02	183,34	4,41	512,47	11,03
Gel	0	2,59	-4,24	-2,10	1.225,66	11,45	1330,61	4,25

Taula 38. Fletxes màximes pels cantons 15 a 21

C.6 Taules de regulació

Les taules que ens indiquen la fletxa que s'ha de seleccionar en funció de la temperatura s'anomenen taules de regulació. Les podem veure seguidament

CANTÓ 1							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	1,03	3,17	1.432,28	10,31	1197,87	7,50
5	2,22	1,03	3,88	1.432,28	10,12	1175,44	7,65
10	2,22	1,03	4,59	1.432,28	9,93	1153,93	7,79
15	2,22	1,03	5,31	1.432,28	9,75	1133,27	7,93
20	2,22	1,03	6,02	1.432,28	9,58	1113,44	8,07
25	2,22	1,03	6,73	1.432,28	9,42	1094,38	8,21
30	2,22	1,03	7,44	1.432,28	9,26	1076,07	8,35
35	2,22	1,03	8,15	1.432,28	9,11	1058,45	8,49
40	2,22	1,03	8,87	1.432,28	8,96	1041,51	8,63
45	2,22	1,03	9,58	1.432,28	8,82	1025,20	8,77
CANTÓ 2							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,33	-0,19	1.107,34	10,41	1209,60	5,75
5	2,22	-2,33	0,52	1.107,34	10,17	1182,31	5,88
10	2,22	-2,33	1,23	1.107,34	9,95	1156,25	6,01
15	2,22	-2,33	1,95	1.107,34	9,74	1131,35	6,14
20	2,22	-2,33	2,66	1.107,34	9,53	1107,56	6,28
25	2,22	-2,33	3,37	1.107,34	9,34	1084,82	6,41
30	2,22	-2,33	4,08	1.107,34	9,15	1063,08	6,54
35	2,22	-2,33	4,79	1.107,34	8,97	1042,29	6,67
40	2,22	-2,33	5,51	1.107,34	8,80	1022,39	6,80
45	2,22	-2,33	6,22	1.107,34	8,63	1003,35	6,93
CANTÓ 3							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	1,88	4,02	1.536,06	10,34	1201,87	8,02
5	2,22	1,88	4,73	1.536,06	10,16	1180,39	8,17
10	2,22	1,88	5,44	1.536,06	9,98	1159,76	8,31
15	2,22	1,88	6,15	1.536,06	9,81	1139,92	8,46
20	2,22	1,88	6,86	1.536,06	9,65	1120,85	8,60
25	2,22	1,88	7,58	1.536,06	9,49	1102,50	8,74
30	2,22	1,88	8,29	1.536,06	9,34	1084,84	8,89
35	2,22	1,88	9,00	1.536,06	9,19	1067,84	9,03
40	2,22	1,88	9,71	1.536,06	9,05	1051,46	9,17
45	2,22	1,88	10,42	1.536,06	8,91	1035,68	9,31

Taula 39. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 1 a 3

Taula de regulació del cantó 4 al cantó 6:

CANTÓ 4							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,31	-0,17	1.107,34	10,40	1208,97	5,75
5	2,22	-2,31	0,54	1.107,34	10,17	1181,71	5,88
10	2,22	-2,31	1,25	1.107,34	9,95	1155,67	6,01
15	2,22	-2,31	1,96	1.107,34	9,73	1130,80	6,15
20	2,22	-2,31	2,67	1.107,34	9,53	1107,03	6,28
25	2,22	-2,31	3,39	1.107,34	9,33	1084,32	6,41
30	2,22	-2,31	4,10	1.107,34	9,14	1062,60	6,54
35	2,22	-2,31	4,81	1.107,34	9,19	1067,84	6,51
40	2,22	-2,31	5,52	1.107,34	8,79	1021,96	6,80
45	2,22	-2,31	6,23	1.107,34	8,63	1002,93	6,93
CANTÓ 5							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,15	-0,01	1.107,34	10,35	1202,54	5,78
5	2,22	-2,15	0,70	1.107,34	10,12	1175,57	5,91
10	2,22	-2,15	1,41	1.107,34	9,90	1149,80	6,04
15	2,22	-2,15	2,13	1.107,34	9,68	1125,19	6,18
20	2,22	-2,15	2,84	1.107,34	9,48	1101,67	6,31
25	2,22	-2,15	3,55	1.107,34	9,29	1079,19	6,44
30	2,22	-2,15	4,26	1.107,34	9,10	1057,70	6,57
35	2,22	-2,15	4,97	1.107,34	8,93	1037,14	6,70
40	2,22	-2,15	5,69	1.107,34	8,76	1017,47	6,83
45	2,22	-2,15	6,40	1.107,34	8,59	998,64	6,96
CANTÓ 6							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-4,14	-2,01	902,82	10,38	1206,43	4,70
5	2,22	-4,14	-1,29	902,82	10,12	1175,53	4,82
10	2,22	-4,14	-0,58	902,82	9,86	1146,10	4,94
15	2,22	-4,14	0,13	902,82	9,62	1118,09	5,07
20	2,22	-4,14	0,84	902,82	9,39	1091,42	5,19
25	2,22	-4,14	1,55	902,82	9,17	1066,02	5,32
30	2,22	-4,14	2,27	902,82	8,97	1041,83	5,44
35	2,22	-4,14	2,98	902,82	8,77	1018,79	5,56
40	2,22	-4,14	3,69	902,82	8,58	996,84	5,68
45	2,22	-4,14	4,40	902,82	8,40	975,91	5,81

Taula 40. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 4 a 6

Taula de regulació del cantó 7 al cantó 9:

CANTÓ 7							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,04	0,09	1.107,34	10,31	1198,57	5,80
5	2,22	-2,04	0,81	1.107,34	10,08	1171,78	5,93
10	2,22	-2,04	1,52	1.107,34	9,86	1146,18	6,06
15	2,22	-2,04	2,23	1.107,34	9,65	1121,73	6,20
20	2,22	-2,04	2,94	1.107,34	9,45	1098,37	6,33
25	2,22	-2,04	3,65	1.107,34	9,26	1076,03	6,46
30	2,22	-2,04	4,37	1.107,34	9,08	1054,68	6,59
35	2,22	-2,04	5,08	1.107,34	8,90	1034,25	6,72
40	2,22	-2,04	5,79	1.107,34	8,73	1014,70	6,85
45	2,22	-2,04	6,50	1.107,34	8,57	995,99	6,98
CANTÓ 8							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,26	-0,12	1.107,34	10,39	1206,91	5,76
5	2,22	-2,26	0,59	1.107,34	10,15	1179,74	5,89
10	2,22	-2,26	1,30	1.107,34	9,93	1153,79	6,02
15	2,22	-2,26	2,01	1.107,34	9,72	1129,00	6,16
20	2,22	-2,26	2,73	1.107,34	9,51	1105,31	6,29
25	2,22	-2,26	3,44	1.107,34	9,32	1082,67	6,42
30	2,22	-2,26	4,15	1.107,34	9,13	1061,03	6,55
35	2,22	-2,26	4,86	1.107,34	8,95	1040,33	6,68
40	2,22	-2,26	5,57	1.107,34	8,78	1020,52	6,81
45	2,22	-2,26	6,29	1.107,34	8,62	1001,55	6,94
CANTÓ 9							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	1,93	4,06	1.536,06	10,33	1200,45	8,03
5	2,22	1,93	4,77	1.536,06	10,15	1179,04	8,18
10	2,22	1,93	5,49	1.536,06	9,97	1158,45	8,32
15	2,22	1,93	6,20	1.536,06	9,80	1138,67	8,47
20	2,22	1,93	6,91	1.536,06	9,64	1119,64	8,61
25	2,22	1,93	7,62	1.536,06	9,48	1101,34	8,75
30	2,22	1,93	8,33	1.536,06	9,33	1083,72	8,90
35	2,22	1,93	9,05	1.536,06	9,18	1066,76	9,04
40	2,22	1,93	9,76	1.536,06	9,04	1050,42	9,18
45	2,22	1,93	10,47	1.536,06	8,90	1034,68	9,32

Taula 41. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 7 a 9

Taula de regulació del cantó 10 al cantó 12:

CANTÓ 10							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,21	-0,07	1.107,34	10,37	1204,99	5,77
5	2,22	-2,21	0,64	1.107,34	10,14	1177,91	5,90
10	2,22	-2,21	1,35	1.107,34	9,91	1152,04	6,03
15	2,22	-2,21	2,06	1.107,34	9,70	1127,33	6,17
20	2,22	-2,21	2,78	1.107,34	9,50	1103,71	6,30
25	2,22	-2,21	3,49	1.107,34	9,30	1081,15	6,43
30	2,22	-2,21	4,20	1.107,34	9,12	1059,57	6,56
35	2,22	-2,21	4,91	1.107,34	8,94	1038,93	6,69
40	2,22	-2,21	5,62	1.107,34	8,77	1019,18	6,82
45	2,22	-2,21	6,34	1.107,34	8,61	1000,27	6,95
CANTÓ 11							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,09	0,05	1.107,34	10,33	1200,40	5,79
5	2,22	-2,09	0,76	1.107,34	10,10	1173,53	5,92
10	2,22	-2,09	1,47	1.107,34	9,88	1147,86	6,05
15	2,22	-2,09	2,18	1.107,34	9,67	1123,33	6,19
20	2,22	-2,09	2,89	1.107,34	9,47	1099,90	6,32
25	2,22	-2,09	3,61	1.107,34	9,27	1077,49	6,45
30	2,22	-2,09	4,32	1.107,34	9,09	1056,08	6,58
35	2,22	-2,09	5,03	1.107,34	8,91	1035,59	6,71
40	2,22	-2,09	5,74	1.107,34	8,74	1015,98	6,84
45	2,22	-2,09	6,45	1.107,34	8,58	997,21	6,97
CANTÓ 12							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-0,65	1,49	1.274,67	10,37	1204,89	6,64
5	2,22	-0,65	2,20	1.274,67	10,16	1180,26	6,78
10	2,22	-0,65	2,91	1.274,67	9,95	1156,68	6,92
15	2,22	-0,65	3,62	1.274,67	9,76	1134,09	7,05
20	2,22	-0,65	4,33	1.274,67	9,57	1112,44	7,19
25	2,22	-0,65	5,05	1.274,67	9,40	1091,70	7,33
30	2,22	-0,65	5,76	1.274,67	9,22	1071,81	7,46
35	2,22	-0,65	6,47	1.274,67	9,06	1052,74	7,60
40	2,22	-0,65	7,18	1.274,67	8,90	1034,44	7,73
45	2,22	-0,65	7,89	1.274,67	8,75	1016,86	7,87

Taula 42. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 10 a 12

Taula de regulació del cantó 13 al cantó 15:

CANTÓ 13							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-0,93	1,21	1.215,61	10,28	1195,05	6,38
5	2,22	-0,93	1,92	1.215,61	10,07	1170,03	6,52
10	2,22	-0,93	2,63	1.215,61	9,86	1146,10	6,66
15	2,22	-0,93	3,34	1.215,61	9,67	1123,19	6,79
20	2,22	-0,93	4,06	1.215,61	9,48	1101,26	6,93
25	2,22	-0,93	4,77	1.215,61	9,30	1080,27	7,06
30	2,22	-0,93	5,48	1.215,61	9,12	1060,15	7,20
35	2,22	-0,93	6,19	1.215,61	8,96	1040,87	7,33
40	2,22	-0,93	6,90	1.215,61	8,80	1022,38	7,46
45	2,22	-0,93	7,62	1.215,61	8,65	1004,64	7,59
CANTÓ 14							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,14	-0,01	1.107,34	10,35	1202,47	5,78
5	2,22	-2,14	0,70	1.107,34	10,12	1175,50	5,91
10	2,22	-2,14	1,42	1.107,34	9,89	1149,74	6,04
15	2,22	-2,14	2,13	1.107,34	9,68	1125,13	6,18
20	2,22	-2,14	2,84	1.107,34	9,48	1101,62	6,31
25	2,22	-2,14	3,55	1.107,34	9,29	1079,14	6,44
30	2,22	-2,14	4,26	1.107,34	9,10	1057,65	6,57
35	2,22	-2,14	4,98	1.107,34	8,93	1037,09	6,70
40	2,22	-2,14	5,69	1.107,34	8,76	1017,42	6,83
45	2,22	-2,14	6,40	1.107,34	8,59	998,59	6,96
CANTÓ 15							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,26	-0,12	1.107,34	10,39	1206,82	5,76
5	2,22	-2,26	0,59	1.107,34	10,15	1179,66	5,89
10	2,22	-2,26	1,30	1.107,34	9,93	1153,71	6,02
15	2,22	-2,26	2,02	1.107,34	9,72	1128,92	6,16
20	2,22	-2,26	2,73	1.107,34	9,51	1105,24	6,29
25	2,22	-2,26	3,44	1.107,34	9,32	1082,60	6,42
30	2,22	-2,26	4,15	1.107,34	9,13	1060,96	6,55
35	2,22	-2,26	4,86	1.107,34	8,95	1040,26	6,68
40	2,22	-2,26	5,58	1.107,34	8,78	1020,46	6,81
45	2,22	-2,26	6,29	1.107,34	8,62	1001,50	6,94

Taula 43. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 13 a 15

Taula de regulació del cantó 16 al cantó 18:

CANTÓ 16							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	3,25	5,38	1.234,53	9,20	1069,16	7,25
5	2,22	3,25	6,09	1.234,53	9,03	1049,73	7,38
10	2,22	3,25	6,81	1.234,53	8,87	1031,10	7,51
15	2,22	3,25	7,52	1.234,53	8,72	1013,22	7,65
20	2,22	3,25	8,23	1.234,53	8,57	996,06	7,78
25	2,22	3,25	8,94	1.234,53	8,43	979,58	7,91
30	2,22	3,25	9,65	1.234,53	8,29	963,74	8,04
35	2,22	3,25	10,37	1.234,53	8,16	948,51	8,17
40	2,22	3,25	11,08	1.234,53	8,04	933,86	8,30
45	2,22	3,25	11,79	1.234,53	7,92	919,76	8,42
CANTÓ 17							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,04	0,09	1.107,34	10,31	1198,51	5,80
5	2,22	-2,04	0,81	1.107,34	10,08	1171,72	5,93
10	2,22	-2,04	1,52	1.107,34	9,86	1146,12	6,06
15	2,22	-2,04	2,23	1.107,34	9,65	1121,68	6,20
20	2,22	-2,04	2,94	1.107,34	9,45	1098,31	6,33
25	2,22	-2,04	3,65	1.107,34	9,26	1075,98	6,46
30	2,22	-2,04	4,37	1.107,34	9,08	1054,63	6,59
35	2,22	-2,04	5,08	1.107,34	8,90	1034,21	6,72
40	2,22	-2,04	5,79	1.107,34	8,73	1014,66	6,85
45	2,22	-2,04	6,50	1.107,34	8,57	995,94	6,98
CANTÓ 18							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	1,95	4,09	1.536,07	10,32	1199,70	8,04
5	2,22	1,95	4,80	1.536,07	10,14	1178,31	8,18
10	2,22	1,95	5,51	1.536,07	9,96	1157,75	8,33
15	2,22	1,95	6,22	1.536,07	9,79	1138,00	8,47
20	2,22	1,95	6,93	1.536,07	9,63	1119,00	8,62
25	2,22	1,95	7,65	1.536,07	9,47	1100,72	8,76
30	2,22	1,95	8,36	1.536,07	9,32	1083,12	8,90
35	2,22	1,95	9,07	1.536,07	9,18	1066,19	9,04
40	2,22	1,95	9,78	1.536,07	9,04	1049,87	9,18
45	2,22	1,95	10,49	1.536,07	8,90	1034,14	9,32

Taula 44. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 16 a 18

Taula de regulació del cantó 19 al cantó 21:

CANTÓ 19							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-1,84	0,29	1.107,35	10,25	1190,92	5,84
5	2,22	-1,84	1,01	1.107,35	10,02	1164,47	5,97
10	2,22	-1,84	1,72	1.107,35	9,80	1139,21	6,10
15	2,22	-1,84	2,43	1.107,35	9,60	1115,06	6,23
20	2,22	-1,84	3,14	1.107,35	9,40	1092,00	6,36
25	2,22	-1,84	3,85	1.107,35	9,21	1069,94	6,50
30	2,22	-1,84	4,57	1.107,35	9,03	1048,85	6,63
35	2,22	-1,84	5,28	1.107,35	8,85	1028,68	6,76
40	2,22	-1,84	5,99	1.107,35	8,69	1009,37	6,89
45	2,22	-1,84	6,70	1.107,35	8,53	990,88	7,01
CANTÓ 20							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-2,05	0,09	1.107,35	10,32	1198,79	5,80
5	2,22	-2,05	0,80	1.107,35	10,09	1171,99	5,93
10	2,22	-2,05	1,51	1.107,35	9,87	1146,39	6,06
15	2,22	-2,05	2,22	1.107,35	9,66	1121,93	6,19
20	2,22	-2,05	2,94	1.107,35	9,45	1098,55	6,33
25	2,22	-2,05	3,65	1.107,35	9,26	1076,21	6,46
30	2,22	-2,05	4,36	1.107,35	9,08	1054,85	6,59
35	2,22	-2,05	5,07	1.107,35	8,90	1034,41	6,72
40	2,22	-2,05	5,78	1.107,35	8,73	1014,86	6,85
45	2,22	-2,05	6,50	1.107,35	8,57	996,14	6,98
CANTÓ 21							
$\theta 2$	m2	K	A	B	t2	T2	f
0	2,22	-4,24	-2,10	900,33	10,41	1209,73	4,67
5	2,22	-4,24	-1,39	900,33	10,14	1178,62	4,79
10	2,22	-4,24	-0,68	900,33	9,89	1149,00	4,92
15	2,22	-4,24	0,03	900,33	9,65	1120,79	5,04
20	2,22	-4,24	0,74	900,33	9,41	1093,94	5,17
25	2,22	-4,24	1,46	900,33	9,19	1068,38	5,29
30	2,22	-4,24	2,17	900,33	8,98	1044,03	5,41
35	2,22	-4,24	2,88	900,33	8,79	1020,84	5,54
40	2,22	-4,24	3,59	900,33	8,60	998,75	5,66
45	2,22	-4,24	4,30	900,33	8,41	977,68	5,78

Taula 45. Fletxes en funció de la temperatura dels cantons 19 a 21

Als documents que genera el programa Imedexsa es pot comprovar que les taules de regulació que s'han calculat manualment no difereixen gaire de les taules de regulació que genera el programa. A més, el conductor de protecció sempre complirà amb les distàncies

mínimes entre conductors que marca el reglament ja que pesa menys que el conductor de transport. Això vol dir que, al pesar menys, la fletxa serà menor, per tant sempre es respectaran les distàncies. Es pot comprovar a les taules de regulació generades pel programa.

D. PROGRAMA

En el disc que adjunto a la present memòria s'hi troba el fitxer del programa Imedexsa, al qual queda definida la línia i els seus paràmetres i els informes que genera. En aquests es pot comparar els resultats obtinguts a partir dels càlculs mecànics realitzats manualment i els resultats que proporciona el programa.