

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELÈCTRICA EET

Càlcul de posades a terra en suports de línies d'alta tensió

Treball de Fi de Grau

Autor: Mario González del Pino

Director: Ricard Horta Bernús

Titulació: Grau en Enginyeria Elèctrica

Data: 22/06/2022

AGRAÏMENTS

Agraeixo al meu pare i a la meva mare per totes les oportunitats que m'han brindat, em brinden i em brindaran en la meva vida. Sense ells res seria possible, i és per mi tot un orgull que això sigui així. Mama, Papa, us ho dec tot.

Agraït amb la meva família, la meva parella i els meus amics, suport fonamental.

Agraït amb totes les persones que m'han acompanyat al llarg d'aquesta llarga travessia, sense importar si formen part de la meva vida o no, tot es queda.

Agraït amb el meu tutor del projecte, Ricard Horta, per haver-me ajudat en tot moment. Gràcies per mostrar i contagiar la passió a tots els teus alumnes.

Vull agrair-me a mi mateix. Han estat uns anys únics en la meva vida que mai oblidaré. Tot l'esforç per fi té la seva recompensa. No importen les vegades que caiguis, importen les vegades que t'aixequis.

Aquest treball us el dedico a tothom, però sobretot, a mi.

Finalment, mentre escric això entre llàgrimes, gràcies a tothom.

Mario González del Pino

Resum

Es realitza un estudi teòric sobre què són les posades a terra i com són aquestes en els suports de les línies aèries d'alta tensió, analitzant els principals aspectes normatius que afecten a les instal·lacions presents a Espanya, Estats Units d'Amèrica, Regne Unit i Mèxic. Posteriorment, es duu a terme un estudi numèric per tal de confirmar diversos aspectes vists a la part teòrica. Aquest és realitzat mitjançant els softwares NEPLAN i MATLAB. En primer lloc, es fa una petita introducció als corrents de curtcircuit. Segonament, es crea un circuit elèctric a NEPLAN simulant una xarxa real per calcular corrents de curtcircuit monofàsic a terra. En tercer lloc, s'utilitza el complement AppDesigner de MATLAB per crear una aplicació de disseny de posades a terra per cadascuna de les normatives. Finalment, a cadascuna d'aquestes quatre aplicacions s'introdueixen els valors obtinguts amb NEPLAN, a part d'altres paràmetres característics com la resistència de posada a terra, la duració del defecte o la resistivitat del terreny, entre d'altres. Aquestes aplicacions tenen la finalitat de proveir un resultat conclusiu sobre si el disseny seleccionat és correcte respecte el criteri de seguretat de les persones dels diferents països. Finalment, s'elabora una anàlisi de com afecten els diversos paràmetres, com la resistivitat del terreny o el tractament del neutre, dels quals depèn principalment la instal·lació de posada a terra, del qual s'extreuen conclusions que, de certa manera, reafirmen tot el que es veu al llarg de l'estudi.

Abstract

A theoretical study is carried out on what groundings are and how are they in the supports of high voltage overhead lines, analyzing the main regulatory aspects that affect the facilities present in Spain, United States of America, United Kingdom and Mexico. Subsequently, a numerical study is carried out in order to confirm various aspects seen in the theoretical part. This is done using NEPLAN and MATLAB software. First, a short introduction is made to short-circuit currents. Second, an electrical circuit is created in NEPLAN simulating a real network to calculate single-phase short-circuit currents to ground. Third, the MATLAB AppDesigner plugin is used to create a grounding design application for each of the regulations. Finally, in each of these four applications, the values obtained with NEPLAN are entered, in addition to other characteristic parameters such as grounding resistance, fault duration or ground resistivity, among others. These applications are intended to provide a conclusive result on whether the selected design is correct with respect to the safety criteria of people from different countries. Finally, an analysis is made of how the various parameters are affected, such as the resistivity of the ground or the treatment of the neutral, on which depends mainly the grounding installation, from which conclusions are drawn which, in a way, reaffirm everything that is seen throughout the study.

Índex

Resum.....	2
Abstract.....	2
Índex.....	3
Índex de taules.....	7
Índex de figures.....	11
Índex de fórmules.....	15
1 Introducció.....	19
1.1 Objecte.....	19
1.2 Abast.....	19
1.3 Requeriments.....	20
1.4 Justificació.....	20
2 Disseny.....	21
2.1 Introducció a les posades a terra.....	21
2.2 Normatives.....	22
2.2.1 Normativa d'Espanya.....	22
2.2.2 Normativa dels Estats Units d'Amèrica.....	23
2.2.3 Normativa del Regne Unit.....	24
2.2.4 Normativa de Mèxic.....	24
2.3 Aspectes representatius pel disseny d'una PAT segons les diferents normatives	25
2.3.1 Requeriments.....	25
2.3.1.1 Espanya.....	25
2.3.1.2 Estats Units d'Amèrica.....	26
2.3.1.3 Regne Unit.....	26
2.3.1.4 Mèxic.....	27
2.3.2 Elèctrodes de posada a terra.....	28
2.3.2.1 Espanya.....	28
2.3.2.2 Estats Units d'Amèrica.....	32
2.3.2.3 Regne Unit.....	33
2.3.2.4 Mèxic.....	34

2.3.3	Línies de terra i medis de connexió als elèctrodes.....	34
2.3.3.1	Espanya.....	34
2.3.3.2	Estats Units d'Amèrica.....	35
2.3.3.3	Regne Unit.....	36
2.3.3.4	Mèxic.....	36
2.3.4	Resistència de posada a terra.....	37
2.3.4.1	Espanya.....	37
2.3.4.2	Estats Units d'Amèrica.....	37
2.3.4.3	Regne Unit.....	39
2.3.4.4	Mèxic.....	40
2.3.5	Resistivitat del terreny.....	41
2.3.5.1	Espanya.....	41
2.3.5.2	Estats Units d'Amèrica.....	42
2.3.5.3	Regne Unit.....	42
2.3.5.4	Mèxic.....	43
2.3.6	Corrent de falta, corrent de terra i potencial de terra.....	43
2.3.6.1	Espanya.....	43
2.3.6.2	Estats Units d'Amèrica.....	46
2.3.6.3	Regne Unit.....	47
2.3.6.4	Mèxic.....	48
2.3.7	Dimensionat respecte la seguretat de les persones.....	48
2.3.7.1	Espanya.....	48
2.3.7.2	Estats Units d'Amèrica.....	53
2.3.7.3	Regne Unit.....	55
2.3.7.4	Mèxic.....	58
2.4	Anàlisi comparatiu de les normatives.....	62
2.4.1	Requeriments.....	62
2.4.2	Elèctrodes de posada a terra.....	63
2.4.3	Línies de terra i medis de connexió als elèctrodes.....	63
2.4.4	Resistència de posada a terra.....	63
2.4.5	Resistivitat del terreny.....	64

2.4.6	Corrent de falta, corrent de terra i potencial de terra.....	64
2.4.7	Dimensionat respecte la seguretat de les persones.....	64
3	Resistivitat del terreny.....	66
3.1	Concepte de resistivitat del terreny.....	66
3.2	Factors que afecten a la resistivitat del terreny.....	67
3.3	Mètodes de mesura.....	71
3.3.1	Camp elèctric generat en les proximitats d'un elèctrode.....	71
3.3.2	Mètode dels quatre punts.....	72
3.3.3	Mètode Wenner.....	74
3.4	Models de terreny.....	76
4	Estudi numèric.....	77
4.1	Càlcul de corrents de curtcircuit monofàsic amb NEPLAN.....	77
4.1.1	Tipus de corrents de curtcircuit.....	77
4.1.2	Mètodes de tractament del neutre.....	79
4.1.3	Esquema elèctric a NEPLAN.....	81
4.1.3.1	Línia elèctrica aèria de 25 kV.....	82
4.1.3.2	Línia elèctrica aèria de 132 kV.....	86
4.1.3.3	Línia elèctrica aèria de 220 kV.....	88
4.1.3.4	Transformador trifàsic de potència de 132/25 kV.....	90
4.1.3.5	Transformador trifàsic de potència de 220/25 kV.....	94
4.1.3.6	Equivalent de xarxa elèctrica de 25 kV, 132 kV i 220 kV.....	97
4.1.4	Impedàncies al neutre del transformador i resistències de posada a terra.	104
4.1.5	Condicions per al càlcul del corrent de curtcircuit monofàsic.....	115
4.1.6	Corrents de curtcircuit monofàsic obtinguts a NEPLAN.....	125
4.2	Disseny i càlcul de posades a terra amb MATLAB.....	130
4.2.1	Aplicacions dissenyades.....	131
4.2.1.1	PAT_ESP.....	132
4.2.1.2	PAT_EEUU.....	140
4.2.1.3	PAT_UK.....	145
4.2.1.4	PAT_MX.....	152
4.2.2	Càlculs i resultats.....	158

4.2.2.1 Cas A: Resistències de posada a terra diferents.....	164
4.2.2.2 Cas B: Resistències de posada iguals.....	171
5 Conclusions.....	178
Annex 1: Corrents de curtcircuit calculats a NEPLAN.....	180
Annex 2: Codis complets de les aplicacions generades a MATLAB.....	182
Codi complet PAT_ESP.....	182
Codi complet PAT_EEUU.....	207
Codi complet PAT_UK.....	225
Codi complet PAT_MX.....	250
Referències.....	273

Índex de taules

Taula 1: Dimensions mínimes dels elèctrodes de terra que assegurin resistència mecànica i a la corrosió. [5].....	29
Taula 2: Tipus d'elèctrodes i les seves dimensions segons la normativa NESC dels EEUU. [Elaboració pròpia] [13].....	33
Taula 3: Constants β i K dels materials. [5].....	35
Taula 4: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa espanyola. [3].....	37
Taula 5: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa estatunidenca. [10].....	38
Taula 6: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa anglesa. [Elaboració pròpia] [15].....	40
Taula 7: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$, en funció de la seva naturalesa, segons la normativa espanyola. [3].....	41
Taula 8: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$, en funció de la seva naturalesa, segons la normativa anglesa. [15].....	43
Taula 9: Valors admissibles de la tensió de contacte aplicada admissible U_{ca} , en V, en funció de la duració del corrent de falta t_f , en s, segons la normativa espanyola. [3].....	49
Taula 10: Valors admissibles de la tensió de contacte aplicada admissible U_{Tp} , en V, en funció de la duració del corrent de falta t_f , en s, segons la normativa anglesa. [15].....	57
Taula 11: Corrent admissible que circula a través del cos humà I_B en funció de la duració t_f del corrent de falta. [15].....	58
Taula 12: Factor de corrent del cor HF per diferents trajectòries del corrent. [19].....	61
Taula 13: Efecte de la humitat en la resistivitat del terreny. [22].....	68
Taula 14: Efecte de la sal en la resistivitat del terreny. [22].....	69
Taula 15: Utilització de les diferents opcions de tractament del neutre arreu del món. [2] 80	
Taula 16: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 25 kV. [Elaboració pròpia] [26].....	82
Taula 17: Paràmetres elèctrics del tram 1 de la línia elèctrica aèria de 25 kV. [Elaboració pròpia] [26].....	83
Taula 18: Paràmetres elèctrics del tram 2 de la línia elèctrica aèria de 25 kV.[Elaboració pròpia] [26].....	85

Taula 19: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 132 kV. [Elaboració pròpia] [27].....	87
Taula 20: Paràmetres elèctrics de la línia elèctrica aèria de 132 kV. [Elaboració pròpia] [27].....	87
Taula 21: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 220 kV. [Elaboració pròpia] [28].....	88
Taula 22: Paràmetres elèctrics de la línia elèctrica aèria de 220 kV. [Elaboració pròpia] [28].....	89
Taula 23: Característiques tècniques del transformador trifàsic de potència de 132/25 kV. [Elaboració pròpia] [29].....	91
Taula 24: Característiques tècniques de la reactància a connectar en el secundari transformador trifàsic de potència de 132/25 kV. [Elaboració pròpia] [29].....	93
Taula 25: Característiques tècniques del transformador trifàsic de potència de 220/25 kV. [Elaboració pròpia] [30].....	95
Taula 26: Sistemes de posada a terra existents en funció del nivell de tensió nominal. [31]	98
Taula 27: Característiques dels diferents tractaments del neutre. [2].....	101
Taula 28: Valors típics del ratio $R(1)/X(1)$ en funció del nivell de tensió. [36].....	101
Taula 29: Paràmetres elèctrics dels equivalents de xarxa. [Elaboració pròpia].....	102
Taula 30: Valor de Z_E a NEPLAN en funció del tractament del neutre del transformador. [Elaboració pròpia].....	106
Taula 31: Valors de impedància al neutre i de resistència de posada a terra utilitzats a l'esquema elèctric de NEPLAN en funció del tractament del neutre. [Elaboració pròpia].....	107
Taula 32: Casos possibles pel càlcul de corrent de curtcircuit monofàsic I''_{k1} amb NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	116
Taula 33: Característiques de les tres opcions d'elèctrodes seleccionades. [8] [Elaboració pròpia].....	118
Taula 34: Coeficients característics dels elèctrodes seleccionats. [8] [Elaboració pròpia]	118
Taula 35: Resistències de posada a terra R_t obtingudes per les diferents configuracions d'elèctrodes en funció de la variació de la resistivitat del terreny. [Elaboració pròpia].....	122
Taula 36: Taula per emplenar amb els corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} calculats a cada suport a NEPLAN en funció de la tensió de la línia i del tractament del neutre. [Elaboració pròpia].....	126
Taula 37: Corrents de curtcircuit monofàsic calculats a cada suport a NEPLAN en funció de la tensió de la línia i del tractament del neutre. [Elaboració pròpia].....	127

Taula 38: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia].....	128
Taula 39: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 132 kV. [Elaboració pròpia].....	129
Taula 40: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 220 kV. [Elaboració pròpia].....	130
Taula 41: Paràmetres fixes en l'execució de totes les aplicacions. [Elaboració pròpia]...159	
Taula 42: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	164
Taula 43: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	164
Taula 44: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	165
Taula 45: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	165
Taula 46: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	166
Taula 47: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	166
Taula 48: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	167
Taula 49: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	167
Taula 50: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	168
Taula 51: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	168
Taula 52: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	169
Taula 53: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	169
Taula 54: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	171
Taula 55: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	171

Taula 56: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	172
Taula 57: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	172
Taula 58: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	173
Taula 59: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	173
Taula 60: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	174
Taula 61: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	174
Taula 62: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	175
Taula 63: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	175
Taula 64: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	176
Taula 65: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	176

Índex de figures

Figura 1: Configuració de l'elèctrode de posada a terra per suports no freqüentats en cimentacions monobloc (Torres C i serie S1). [8].....	30
Figura 2: Explicació de les sigles de les diferents configuracions d'elèctrodes per suports no freqüentats. [8].....	31
Figura 3: Configuració de l'elèctrode de posada a terra per suports freqüentats amb calçat en cimentacions monobloc (Torres C i serie S1). [8].....	31
Figura 4: Explicació de les sigles de les diferents configuracions d'elèctrodes per suports freqüentats.....	32
Figura 5: Distribució dels corrents en cas de defecte a terra en un suport. [4].....	44
Figura 6: Impedàncies que intervenen en el defecte a terra de la línia. [4].....	45
Figura 7: Distribució dels corrents entre la impedància Z_E i la resistència de posada a terra R_p del suport més proper al defecte. [4].....	45
Figura 8: Circuit equivalent per al càlcul de corrents de terra i de defecte. [15].....	48
Figura 9: Relació entre els valors admissibles de la tensió de contacte aplicada i la duració del corrent de falta segons la normativa espanyola. [4].....	49
Figura 10: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa espanyola. [4].....	52
Figura 11: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte i pas segons la normativa estatunidenca. [12].....	53
Figura 12: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa anglesa. [15].....	56
Figura 13: Zones/temps/corrent convencionals dels efectes de les corrents alternes (15 Hz a 100Hz) sobre persones per una trajectòria corresponent de mà esquerra a peus. [19].....	57
Figura 14: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa mexicana. [17].....	59
Figura 15: Impedància total del cos Z_t (50%) per una trajectòria de corrent de mà a mà per superfícies de contacte en diferents condicions per un percentatge de la població del 50% amb tensions de contacte U_t de 25 V a 700 V en corrent alterna a 50/60 Hz. [19]. .	61
Figura 16: Relació entre la tensió de contacte aplicada i la duració del corrent de falta segons la normativa mexicana. [18].....	62
Figura 17: Resistència elèctrica d'un fil conductor de longitud l i secció A . [35].....	66
Figura 18: Resistència elèctrica d'un cub de 1 m de costat. [Elaboració pròpia].....	67

Figura 19: Corbes de relació entre la salinitat, la humitat i la temperatura amb la resistivitat del terreny. [34].....	68
Figura 20: Resistivitat del terreny en funció de les salts dissoltes. [21].....	69
Figura 21: Elèctrode semiesfèric enterrat, de radi a . [21].....	72
Figura 22: Esquema elèctric del mètode dels quatre punts. [Elaboració pròpia].....	73
Figura 23: Esquema de mesura de la resistivitat del terreny amb tel·luròmetre mitjançant el mètode Wenner. [20].....	74
Figura 24: Tipus de curtcircuits. [32].....	78
Figura 25: Esquema elèctric plantejat per calcular corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	81
Figura 26: Paràmetres introduïts a NEPLAN al tram 1 de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia].....	84
Figura 27: Paràmetres introduïts a NEPLAN al tram 2 de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia].....	86
Figura 28: Paràmetres introduïts a NEPLAN a la línia de 132 kV. [Elaboració pròpia].....	90
Figura 29: Paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 132/25 kV. [Elaboració pròpia].....	92
Figura 30: Paràmetres introduïts a NEPLAN del zig-zag del transformador de 132/25 kV. [Elaboració pròpia].....	94
Figura 31: Paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 220/25 kV. [Elaboració pròpia].....	96
Figura 32: Paràmetres introduïts a NEPLAN del zig-zag del transformador de 220/25 kV. [Elaboració pròpia].....	97
Figura 33: Comparació del corrent de curtcircuit I''_{k1R} amb I''_{k3} en cas de curtcircuit unipolar a terra. [32].....	99
Figura 34: Àrea dibuixada segons les condicions esmentades al gràfic de comparació del corrent de curtcircuit I''_{k1R} amb I''_{k3} en cas de curtcircuit unipolar a terra. [32].....	100
Figura 35: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 25 kV. [Elaboració pròpia].....	102
Figura 36: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 132 kV. [Elaboració pròpia].....	103
Figura 37: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 220 kV. [Elaboració pròpia].....	104
Figura 38: Impedància al neutre posat a terra Z_E i resistència de posada a terra de l'elèctrode R_i a un transformador amb connexió estrella al primari i amb el neutre posat a	

terra amb impedància. [Elaboració pròpia].....	105
Figura 39: Resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t a un transformador amb connexió estrella al primari i amb el neutre posat directe a terra. [Elaboració pròpia].....	106
Figura 40: Configuració del neutre directe a terra del primari del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	108
Figura 41: Configuració del neutre directe a terra del secundari (zig-zag) del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	109
Figura 42: Configuració del neutre directe a terra del primari del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	110
Figura 43: Configuració del neutre directe a terra del secundari (zig-zag) del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	111
Figura 44: Configuració del neutre a terra amb impedància del primari del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	112
Figura 45: Configuració del neutre a terra amb impedància del secundari (zig-zag) del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	113
Figura 46: Configuració del neutre a terra amb impedància del primari del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	114
Figura 47: Configuració del neutre a terra amb impedància del secundari (zig-zag) del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia].....	115
Figura 48: Paràmetres de curtcircuit a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	120
Figura 49: Nodes (suports) en defecte seleccionats a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	121
Figura 50: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-5+8P2. [Elaboració pròpia].....	123
Figura 51: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2. [Elaboració pròpia].....	123
Figura 52: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2. [Elaboració pròpia].....	124
Figura 53: Element 'Tierra' a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	124
Figura 54: Esquema elèctric utilitzat per calcular corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	125
Figura 55: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_ESP. [Elaboració pròpia].....	132
Figura 56: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_EEUU. [Elaboració pròpia].....	141

Figura 57: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_UK. [Elaboració pròpia].....	145
Figura 58: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_MX. [Elaboració pròpia].....	152
Figura 59: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_ESP amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia].....	160
Figura 60: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_ESP amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia].....	160
Figura 61: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_EEUU amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia].....	161
Figura 62: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_EEUU amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia].....	161
Figura 63: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_UK amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia].....	162
Figura 64: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_UK amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia].....	162
Figura 65: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_MX amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia].....	163
Figura 66: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_MX amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia].....	163
Figura 67: Resultats obtinguts de corrent de curtcircuit monofàsic per TN1 a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	180
Figura 68: Resultats obtinguts de corrent de curtcircuit monofàsic per TN2 a NEPLAN. [Elaboració pròpia].....	181

Índex de fórmules

Fórmula 1: Secció del conductor de posada a terra per al cas de les corrents de falta interrompudes en menys de 5 segons, utilitzada a la norma espanyola.....	35
Fórmula 2: Equació de Schwarz pel càlcul de la resistència de posada a terra d'una malla, utilitzada a la norma estatunidenca.....	38
Fórmula 3: Mitjana de les diferents mesures de resistivitat del terreny obtingudes amb el mètode Wenner, utilitzada a la norma estatunidenca.....	42
Fórmula 4: Resistivitat del terreny mitjana obtinguda a partir de la mesura de valor màxim i mínim obtingudes amb el mètode Wenner, utilitzada a la norma estatunidenca.....	42
Fórmula 5: Resistivitat del terreny mitjana obtinguda a partir de la mesura de valor màxim i mínim obtingudes amb el mètode Wenner, utilitzada a la norma mexicana.....	43
Fórmula 6: Corrent de falta de la línia, utilitzada a la norma espanyola.....	44
Fórmula 7: Corrent a terra durant la falta, utilitzada a la norma espanyola.....	44
Fórmula 8: Potencial de terra, utilitzada a la norma espanyola.....	45
Fórmula 9: Corrent de falta de la línia, utilitzada a la norma estatunidenca.....	46
Fórmula 10: Factor de divisió del corrent de falta, utilitzada a la norma estatunidenca....	46
Fórmula 11: Corrent màxim de la xarxa, utilitzada a la norma estatunidenca.....	46
Fórmula 12: Factor de decrement per tota la durada de la falta, utilitzada a la norma estatunidenca.....	47
Fórmula 13: Valor eficaç efectiu del corrent asimètric aproximat durant tota la durada d'una falta, utilitzada a la norma estatunidenca.....	47
Fórmula 14: Tensió de contacte màxima admissible, utilitzada a la norma espanyola.....	50
Fórmula 15: Tensió de pas màxima admissible, utilitzada a la norma espanyola.....	50
Fórmula 16: Coeficient reductor de la capa superficial, utilitzada a la norma espanyola. .	51
Fórmula 17: Tensió de pas amb la resistivitat del terreny, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54
Fórmula 18: Tensió de pas, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54
Fórmula 19: Tensió de pas per un cos de 50 Kg, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54
Fórmula 20: Tensió de pas per un cos de 75 Kg, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54
Fórmula 21: Tensió de contacte, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54
Fórmula 22: Tensió de contacte amb la resistivitat del terreny, utilitzada a la norma estatunidenca.....	54

Fórmula 23: Tensió de contacte per un cos de 50 Kg, utilitzada a la norma estatunidenca	54
Fórmula 24: Tensió de contacte per un cos de 75 Kg, utilitzada a la norma estatunidenca	54
Fórmula 25: Factor de reducció de la capa superficial, utilitzada a la norma estatunidenca	55
Fórmula 26: Tensió aplicada de malla, utilitzada a la norma estatunidenca.....	55
Fórmula 27: Tensió aplicada de pas, utilitzada a la norma estatunidenca.....	55
Fórmula 28: Tensió de contacte admissible, utilitzada a la norma anglesa.....	60
Fórmula 29: Tensió de contacte admissible considerant resistències addicionals, utilitzada a la norma anglesa.....	60
Fórmula 30: Resistència elèctrica d'un fil conductor.....	66
Fórmula 31: Potencial creat per un elèctrode semiesfèric enterrat.....	72
Fórmula 32: Camp elèctric d'una semiesfera.....	73
Fórmula 33: Camp elèctric entre els punts A - B al mètode dels quatre punts.....	73
Fórmula 34: Camp elèctric per la distància x al mètode dels quatre punts.....	73
Fórmula 35: Resistivitat del terreny al mètode dels quatre punts.....	73
Fórmula 36: Potencial elèctric al mètode dels quatre punts.....	73
Fórmula 37: Potencial elèctric entre els punts C - D al mètode dels quatre punts.....	74
Fórmula 38: Resistivitat del terreny final segons el mètode dels quatre punts.....	74
Fórmula 39: Resistivitat mitjana del terreny.....	75
Fórmula 40: Potencial creat al punt 2 del mètode Wenner.....	75
Fórmula 41: Potencial creat al punt 3 del mètode Wenner.....	75
Fórmula 42: Diferència de potencial entre els punts 3 - 4 del mètode Wenner.....	75
Fórmula 43: Resistivitat del terreny segons el mètode Wenner.....	75
Fórmula 44: Impedància de seqüència homopolar d'un transformador.....	91
Fórmula 45: Resistència de posada a terra en funció del coeficient de resistència de posada a terra de l'elèctrode i la resistivitat del terreny.....	117
Fórmula 46: Corrent de terra de la línia.....	136
Fórmula 47: Corrent que circula per l'elèctrode.....	137
Fórmula 48: Tensió de contacte en funció del corrent de curtcircuit monofàsic, la resistivitat del terreny i el coeficient de tensió de contacte de l'elèctrode.....	137

Fórmula 49: Tensió de pas en funció del corrent de curtcircuit monofàsic, la resistivitat del terreny i el coeficient de tensió de pas de l'elèctrode.....137

1 Introducció

1.1 Objecte

L'objectiu d'aquest treball de fi de grau és elaborar una anàlisi i comparativa del comportament dels diferents tipus de posades a terra en suports de línies elèctriques d'alta tensió, amb especial atenció a la resistivitat del terreny, observant també com afecten les normatives de diferents països arreu del món. Per la seva realització es farà una introducció teòrica seguida de càlculs, efectuats amb NEPLAN i amb MATLAB. La finalitat d'aquest treball és examinar els diferents comportaments de les posades a terra i establir-ne un criteri de selecció que resulti el més senzill possible.

1.2 Abast

Per fer aquest treball se segueix la pauta que s'enumera a continuació:

1. Cerca i recollida d'informació referent a les posades a terra a escala general i específicament per a suports de línies elèctriques d'alta tensió. Aquesta cerca es realitza a partir d'una publicació base [1]. A més, se cerca informació sobre la resistivitat del terreny. Així mateix, també es du a terme una selecció de normatives nacionals i internacionals a les quals es té accés i es troba disponible d'última versió. Aquestes normatives seran les utilitzades tant a l'estudi teòric com al pràctic.
2. Elaboració d'un estudi teòric amb la informació cercada al primer punt. La realització d'aquest punt és important per al posterior estudi numèric.
3. Utilització del programa NEPLAN per establir un circuit format per diferents elements (com xarxes, línies, transformadors, etc.) que serà utilitzat per extreure corrents de curtcircuit monofàsic per la seva utilització al punt 4.
4. Creació de diverses aplicacions a MATLAB, amb el complement intern AppDesigner, que serveixi per a la selecció de la posada a terra idònia per a una situació concreta en funció de les normatives seleccionades. Tots els resultats assolits, així com el programa, seran entregats.
5. A mida que es vagin completant els punts anteriors s'anirà redactant la memòria del treball. També es faran les entregues i seguiment via el campus virtual Atenea.

1.3 Requeriments

Els requeriments per realitzar aquest treball de fi de grau son els següents:

- Coneixements avançats sobre instal·lacions elèctriques d'alta tensió i posades a terra.
- Coneixements de programari especialitzat: MATLAB i NEPLAN.
- Coneixement de programari ofimàtic.
- No hi ha límit econòmic ja que es tracta tot d'un estudi teòric i numèric amb càlculs i simulacions. No hi ha elements físics.

1.4 Justificació

Amb aquest treball es cobreix la necessitat d'entendre com afecten les diferents normatives i emplaçaments als tipus de posades a terra per als suports de línies elèctriques d'alta tensió, per posteriorment poder fer una comparativa que permeti establir un criteri de selecció en funció dels factors mencionats. Addicionalment, tant la creació de l'esquema elèctric de NEPLAN com l'aplicació de MATLAB proporciona diversos avantatges, ja que és útil que inserint diferents paràmetres inicials com el corrent de falla, la resistivitat del terreny o el temps de defecte, i altres dades com la ubicació del suport, s'obtingui una posada a terra òptima per a la situació desitjada seguint diferents normatives actuals.

2 Disseny

2.1 Introducció a les posades a terra

La funció d'una posada a terra d'una instal·lació elèctrica és forçar la derivació al terreny dels corrents de qualsevol naturalesa originats a causa de perturbacions o faltes. [2]

Una de les finalitats de les posades a terra és protegir a les persones que puguin entrar en contacte amb una part metàl·lica d'una instal·lació elèctrica quan aquesta pateix un defecte. Aquesta infraestructura, que també es pot anomenar amb les sigles de PAT (Posada a terra), evita que apareguin tensions perilloses per a les persones. A més, aquestes instal·lacions de posada a terra són imprescindibles per protegir les infraestructures elèctriques, així com millorar la qualitat del servei del sistema. A tall d'exemple, les PAT permeten limitar la diferència de potencial entre estructures metàl·liques i el terra, i/o detectar defectes a terra i assegurar l'actuació i coordinació de les proteccions, entre d'altres. [2]

Aquests objectius s'aconsegueixen unint tots els elements metàl·lics de la instal·lació que no han de conduir corrent juntament amb un elèctrode enterrat a terra.

Per tant, els sistemes de posada a terra constitueixen una part molt important de les instal·lacions elèctriques, ja que són fonamentals per a la seguretat vital de les persones i de les instal·lacions i xarxes. És per això que per tal que aquests sistemes siguin efectius i segurs s'han de complir una sèrie de requisits, que apareixen a les normatives elèctriques. Aquestes normatives varien segons el país i l'entitat que les regulen. En aquest treball es tractaran normatives de diferents països per tal de veure quines diferències hi ha entre elles i com afecten al disseny de la posada a terra.

Les tensions perilloses per a les persones que s'han esmentat es controlen mitjançant unes tensions de pas i de contacte, que han de tenir un valor inferior a uns màxims establerts per cadascuna de les normatives i reglaments. Segons la publicació [1], els paràmetres més importants sobre els quals es pot actuar, per tal d'aconseguir aquests valors de tensió de pas i de contacte siguin acceptables, són:

- El temps d'actuació de les proteccions.
- La intensitat de defecte a terra.
- Les dimensions i geometria de la instal·lació de posada a terra.
- La resistivitat del terreny.

Aquest últim paràmetre té una especial importància, ja que afecta directament al disseny i elecció de l'elèctrode. És per això que en aquest treball hi ha un apartat dedicat a ella i a veure al disseny de la posada a terra.

2.2 Normatives

A la introducció a les posades a terra s'ha comentat el fet que les normatives tenen un paper important a l'hora de dissenyar una instal·lació d'una PAT, i que aquestes també varien en funció del país i l'entitat que les regulen. Per aquest treball s'han triat diferents normatives i reglaments, tant nacionals com internacionals, per poder dur a terme una anàlisi i comparació de les PAT resultants. Les normatives i reglaments en qüestió pertanyen a Espanya, Estats Units d'Amèrica, Regne Unit, i Mèxic. Es compta amb l'última versió disponible de cada normativa a l'hora de realitzar el treball. Convé fer ressaltar que no totes les normatives que es llisten en els propers apartats han estat utilitzades per l'anàlisi comparatiu però sí que han estat consultades per la informació que contenen.

2.2.1 Normativa d'Espanya

A Espanya la normativa d'obligat compliment que afecta les instal·lacions de PAT és la següent:

- **Real Decreto 337/2014:** Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-RAT 01 a 23 (d'ara en devant, RAT¹). [3]
- **Real Decreto 223/2008:** Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 (d'ara en devant, RLAT²). [4]

Ambdós reglaments, publicats al Boletín Oficial del Estado (BOE), estan legislats i regulats per el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de España. Certament, aquests dos reglaments son complementaris, ja que existeixen referències mútues en el seu contingut.

Relacionat amb el govern espanyol, està l'organisme Una Norma Española (UNE). Aquesta organització és l'única encarregada de normalitzar la normativa provinent de la Unió Europea. A banda d'això, la normativa relacionada amb aquest treball és la següent:

- **UNE-EN 50341-1:** Líneas eléctricas aéreas de más de 1 kV en corriente alterna. Parte 1: Requisitos generales. Especificaciones comunes. [5]
- **UNE-EN 50341-2-6:** Líneas eléctricas aéreas de más de 1 kV en corriente alterna. Parte 2-6: Aspectos Normativos Nacionales para España (basados en la norma EN50341-1-2012). [6]

Aquestes normes mencionades han estat elaborades i aprovades per CENELEC (Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica). Conseqüentment, és normativa europea. Tot i així, és la UNE, qui mitjançant un comitè tècnic de UNESA (actualment aelèc; Asociación

1 RAT: Abreviació del *Reglamento de alta tensión*.

2 RLAT: Abreviació del *Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión*.

de Empresas de Energía Eléctrica), ha normalitzat la norma europea per al territori d'Espanya.

En relació amb la xarxa de transport d'energia a Espanya, aquesta és gestionada per Red Eléctrica Corporación, S.A., però no ha estat possible trobar cap mena de normativa o reglament de l'entitat respecte com han de ser les instal·lacions elèctriques. El mateix succeeix amb aelēc, la qual disposa d'unes guies tècniques per instal·lacions de posada a terra a les xarxes de distribució, a les quals no s'ha pogut accedir.

D'altra banda, també es tindrà en compte un manual tècnic d'Iberdrola, S.A., ja que és el principal grup energètic a Espanya i també és rellevant a escala global, essent una de les empreses elèctriques més importants. Tot i que en gran part està fonamentat en el RLAT, també hi son afegides normes internes de Iberdrola. És per això que es considera interessant el seu estudi. El manual tècnic en qüestió és:

- **MT 2.23.35:** Diseño de puestas a tierra en apoyos de LAAT³ de tensión nominal igual o inferior a 20 kV. [7]
- **MT 2.22.05:** Diseño de puestas a tierra en apoyos de líneas aéreas de alta tensión de tensión nominal 30, 45 y 66 kV sin hilo de tierra. [8]

2.2.2 Normativa dels Estats Units d'Amèrica

Relatiu als Estats Units d'Amèrica (EEUU) s'utilitzaran normatives de dues institucions diferents.

D'entrada, l'Associació Nacional de Protecció contra el Foc (NFPA; National Fire Protection Association) és una organització estatunidenca que s'encarrega de crear normes que dicten com s'ha d'actuar per prevenir incendis. Una de les creacions de la NFPA és la normativa americana per a l'enllumenat i equips elèctrics d'obligat compliment, que es recull en el document següent:

- **NFPA70:** National Electrical Code (NEC⁴). [9]

En últim terme, cal prestar atenció a la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), ja que és una associació internacional d'enginyers nascuda als EEUU dedicada a la normalització tècnica. Les seves normes, entre les quals hi ha una gran quantitat de temàtica elèctrica, s'apliquen arreu del món. Tot i així, aquestes no són d'obligat compliment; son tan sols recomanacions i explicacions, per aquest fet ja estan les autoritats. És per això que, cercant entre totes les normatives, s'han considerat adients per al treball les següents:

- **IEEE Std 142-2007:** Posada a terra de sistemes de potència industrials i comercials (*Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*). [10]

3 LAAT: Sigles de *Líneas aéreas de alta tensión*.

4 NEC: Sigles de *National Electrical Code*.

- **IEEE Std 1863-2019:** Guia per al disseny de línies aèries de distribució en CA (*Guide for Overhead AC Transmission Line Design*). [11]
- **IEEE Std 80-2013:** Guia de seguretat en la posada a terra en subestacions de CA (*Guide for Safety in AC Substation Grounding*). [12]
- **National Electrical Safety Code (NESC) C2-2017.** [13]

2.2.3 Normativa del Regne Unit

La normativa del Regne Unit es regeix per un sistema diferent, ja que és la British Standards Institution (BSI) l'encarregada de crear i regular les normes que són d'obligada aplicació. És a dir, els reglaments tècnics no són creats per comitès de normalització com, per exemple, als EEUU.

La norma de la BSI seleccionada per aquest treball tracta sobre com complir amb els requisits de connexió a terra de les instal·lacions elèctriques al Regne Unit, i és la següent:

- **BS7430:2011+A1:2015:** Codi de pràctica per la posada a terra d'instal·lacions elèctriques (*Code of practice for protective earthing of electrical installations*). [14]
- **BS EN 50522:2010:** Posada a terra en instal·lacions de tensió superior a 1 kV en corrent alterna (*Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.*) [15]

L'última norma esmentada no ha estat accessible, però sí que s'ha pogut accedir a la normalització feta per la UNE (UNE-EN 50522) que correspon amb la BS EN 50522:2010, ja que realment es tracta d'una norma Europea.

2.2.4 Normativa de Mèxic

A Mèxic succeeix de manera similar que a Espanya. Les lleis i reglaments són publicats al Diari Oficial de la Federació (DOF), dependència del Gobierno Federal Mexicano. Tot el que es publica al DOF és d'obligat compliment segons es dicti.

Les lleis utilitzades en aquest treball són:

- **PROY-NOM-018-CRE-2020:** Instalaciones Eléctricas – Red nacional de transmisión y redes generales de distribución – Especificaciones de seguridad. [16]
- **PROY-NOM-018-CRE-2019:** Instalaciones de energía eléctrica -- Conexión, interconexión, transmisión y distribución -- Especificaciones de seguridad y procedimiento para la evaluación de la conformidad. [17]

Dins d'aquesta llei es troben referències a altres reglaments i normatives, entre els quals s'utilitzarà el següent:

- **UNE-EN 61936-1:** Instalaciones eléctricas de tensión nominal superior a 1 kV en corriente alterna. Parte 1: Reglas comunes. [18]

Convé subratllar que tot i que aquesta norma ha estat normalitzada per la UNE, és la versió en espanyol de la norma internacional IEC 61936-1:2010. Així mateix, aquesta norma internacional coincideix bàsicament amb la norma mexicana NMX-J-675/1-ANCE-2015, a la qual no s'ha tingut accés. També cal dir que gran part de la normativa mexicana és pràcticament idèntica a la utilitzada al Regne Unit. [15]

2.3 Aspectes representatius pel disseny d'una PAT segons les diferents normatives

L'objectiu principal d'aquest apartat és exposar els diferents aspectes més representatius pel disseny d'una instal·lació de posada a terra en funció de les diferents normatives esmentades als subapartats anteriors.

2.3.1 Requeriments

2.3.1.1 Espanya

D'entrada, segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4] el sistema de posada a terra ha de complir quatre requisits:

1. Resistència als esforços mecànics i a la corrosió.
2. Resistència tèrmica a la major corrent de falta.
3. Garantir la seguretat de les persones respecte a les tensions que apareguin amb el corrent de falta.
4. Evitar danys a les instal·lacions i finançar la fiabilitat de la línia.

Així com s'enumeren els requisits bàsics per al disseny d'una instal·lació de posada a terra, també s'especifica de què depenen:

- Mètode de posada a terra de la xarxa:
 - Neutre aïllat.
 - Neutre directe a terra.
 - Neutre amb impedància a terra.
- Ubicació del suport:
 - Zona freqüentada.
 - Zona no freqüentada.

- Material del suport:
 - Conductor.
 - No conductor.

Al reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4] també es es fa una distinció entre les línies aèries amb conductors nus i les línies aèries amb cables unipolars aïllats reunits en feix o amb conductors recoberts.

Segons la normativa de línies elèctriques aèries de més de 1 kV de la UNE [5] els requisits que ha de complir un sistema de posada a terra son els mateixos que els esmentats a dalt. No obstant això, els paràmetres que es consideren rellevants per al disseny d'una PAT son:

- Valor del corrent de falta i la seva duració.
- Característiques del terreny (resistivitat).

2.3.1.2 Estats Units d'Amèrica

Segons la referència [12], el sistema de posada a terra té els dos objectius següents:

- Capacitat de conduir corrents a terra tant en condicions normals com en condicions de falla sense afectar la continuïtat del servei i sense excedir cap dels límits ni de la xarxa ni de l'equipament.
- Reduir els riscos a les persones exposades al perill del xoc elèctric.

A més, s'enumera una llista de paràmetres crítics que afecten a la posada a terra:

- Duració de la falta i la seva magnitud.
- Resistivitat del terreny.

2.3.1.3 Regne Unit

En primer lloc, convé fer ressaltar que en cap de les dues normes utilitzades al Regne Unit es menciona o es té en consideració la posada a terra de les línies aèries d'alta tensió. Tot i així, es considera per aquesta comparativa que les especificacions que dicten les normes seleccionades també s'utilitzen per als suports de les línies d'alta tensió.

Segons la norma BS EN 50522:2010 [15], el disseny de la instal·lació de posada a terra ha de complir amb uns requisit fonamental, que es tracta de que tot el relacionat amb la PAT sigui capaç de garantir la seguretat a les persones en tot moment, així com tenir la capacitat de mantenir, sempre i quan sigui possible, la integritat de l'equipament.

Els requisits elèctrics per complir amb un correcte disseny de la PAT son:

- Mètode de connexió del neutre.

- Corrent de curtcircuit.

Els requisits de seguretat son:

- Proporció de corrent circulant a través del cor.
- Impedància corporal al llarg del camí del corrent.
- Resistència entre els punts de contacte i altres elements, com una estructura metàl·lica.
- Duració del defecte.

Amb caràcter general, les instal·lacions de posada a terra han de tenir la capacitat de dissipar el defecte sense sobrepassar els límits tant tèrmics com mecànics, per tal de no danyar les instal·lacions. Així mateix, també ha d'assegurar la seguretat de les persones sense exposar-les a tensions elevades. Per tant, es poden anomenar com a paràmetres principals:

- Valor del corrent de falta i la seva duració.
- Característiques del terreny (resistivitat).

2.3.1.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [16], els principis bàsics que aquestes han de complir son garantir la seguretat de les persones així com la de les instal·lacions i equips elèctrics.

Per tant, s'han de complir els següents requisits:

- Protecció contra els xocs elèctrics (contactes directes i indirectes).
- Protecció contra els efectes tèrmics.
- Protecció contra les sobrecorrents.
- Protecció sobre els corrents de falla.
- Protecció contra les sobretensions.

És a dir, les instal·lacions elèctriques han de tenir la capacitat de protegir a les persones i als equips respecte als punts esmentats.

Els factors que més afecten al disseny de la instal·lació de posada a terra son:

- Ubicació del suport.
- Valor del corrent de falla i la seva duració.
- Mètode de connexió del neutre.

2.3.2 Elèctrodes de posada a terra

2.3.2.1 *Espanya*

A Espanya, segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4], els elèctrodes de posada a terra poden ser els següents:

- Elèctrodes horitzontals (piques, barres o cables enterrats) disposats de les següents maneres:
 - Forma radial.
 - Forma de malla.
 - Forma de anell.

També poden ser plaques o xapes enterrades.

Els elèctrodes horitzontals han de ser enterrats a una profunditat mínima de 0'5m.

- Piques clavades al terreny (verticals o inclinades) formades per perfils, barres o tubs.

Segons les normes europees UNE-EN 50341-1 [5] i UNE-EN 50341-2-6 (aspectes normatius normalitzats per a Espanya) [6], les dimensions mínimes dels elèctrodes de terra es mostren a la taula 1.

Material	Tipo de electrodo de tierra	Tamaño mínimo					
		Núcleo			Recubrimiento		
		Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Espesor (mm)	Valor individual (µm)	Valores medios (µm)	
Acero	galvanizado en caliente	Tira ^b	-	90	3	63	70
		Perfiles (incluidas cartelas)	-	90	3	63	70
		Tubería	25	-	-	47	55
		Barra redonda para pica de tierra	16	-	-	63	70
		Barra redonda para electrodo de tierra de superficie	10	-	-	-	50
	recubrimiento de plomo ^a	Hilo redondo para tierra de superficie	8	-	-	1000	-
	recubrimiento de cobre por extrusión	Barra redonda para pica de tierra	15	-	-	2000	-
	recubrimiento de cobre electrolítico	Barra redonda para pica de tierra	14,2	-	-	90	100
Cobre	desnudo	Tira	-	50	2	-	-
		Hilo redondo para tierra de superficie	-	25 ^c	-	-	-
		Conductor cableado	1,8 ^d	25 ^c	-	-	-
		Tubería	20	-	2	-	-
	estañado	Conductor cableado	1,8 ^d	25 ^c	-	1	5
	galvanizado	Tira ^b	-	50	2	20	40
	recubrimiento de plomo ^a	Conductor cableado	1,8 ^d	25 ^c	-	1 000	-
		Hilo redondo	-	25 ^c	-	1 000	-

a No apto para encastrar en hormigón.
b Tira, laminada o cortada con bordes redondeados.
c En condiciones donde la experiencia muestre que el riesgo de corrosión y de daño mecánico es extremadamente bajo pueden usarse 16 mm².
d Diámetro de cada alambre.

Taula 1: Dimensions mínimes dels elèctrodes de terra que assegurin resistència mecànica i a la corrosió. [5]

En concret, per Espanya les dimensions mínimes dels elèctrodes de terra, segons [3], [6], son:

- Per les piques:
 - Rodons de coure o acer recobert de coure amb 14 mm mínims de diàmetre.
 - D'acer sense recobrir amb 20 mm de diàmetre mínim.
 - Tubs amb 30mm de diàmetre mínim i 3 mm de gruix de la paret mínim.
 - Perfils d'acer amb gruix mínim de 5 mm i amb secció mínima de 350 mm².
- Pels conductors enterrats:
 - Secció mínima de 50 mm² els de coure i 100 mm² els d'acer.

- Gruix mínim de les platines de 2 mm per les de coure i de 3 mm per les d'acer.
- Diàmetre mínim dels filferros de 2 mm pels de coure i 3 mm pels d'acer.

Per connectar elèctrodes entre si es requereix utilitzar unions amb les dimensions adequades per suportar no solament conducció elèctrica sinó també esforços mecànics i tèrmics. Aquests han de ser equivalents als que suporten els propis elèctrodes. De la mateixa manera, s'utilitzen peces bimetàl·liques per evitar la corrosió galvànica

El valor i duració del corrent de falta determinen la secció dels elèctrodes de posada a terra.

D'altra banda, tal com es tracta a l'apartat 4.1.5 on es fa menció a un dels manuals tècnics per el disseny de posades a terra en línies elèctriques aèries d'alta tensió [8], es mostren configuracions reals d'elèctrodes. Aquestes son o línies de piques, o flagels, o anells o, finalment, combinacions de les tres opcions. A les figures 1, 2, 3 i 4 es mostren exemples.

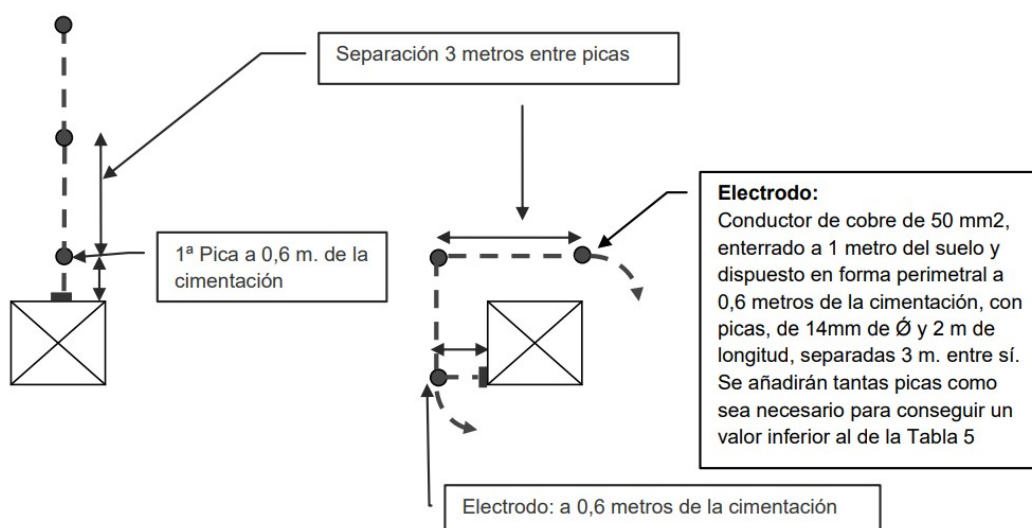


Figura 1: Configuració de l'elèctrode de posada a terra per suports no freqüentats en cimentacions monobloc (Torres C i serie S1). [8]

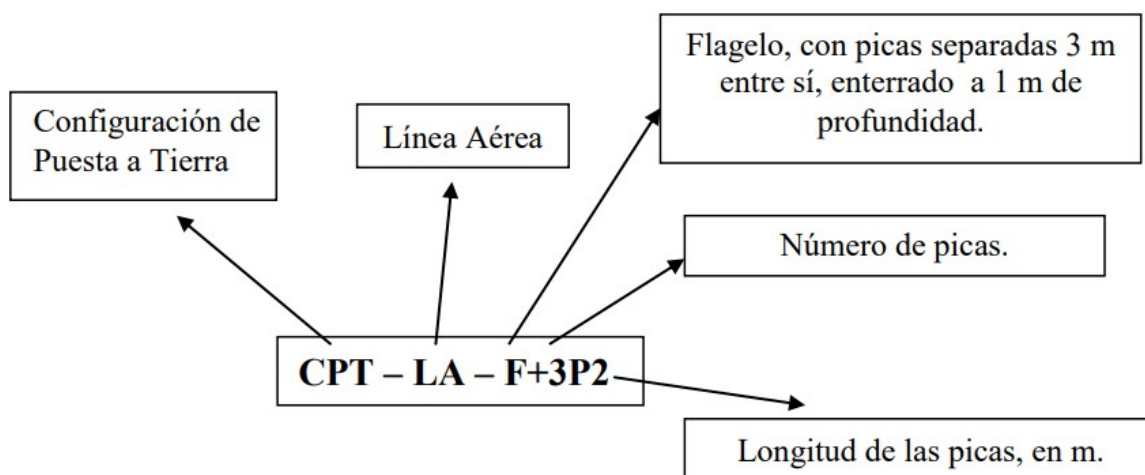


Figura 2: Explicació de les sigles de les diferents configuracions d'elèctrodes per suports no freqüentats. [8]

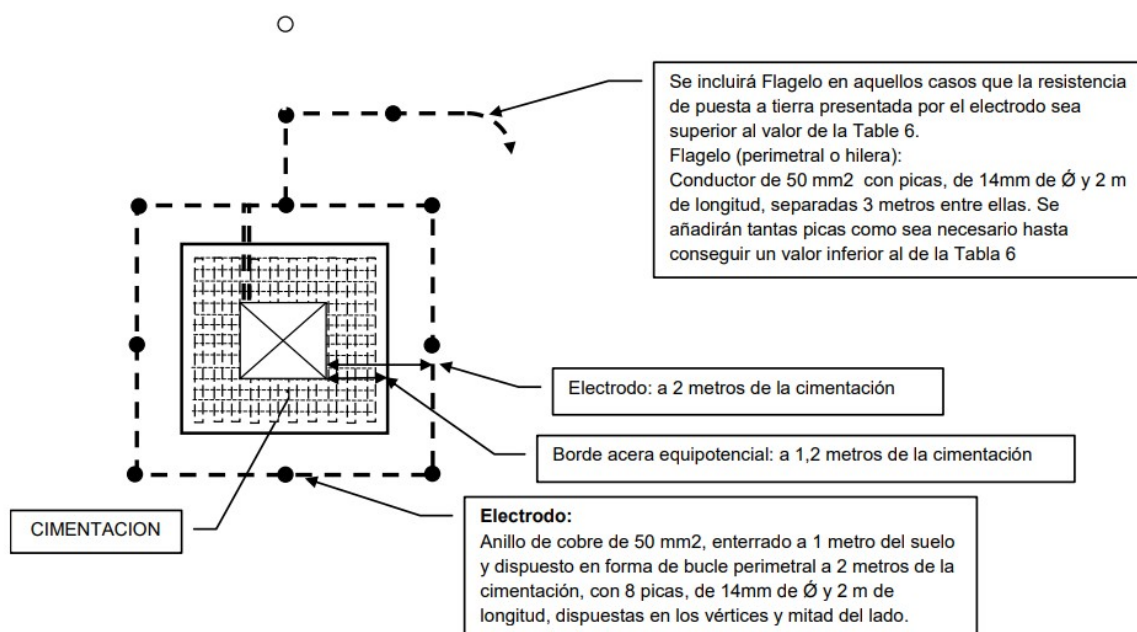


Figura 3: Configuració de l'elèctrode de posada a terra per suports freqüentats amb calçat en cimentacions monobloc (Torres C i serie S1). [8]

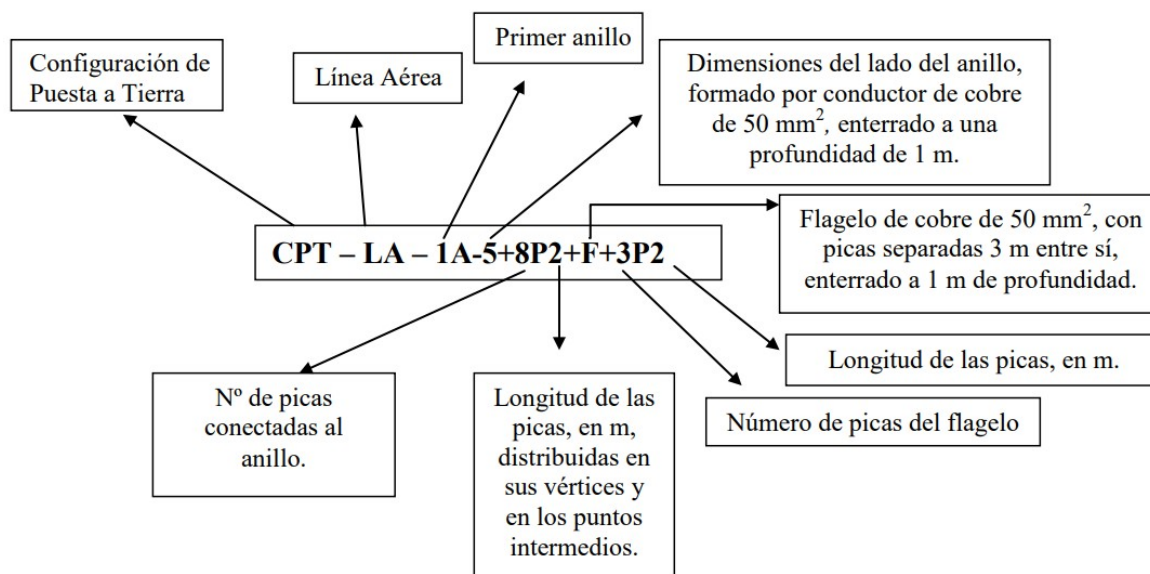


Figura 4: Explicació de les sigles de les diferents configuracions d'elèctrodes per suports freqüentats.

2.3.2.2 Estats Units d'Amèrica

Segons el NESC [13], els elèctrodes es cataloguen segons el llistat que es mostra a continuació:

- Elèctrodes existents (*Existing electrodes*): Consisteixen en les parts conductores existents al suport que en principi tenen una altre finalitat que no és la posada a terra.
- Elèctrodes fabricats (*Made electrodes*): Han de ser fabricats de materials metàl·lics purs o combinacions d'aquests que puguin corroir-se. D'aquesta manera, els tipus existents es recullen a la taula 2.

Tipus d'elèctrode		Dimensions	Altres
Pica	Ferro, acer o acer zincat	Longitud mínima: 2,45 m Diàmetre mínim: 15,87 mm	Es poden utilitzar combinacions de piques separades amb una distància mínima de 1,8 m
	Coure o acer inoxidable	Longitud mínima: 2,45 m Diàmetre mínim: 12,7 mm	

Conductor nu	Diàmetre mínim: 4 mm	
Tira	Longitud total mínima: 3 m Superfície mínima total dels dos costats: 0,47 mm ²	Si son metàl·lics de ferro tindran un gruix mínim de 6 mm, i si son metàl·lics no ferrosos el gruix mínim serà de 1,5 mm
Plaques	Superfície mínima: 0,185 mm ²	Gruix mínim de 6 mm si son ferroses i de 1,5 mm si son no ferroses.
Placa de pols	Gruix mínim metall ferrós: 6 mm Gruix mínim metall no ferrós: 1,5 mm Superfície exposada al terra: 0,046 mm ²	Exclusiu per suports de fusta
Conductor embolcallat de coure o de material resistent a la corrosió	Longitud mínima de conductor soterrat: 3,7 m	
Cable neutre concèntric nu		
Filferro metàl·lic o pica envoltada de formigó	Profunditat mínima d'enterrament del formigó: 300 mm (recomanada de 750 mm) Secció mínima del filferro: 4 AWG si és de coure, 1/0 si és d'acer	

Taula 2: Tipus d'elèctrodes i les seves dimensions segons la normativa NESC dels EEUU.
[Elaboració pròpia] [13]

2.3.2.3 Regne Unit

En l'àmbit dels elèctrodes, al Regne Unit segons la norma BS EN 50522:2010 [15] s'utilitzen els mateixos tipus i les mateixes dimensions que les que apareixen a la taula 1.

2.3.2.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [16], els elèctrodes de posada a terra a la xarxa nacional de transmissió han de complir amb els mateixos requeriments que els utilitzats per a la xarxa general de distribució.

Són utilitzades piques d'acer amb recobriment electrolític de coure. Les piques han de tenir un diàmetre de 16 mm, tenint en compte el recobriment electrolític de coure que és de 0,254 mm, i una longitud que pot ser de 1, 3, 5 o 6 mm.

En el cas que amb tan sols un elèctrode no sigui suficient, existeixen millores per la posada a terra connectant-li altres elements que fan funció d'elèctrode com ara:

- Contra-antenes: Dues franges, de mínim 5 m cadascuna i longitudinals a la línia, de conductor nu de coure amb secció mínima de $33,62 \text{ mm}^2$ o conductor d'acer amb recobriment electrolític de coure amb secció mínima de $46,44 \text{ mm}^2$, de calibre mínim de 4 AWG, connectades a l'elèctrode existent.
- Bentonita: Es tracta d'una barreja de bentonita sòdica amb aigua, i es pot utilitzar tant en elèctrodes sols com en elèctrodes amb contra-antenes. En el cas que es tracti d'un terreny rocós, a l'elèctrode se li adhireix amb un connector una graella d'una peça de filferro de coure semidur nu de calibre 4 AWG. Aquesta és situada a unes perforacions (el nombre de perforacions depèn de cada cas) realitzades al terreny de 5,08 mm de diàmetre i 1,5 m de longitud. Les perforacions on va situada la graella, o els casos anteriors, s'omplen de bentonita sòdica.

També es menciona la possible utilització d'elements metàl·lics que en primera instància tenen una altra funció però que poden ser utilitzats com elèctrodes de posada a terra.

2.3.3 Línies de terra i medis de connexió als elèctrodes

2.3.3.1 Espanya

Segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4], les línies de terra poden compondre's dels següents tipus de conductors:

- Coure, amb secció mínima de 25 mm^2 .
- Alumini, amb secció mínima de 35 mm^2 .
- Acer, amb secció mínima de 50 mm^2 .

Poden ser utilitzats conductors de materials compostos sempre i quan equivalguin als esmentats.

S'ha de tenir en compte l'efecte de la corrosió.

El valor i duració del corrent de falta determinen la secció dels conductors de posada a terra.

Per al cas de les corrents de falta interrompudes en menys de 5 segons ha de ser utilitzada, segons la norma UNE-EN 50341-1 [5], l'equació 1:

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t_f}{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}} \quad (1)$$

On:

- A : Secció, en mm^2
- I : Intensitat que circula conductor, en A
- t_f : Duració de la intensitat de falta, en s
- K : Constant que depèn del material, en $\text{A} \cdot \text{s}^{1/2} / \text{mm}^2$
- β : Inversa del coeficient de temperatura de la resistència del component a 0°C , en $^\circ\text{C}$
- θ_i : Temperatura inicial, en $^\circ\text{C}$
- θ_f : Temperatura final, en $^\circ\text{C}$

A la taula 3 es mostren les constants β i K dels materials.

Material	β en $^\circ\text{C}$	K en $\text{As}^{1/2} / \text{mm}^2$
Cobre	234,5	226
Aluminió	228,0	148
Acero	202,0	78

Taula 3: Constants β i K dels materials. [5]

S'especifica que en cas d'utilitzar un altre material dels indicats, la secció d'aquest haurà de ser equivalent a una de 25 mm^2 de coure i no podrà excedir una temperatura final de $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ($300 \text{ }^\circ\text{C}$ en cas de que no hi hagi risc d'incendi).

2.3.3.2 Estats Units d'Amèrica

Segons el NESC [13], la línia de terra ha de ser de coure o altres metalls o aliatges que no es corroeixin excessivament durant la seva vida útil esperada. En tot cas, la línia de terra ha de ser ho més curta possible, recta i evitant el màxim nombre de corbes. Convé fer ressaltar que no s'especifica una secció mínima pel conductor.

Si és possible, s'ha d'evitar utilitzar unions, doncs aquestes poden augmentar el valor de la resistència a terra i també ha de tenir unes característiques mecàniques adients.

En referència a la connexió amb els elèctrodes, aquesta s'ha de realitzar mitjançant un element que coincideixi tant amb les característiques de la línia de terra com amb les de l'elèctrode, com ara: soldadura, connexions mecàniques i de compressió, pinces de terra o corretges de terra.

2.3.3.3 Regne Unit

Pel que fa al Regne Unit, segons la norma BS EN 50522:2010 [15], els conductor de la línia a terra han de tenir les següents seccions mínimes per tal de cobrir les necessitats de resistència mecànica i contra la corrosió:

- Coure, amb secció mínima de 16 mm².
- Alumini, amb secció mínima de 35 mm².
- Acer, amb secció mínima de 50 mm².

De manera paral·lela, també s'utilitza l'equació 1 per tal de calcular la secció del conductor pel cas de defectes que són interromputs en menys de 5 segons.

2.3.3.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [16], no existeix un conductor o línia de terra com a tal, atès que al tractar-se d'una sola pica l'únic element que pot ser considerat un conductor o línia de terra és el connector en el casos especials de les contra-antenes o el de la graella.

De manera paral·lela, a la llei mexicana [16] s'indica que les interconnexions als elèctrodes han de ser accessibles sempre que sigui possible. Aquestes interconnexions han de proporcionar la subjecció mecànica i la capacitat de conducció de corrent suficients, com ara:

- Una abraçadora, accessori o soldadura permanents i efectives.
- Un connector de bronze amb rosca que penetri ajustadament a l'elèctrode.
- Una pica d'acer unida mitjançant soldadura amb una altre que tingui un caragol de connexió.
- Conductor de coure nu de secció nominal mínima de 33,6 mm² (2 AWG).

2.3.4 Resistència de posada a terra

2.3.4.1 Espanya

La resistència de posada a terra, o resistència de terra de l'elèctrode, segons el reglament d'instal·lacions elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [3], depèn de la forma i dimensions de l'elèctrode i de la resistivitat del terreny.

Aquesta resistència es pot calcular mitjançant les equacions que es mostren a la taula 4:

Tipo de electrodo	Resistencia en ohmios
Placa enterrada profunda -	$R = 0,8 \cdot \frac{\rho}{P}$
Placa enterrada superficial -	$R = 1,6 \cdot \frac{\rho}{P}$
Pica vertical -	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente -	$R = \frac{2\rho}{L}$
Malla de tierra -	$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$


Taula 4: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa espanyola. [3]

On:

- R : Resistència de terra de l'elèctrode, en Ω
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
- P : Perímetre de la placa, en m
- L : Longitud de la pica o del conductor, i de la malla la longitud total dels conductors enterrats, en m
- r : Radi d'un cercle de la mateixa superfície que l'àrea coberta per la malla, en m

2.3.4.2 Estats Units d'Amèrica

La resistència de posada a terra, o resistència de terra de l'elèctrode, segons la publicació [10], es pot calcular mitjançant les equacions que es mostren a la taula 5.

	Hemisphere radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	One ground rod length L , radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Two ground rods $s > L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Two ground rods $s < L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Buried horizontal wire length $2L$, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	Right-angle turn of wire length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
Y	Three-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Four-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
* (6 points)	Six-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
* (8 points)	Eight-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Ring of wire diameter of ring D , diameter of wire d , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Buried horizontal strip length $2L$, section a by b , depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
⊗	Buried horizontal round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$
	Buried vertical round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Taula 5: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa estatunidenca. [10]

Com es pot observar a la taula 5, no apareixen les equacions de càlcul de totes les opcions que s'han esmentat a la taula 2. Per contra, apareixen més combinacions dels elèctrodes, com varies piques o diferents disposicions.

Altament, a la norma IEEE Std. 80 [12] es fa ús de les equacions de Schwarz per calcular la resistència de posada a terra, que combina les resistències individuals de les piques, la malla i la resistència mútua entre ambdós. Per tant, l'expressió utilitzada és la següent:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (2)$$

On:

- R_1 : Resistència dels conductors de la malla, en Ω
- R_2 : Resistència de totes les piques, en Ω
- R_m : Resistència mútua entre la resistència dels conductors de la malla i la resistència de totes les piques, Ω

Les resistències R_1 i R_2 es calculen mitjançant les seves expressions individuals on intervenen diversos factors respectius a les dimensions de les piques, dels conductors empleats i de coeficients que s'extreuen a partir de corbes, entre d'altres.

2.3.4.3 Regne Unit

Segons la norma BS EN 50522:2010 [15], els la resistència a terra d'un elèctrode depèn de les dimensions i la disposició d'aquest, i també de la resistivitat del terreny.

A la taula 6 s'especifiquen les equacions de càlcul de la resistència a terra d'alguns dels elèctrodes.

Elèctrode a terra mallat	$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$ <p>On D és el diàmetre d'un cercle amb el mateix diàmetre que l'elèctrode de terra mallat, en m</p>
Elèctrode a terra pletina	$R_{EB} = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d}\right)$ <p>On:</p> <ul style="list-style-type: none"> • L: Longitud de la pletina de terra, en m • ρ_E: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
Elèctrode a terra en anell	$R_{ER} = \frac{\rho_E}{\pi^2 D} \ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$ <p>On:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $D=L/R$: Diàmetre de l'elèctrode de terra en anell, en m • D: Diàmetre de l'elèctrode de terra de cable trenat o a la meitat de l'amplada de la pletina de terra en m (es pren igual a 0,015 m) • ρ_E: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
Elèctrode a terra pica	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$ <p>On:</p> <ul style="list-style-type: none"> • L: Longitud de la pica de terra, en m • d: Diàmetre de la pica de terra, en m • ρ_E: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$

Taula 6: Equacions de càlcul de les resistències de terra dels diferents elèctrodes, segons la normativa anglesa. [Elaboració pròpia] [15]

2.3.4.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [16], es considera acceptable un valor de 10

Ω per la resistència del sistema de posada a terra. En cas de que el terreny tingui una elevada resistivitat el valor de 10Ω pot augmentar fins als 25Ω . Igualment, es recomana un valor mig de la resistència de posada a terra menor a 10Ω .

Es fa distinció entre el tipus de suport en qüestió. Quan es tracta d'una torre auto-suportada d'acer galvanitzat es recomana un valor de la resistència de posada a terra menor o igual a 10Ω , i quan es tracta de suports troncocònics auto-suportats es recomana un valor de resistència de posada a terra menor o igual a 30Ω .

A diferència d'Espanya i els EEUU, no s'especificuen equacions per al càlcul de la resistència en funció del tipus d'elèctrode.

2.3.5 Resistivitat del terreny

2.3.5.1 Espanya

Segons el reglament d'instal·lacions elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [3], és d'obligat compliment determinar les característiques del terreny. Tot i així, no en tots els casos és necessari un estudi exhaustiu del terreny, com en instal·lacions de tercera categoria i on la intensitat de curtcircuit a terra sigui igual o inferior a 1500 A , on amb una revisió visual del terreny es pot estimar la resistivitat mitjançant la taula 7 que es mostra a continuació:

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohmios.m.
Terrenos pantanosos.	de algunas unidades a 30
Limo.	20 a 100
Humus.	10 a 150
Turba húmeda.	5 a 100
Arcilla plástica.	50
Margas y arcillas compactas.	100 a 200
Margas del jurásico.	30 a 40
Arena arcillosa.	50 a 500
Arena silíceica.	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped.	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo.	1500 a 3000
Calizas blandas.	100 a 300
Calizas compactas.	1000 a 5000
Calizas agrietadas.	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo.	800
Granitos y gres procedentes de alteración.	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados.	100 a 600
Hormigón.	2000 a 3000
Basalto o grava.	3000 a 5000

Taula 7: Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$, en funció de la seva naturalesa, segons la normativa espanyola. [3]

Els valors de la taula 7 son orientatius.

Segons el reglament d'instal·lacions elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [3], a les instal·lacions de tercera categoria⁵ i d'intensitat de curtcircuit a terra inferior o igual a 1500 A basta amb realitzar un examen visual del terreny i utilitzar la taula 7. Per contra, per intensitats de curtcircuit a terra superiors a 1000 A, si pel projecte s'usen valors de resistivitat del terreny inferior a 200 $\Omega \cdot m$, s'ha de justificar aquest valor mitjançant un estudi que inclogui mesures de la resistivitat. En aquest cas, i en instal·lacions de segona, primera i categoria especials, es recomana emprar prioritàriament un mètode de quatre sondes, com ara el mètode Wenner (figura 23), de manera que es puguin determinar les resistivitats del terreny a diferents profunditats.

2.3.5.2 Estats Units d'Amèrica

Segons la referència [12], com a la majoria de normatives, es recomana la utilització del mètode Wenner per mesurar la resistivitat del terreny, ja que és molt important saber com aquesta varia tant vertical com horitzontalment.

Pels càlculs necessaris pel disseny de la posada a terra es té en compte un valor uniforme aproximat de la resistivitat del terreny. Aquesta es pot calcular seguint dues equacions en funció del terreny, que son:

$$\rho_{a(av1)} = \frac{\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + K + \rho_{a(n)}}{n} \quad (3)$$

On:

- $\rho_{a(1)}, \rho_{a(2)}, \rho_{a(3)}, \rho_{a(n)}$: Mesures obtingudes a diferents espais en el mètode de quatre pins o a diferents profunditats en el mètode de la pica de terra enterrada, en $\Omega \cdot m$
- n : Nombre total de mesures, sense unitats

$$\rho_{a(av2)} = \frac{\rho_{a(max)} + \rho_{a(min)}}{2} \quad (4)$$

On:

- $\rho_{a(max)}$: Resistivitat del terreny màxima mesurada, en $\Omega \cdot m$
- $\rho_{a(min)}$: Resistivitat del terreny mínima mesurada, en $\Omega \cdot m$

2.3.5.3 Regne Unit

Segons la norma BS7430:2011+A1:2015 [14], la resistivitat del terreny ha de ser mesurada mitjançant un mètode de quatre sondes. Es recomana utilitzar el mètode Wenner (figura 23).

5 Segons el Real Decreto 337/2014 [3], les instal·lacions elèctriques es classifiquen segons la seva tensió nominal en: Categoria especial ($U_N \geq 220$ kV i les de tensió inferior que formin part de la xarxa de transport), primera categoria (66 kV $< U_N < 220$ kV), segona categoria (30 kV $< U_N \leq 66$ kV) i tercera categoria (1 kV $< U_N \leq 30$ kV).

De més a més, segons la norma BS EN 50522:2010 [15], es pot fer us de la taula 8 de valors freqüents (semblant a la taula 7) que es mostra a continuació:

Tipo de terreno	Resistividad del terreno ρ_E en Ωm		
Terreno pantanoso	5	a	40
Marga, arcilla, humus	20	a	200
Arena	200	a	2500
Grava	2 000	a	3 000
Suelos pedregosos	normalmente por debajo de 1 000		
Arenisca	2 000	a	3 000
Granito			hasta 50 000
Cantos rodados			hasta 50 000
			hasta 30 000

Taula 8: Resistivitat del terreny, en $\Omega\cdot\text{m}$, en funció de la seva naturalesa, segons la normativa anglesa. [15]

Tot i així, sempre es recomana i se li dona prioritat a mesurar la resistivitat del terreny mitjançant el mètode Wenner en front d'utilitzar els valors predeterminats de la taula.

2.3.5.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [16], la resistivitat del terreny ha de mesurar-se en cada punt on es situarà la posada a terra mitjançant el mètode Wenner.

A més, s'especifica la resistivitat recomanada de disseny seguint la següent expressió:

$$\rho_d = \frac{\rho_{m\acute{a}x} + \rho_{m\acute{i}n}}{2} \quad (5)$$

On:

- ρ_d : Resistivitat del terreny recomanada de disseny, en $\Omega\cdot\text{m}$
- $\rho_{m\acute{a}x}$: Resistivitat del terreny màxima mesurada, en $\Omega\cdot\text{m}$
- $\rho_{m\acute{i}n}$: Resistivitat del terreny mínima mesurada, en $\Omega\cdot\text{m}$

Tal i com es pot observar, és pràcticament el mateix que s'aplica als EEUU.

2.3.6 Corrent de falta, corrent de terra i potencial de terra

2.3.6.1 Espanya

Segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4], el corrent de falta determina la secció dels elèctrodes i dels conductors de posada a terra.

Els elèctrodes han de tenir una secció capaç suportar la corrent de falta més elevada, sense arribar a un escalfament perillós, durant el doble del temps que triguen les proteccions en actuar.

En el punt on es produeix la falta apareix un augment de potencial de terra U_e . Segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió [4], els passos a seguir són:

- Càlcul de la corrent de falta de la línia, mitjançant l'expressió:

$$I_F = 3 \cdot I_0 \quad (6)$$

On I_0 és el corrent homopolar durant la falta, en A.

Aquest corrent de falta I_F equival al corrent monofàsic de curtcircuit I''_{K1} que es calcula a l'apartat 4.1. Cal dir que en aquest cas de la normativa espanyola s'utilitza un mètode aproximat.

- Càlcul del corrent a terra durant la falta, mitjançant l'expressió:

$$I_E = r \cdot I_F \quad (7)$$

On r és un factor de reducció a causa de l'efecte inductiu dels cables de terra, sense unitats.

A la figura 5 es pot observar la distribució de les diferents corrents en cas d'un defecte a terra en un dels suports de la línia:

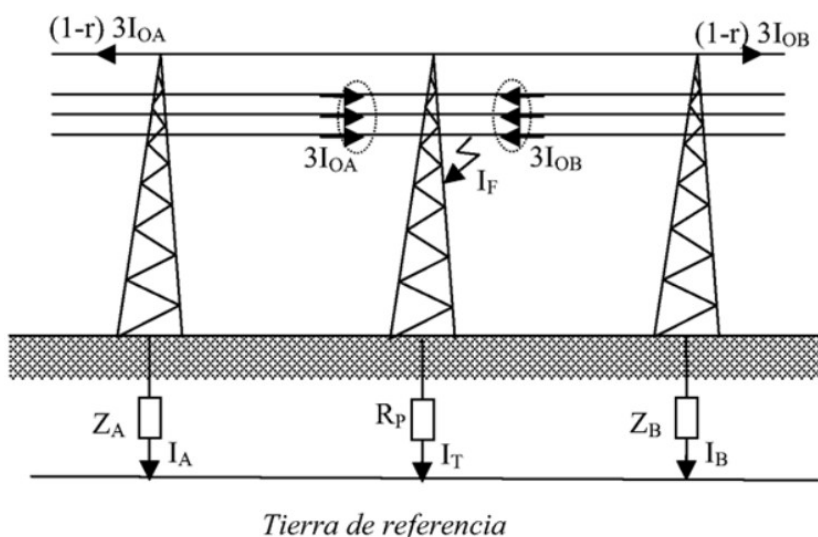


Figura 5: Distribució dels corrents en cas de defecte a terra en un suport. [4]

També es tenen en compte les impedàncies que intervenen en el defecte a terra, tal i com mostra la figura 6.

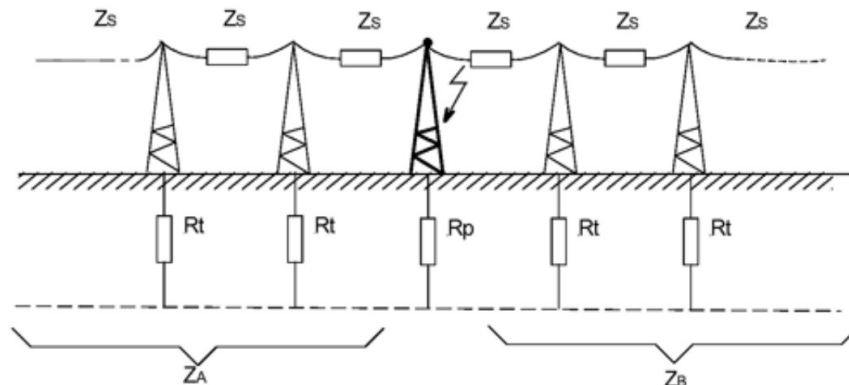


Figura 6: Impedàncies que intervenen en el defecte a terra de la línia.

[4]

Per calcular el corrent a terra en el suport més proper al defecte és necessari seguir l'esquema de la figura 7.

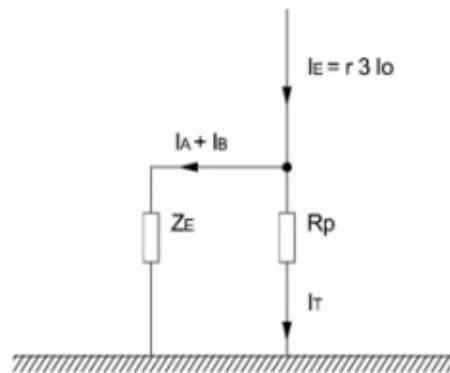


Figura 7: Distribució dels corrents entre la impedància Z_E i la resistència de posada a terra R_p del suport més proper al defecte. [4]

El corrent I_T és el que determina l'augment de potencial a terra. Aquest potencial a terra ve donat per la següent expressió:

$$U_E = I_T \cdot R_p = I_E \cdot \frac{Z_E R_p}{Z_E + R_p} \quad (8)$$

On:

- U_E : Augment de potencial a terra, en V
- I_T : Corrent a terra que circula pel suport més proper a la falta, en A
- R_p : Resistència de terra del suport més proper a la falta, en Ω
- I_E : Corrent a terra de la línia, en A

- Z_E : Impedància a terra de tota la línia sense considerar la del suport més proper al defecte, en Ω

En tot cas ha de tenir-se en compte la configuració del neutre a terra de la xarxa, i també aspectes de la xarxa durant el període subtransitori.

2.3.6.2 Estats Units d'Amèrica

Segons la referència [12], el càlcul de corrent de falta de la línia s'obté mitjançant l'expressió següent:

$$I_g = S_f \cdot I_f \quad (9)$$

On:

- I_g : Valor eficaç del corrent simètric de la xarxa, en A
- S_f : Factor de divisió del corrent de falta, sense unitats
- I_f : Valor eficaç del corrent simètric de falta a terra, en A

El factor de divisió del corrent de falta s'obté mitjançant l'expressió següent:

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0} \quad (10)$$

On:

- S_f : Factor de divisió del corrent de falta, sense unitats
- I_g : Valor eficaç del corrent simètric de la xarxa, en A
- I_0 : Corrent homopolar durant la falla, en A

En la majoria dels casos, el valor més gran del corrent de la xarxa donarà lloc a la condició més perillosa. En aquests casos, s'ha d'involucrar també el valor de la duració de la falta per determinar el valor de disseny correcte del corrent màxim de xarxa I_G per al seu ús en els càlculs de connexió a terra de la subestació. Per tant, falten les següents expressions:

- Corrent màxim de la xarxa, I_G , en A:

$$I_G = D_f \cdot I_g \quad (11)$$

On:

- D_f : Factor de decrement per a tota la durada de la falla, sense unitats
- I_g : Valor eficaç del corrent simètric de la xarxa, en A

- Factor de decrement per a tota la durada de la falta, D_f :

$$D_f = \frac{I_F}{I_f} \quad (12)$$

On:

- I_F : Valor eficaç efectiu del corrent asimètric aproximat durant tota la durada d'una falla, en A
- I_f : Valor eficaç del corrent simètric de falta a terra, en A
- Valor eficaç efectiu del corrent asimètric aproximat durant tota la durada d'una falta, en A, I_F :

$$I_F = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} [i_f(t)]^2 dt} \quad (13)$$

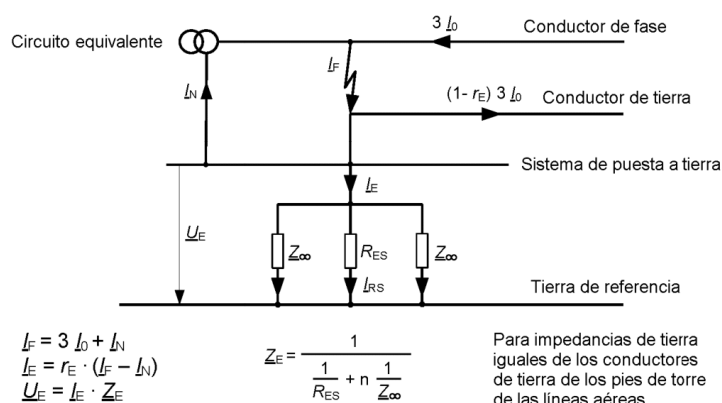
On:

- t_f : Duració de la falta a terra, en s

En conjunt, és molt semblant a la metodologia emprada a Espanya.

2.3.6.3 Regne Unit

Segons la norma BS EN 50522:2010 [15], el mètode de càlcul del corrent de defecte i del corrent a terra és, a efectes pràctics, el mateix que l'esmentat a la normativa espanyola.



Leyenda

- $3 I_0$ Tres veces la corriente de secuencia cero (homopolar) de la línea
- I_N Corriente a través de la puesta a tierra del neutro del transformador
- I_F Corriente de defecto a tierra
- I_E Corriente a tierra (no puede medirse directamente)
- I_{RS} Corriente a través de la resistencia a tierra del electrodo de tierra mallado
- r_E Factor de reducción de la línea aérea
- R_{ES} Resistencia a tierra del electrodo de tierra mallado
- R_{ET} Resistencia a tierra de la torre
- Z_{∞} La impedancia del conductor de tierra/pie de torre de la línea aérea se supone infinita
- Z_E Impedancia de tierra
- U_E Subida del potencial de tierra
- n Número de líneas aéreas que salen de la subestación (aquí: $n = 2$)

Figura 8: Circuit equivalent per al càlcul de corrents de terra i de defecte. [15]

Es segueix l'esquema elèctric de la figura 8 per calcular el corrent de terra i de defecte tenint en compte les impedàncies que intervenen.

2.3.6.4 Mèxic

A la normativa de Mèxic no s'especifica el procediment a seguir per calcular el corrent de defecte ni el corrent de terra.

2.3.7 Dimensionat respecte la seguretat de les persones

2.3.7.1 Espanya

En primer lloc, segons el reglament de línies elèctriques d'alta tensió del govern espanyol [4], es segueix la norma UNE-IEC/TS 60479-1, la qual estableix una relació entre els valors admissibles de tensió de contacte aplicada que poden circular pel cos humà i la duració del corrent de falta. La figura 9 que es mostra a continuació estableix aquesta relació:

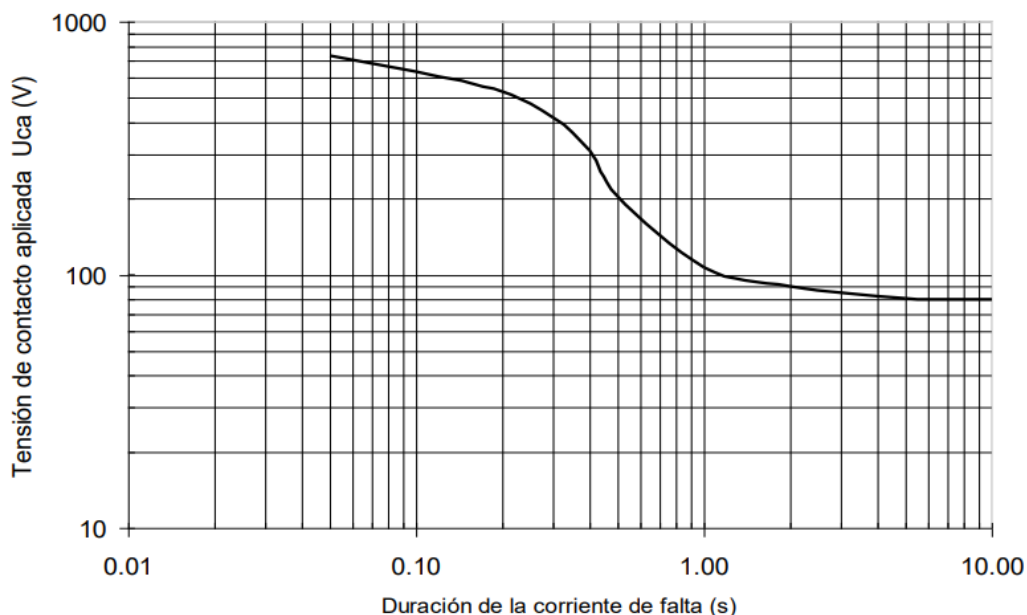


Figura 9: Relació entre els valors admissibles de la tensió de contacte aplicada i la duració del corrent de falta segons la normativa espanyola. [4]

Aquesta corba mostra les tensions de contacte admissibles aplicades al cos humà, i s'estableix partint de diferents hipòtesis, on totes afermen una seguretat elevada degut a que és molt improbable que succeeixin totes, o varies, simultàniament. Alguns dels valors típics utilitzats de la figura 5 es veuen reflectits a la taula 9.

Duración de la corriente de falta, t _f (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U _{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Taula 9: Valors admissibles de la tensió de contacte aplicada admissible U_{ca}, en V, en funció de la duració del corrent de falta t_f, en s, segons la normativa espanyola. [3]

Referent als valors admissibles de la tensió de pas aplicada no existeix una definició, degut a que aquests valors són més elevats que els de la de contacte. Per tant, si el sistema compleix amb els valors de tensió de contacte conseqüentment complirà amb els de la tensió de pas. És a dir, aquests no seran perillosos. Tot i així, el valor admissible de la tensió de pas aplicada, considerant únicament la impedància del propi cos, es pot definir com deu vegades el valor admissible de la tensió de contacte aplicada. És a dir, $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$.

Si la tensió de contacte calculada és superior als valors màxims admissibles, s'han de prendre mesures addicionals de seguretat. En aquest cas és necessari complir uns valors màxims admissibles de les tensions de pas aplicades.

En segon lloc, es defineixen les tensions màxims admissibles de contacte i de pas mitjançant les equacions següents [3]:

$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 Z_B} \right] = U_{ca} \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 \rho_s}{1000} \right] \quad (14)$$

$$U_p = U_{pa} \left[1 + \frac{2 R_{a1} + 2 R_{a2}}{Z_B} \right] = 10 U_{ca} \left[1 + \frac{2 R_{a1} + 6 \rho_s}{1000} \right] \quad (15)$$

On:

- U_c : Tensió de contacte màxima admissible, en V
- U_p : Tensió de pas màxima admissible, en V
- U_{ca} : Valor admissible de la tensió de contacte aplicada, entre ma i peus, en funció de la duració del corrent de falta, extret de la figura 1 o de la taula 5, en V
- U_{pa} : Valor admissible de la tensió de pas aplicada entre els dos peus, en V
- Z_B : Impedància del cos humà, que es considera d'un valor de 1000 Ω , en Ω
- R_{a1} : Resistència equivalent del calçat, que es considerara nul·la en cas del no ús d'aquest, en Ω
- R_{a2} : Resistència a terra del punt de contacte amb el terreny d'un peu ($R_{a2} = 3\rho_s$), en Ω

En casos on no es compleixi amb les tensions esmentades anteriorment i sigui necessari recórrer a mesures addicionals com es el cas de recobrir el terreny amb una capa d'un material amb elevada resistivitat, aquesta resistivitat s'ha de multiplicar per un factor corrector, que serveix per reduir la resistivitat del terreny en qüestió, i s'obté amb la l'expressió 16. [3]

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2h_s + 0,106} \right) \quad (16)$$

On:

- C_s : Coeficient reductor de la resistivitat de la capa superficial, sense unitats
- h_s : Espessor de la capa, en m
- ρ : Resistivitat del terreny natural, en $\Omega \cdot m$
- ρ^* : Resistivitat de la capa superficial, en $\Omega \cdot m$

Els valors aplicats de les tensions de pas i contacte depenen dels valors de tensió provocats pels diferents tipus d'elèctrodes.

Altrament, en funció de la ubicació del suport s'hauran de verificar les tensions de contacte o no. Es té en compte si el suport es freqüentat (amb calçat o sense) o si el suport és no freqüentat.

La normativa espanyola, a tall de resum, segueix l'esquema mostrat a la figura 10 per tal de dissenyar la posada a terra tenint en compte la seguretat de les persones.

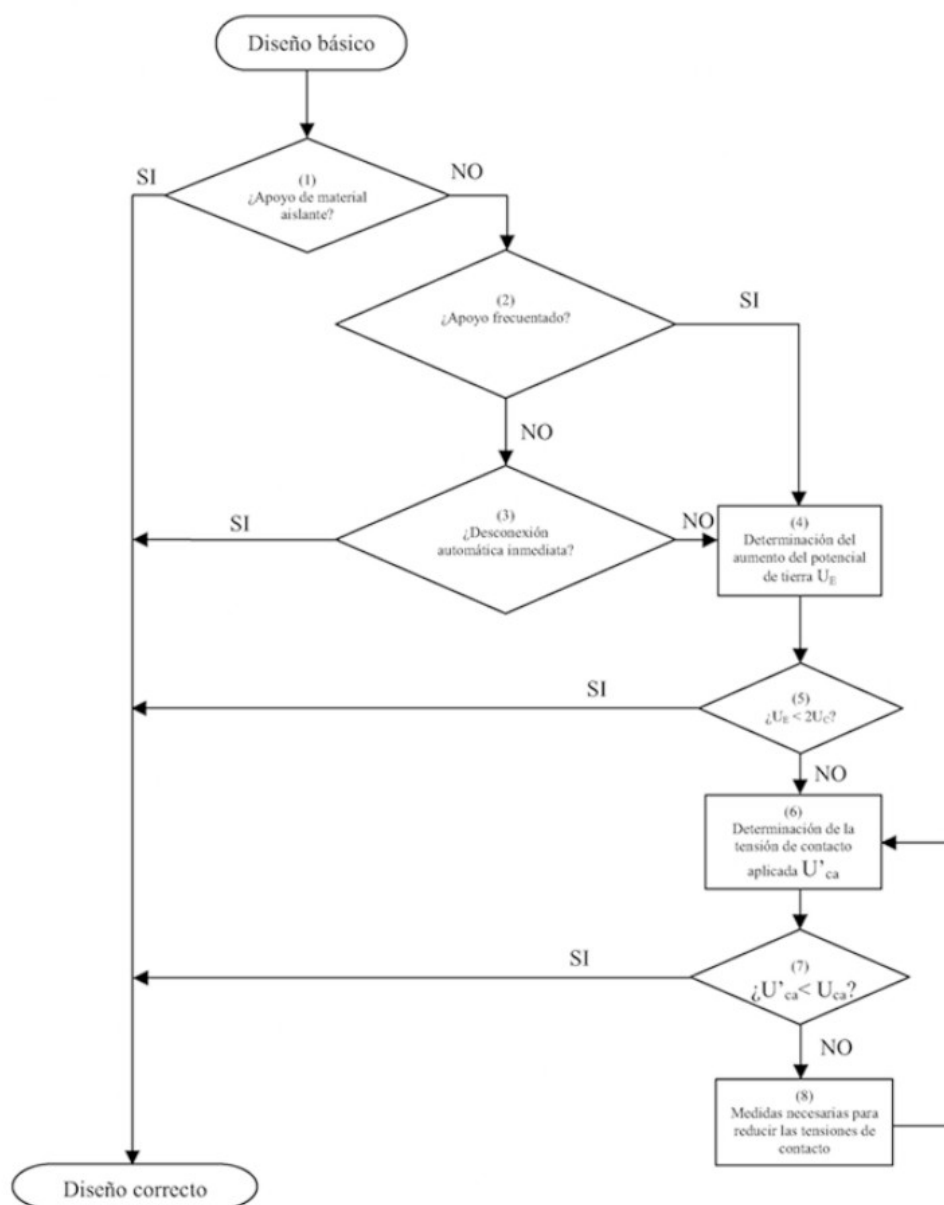


Figura 10: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa espanyola. [4]

En síntesi, pot observar-se que l'esquema tracta punts esmentats amb anterioritat, com ara el material del suport, la ubicació del suport, el potencial de terra, determinació de la tensió de contacte, etc.

2.3.7.2 Estats Units d'Amèrica

Als EEUU l'esquema que es segueix per tal de dissenyar la posada a terra respecte la seguretat de les persones queda definit per la norma IEEE Std 80-2013 [12], i és el següent:

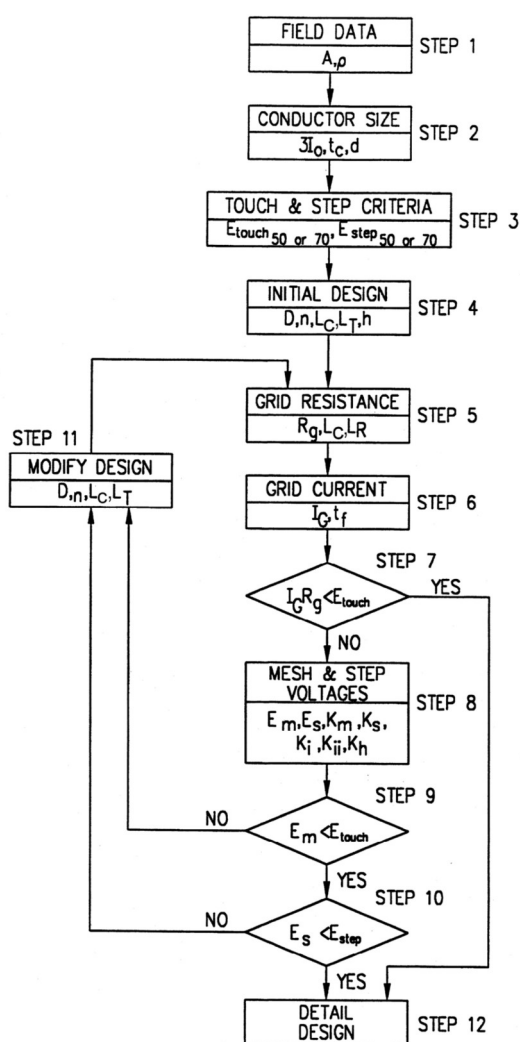


Figura 11: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte i pas segons la normativa estatunidenca. [12]

Els punts clau del diagrama de flux de la figura 11 són:

1. Determinació de les propietats del terreny. És a dir, resistivitat i quin model és necessari aplicar (uniforme o dues capes).
2. Determinació de les mesures del conductor a partir del corrent de falla i la duració d'aquest.

3. Determinació de les tensions de pas i de contacte mitjançant les expressions següents:

- Tensió de pas:

$$E_{step} = (R_B + 6\rho) I_B \quad (17)$$

$$E_{step} = (R_B + 2R_f) I_B \quad (18)$$

- Per un cos de 50 Kg:

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad (19)$$

- Per un cos de 75 Kg:

$$E_{step75} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (20)$$

- Tensió de contacte:

$$E_{touch} = \left(R_B + \frac{R_f}{2}\right) I_B \quad (21)$$

$$E_{touch} = (R_B + 1,5\rho) I_B \quad (22)$$

- Per un cos de 50 Kg:

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad (23)$$

- Per un cos de 75 Kg:

$$E_{touch75} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (24)$$

On:

- R_B : Resistència del cos, de la qual es pren un valor de 1000 Ω
- R_f : Resistència a terra d'un peu, en Ω
- I_B : Corrent que circula pel cos durant el defecte, en A
- ρ : Resistivitat del terreny natural, en $\Omega \cdot m$
- ρ_s : Resistivitat de la capa superficial, en $\Omega \cdot m$
- C_s : Coeficient reductor de la resistivitat de la capa superficial, sense unitats

El coeficient reductor de la resistivitat de la capa superficial C_s es calcula mitjançant l'expressió 25.

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0,09} \quad (25)$$

On:

- h_s : Espessor de la capa, en m
- 4. Determinació de les tensions aplicades de pas i de malla. S'ha de tenir en compte que a la normativa en aquest cas no apareix una tensió de contacte, es tracta de la tensió de tacte màxima dins d'una malla d'una xarxa de terra. És a dir, de l'elèctrode. Tal i com s'ha comentat a la normativa espanyola, les tensions de pas i de contacte depenen de l'elèctrode, i en aquesta normativa dels EEUU es té en compte que l'elèctrode és una malla, ja que només s'especifica per a subestacions. Aquestes tensions de pas i de malla es calculen mitjançant les expressions següents:

$$E_m = \frac{\rho + K_m + K_i + I_G}{L_M} \quad (26)$$

$$E_s = \frac{\rho + K_s + K_i + I_G}{L_S} \quad (27)$$

On:

- E_m : Tensió de malla, en V
- E_s : Tensió de pas, en V
- ρ : Resistivitat mitja del terreny, en $\Omega \cdot m$
- I_G : Corrent màxim de derivació a terra, en A
- L_M : Longitud total dels conductors enterrats, incloses les connexions creuades, i, excepcionalment, la longitud combinada de les barres de terra, en m
- L_S : Longitud total dels conductors enterrats, incloses les connexions creuades i, excepcionalment, la longitud efectiva total de les barres de terra, en m
- K_m : Factor de malla definit per a n conductors paral·lels, sense unitats
- K_s : Factor de malla definit per a n conductors paral·lels, sense unitats
- 5. Comparació de les tensions calculades amb les equacions anteriors per confirmar si el disseny de la posada a terra és correcte.

2.3.7.3 Regne Unit

Segons la norma BS EN 50522:2010 [15], el diagrama de flux a seguir per tal de dissenyar una instal·lació de posada a terra per tal que compleixi amb la seguretat de les persones és el mostrat a la figura 12.

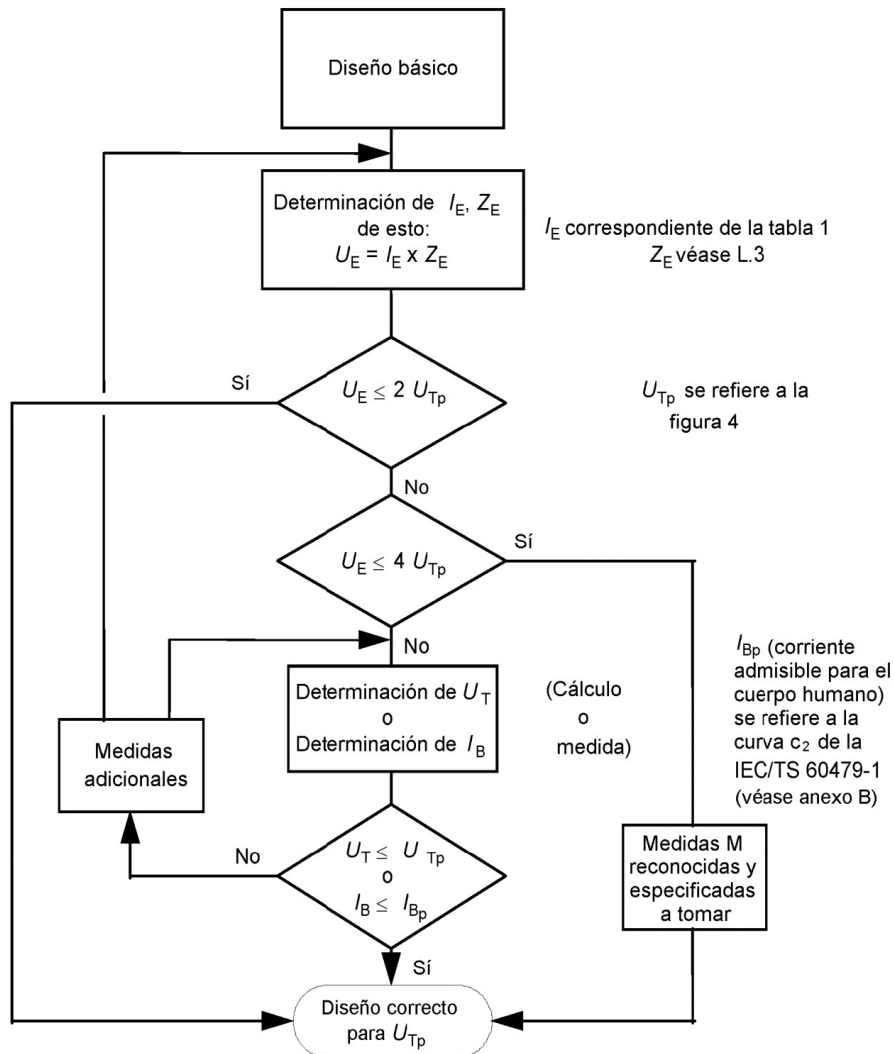


Figura 12: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa anglesa. [15]

Pel càlcul de les tensions de contacte s'utilitzen les mateixes expressions que les mostrades a la normativa de Mèxic (Fórmules 28 i 29). Això és degut a que el procediment que segueixen els dos països és gairebé idèntic.

Els valor aplicat de la tensió de contacte admissible en funció de la duració del corrent de falta s'extreu de la taula 10. Els valors d'aquesta taula són extrets de la corba mostrada a la figura 16.

Duración del defecto t_f s	Tensión de contacto admisible U_{Tp} V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

NOTA 1 Para condiciones específicas pueden determinarse las tensiones de contacto basadas en trayectorias de corrientes reales.

NOTA 2 Para una duración de flujo de corriente considerablemente superior a 10 s, puede utilizarse un valor de 80 V como tensión de contacto admisible U_{Tp} .

Taula 10: Valors admissibles de la tensió de contacte aplicada admissible U_{Tp} , en V, en funció de la duració del corrent de falta t_f , en s, segons la normativa anglesa. [15]

Pel que fa a I_B s'utilitza la corba c_2 de la norma IEC/TS 60479-1 [19].

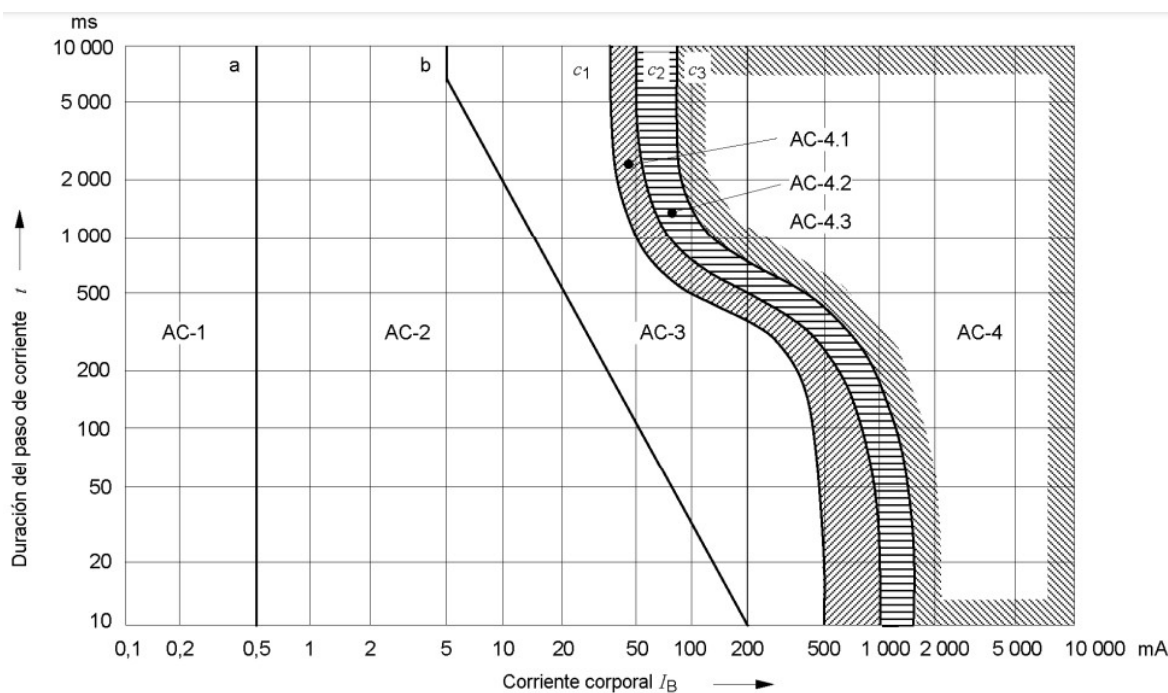


Figura 13: Zones/temps/corrent convencionals dels efectes de les corrents alterns (15 Hz a 100Hz) sobre persones per una trajectòria corresponent de mà esquerra a peus. [19]

Alguns dels valors més característics d'aquesta corba es troben a la taula 11.

Duración del defecto s	Corriente que pasa a través del cuerpo humano mA
0,05	900
0,10	750
0,20	600
0,50	200
1,00	80
2,00	60
5,00	51
10,00	50

Taula 11: Corrent admissible que circula a través del cos humà I_B en funció de la duració t_f del corrent de falta. [15]

Així mateix, aquesta informació és la mateixa que la proporcionada proporcionada a les figures 15 i 16. D'igual manera, també és necessari utilitzar la informació proporcionada a la taula 12.

Segons [15], el valor del factor de corrent pel cos HF pot presentar els valors següents:

- 1 per mà esquerra a peu.
- 0,8 de mà dreta als peus.
- 0,4 d'una mà a l'altre.

De la mateixa manera, també s'especifiquen els valors més típics del factor del cos humà BF [15]:

- 0,75 d'una mà als dos peus.
- 0,5 de les dues mans als peus.

2.3.7.4 Mèxic

Segons la llei mexicana sobre les instal·lacions elèctriques de la xarxa nacional de transmissió i les especificacions de seguretat [17], es segueix l'esquema de la figura 14 per al disseny de la posada a terra front la seguretat de les persones.

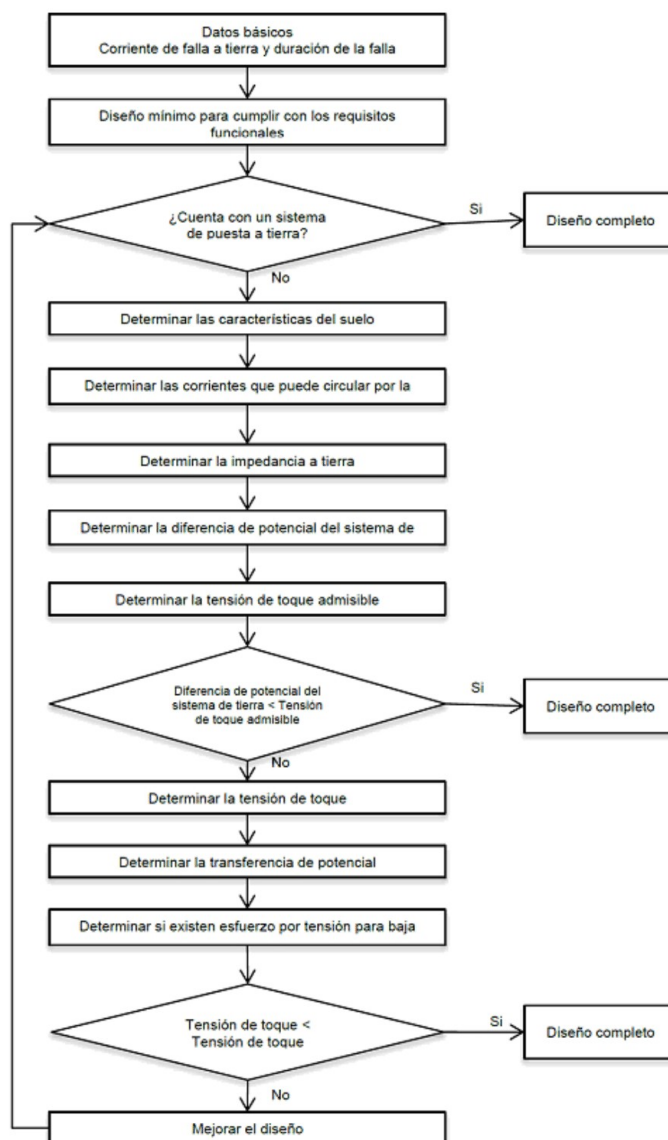


Figura 14: Esquema de seguiment pel correcte disseny d'una posada a terra respecte a les tensions admissibles de contacte segons la normativa mexicana. [17]

A primera vista ja es poden observar diferències amb la normativa espanyola, mostrades a la figura 10, on per exemple es té en compte si el suport és freqüentat o no o si existeix una desconexió automàtica immediata quan hi ha un defecte. D'altra banda, també hi ha punts en comú com la determinació del potencial de terra i la tensió de contacte (en el cas de la normativa mexicana s'anomena *tensión de toque*). Altrament, a la normativa mexicana apareixen punts que a simple vista no hi son explícitament a la normativa espanyola però si es tenen en compte dins dels respectius punts implícitament, com es el cas de la determinació del corrent de falta, la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra.

Per contra, a Mèxic s'utilitza una expressió per calcular la tensió de contacte diferent, tal i com indica la bibliografia [18]:

$$U_{Tp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF \quad (28)$$

On:

- U_T : Tensió de contacte, en V
- U_{Tp} : Tensió de contacte admissible, en V
- t_f : Temps de duració del defecte, en s
- $I_B(t_f)$: Corrent admissible pel cos humà, en A
- HF : Factor de corrent pel cor, sense unitats
- $Z_T(U_T)$: Impedància del cos humà, en Ω
- BF : Factor del cos humà, sense unitats

Segons [18], també es poden considerar resistències addicionals en mans i peus. Aquest fet es veu reflectit a amb l'afegit de totes dues resistències a l'expressió 28:

$$U_{vTp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF + R_H + R_F \quad (29)$$

On:

- U_{vTp} : Tensió de contacte previsible i admissible, en V
- R_H : Resistència addicional a les mans, en Ω
- R_F : Resistència addicional als peus, en Ω

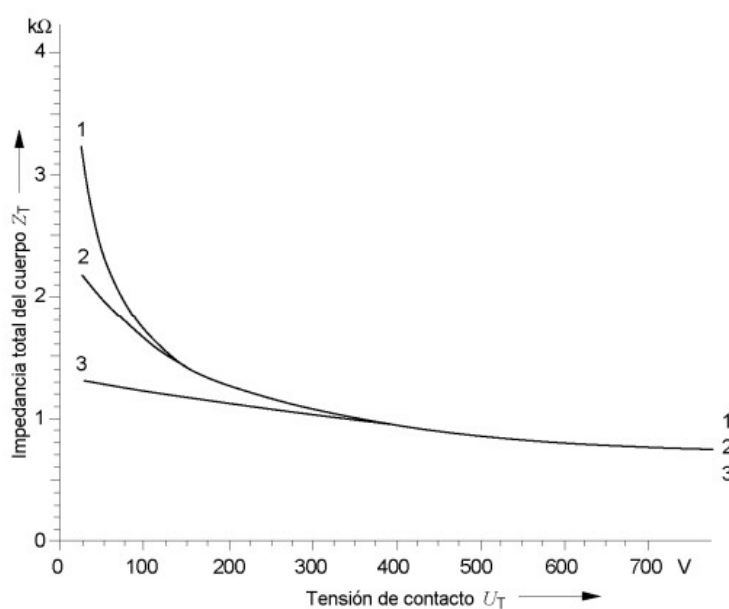
Tal i com es pot observar en les expressions 28 i 29, apareixen paràmetres que a la normativa espanyola no apareixen. Aquests es poden trobar a la norma internacional IEC/TS 60479-1 [19], que dona indicacions sobre els efectes de la corrent al circular pel cos humà establint uns valors admissibles de duració i magnitud. Realment totes les normes tenen en compte els aspectes tractats a la normativa esmentada, però a Mèxic es fa ús específic en les seves equacions de càlcul de la tensió de contacte.

A continuació es mostra d'on s'obtenen els diferents paràmetres segons la norma mexicana [18] i la internacional a la qual fa referència [19]:

- HF : Factor de corrent pel cor (Taula 12).
- $Z_T(U_T)$: Impedància del cos humà (Figura 15).
- U_T : Tensió de contacte (Figura 16).

Trayectoria de la corriente	Factor de corriente del corazón F
Mano izquierda al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	1,0
Ambas manos a los dos pies	1,0
Mano izquierda a mano derecha	0,4
Mano derecha al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	0,8
Espalda a la mano derecha	0,3
Espalda a la mano izquierda	0,7
Pecho a la mano izquierda	1,3
Pecho a la mano derecha	1,5
Posaderas a la mano izquierda, a la mano derecha o a las dos manos	0,7
Pie izquierdo a pie derecho	0,04

Taula 12: Factor de corrent del cor HF per diferents trajectòries del corrent. [19]



Leyenda

- 1 Condiciones secas (tabla 1)
- 2 Condiciones húmedas (tabla 2)
- 3 Condiciones húmedas y saladas (tabla 3)

Figura 15: Impedància total del cos Z_t (50%) per una trajectòria de corrent de mà a mà per superfícies de contacte en diferents condicions per un percentatge de la població del 50% amb tensions de contacte U_t de 25 V a 700 V en corrent alterna a 50/60 Hz. [19]

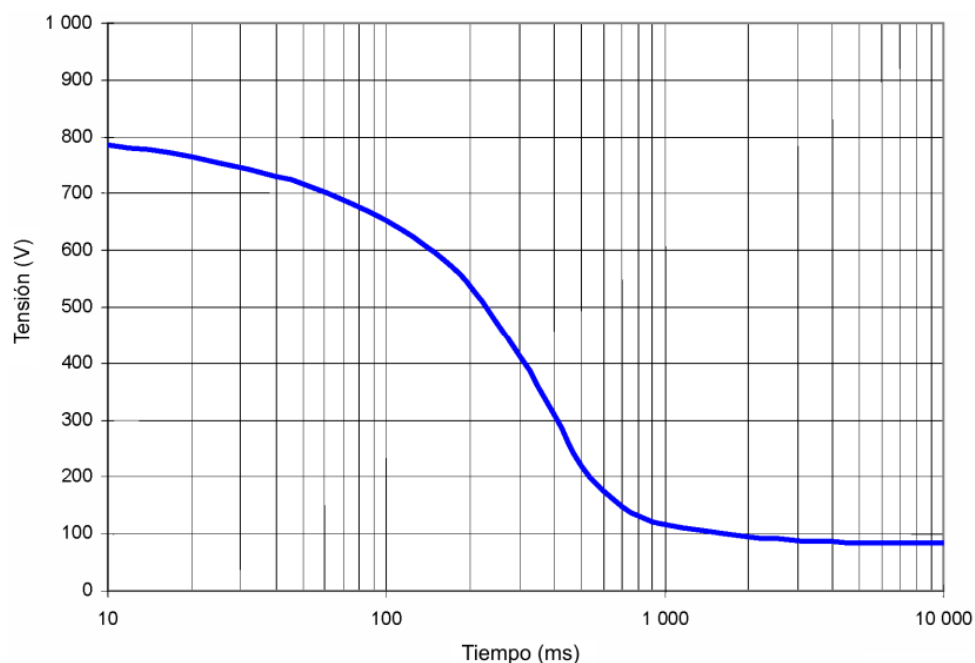


Figura 16: Relació entre la tensió de contacte aplicada i la duració del corrent de falta segons la normativa mexicana. [18]

2.4 Anàlisi comparatiu de les normatives

A través dels apartats anteriors s'han exposat els aspectes a complir de cadascun dels diferents elements per les normatives seleccionades. A continuació es realitza un breu anàlisi comparatiu amb la finalitat de ressaltar discrepàncies o semblances entre les diferents normatives.

2.4.1 Requeriments

En primer lloc, a l'apartat 2.3.1 es tracten els requeriments. Aquí tots els països contempen requisits molt similars, puix que realment els objectius de les PAT són universals.

Hi ressalta un comú denominador per a totes les normatives, ja que tot i que la finalitat sigui molt semblant o gairebé igual per a tots els països, els paràmetres dels quals es deixa constància que depèn el disseny de la PAT si que presenten un espectre més ampli. Per exemple, a Espanya, al contrari que a la resta de països, s'especifica la importància de conèixer el material i la ubicació del suport, ja que això significa haver de fer consideracions diferent a l'hora de dissenyar la PAT. Pel que fa a Mèxic i al Regne Unit, que usen una normativa similar, s'especifiquen més paràmetres relacionats amb el cos humà i el corrent elèctric. Referent als Estats Units d'Amèrica, és el país que presenta una normativa més escaçada pel que fa als requeriments.

Un aspecte important que cal mencionar és que només la normativa espanyola i mexicana tenen documents amb normes especials per a les posades a terra de les línies elèctriques d'alta tensió a diferència de l'estatunidenca i la britànica, on no s'especifiquen normes per aquests casos i s'ha de recórrer a la normativa referent a les subestacions elèctriques.

2.4.2 Elèctrodes de posada a terra

A l'apartat 2.3.2 s'han presentat diferents taules de tipus d'elèctrodes de les normatives de cada país. Els elèctrodes són la part del disseny de la PAT on més diferència hi ha entre els països en qüestió. Prenent en consideració que els elèctrodes bàsics són els mateixos (piques, plaques, anells, malles, etc.), les diferents configuracions que es poden realitzar són gairebé infinites. Per exemple, uns elements distintius de la normativa mexicana és l'ús de contra-antenes o de bentonita. Contràriament a la resta de països, pel que fa als elèctrodes de posada a terra convé destacar la facilitat d'accés a la informació que proveeixen els manuals tècnics de les empreses energètiques, com és el cas del manual tècnic de la referència [8]. Es tracta d'un fet destacable, ja que a diferència d'Espanya, la cerca d'informació relacionada amb elèctrodes de posada a terra per línies elèctriques aèries d'alta tensió no està a l'abast.

2.4.3 Línies de terra i medis de connexió als elèctrodes

A l'apartat 2.3.3 es tracten les línies de terra i els medis de connexió als elèctrodes. Quant a les línies de terra no hi sembla haver una certa normalització dels valors mínims de les seccions dels conductors de coure pels quatre països a comparar, excepte a la normativa estatunidenca on no s'especifica cap valor numèric. Per ordre ascendent es té que a la normativa anglesa la secció mínima és de 16 mm^2 , a la normativa espanyola és de 25 mm^2 i a la mexicana de $33,6 \text{ mm}^2$. Com a objecció, el valor mínim que presenta la normativa anglesa no es preveu gaire útil perquè és massa petit, el més probable és que s'utilitzi un més elevat.

Pel que fa als medis de connexió als elèctrodes l'única normativa que dóna detalls al respecte donant algun exemple és la mexicana. Això no obstant, tampoc dona detalls més tècnics com podrien ser les dimensions o els materials.

2.4.4 Resistència de posada a terra

A l'apartat 2.3.4 es tracten les resistències de posada a terra, que van íntimament relacionades amb l'elèctrode de posada a terra. És a dir, tot i que es presenten les equacions de càlcul pels elèctrodes bàsics com serien les piques, anells o malles, no es poden extreure conclusions atès que tot depèn de la configuració de l'elèctrode. Hi són exemples l'equació 2 de la normativa estatunidenca, que tal com s'ha esmentat, serveix

per calcular la resistència de posada a terra, que combina les resistències individuals de les piques, la malla i la resistència mútua entre ambdós. També són útils els valors del coeficient de resistència de posada a terra K_r , extreta de la taula x del manual tècnic [8]. Així, un altre cop la normativa espanyola destaca davant la resta per la relativa quantitat d'informació que ofereix.

2.4.5 Resistivitat del terreny

En l'àmbit de la resistivitat del terreny, tractada a l'apartat 2.3.5, és on més correspondència hi ha entre les diferents normatives. Si bé es mostren taules amb diferents valors base típics de resistivitat en funció de la naturalesa del terreny, com és el cas de la normativa espanyola i anglesa, totes les normes recomanen (gairebé obligadament) utilitzar un mètode de quatre sondes, entre els quals en destaca el mètode Wenner.

Un cop realitzades les mesures sí que es pot percebre dissidència entre les diferents normatives. Un bon exemple d'això és el cas de les normes mexicanes i estatunidenques, on es fa ús de les expressions 4 i 5 per tal d'obtenir un valor mitjà de la resistivitat del terreny a partir d'emprar el valor màxim i mínim obtingut a les mesures dividint-lo entre 2. Pel que fa a Espanya i Regne Unit no s'especifica com procedir amb les mesures un cop assolides.

2.4.6 Corrent de falta, corrent de terra i potencial de terra

A l'apartat 2.3.6 s'explica el procediment de càlcul del corrent de falta, del corrent de terra i del potencial de terra. En aquest aspecte, de nou, cal remarcar la facilitat d'accés i la qualitat de la normativa espanyola davant la resta. N'és un exemple clar el cas de Mèxic, on enlloc s'especifica quin procediment seguir. Pel que fa a les normatives angleses i estatunidenques el mètode utilitzat és pràcticament igual a l'utilitzat a la norma espanyola. A totes tres es té en consideració el corrent de curtcircuit monofàsic de la línia i les diferents impedàncies que intervenen, inclosa la resistència de posada a terra. Referent al potencial de terra, només s'especifica explícitament a la norma espanyola seguint l'expressió 8, tot i que a la normativa anglesa el càlcul és el mateix.

2.4.7 Dimensionat respecte la seguretat de les persones

El dimensionat respecte la seguretat de les persones segons les diferents normatives és tractat a l'apartat 2.3.7. A diferència de la resta d'apartats, és aquí on més diferències s'aprecien entre les normes dels països seleccionats. A l'apartat 2.3.7 es poden veure els diagrames de blocs de cada normativa, mostrats a les figures 10, 11, 12 i 14, on apreciablement es distingeixen estructures diferents. Tot i així, dins d'aquestes variacions

hi ha forces semblances de dades necessàries, com el valor i la duració del corrent de curtcircuit monofàsic, el valor de la resistència de posada a terra (amb la selecció de l'elèctrode bàsic pel disseny inicial) i la resistivitat del terreny. Contràriament als paràmetres que son iguals per totes les normatives, és en el procediment per aconseguir complir amb les tensions establertes on més diferències apareixen.

Pel que fa a la normativa espanyola, el disseny compleix si el suport és de material aïllant, si el suport no és freqüentat i es disposa de desconexió automàtica, si es compleix que el potencial de terra és més petit que el doble de la tensió de contacte o si finalment el valor de la tensió de contacte calculada és inferior a l'admissible proporcionat per la norma. La comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte es repeteix a totes les normatives, però prenent en consideració els diferents criteris llistats a continuació:

- Espanya: $U_E < 2U_C$
- Estats Units d'Amèrica: $U_E < U_{TOUCH}$
- Regne Unit: $U_E \leq 2U_C$, i si no compleix; $U_E \leq 4U_C$, realitzant les mesures necessàries.
- Mèxic: $U_E < U_C$

Amb aquesta primera comparació de tot el procediment a seguir ja es pot extreure una conclusió inicial, i es que tant la normativa estatunidenca com la mexicana són més estrictes que l'espanyola i, evidentment, que l'anglesa. És en aquesta última on més marge es concedeix, ja que el potencial de terra pot arribar a ser fins 4 vegades més gran que en el cas de la norma estatunidenca o mexicana, o el doble que el màxim establert per la normativa espanyola.

Si la comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte no compleix i el disseny no és correcte a totes les normatives es procedeix similarment, comparant les tensions de contacte i pas aplicades calculades amb les respectives equacions de cada normativa i les tensions admissibles. Pel que fa a les equacions per calcular les tensions de pas i de contacte de cada normativa és on més diferència hi ha, ja que s'utilitzen valors i factors diferent a cadascun dels 4 països. Tot i això, un punt que hi destaca pel que fa al valor de la tensió de contacte aplicada admissible en funció de la duració del corrent de falta a les normatives espanyoles i angleses, vegeu taules 9 i 10, és que la norma espanyola és més permissiva amb tots els valors de la tensió de contacte aplicada admissible, ja que per una mateixa duració del corrent de falta la normativa anglesa presenta un valor d'aquesta més elevat. I el mateix succeeix amb la normativa mexicana que segueix criteris molt semblants a l'anglesa tal com s'ha dit. Aquest fet es tractarà numèricament als càlculs realitzats amb les aplicacions generades a MATLAB de l'apartat 4.2 .

3 Resistivitat del terreny

3.1 Concepte de resistivitat del terreny

Segons Moreno Clemente [20], tot element conductor d'electricitat presenta una oposició al pas del corrent elèctric. Aquesta oposició s'anomena resistència elèctrica, i pot representar-se amb la figura 17 que es mostra a continuació:

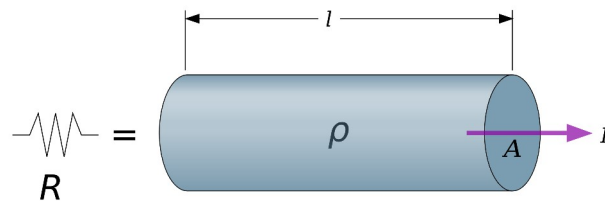


Figura 17: Resistència elèctrica d'un fil conductor de longitud l i secció A . [35]

Per tant, l'expressió de la resistència elèctrica és:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (30)$$

On:

- R : Resistència elèctrica, en Ω
- ρ : Resistivitat elèctrica, en $\Omega \cdot \text{m}$
- l : Longitud del conductor, en m
- A : Secció del conductor, en mm^2

Com es pot observar, les unitats de la resistivitat elèctrica ρ són $\Omega \cdot \text{m}$. Per tant, en el cas del terreny es considera com la resistència elèctrica específica que presenta un cub d'un material determinat d'1 m de costat a la circulació de corrent elèctric per ell. Això es representa a la figura 18.

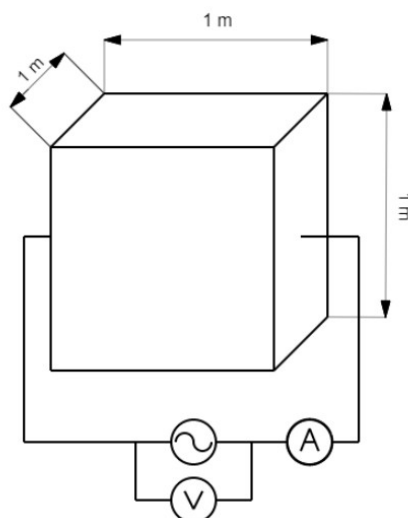


Figura 18: Resistència elèctrica d'un cub de 1 m de costat. [Elaboració pròpia]

És important que el terreny presenti un baix valor de resistivitat ja que, tal com s'observa a l'expressió 30, la resistivitat es troba multiplicant i provoca un augment del valor de la resistència.

A més, tal com s'ha tractat a la comparació de normatives de l'apartat 2.3, l'estudi de les condicions del terreny per tal de determinar la seva resistivitat constitueix una part molt important a l'hora de dissenyar una instal·lació de posada a terra, ja que és el factor principal del que depèn la resistència de l'elèctrode, i per tant, la resistència de posada a terra.

Cal remarcar que el terreny, a part de l'elèctrode, s'utilitza com a medi conductor en cas de defecte a terra. Per tant, interessa que el valor de la resistivitat sigui el més baix possible perquè la resistència sigui també menor, i en conseqüència el corrent de defecte tingui preferència per circular pel terreny abans que per una persona que pugui estar present al moment del defecte.

3.2 Factors que afecten a la resistivitat del terreny

Segons Palomar [21] i Rojas [22], a l'hora de mesurar la resistivitat del terreny cal tenir en consideració que aquesta es veu afectada pels diferents factors enumerats a continuació:

1. **Composició del terreny:** Tal com es mostra a les taules 7 i 8, la resistivitat del terreny varia segons la composició d'aquest.
2. **Humitat:** Relacionada amb la composició del terreny, la humitat depèn a més d'altres factors com el clima, l'època de l'any, la naturalesa del subsol, la profunditat i la situació del nivell freàtic⁶, etc.

6 El nivell freàtic és un terme utilitzat principalment a la *hidrogeologia*, i serveix per definir el nivell de l'aigua subterrània.

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM-CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0.0	$1,000 \times 10^6$	$1,000 \times 10^6$
2.5	250,000	150,000.0
5.0	165,000	43,000
10	53,000	22,000
15	21,000	13,000
20	12,000	10,000
30	10,000	8,000

Taula 13: Efecte de la humitat en la resistivitat del terreny. [22]

A la taula 13 es pot observar que a mida que el contingut d'humitat en el terreny augmenta el valor de la resistivitat decreix.

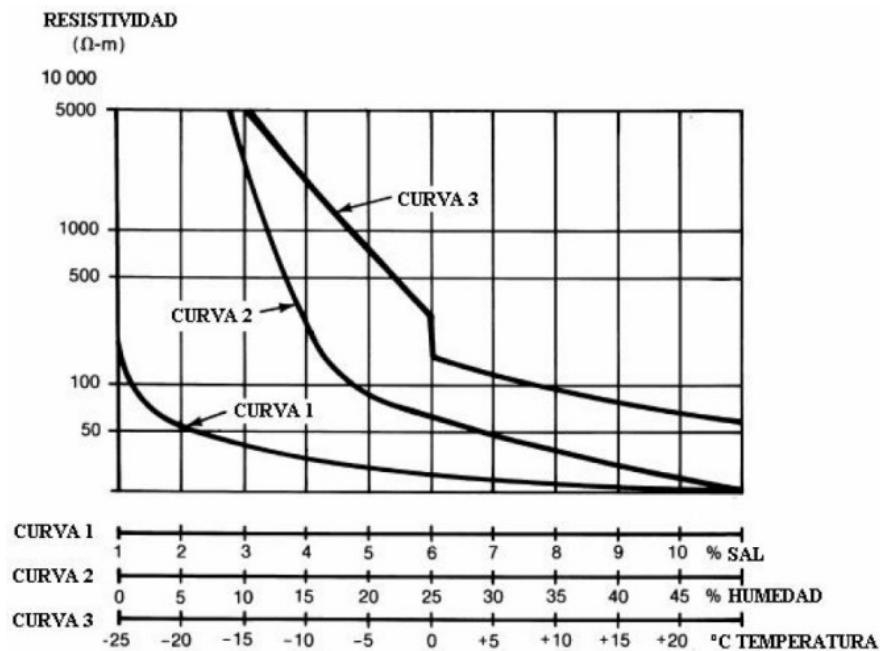


Figura 19: Corbes de relació entre la salinitat, la humitat i la temperatura amb la resistivitat del terreny. [34]

De manera paral·lela, tal i com es pot observar a la corba 2 de la figura 19, a mida que el percentatge d'humitat disminueix la resistivitat augmenta.

- Salinitat:** El terreny està compost per, entre altres, sals i aigua. En conseqüència, el terreny presenta una conductivitat de caràcter electrolític, de manera que les sals i l'aigua formen una relació que repercuteix directament a la resistivitat del terreny tal com mostra la figura 20:

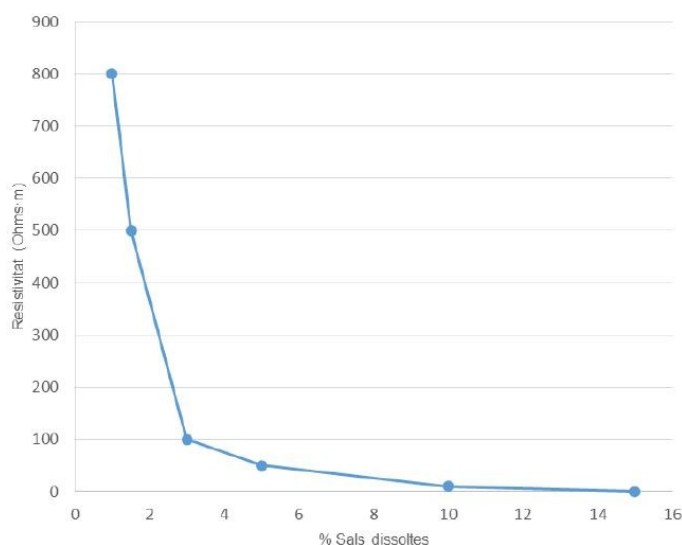


Figura 20: Resistivitat del terreny en funció de les sals dissoltes. [21]

% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD OHM-CM
0.0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5.0	190
10	130
20	100

Taula 14: Efecte de la sal en la resistivitat del terreny. [22]

Com es mostra a la taula 14, i en comparació amb la taula 13, una menor presència de sals al terreny disminueix més dràsticament la resistivitat que si només hi ha present humitat.

En el cas de la salinitat també es pot fer ús de la figura 19 mitjançant la corba 1. Amb aquesta es confirmen els resultats de la figura 20 i de la taula 14, on s'extreu que si el percentatge de sal augmenta també ho fa la resistivitat.

- 4. Temperatura:** Segons Rojas [22], tot i que no hi ha gaire informació al respecte, s'arriba a una conclusió lògica de que la temperatura afecta a la resistivitat. En aquest cas, a mesura que augmenta la temperatura la resistivitat del terreny disminueix, i viceversa, essent les resistivitats més elevades les que queden per sota dels 0 °C. Aquest fet està relacionat en com la temperatura afecta a la humitat i l'estat de l'aigua.

Igual que succeeix amb la humitat i la salinitat, es pot fer ús de la corba 3 de la figura 19 per confirmar aquest fet. S'observa que a mida que augmenta la temperatura la resistivitat del terreny disminueix.

5. **Granulometria:** Fa referència a la porositat del material que conforma el terreny i a la mida dels grans que el conformen. És a dir, tant els espais buits interns del material com els espais buits externs del terreny tenen importància. Si un material presenta una elevada porositat en conseqüència presentarà una elevada resistivitat, pel fet que aquests espais estan ocupats per aire amb una resistivitat molt elevada. El mateix passa si els grans que conformen el terreny tenen una mida considerable, ja que la superfície de contacte amb l'elèctrode serà inferior, provocant una resistivitat major.
6. **Estratigrafia:** Defineix el nombre de capes de diferent composició que formen el terreny. De la mateixa manera, cadascuna d'aquestes capes presentarà les seves propietats, resistivitat inclosa.
7. **Variacions estacionals:** Cadascuna de les estacions presenta unes condicions climatològiques diferents que afecten directament sobre altres propietats com la humitat i la temperatura.
8. **Gradient de potencial i corrent de falla:** Si el gradient de potencial excedeix uns certs valors crítics es produeixen petits arcs a la superfície de l'elèctrode que igualen els potencials i augmenten la superfície de l'elèctrode, donant valors de resistivitat més baixos que són irrealment. En referència a els corrents de falla que travessen l'elèctrode, aquestes poden provocar una elevació de temperatura al terreny on s'ubica, i en conseqüència, esdevé en un augment de la conductivitat.
9. **Productes addicionals:** Són utilitzats quan es tenen resistivitats molt elevades i obligadament s'ha d'instal·lar una posada a terra en aquella ubicació. Solen ser productes conductors i retenidors de la humitat, amb una bona stratigrafia que augmenta la superfície de contacte amb l'elèctrode. Tot i que hi ha de diverses naturaleses, s'ha de prestar especial atenció als que són de naturalesa química, ja que poden corroir l'elèctrode.
10. **Corrosió:** Contràriament als altres factors esmentats, la corrosió no afecta directament a la resistivitat del terreny. Però, sí que es pot considerar una implicació implícita, ja que a terrenys on la resistivitat és elevada també hi és present un cert nivell de corrosió. A més, la corrosió afecta la vida útil de l'elèctrode, i alguns dels factors que poden provocar aquesta deterioració són compartits amb els que afecten la resistivitat. Com per exemple el contingut en sals i la composició química del terreny.

3.3 Mètodes de mesura

Tal com s'ha dit a l'apartat 2.3.5 de la comparació de normatives, en tot cas es recomana mesurar la resistivitat del terreny de la zona on es vol fer la instal·lació de la posada a terra per no fer ús de les taules de valors establerts, ja que aquests no deixen de ser orientatius i es requereix el màxim d'exactitud possible.

Existeixen diversos mètodes de mesura de la resistivitat del terreny, però per aquest treball, degut a que les normatives esmentades a l'apartat 2.3.5 només fan referència a mètodes de mesura que utilitzen quatre piques o terminals, es llisten els següents [21]:

- Mètode dels quatre punts.
- Mètode Wenner.
- Mètode Schlumberger-Palmer.
- Mètode Dipol-Dipol.

Tots els mètodes esmentats fan ús d'una eina anomenada tel·luròmetre. A partir de la referència [23], es defineix com un aparell de mesura constituït per quatre terminals, dels quals dos són de corrent i els dos restants són de tensió. Aquests han d'estar certificats i provats abans de ser utilitzats per realitzar medicions.

A les normatives vistes a l'apartat 2.3.5 es recomana la utilització d'un mètode de quatre sondes, i dins dels mètodes de quatre sondes s'especifica el mètode Wenner.

Convé subratllar que el mètode Schlumberger-Palmer i el Dipol-Dipol també són mètodes que utilitzen quatre sondes i són variacions del mètode Wenner.

Abans d'explicar el mètode Wenner, que tal i com s'ha dit anteriorment és el mètode recomanat per les altres normatives, cal fer una breu explicació del camp elèctric generat en les proximitats d'un elèctrode i del mètode dels quatre punts.

3.3.1 Camp elèctric generat en les proximitats d'un elèctrode

Segons Moreno Clemente [20], si se suposa un elèctrode semiesfèric, el potencial creat pel pas d'un corrent per aquest també tindrà una forma semiesfèrica per cadascuna de les capes, tal com s'il·lustra a la figura 21.

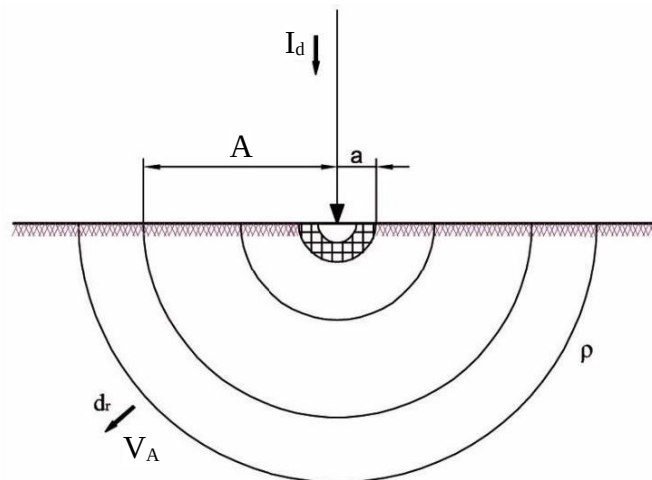


Figura 21: Elèctrode semiesfèric enterrat, de radi a . [21]

Per tant, el potencial de terra en un punt a una distància de l'elèctrode en aquest cas es regeix per l'equació 31:

$$V_A = \frac{\rho I_d}{2\pi A} \quad (31)$$

On:

- V_A : Potencial creat per un elèctrode semiesfèric enterrat, en V
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
- I_d : Intensitat de defecte, en A
- A : Distància d'un punt qualsevol respecte a l'elèctrode, en m

3.3.2 Mètode dels quatre punts

El mètode dels quatre elèctrodes serveix com a base pel mètode Wenner. Per tant, és important conèixer en que es fonamenta.

Per aquest mètode s'utilitza l'esquema elèctric de la figura 22.

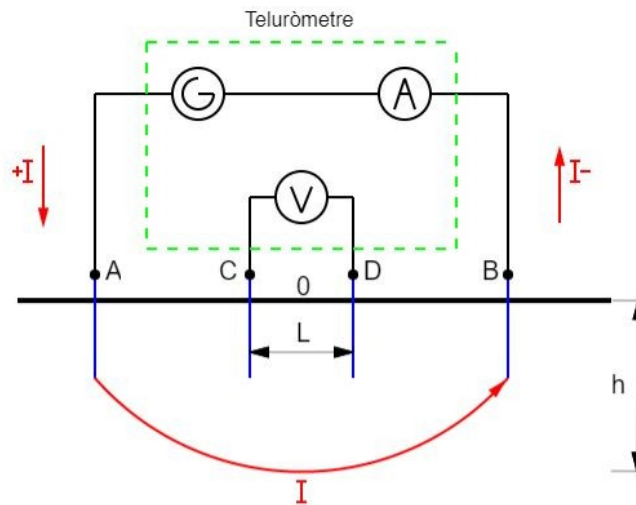


Figura 22: Esquema elèctric del mètode dels quatre punts. [Elaboració pròpia]

A la figura 22, es mostra el funcionament d'aquest mètode. Com es pot observar, s'aplica la llei d'Ohm amb el terreny. Amb el tel·luròmetre es mesura la tensió entre els punts C i D i el corrent entre els punts A i B.

Partint del camp elèctric d'una semiesfera, regit per la següent expressió:

$$E = \frac{\rho I}{2\pi a^2} \quad (32)$$

El camp elèctric entre A i B serà:

$$E_{A-B} = \frac{\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{+I}{(AO)^2} \right) - \left(\frac{-I}{(OB)^2} \right) \right] \quad (33)$$

Si es considera que la distància entre AO i OB son iguals, podem denominar una distància x, i el camp elèctric per aquesta distància serà:

$$E_x = \frac{\rho I}{2\pi x^2} \quad (34)$$

Per tant, si aïllem la resistivitat del terreny queda:

$$\rho = 2\pi x^2 \frac{E}{I} \quad (35)$$

El potencial E a la vegada és:

$$E = \frac{U_C - U_D}{L} \quad (36)$$

D'altra banda es té:

$$U_C - U_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AC} - \frac{1}{CB} \right) - \left(\frac{1}{AD} - \frac{1}{DB} \right) \right] \quad (37)$$

A partir de l'expressió 37 es pot aconseguir el terme de la resistivitat del terreny ρ :

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AC} \right) - \left(\frac{1}{CB} \right) - \left(\frac{1}{AD} \right) + \left(\frac{1}{DB} \right)} \cdot \frac{U_C - U_D}{x} \quad (38)$$

Convé fer ressaltar que la distància entre les piques no ha de ser igual. És a dir, les distàncies AC i DB sí, però no és necessari que $AC = CD = DB$.

3.3.3 Mètode Wenner

Contràriament al mètode dels quatre punts, en aquest cas sí que es requereix que les piques estiguin separades a distàncies iguals. Per aquest fet, per mesurar la resistivitat del terreny es claven quatre piques petites a terra separades equidistantment, que es consideren amb un comportament semblant al d'un elèctrode semiesfèric com el que es mostra a la figura 21, al igual que el mètode de quatre piques. Aquestes piques es connecten als borns, seguint l'orde correcte, d'un aparell de mesura anomenat tel·luròmetre. Tal com indica Moreno Clemente [20], quan el galvanòmetre del tel·luròmetre marca 0 significa que no hi circula corrent per les piques intermèdies (piques 2 i 3 de la figura 23), circulant tota per les piques externes (piques 1 i 4 de la figura 23). A la figura 23 es mostra la configuració del tel·luròmetre i les piques.

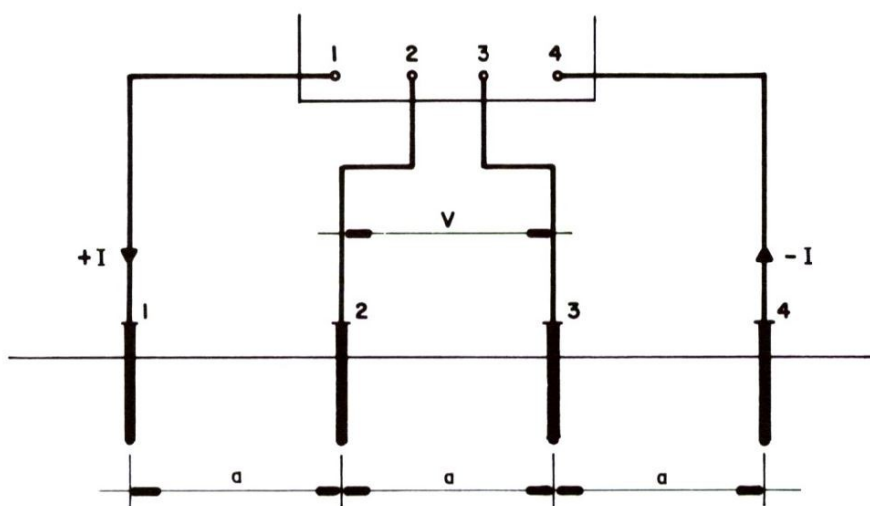


Figura 23: Esquema de mesura de la resistivitat del terreny amb tel·luròmetre mitjançant el mètode Wenner. [20]

El tel·luròmetre proporciona el valor d'una resistència r , que fa referència a un coeficient entre la diferència de potencial de les piques intermèdies i la intensitat que circula per les

piques externes. D'aquesta manera, es verifica que la resistivitat mitjana del terreny es regeix per la següent expressió:

$$\rho = 2\pi a R \quad (39)$$

On:

- ρ : Resistivitat mitjana del terreny, en $\Omega \cdot m$
- a : Distància de separació entre piques, en m
- R : Resistència mesurada pel tel·luròmetre, en Ω

Per consegüent, segons indica Moreno Clemente [20], els potencials que apareixen als punts 2 i 3 de la figura 23 al circular corrent per les piques externes seran, per cadascun d'ells, la suma dels potencials creats per les corrents que circulen per aquestes. És a dir:

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi a} + \frac{\rho(-I)}{2\pi 2a} = \frac{\rho I}{2\pi a} - \frac{\rho I}{4\pi a} = \frac{\rho I}{4\pi a} \quad (40)$$

$$V_3 = \frac{\rho(-I)}{2\pi a} + \frac{\rho I}{4\pi a} = -\frac{\rho I}{4\pi a} \quad (41)$$

On:

- V_2 : Potencial al punt 2, en V
- V_3 : Potencial al punt 3, en V
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
- I : Corrent de mostra, en A
- a : Distància de separació entre piques, en m

Per aquest motiu, la diferència de potencial entre els punts 3 i 4 serà:

$$V = V_2 - V_3 = \frac{\rho I}{4\pi a} - \left(-\frac{\rho I}{4\pi a}\right) = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (42)$$

On V és la diferència de potencial entre els punts 3 i 4, en V.

Finalment:

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} = 2\pi a R \quad (43)$$

Aquesta ρ és la resistivitat del terreny mesurada mitjançant el mètode Wenner en $\Omega \cdot m$, i és la que s'utilitza a l'hora de fer el disseny de la instal·lació de posada a terra.

3.4 Models de terreny

Segons Palomar [21], en funció dels resultats obtinguts en la mesura de la resistivitat del terreny es decideix quin tipus de model del terreny s'aplica als càlculs. Aquest ha de ser el més proper a la realitat possible, tot i que es considera que hi pot haver variacions en la resistivitat, ja que aquesta canvia en funció d'uns paràmetres que no són fixes.

En aquest sentit, la norma IEEE [24] llista els models existents que són típicament més utilitzats:

- **Uniformes:** Les mesures de la resistivitat del terreny presenten petites variacions.
- **No uniformes:** Les mesures de la resistivitat del terreny presenten considerables variacions. Dins d'aquest grup es troben els models següents:
 - **Dues capes:** En aquest cas, la variació entre la resistivitat de les dues capes provoca que les línies de corrent dels elèctrodes es pertorbin.
 - **No uniforme:** Semblant al cas anterior, i fins i tot més idoni que el model de dues capes, implica uns complexos càlculs matemàtics i molt coneixement de la matèria. A més, a la realitat no sol ser el model més utilitzat.

4 Estudi numèric

Una vegada realitzada la introducció teòrica a les PAT, on s'ha parlat sobre les diferents normatives i s'ha plantejat una base sobre la resistivitat del terreny, s'executa un estudi numèric que segueix les següents parts:

1. Càlcul de corrents de curtcircuit monofàsic amb NEPLAN⁷.
2. Càlcul i disseny de PAT amb MATLAB⁸.
3. Implicació de la resistivitat del terreny.

4.1 Càlcul de corrents de curtcircuit monofàsic amb NEPLAN

En aquest apartat es calcularà I''_{k1} per diferents configuracions i tractaments del neutre. En tractar-se d'un curtcircuit a terra pren importància la impedància homopolar Z_0 , el qual està íntimament relacionat amb el tractament del neutre.

Així mateix, en el càlcul de I''_{k1} també afecta la normativa. En el cas del NEPLAN està disponible la IEC, que es la normativa internacional, i la ANSI. Pel que fa a aquest treball només es calcularà amb la IEC, ja que es considera que la ANSI no té rellevància en cap de les normatives tractades.

4.1.1 Tipus de corrents de curtcircuit

En aquest primer apartat es calculen corrents de curtcircuit monofàsic a terra amb NEPLAN. De tota manera, es considera interessant fer una menció als diferents tipus de curtcircuit que poden produir-se a una xarxa trifàsica i donar una curta descripció bàsica de en què consisteixen. Els diferents tipus de curtcircuit es mostren a la figura 24.

7 NEPLAN és un software que permet analitzar sistemes elèctrics de potència. S'utilitza per dissenyar i simular sistemes de generació, transmissió i generació. A més, disposa d'eines per treballar amb xarxes d'aigua, gas i calefacció.

8 MATLAB és un software de programació i càlcul numèric que permet, entre d'altres; analitzar dades, graficar, desenvolupar algorismes, crear aplicacions, programar i realitzar càlculs a gran escala.

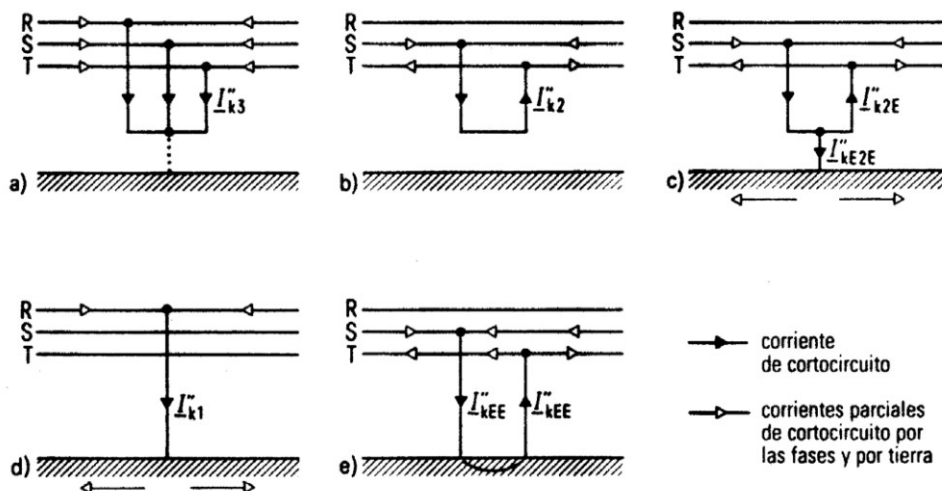


Figura 24: Tipus de curtcircuits. [32]

Segons Amat [25], els curtcircuits que es mostren a la figura 24 són els següents:

- Curtcircuit trifàsic simètric:** Es produeix quan les tres fases s'uneixen accidentalment. És el que provoca el corrent de defecte més elevat, per tant, el seu càlcul és indispensable pel disseny d'una xarxa. Així i tot, la probabilitat de que succeeixi és aproximadament del 5%. Sovint sol produir-se derivat d'un dels que s'esmenen als punts que segueixen.
- Bifàsic:** Es produeix quan dues fases entren en contacte. Es dona en un 15% dels casos i sol resultar en un curtcircuit monofàsic.
- Bifàsic a terra:** Semblant al bifàsic, en aquest les dues fases que estan en contacte també ho estan amb el terra. La probabilitat de que succeeixi és baixa, i normalment es produeix com a conseqüència d'un dels altres defectes.
- Monofàsic a terra:** És el més freqüent, amb una probabilitat de que succeeixi del 80%. A més, i en algunes ocasions, també pot ser el més destructiu (quan el neutre està posat directe a terra sense cap impedància).
- Doble curtcircuit monofàsic.**

A part de les faltes llistades, la tipologia d'aquestes pot variar en funció d'altres factors com la impedància de les fases (si és elevada o baixa), del caràcter transitori o no-transitori de les fases, etc. [2]

Dels tipus de curtcircuit llistats de la figura 24 s'escull el corrent de curtcircuit monofàsic a terra, I''_{k1} , ja que tal com s'ha mencionat, és el més freqüent i, en ocasions, pot ser també el més destructiu. Per tant, tractar aquest tipus de curtcircuit és bàsic per tenir un bon control de la majoria de curtcircuits que poden succeir a la xarxa. [25]

4.1.2 Mètodes de tractament del neutre

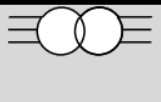
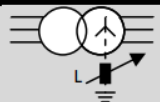
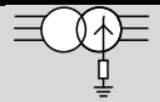
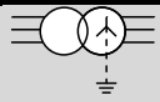
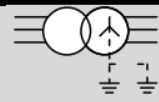
Un altre punt molt important és el tractament del neutre, ja que, segons Buigues [2], en cas de defectes a terra, el comportament de la xarxa es veu influenciat per aquest. És per això que han de tenir-se en consideració els corrents de defecte, les sobretensions i les tensions de servei a les que se sotmeten els diferents elements de la xarxa. A més, tal com s'ha esmentat amb anterioritat, són aquests corrents de defecte les que suposen una elevació del potencial de terra, fet que pot resultar en un perill per les persones. Buigues [2] també remarca la rellevància del tractament del neutre als transformadors de les subestacions.

A causa de la importància del tractament del neutre s'està investigant molt aquest aspecte de les posades a terra. Un dels mètodes que és cada vegada més utilitzat en la actualitat és la posada a terra compensada o ressonant. Tal com explica Buigues [2], consisteix en una bobina Petersen⁹ que permet la disminució de la circulació de corrent en les faltes monofàsiques a terra. D'aquesta manera el defecte es pot extingir sense la necessitat interrompre el subministrament elèctric. Igualment, convé ressaltar també l'inconvenient principal d'aquest tractament del neutre, i és que aquesta bobina no és més que un element passiu que actua seguint la llei d'Ohm, en funció de la impedància present i de la tensió que aparegui a les seves bornes a conseqüència de la falta a terra o del possible desequilibri entre fases. És a dir, no té capacitat per variar la circulació del corrent del neutre. És per això que, amb la finalitat de millorar aquest aspecte, Buigues [2] afirma que durant els últims anys s'està investigant i dissenyant un sistema actiu de posada a terra que actua sobre el corrent, permetent disposar d'aquesta manera d'un corrent homopolar variable que pot ser utilitzada per realitzar diferents funcions. Per aquest motiu el corrent homopolar depèn només del sistema de posada a terra, a diferència de la resta de sistemes passius on depèn de diversos factors com la xarxa elèctrica o la tipologia de la falta, entre d'altres.

Cal tornar a dir que el tractament del neutre als transformadors de les subestacions presenta molta importància. Existeixen diferents opcions entre les quals no existeix una unanimitat de quin és la més òptima, ja que totes elles presenten unes avantatges en front les altres. [2]

A la taula 15 es mostra la utilització dels diferents tractaments del neutre a diferents països arreu del món.

9 La bobina Petersen és una inductància utilitzada als sistemes de posada a terra de forma ressonant. També es coneix com bobina de supressió d'arc o neutralitzador de falta a terra. [2]

TIPOLOGÍA DE PUESTA A TIERRA					
					
	Aislado	Resonante	Impedancia	Rígido	Distribuido
Alemania	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Australia					<input checked="" type="checkbox"/>
Canadá					<input checked="" type="checkbox"/>
España	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
EE.UU.					<input checked="" type="checkbox"/>
Finlandia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Francia			<input checked="" type="checkbox"/>		
Italia	<input checked="" type="checkbox"/>				
Japón	<input checked="" type="checkbox"/>				
Polonia		<input checked="" type="checkbox"/>			
R. Unido				<input checked="" type="checkbox"/>	
Suecia		<input checked="" type="checkbox"/>			
Suiza	<input checked="" type="checkbox"/>				

Taula 15: Utilització de les diferents opcions de tractament del neutre arreu del món. [2]

Els mètodes de posada a terra dels neutres dels transformadors mostrats a la taula 15 són els següents [2]:

- **Rígidament (sòlidament) posat a terra:** El neutre del transformador es connecta directament a terra. També es coneix com *efectivament posat a terra*.
- **Posat a terra mitjançant una inductància:** El neutre del transformador es connecta a terra mitjançant una impedància, en la qual l'element principal és una inductància. També es coneix com a *posat a terra mitjançant una reactància*. Dins d'aquest tipus es diferencien dos subgrups: baixa inductància i alta inductància.
- **Posat a terra mitjançant una resistència:** El neutre del transformador es connecta a terra mitjançant una impedància, en la qual l'element principal és una resistència. També es fa una diferència en dos subgrups: baixa resistència i alta resistència.
- **Posat a terra de forma ressonant:** El neutre del transformador es connecta a terra mitjançant una inductància.
- **Posat a terra mitjançant una capacítància:** El neutre del transformador es connecta a terra mitjançant una impedància, en la qual l'element principal és una capacítància.
- **Posat a terra de forma aïllada:** En aquest cas no existeix cap connexió intencionada a terra, excepte a través d'elements com dispositius de mesura de tensió, entre d'altres.

4.1.3 Esquema elèctric a NEPLAN

L'objectiu principal d'aquest esquema elèctric és el càlcul de corrents de curtcircuit monofàsic a terra. Així doncs, s'ha creat un esquema que tingui la semblança més gran possible amb les configuracions reals de les línies elèctriques d'alta tensió. Per tant, tots els elements presents tenen els paràmetres configurats de la manera més real possible.

L'esquema elèctric plantejat per aquest projecte a NEPLAN és el de la figura 25.

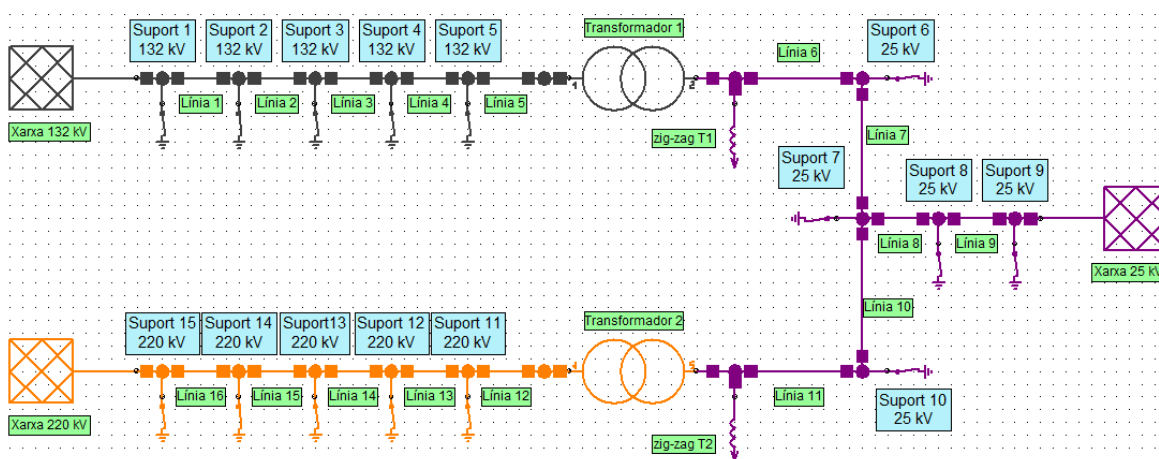


Figura 25: Esquema elèctric plantejat per calcular corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} a NEPLAN.
[Elaboració pròpia]

Tal i com es pot observar a la figura 25, l'esquema elèctric elaborat consta dels següents elements:

- Equivalent de xarxa elèctrica a 25 kV.
- Equivalent de xarxa elèctrica a 132 kV.
- Equivalent de xarxa elèctrica a 220 kV.
- Línia elèctrica aèria a 25 kV amb 5 suports.
- Línia elèctrica aèria a 132 kV amb 5 suports.
- Línia elèctrica aèria a 220 kV amb 5 suports.
- Transformador trifàsic de potència de 132/25 kV.
- Transformador trifàsic de potència de 220/25 kV.

Els elements esmentats tenen els seus propis paràmetres que, per aquest treball de fi de grau, s'han extret de projectes de línies i subestacions elèctriques. També ha estat consultada documentació tècnica d'Endesa i tesis doctorals per informació necessària de les xarxes. En els següents subapartats es tracten els diferents elements que conformen l'esquema elèctric generat amb els valors pertinents dels paràmetres i les referències d'on s'han extret.

4.1.3.1 Línia elèctrica aèria de 25 kV

Pel que fa a la línia de 25 kV s'ha utilitzat un projecte final de grau d'una línia elèctrica de distribució situada a Almunia de San Juan. L'autor del projecte és José Antonio Oncins Baldellou. [26]

En el projecte d'Oncins [26] apareixen diferents tipus de suports amb diferents configuracions dels circuits. Aquestes configuracions dels armats de la línia son ideals per aquest treball de fi de grau ja que, tal i com es pot observar a la figura 25, la línia elèctrica de 25 kV està formada per dos circuits independents. Un d'ells és el que parteix del secundari del transformador 1 (132/25 kV) i circula per les línies 6 i 7 i pel suport 6. L'altre és el que parteix del transformador 2 (220/25 kV) i circula per les línies 10 i 11 i pel suport 10. Aquests dos circuits s'uneixen al suport 7 i segueixen units fins a l'equivalent de xarxa de 25 kV.

Així, es diferencien els dos trams de la línia de 25 kV que seran esmentats com:

- *Tram 1*, format per les línies 6, 7, 10 i 11 i pels suports 6 i 10.
- *Tram 2*, format per les línies 8 i 9 i pels suports 7, 8 i 9.

Segons el projecte d'Oncins [26], el conductor seleccionat per la línia aèria de 25 kV presenta les característiques mostrades a la taula 16.

Denominació	LA-110
Secció total	116,2 mm ²
Composició dels fils	30 + 7
Diàmetre total	14 mm
Càrrega nominal de ruptura	4400 kgf
Mòdul d'elasticitat	8200 kgf/mm ²
Coefficient dilatació lineal	17,8 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Pes propi	0,433 Kg/m
Resistència a 20 °C	0,307 Ω/Km
Reactància quilomètrica	0,389 Ω/Km
Intensitat admissible	314 A

Taula 16: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 25 kV. [Elaboració pròpia] [26]

En el cas del tram 1, segons Oncins [26], es tenen els paràmetres elèctrics de la taula 17.

$R_{ac\Omega}$ Resistència	0,366 Ω /Km
X_k Reactància d'autoinducció (inductància)	0,3821 Ω /Km
C_k Capacitància	$0,009535 \cdot 10^{-6}$ F/Km
B_k Susceptància capacitiva	$2,995 \cdot 10^{-6}$ S/Km
G_t Conductància	0 S/km
I Intensitat màxima admissible per conductor	317,2443 A

Taula 17: Paràmetres elèctrics del tram 1 de la línia elèctrica aèria de 25 kV. [Elaboració pròpia] [26]

A la figura 26 es mostren els paràmetres introduïts a NEPLAN al primer tram de la línia elèctrica de 25 kV.

Línea ×

- Parámetros
- Secciones de Línea
- Cargas de Línea
- Cálculo de Cable
- Torres
- Protección
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre:

Tipo:

Longit. ... m: Unidades:

Número de líneas: Modelo EMT:

R(1) .. Ohm/km: R(0) .. Ohm/km:

X(1) .. Ohm/km: X(0) .. Ohm/km:

C(1) .. uF/km: C(0) .. uF/km:

B(1) .. uS/km: B(0) .. uS/km:

G(1) .. uS/km:

Ir máx (Baja) .. A:

Ir máx (med) .. A:

Ir máx (Alta) .. A:

Fact. de Reducc: Pi asimétrica con secciones

IEr máx .. A: Suicheable

Copiar
Pegar
Librería
Exportar
Aceptar
Cancelar
Color
Ayuda

Figura 26: Paràmetres introduïts a NEPLAN al tram 1 de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia]

Pel que fa al tram 2, segons Oncins [26], es tenen els paràmetres elèctrics mostrats a la taula 18.

$R_{ac\Omega}$ Resistència	0,366 Ω /Km
X_k Reactància d'autoinducció (inductància)	0,1838 Ω /Km
C_k Capacitància	$0,01975 \cdot 10^{-6}$ F/Km
B_k Susceptància capacitiva	$6,267 \cdot 10^{-6}$ S/Km
G_t Conductància	0 S/km
I Intensitat màxima admissible per conductor	317,2443 A

*Taula 18: Paràmetres elèctrics del tram 2 de la línia elèctrica aèria de 25 kV.[Elaboració pròpia]
[26]*

A la figura 27 es mostren els paràmetres introduïts a NEPLAN al segon tram de la línia elèctrica de 25 kV.

Línea ×

- Parámetros
- Secciones de Línea
- Cargas de Línea
- Cálculo de Cable
- Torres
- Protección
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre...

Tipo:

Longit. ... m: Unidades:

Número de líneas: Modelo EMT:

R(1) .. Ohm/km: R(0) .. Ohm/km:

X(1) .. Ohm/km: X(0) .. Ohm/km:

C(1) .. uF/km: C(0) .. uF/km:

B(1) .. uS/km: B(0) .. uS/km:

G(1) .. uS/km:

Ir máx (Baja) .. A:

Ir máx (med) .. A:

Ir máx (Alta) .. A:

Fact. de Reducc: ... Pi asimétrica con secciones

I_{Er} máx .. A: Suicheable

Copiar Pegar Librería Exportar Aceptar Cancelar Color Ayuda

Figura 27: Paràmetres introduïts a NEPLAN al tram 2 de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia]

4.1.3.2 Línia elèctrica aèria de 132 kV

En relació amb la línia elèctrica aèria de 132 kV s'ha utilitzat un projecte final de grau d'una línia elèctrica de transmissió al sector sud-est de la Comunitat de Madrid. L'autor del projecte és Guillermo Soria Martínez. [27]

Segons Soria [27], les característiques del conductor seleccionat son les de la taula 19.

Denominació	LA-280 HAWK
Secció d'alumini	241,7 mm ²
Secció d'acer	39,4 mm ²
Secció total	281,1 mm ²
Composició dels fils	26 + 7
Diàmetre total	21,80 mm
Càrrega nominal de ruptura	8620 kgf
Mòdul d'elasticitat	7700 kgf/mm ²
Coefficient dilatació lineal	18,6 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Pes propi	977 Kg/Km
Resistència a 20 °C	0,1194 Ohm/Km

Taula 19: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 132 kV. [Elaboració pròpia] [27]

D'altra banda, els paràmetres elèctrics de la línia elèctrica aèria de 132 kV, segons Soria Martínez [27], son mostrats a la taula 20.

$R_{ac\Omega}$ Resistència	0,157 Ω /Km
X_k Reactància d'autoinducció (inductància)	0,1963 Ω /Km
C_k Capacitància	0,01854 · 10 ⁻⁶ F/Km
B_k Susceptància capacitiva	5,8245 · 10 ⁻⁶ S/Km
G_t Conductància	0 S/km
I Intensitat màxima admissible per conductor	550,345 A

Taula 20: Paràmetres elèctrics de la línia elèctrica aèria de 132 kV. [Elaboració pròpia] [27]

4.1.3.3 Línia elèctrica aèria de 220 kV

Amb referència a la línia elèctrica aèria de 220 kV s'ha utilitzat un projecte final de grau d'una línia elèctrica de transmissió que uneix la Subestació de Fecsa-Endesa de Reus amb l'Estació Receptora del Complex Industrial de Tarragona. L'autor del projecte és Ricard Olives Piris. [28]

Segons Olives [28], les característiques del conductor seleccionat son les de la taula 21.

Denominació	LA-280 HAWK
Secció d'alumini	241,7 mm ²
Secció d'acer	39,4 mm ²
Secció total	281,1 mm ²
Composició dels fils	26 + 7
Diàmetre total	21,80 mm
Càrrega nominal de ruptura	8620 kgf
Mòdul d'elasticitat	7700 kgf/mm ²
Coefficient dilatació lineal	18,6 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Pes propi	977 Kg/Km
Resistència a 20 °C	0,1194 Ohm/Km

Taula 21: Característiques tècniques del conductor de la línia elèctrica aèria de 220 kV. [Elaboració pròpia] [28]

Tal i com es pot observar a la taula 21, el conductor utilitzat per la línia elèctrica aèria de 220 kV és el mateix que l'utilitzat a la línia elèctrica aèria de 132 kV (taula 20). No obstant això, la configuració de l'armat de la línia elèctrica és diferent i, per tant, els paràmetres de la línia també. Segons Olives [28], els paràmetres elèctrics de la línia es mostren a la taula 22.

$R_{ac\Omega}$ Resistència	0,14586 Ω /Km
X_k Reactància d'autoinducció (inductància)	0,33405 Ω /Km
C_k Capacitància	0,010659 $\cdot 10^{-6}$ F/Km
B_k Susceptància capacitiva	3,3486 $\cdot 10^{-6}$ S/Km
G_t Conductància	0 S/km
I Intensitat màxima admissible per conductor	524,86 A

Taula 22: Paràmetres elèctrics de la línia elèctrica aèria de 220 kV. [Elaboració pròpia] [28]

A la figura 28 es mostren els paràmetres introduïts a NEPLAN al primer tram de la línia elèctrica de 132 kV.

Línea ×

- Parámetros
- Secciones de Línea
- Cargas de Línea
- Cálculo de Cable
- Torres
- Protección
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre...

Tipo:

Longit. ... m: Unidades:

Número de líneas: Modelo EMT:

R(1) .. Ohm/km: R(0) .. Ohm/km:

X(1) .. Ohm/km: X(0) .. Ohm/km:

C(1) .. uF/km: C(0) .. uF/km:

B(1) .. uS/km: B(0) .. uS/km:

G(1) .. uS/km:

Ir máx (Baja) .. A:

Ir máx (med) .. A:

Ir máx (Alta) .. A:

Fact. de Reducc: Pi asimétrica con secciones

I_{Er} máx .. A: Suicheable

Copiar Pegar Librería Exportar Aceptar Cancelar Color Ayuda

Figura 28: Paràmetres introduïts a NEPLAN a la línia de 132 kV. [Elaboració pròpia]

4.1.3.4 Transformador trifàsic de potència de 132/25 kV

Quant al transformador de 132/25 kV, que actua a la simulació de NEPLAN com si fos una subestació transformadora, s'han pres les dades d'un projecte final de grau d'una subestació elèctrica situada al polígon Illa Sud, Sallent, l'autor del qual és Jaume Escayola i Circuns. [29]

Del projecte [29] s'extreuen les dades del transformador trifàsic de potència de la taula 23.

Marca	OASA
Potència nominal	20000 kVA
Relació de tensió	132000±10% / 25000 V
Fases	3
Freqüència nominal	50 Hz
Grup de connexió	YNd11
Intensitat nominal 132 kV	87,48 A
Intensitat nominal 25 kV	461,88 A
Tensió de curtcircuit en % a 145,2 kV	12,75 %
Tensió de curtcircuit en % a 132 kV	12,39 %
Tensió de curtcircuit en % a 118,8 kV	12,05 %
Regulador de tomes	Si, de 21 tomes
Refrigeració	O.N.A.N.
Líquid aïllant	Oli
Normes	UNE EN 60076

*Taula 23: Característiques tècniques del transformador trifàsic de potència de 132/25 kV.
[Elaboració pròpia] [29]*

Amb el paràmetre de *tensió de curtcircuit en %*, que és $U_{cc}\%$, i que és el mateix que la impedància de curtcircuit $Z_{cc}\%$, es pot obtenir la impedància de curtcircuit en seqüència homopolar seguint l'expressió que es mostra a continuació:

$$Z_0 = 0,8 \cdot Z_1 \quad (44)$$

On:

- Z_0 : Impedància homopolar.
- Z_1 : Impedància directe.

S'utilitza l'expressió 44 perquè el grup de connexió del transformador és YNd11.

En el cas d'aquest transformador de potència el valors obtinguts amb l'expressió 44 son:

- $Z_0 = 9,912 \%$
- $Z_1 = 12,39 \%$

A la figura 29 es mostren els paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 132/25 kV.

Figura 29: Paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 132/25 kV. [Elaboració pròpia]

Tal i com indica Escayola [29], en cas de defecte al costat de baixa tensió del transformador (25 kV) no es poden detectar els corrents homopolars, atès que el grup de connexió d'aquest transformador és YNd11. Al tenir una connexió en triangle al secundari no hi ha neutre. Però, es pot aconseguir un neutre artificial amb un conjunt de bobines en zig-zag que permeten detectar la component homopolar del corrent de defecte, així com limitar el seu valor. És a dir, actuen com un neutre posat a terra amb una reactància.

Les característiques d'aquesta reactància a connectar en zig-zag son les de la taula 24.

Marca	ALKARGO
Tensió	25000 V
Fases	3
Temps de defecte	10 s
Intensitat de curta durada	150 A
Gruo de connexió	zig-zag
Impedància homopolar per fase	297 Ω
Tensió de curtcircuit en %	6 %
Regulador de tomes	Si, de 21 tomes
Control de temperatura	Si
Líquid aïllant	Oli
Normes	UNE 60289

Taula 24: Característiques tècniques de la reactància a connectar en el secundari transformador trifàsic de potència de 132/25 kV. [Elaboració pròpia] [29]

Utilitzant l'expressió 44, s'obté que $Z_0 = 4,8 \%$.

A la figura 30 es mostren els paràmetres del zig-zag al transformador de 132/25 kV introduïts a NEPLAN.

Figura 30: Paràmetres introduïts a NEPLAN del zig-zag del transformador de 132/25 kV.
[Elaboració pròpia]

4.1.3.5 Transformador trifàsic de potència de 220/25 kV

Pel que fa al transformador de 220/25 kV, que actua a la simulació de NEPLAN com si fos una subestació transformadora, tal i com el transformador esmentat a l'apartat 4.1.3.4, s'han pres les dades d'un projecte final de grau d'una subestació elèctrica situada a les rodalies de Tarragona i de Valls, l'autor del qual és Joan Francesc Moreno Molina. [30]

Del projecte [30] s'extreuen les dades del transformador trifàsic de potència empleat mostrades a la taula 25.

Marca	ABB
Potència nominal	40000 kVA
Relació de tensió	220000 / 25000 V
Fases	3
Freqüència nominal	50 Hz
Grup de connexió	YNd11
Potència ONAN en AT i BT	25 MVA
Potència ONAF en AT i BT	40 MVA
Tensió nominal en buit en AT	220 kV
Tensió nominal en buit en BT	25 kV
Intensitat nominal en buit en AT	105 A
Intensitat nominal en buit en BT	924 A
Classe de regulació en AT	Càrrega
Marge de regulació en AT	±10%
Número de posicions totals en AT	8
Camp de regulació en AT	242-198 kV
Refrigeració	ONAN / ONAF
Altitud	< 1000 m.n.m
Temperatura ambient màxima	45 °C
Líquid aïllant	Oli
Normes	C.E.I.

*Taula 25: Característiques tècniques del transformador trifàsic de potència de 220/25 kV.
[Elaboració pròpia] [30]*

A la figura 31 es mostren els paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 220/25 kV.

Transformador 2 Dev. ×

- Parámetros
- Límites
- Regulación
- Dinámico
- Puesta a Tierra
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre...

Tipo:

3-phase transformer 3 x 1-phase transformer

Vn1 .. kV: Vn2 .. kV: Sr .. kVA:

Vr1 .. kV: Vr2 .. kV:

Rr(1) .. %: kW: Rr(0) .. %: kW:

Zcc(1) .. %: Zcc(0) .. %:

X(1)/R(1): X(0)/R(0):

I0 .. %: V01(0) .. %: LMnoSAT..pu:

P fe .. kW: V02(0) .. %: LMSAT .. pu:

Camb. Tap bajo carga KP .. pu:

Suicheable ? resi. A..pu:

Autotransformador ? resi. B..pu:

? resi. C..pu:

Grupo vectorial:

Copiar Pegar Librería Exportar Aceptar Cancelar Color Ayuda

Figura 31: Paràmetres introduïts a NEPLAN al transformador de 220/25 kV. [Elaboració pròpia]

Cal remarcar que, observant les característiques del transformador mostrades a la taula 25, succeeix el mateix que amb el transformador trifàsic de potència de 132/25 kV mostrat a l'apartat 4.1.3.4. Cal posar un neutre artificial amb un conjunt de bobines en zig-zag que permeten detectar la component homopolar del corrent de defecte, així com limitar el seu valor. És a dir, actuen com un neutre posat a terra amb una reactància.

S'utilitza la mateixa reactància que al transformador de 132/25 kV de l'apartat 4.1.3.4 amb les característiques tècniques de la taula 24.

A la figura es mostren els paràmetres del zig-zag al transformador de 132/25 kV introduïts a NEPLAN.

Paralelo

P. a Tierra

Nombre...

Transf. Puesta a Tierra

Datos transformador

Vr .. kV:

Sr .. MVA:

R(0) .. %:

Zcc(0) .. %:

Puesta a Tierra del Transf.

RE .. Ohm:

XE .. Ohm:

Activo .. %:

Sintonización Bobina Petersen

Considerar otras bobinas

Admitancia fija

P(0) .. MW:

Q(0) .. Mvar:

Cálculo P(0), Q(0)

Copiar Pegar Librería Exportar Aceptar Cancelar Color Ayuda

Figura 32: Paràmetres introduïts a NEPLAN del zig-zag del transformador de 220/25 kV.
[Elaboració pròpia]

4.1.3.6 Equivalents de xarxa elèctrica de 25 kV, 132 kV i 220 kV

A NEPLAN els equivalents de xarxa treballen, entre d'altres, amb uns paràmetres que són els ratios entre components de seqüència. Aquests no són més que diferents relacions entre impedàncies, resistències i reactàncies homopolars i directes.

En primer lloc es tracta el ratio de $Z(0)/Z(1)$. El valor d'aquest paràmetre varia en funció del nivell de tensió i del tractament del neutre de la xarxa. Mitjançant l'especificació particular d'Endesa [31] es pot saber quins són els sistemes de posada a terra existents en funció del nivell de tensió nominal.

Tensión Nominal U_n	ANDALUCÍA Y EXTREMADURA	ARAGÓN	BALEARES	CANARIAS	CATALUÑA
220	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁
132	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	-	PAT ₁
110	-	PAT ₁	-	-	NA/PAT ₁
66	PAT ₁ (*)	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁ /PAT ₂
45	-	PAT ₁	-	-	-
30	-	PAT ₁ (**)	PAT ₁ (**)	PAT ₁ (**)	-
25	PAT ₂	PAT ₃	-	-	PAT ₃
20	PAT ₂	NA	-	PAT ₃	-
15	PAT ₂ /PAT ₃	NA	PAT ₃	-	-
13,2	-	PAT ₃	-	-	-
11	-	PAT ₂	-	-	PAT ₂
10	-	NA	-	-	-

(*) En el punto de conexión del transformador, se usará la conexión de neutro aislado (NA) en transformadores 66 kV /MT para limitar la intensidad de cortocircuito a tierra.

(**) Para nuevas instalaciones en 30kV, se utilizarán conexiones con impedancia limitadora, en lugar de la conexión rígida a tierra existente en las instalaciones actuales.

Taula 26: Sistemes de posada a terra existents en funció del nivell de tensió nominal. [31]

On:

- **NA:** Xarxa amb neutre aïllat.
- **PAT₁:** Xarxa amb neutre connectat rígidament a terra.
- **PAT₂:** Xarxa amb neutre connectat a terra mitjançant una resistència limitadora.
- **PAT₃:** Xarxa amb neutre connectat a terra mitjançant una impedància limitadora (reactància en zig-zag o conjunt de reactància zig-zag en serie amb una resistència).

Com es pot observar a la taula 26, si seleccionem les dades de Catalunya, els tractaments del neutre de la xarxa per les tensions dels equivalents de xarxa del circuit de NEPLAN creat per aquest treball de fi de grau son:

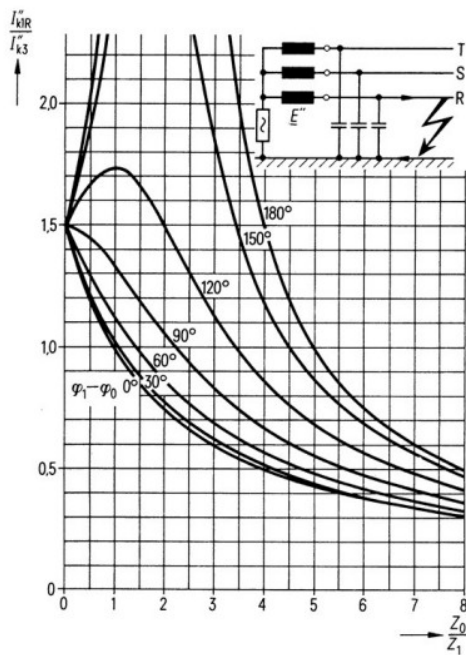
- 220 kV → PAT₁
- 132 kV → PAT₁
- 25 kV → PAT₃

Cal recordar que als apartats 4.1.3.4 i 4.1.3.5, on s'han tractat els transformadors de 132/25 kV i 220/25 kV respectivament, s'ha fet menció al neutre artificial mitjançant un conjunt de bobines en zig-zag. Es pot comprovar a la taula 26 que efectivament és així, doncs a una tensió nominal de 25 kV el mètode de posada a terra és *PAT₃-Xarxa amb neutre connectat a terra mitjançant una impedància limitadora*. Tanmateix també es confirma el mètode de posada a terra als costats d'alta tensió, 132 kV i 220 kV, on a ambdós casos tenim connexió estrella amb un neutre accessible connectat rígidament a

terra. Segons la taula 26, *PAT₁-Xarxa amb neutre connectat rígidament a terra*. Tot això degut a que tots dos transformadors tenen un grup de connexió YNd11.

De la mateixa manera, convé fer un recordatori de la taula 15, on es confirma l'esmentat a la taula 26.

Segons Horta [32] i Buigues [2], en cas de curtcircuit monofàsic es considera que el neutre està posat rígid a terra (o, tal com s'ha dit amb anterioritat, efectivament posat a terra) quan està realitzat a través d'una impedància suficientment baixa. Això es compleix si $X_0/X_1 \leq 3$ i $R_0/R_1 \leq 1$ amb $U_L/U_{falla} < 0,8$. En primer lloc es té la relació entre la reactància homopolar i la directe, en segon lloc es té la relació entre la resistència homopolar i la directe, i per últim es té la relació entre la tensió de la fase L i el terra amb $\sqrt{3} \cdot E''$ o E'' . Les impedàncies Z_0 i Z_1 són de caràcter inductiu. És a dir, la diferència entre els seus angles $\varphi_1 - \varphi_0$ es troba entre 0° i 90° .



$$I''_{k1R} = 3 E'' \cdot \frac{1}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

- E'' fuerza electromotriz
- Z_0 impedancia homopolar
- Z_1 impedancia directa
- Z_2 impedancia inversa
- $\varphi_1 - \varphi_0$ diferencia entre los ángulos de Z_1 y Z_0
- $Z_1 = Z_2$

Figura 4.14
Cortocircuito unipolar a tierra
Comparación de la corriente de cortocircuito I''_{k1R} con I''_{k3}

Figura 33: Comparació del corrent de curtcircuit I''_{k1R} amb I''_{k3} en cas de curtcircuit unipolar a terra. [32]

Si a la figura 33 se li apliquen les condicions esmentades anteriorment queda dibuixada l'àrea que es mostra a la figura 34.

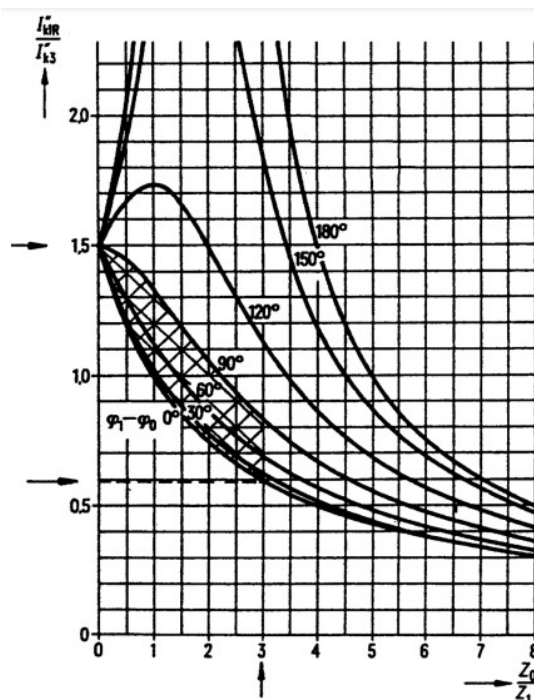


Figura 34: Àrea dibuixada segons les condicions esmentades al gràfic de comparació del corrent de curtcircuit I''_{k1R} amb I''_{k3} en cas de curtcircuit unipolar a terra. [32]

Amb tot plegat, ja que a les xarxes de 132 kV i 220 kV es té un tractament del neutre rígid a terra la relació Z_0/Z_1 sol prendre un valor de 1. Per contra, en el cas de la xarxa a 25 kV, al tenir un tractament del neutre diferent, sent aquest posat amb una impedància limitadora, el valor de la relació entre Z_0/Z_1 sol prendre un valor de 4.

Un altre punt important son les relacions entre R/X , ja que, tal i com afirma Barrero [33], aquesta determina si es considera o no la resistència en els càlculs.

A la taula 27 es mostren diferents valors d'aquests ratios esmentats en funció del tractament del neutre.

	Ratios entre comp. de secuencia			Corriente porcentual de falta (%)	Tensión transitoria fase-tierra (p.u.)
	X_0/X_1	R_0/X_1	R_0/X_0		
EFECTIVAMENTE PUESTO A TIERRA					
<i>Efectivo</i>	0-3	0-1	-	> 60	≤ 2
<i>Muy efectivo</i>	0-1	0-0,1	-	> 95	< 1,5
NO EFECTIVAMENTE PUESTO A TIERRA					
INDUCTANCIA					
<i>Baja inductancia</i>	3-10	0-1	-	> 25	< 2,3
<i>Alta inductancia</i>	> 10		< 2	< 25	≤ 2,73
RESISTENCIA					
<i>Baja Resistencia</i>	0-10		≥ 2	< 25	< 2,5
<i>Alta Resistencia</i>		> 100	≤ (-1)	< 1	≤ 2,73
INDUCTANCIA Y	> 10	-	> 2	< 10	≤ 2,73
RESISTENCIA		-	-	< 1	≤ 2,73
AISLADO					
<i>Rango A</i>	-∞ a -40	-	-	< 8	≤ 3
<i>Rango B</i>	-40 a 0	-	-	> 8	> 3

La corriente porcentual de falta se muestra respecto al valor correspondiente a un cortocircuito trifásico.

Taula 27: Característiques dels diferents tractaments del neutre. [2]

Un altre ratio introduït és el de $R(1)/X(1)$. Aquest ratio relaciona la resistència amb la reactància de seqüència directe, i tendeix pràcticament a 0 quan hi ha nivells de tensió molt elevats. Per contra, a nivells de tensió de mitja i baixa tensió aquest és un valor més significatiu. Aquesta dada s'extreu de la taula 28.

Nivel de tensión	$k=R/X$	R (Ω/km)	X (Ω/km)
400 V	4.44	0.400	0.090
20 kV Subterráneo	2.29	0.270	0.118
20 kV Aéreo	1.065	0.426	0.400
66 kV	0.31	0.119	0.386
132 kV	0.175	0.072	0.410
220 kV	0.146	0.046	0.315
400 kV	0.097	0.027	0.277

Taula 28: Valors típics del ratio $R(1)/X(1)$ en funció del nivell de tensió. [36]

Els valors emprats als paràmetres dels diferents equivalents de xarxa del circuit elèctric de NEPLAN utilitzat per aquest treball es mostren a la taula 29.

Xarxa	R(1)/X(1)	Z(0)/Z(1)	R(0)/X(0)
25 kV	0,9	12	1,9
132 kV	0,175	1	-
220 kV	0,146	1	-

Taula 29: Paràmetres elèctrics dels equivalents de xarxa. [Elaboració pròpia]

A continuació es mostren les configuracions dels paràmetres de la xarxa de 25 kV, 132kV i 220 kV (figures 35, 36 i 37 respectivament) a NEPLAN, considerant el que s'ha esmentat durant l'apartat.

Equivalente de Red

- Parámetros
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre...: Xarxa 25 kV

Tipo: ...

Cantidades CC Trifásico

Sk"máx .. MVA: 2999,995 Sk"mín .. MVA: 0 Ik" de acuerdo a IEC

Ik"máx .. kA: 69,282 131,5° Ik"mín .. kA: 0 90° Voper .. pu: 1

R(1)/X(1) máx: 0,9 R(1)/X(1) mín: 0

Cantidades CC Monofásico

Ik"máx .. kA: 14,96 149,3° Ik"mín .. kA: 0 0°

Z(0)/Z(1) máx: 12 Z(0)/Z(1) mín: 0

R(0)/X(0) máx: 1,9 R(0)/X(0) mín: 0

Datos de Operación

Tipo de FC: SL Porcentaje de: 0

P oper .. MW: 0 V oper .. %: 100

Q oper .. Mvar: 0 Ang oper .. °: 0

Barra controlada remota.: ...

Modo de operación:

Análisis de Armónicos

C .. uF: 0

Costos de Generación MW:

a..Moneda/MW²/h: 0

b..Moneda/MW/h: 0

c..Moneda/h: 0

Factor Mult.: 1

Copiar
Pegar
Librería
Exportar
Aceptar
Cancelar
Color
Ayuda

Figura 35: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 25 kV. [Elaboració pròpia]

Equivalente de Red

Parámetros
×

- Parámetros
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre...

Tipo:

Cantidades CC Trifásico

Sk"máx .. MVA:	<input type="text" value="3000"/>	Sk"min .. MVA:	<input type="text" value="1818,07"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Ik" de acuerdo a IEC	
Ik"máx .. kA:	<input type="text" value="13,122"/> <input type="text" value="99,9°"/>	Ik"min .. kA:	<input type="text" value="7,952"/> <input type="text" value="90°"/>	Voper .. pu:	<input type="text" value="1"/>
R(1)/X(1) máx:	<input type="text" value="0,175"/>	R(1)/X(1) min:	<input type="text" value="0"/>		

Cantidades CC Monofásico

Ik"máx .. kA:	<input type="text" value="13,166"/> <input type="text" value="96,6°"/>	Ik"min .. kA:	<input type="text" value="11,928"/> <input type="text" value="90°"/>
Z(0)/Z(1) máx:	<input type="text" value="1"/>	Z(0)/Z(1) min:	<input type="text" value="0"/>
R(0)/X(0) máx:	<input type="text" value="0"/>	R(0)/X(0) min:	<input type="text" value="0"/>

Datos de Operación

Tipo de FC: Porcentaje de:

P oper .. MW: V oper. .. %:

Q oper .. Mvar: Ang oper .. °:

Barra controlada remota.:

Modo de operación

Costos de Generación MW:

a..Moneda/MW²/h:

b..Moneda/MW/h:

c..Moneda/h:

Factor Mult.:

Análisis de Armónicos

C .. uF:

Copiar
Pegar
Librería
Exportar
Aceptar
Cancelar
Color
Ayuda

Figura 36: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 132 kV. [Elaboració pròpia]

Equivalente de Red

- Parámetros
- Edición Rápida
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

Parámetros

Nombre:

Tipo:

Cantidades CC Trifásico

Sk"máx .. MVA: Sk"mín .. MVA: Ik" de acuerdo a IEC

Ik"máx .. kA: Ik"mín .. kA: Voper .. pu:

R(1)/X(1) máx: R(1)/X(1) mín:

Cantidades CC Monofásico

Ik"máx .. kA: Ik"mín .. kA:

Z(0)/Z(1) máx: Z(0)/Z(1) mín:

R(0)/X(0) máx: R(0)/X(0) mín:

Datos de Operación

Tipo de FC: Porcentaje de:

P oper .. MW: V oper .. %:

Q oper .. Mvar: Ang oper .. °:

Barra controlada remota:

Modo de operación

Análisis de Armónicos

C .. uF:

Figura 37: Paràmetres introduïts a NEPLAN a l'equivalent de xarxa de 220 kV. [Elaboració pròpia]

4.1.4 Impedàncies al neutre del transformador i resistències de posada a terra

En aquest apartat es tracta una problemàtica que ha estat trobada al software de NEPLAN.

En primer lloc, els elements que representen els transformadors tenen, a la seva configuració dels paràmetres, un subapartat dedicat a la posada a terra del seu neutre. És aquí on es pot seleccionar com és el tractament del neutre del transformador. És a dir, si és aïllat, directe a terra o amb una impedància. Si s'escull l'opció en la qual el neutre està posat a terra amb una impedància cal introduir el valor de R_E i el de X_E , que són les components de la impedància Z_E ($Z_E = R_E + jX_E$). Dit d'una altra manera, NEPLAN només deixa introduir el valor de la impedància posada al neutre Z_E , però no té en consideració el valor de la resistència de posada a terra R_t . Aquesta resistència és la tractada a les diferents normatives de l'apartat 2.3.4, i és la que aporta l'elèctrode de posada a terra en

funció del seu tipus i, amb especial importància, de la resistivitat del terreny. Així doncs, la resistència de posada a terra R_t és un valor clau que, no obstant això, a NEPLAN no es té en compte.

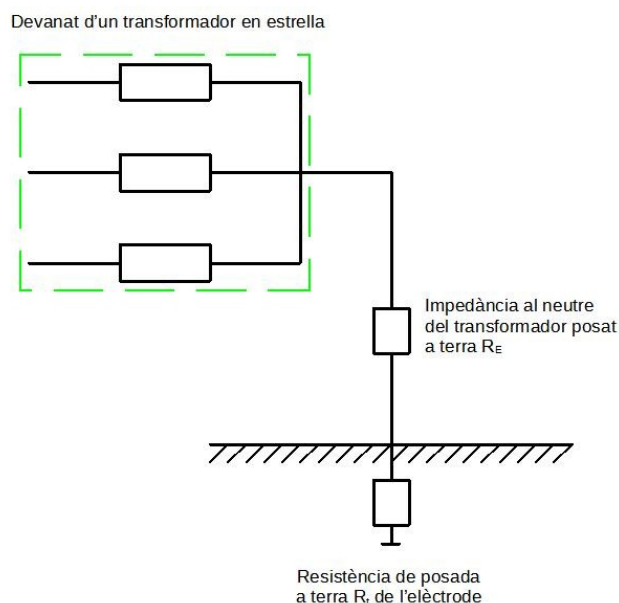


Figura 38: Impedància al neutre posat a terra Z_E i resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t a un transformador amb connexió estrella al primari i amb el neutre posat a terra amb impedància. [Elaboració pròpia]

A la figura 38 es mostra l'esquema del circuit format pel primari del transformador en connexió estrella amb el neutre posat a terra amb una impedància i la pertinent resistència de posada a terra de l'elèctrode. Tal com es pot observar, la impedància utilitzada al neutre posat a terra Z_E i la resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t estan en sèrie. Per aquest fet, aquesta problemàtica trobada al software de NEPLAN té una solució bastant senzilla; si es vol tenir en consideració el valor de la resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t només cal sumar-lo al valor de Z_E .

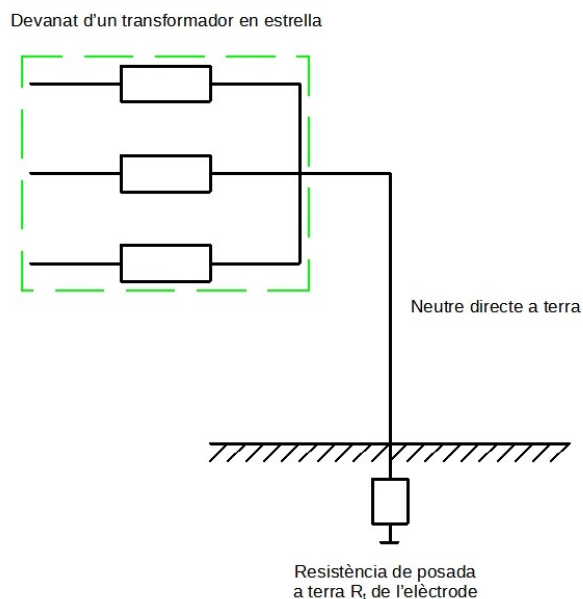


Figura 39: Resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t a un transformador amb connexió estrella al primari i amb el neutre posat directe a terra. [Elaboració pròpia]

Consegüentment, en cas de tenir una connexió estrella amb el neutre posat directament a terra, tal com mostra la figura 39, ja no hi existeix el valor de Z_E , però el valor de la resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t hi continua estant. Per tant, en aquest cas on el neutre estigui posat directament a terra, al software de NEPLAN, es considera que $Z_E = R_t$, més concretament només la part resistiva; $R_E = R_t$.

Tractament del neutre	Valor de Z_E a NEPLAN
Directe	R_t
Impedància	$R_t + R_E + jX_E$

Taula 30: Valor de Z_E a NEPLAN en funció del tractament del neutre del transformador. [Elaboració pròpia]

En síntesi, a NEPLAN, a no ser que el tractament del neutre del transformador sigui aïllat, sempre ha d'estar seleccionada l'opció d'impedància sense importar si realment és amb impedància o directe. Seguint la taula 30 es determina el valor a posar a la impedància del neutre del transformador posat a terra en funció de si és directe o amb impedància.

Finalment, val la pena dir que tot i que és més correcte tenir en compte la resistència de posada a terra de l'elèctrode R_t a l'hora de calcular el corrent de curtcircuit, no utilitzar-la facilita un disseny correcte de la instal·lació de posada a terra. D'aquesta manera s'aconsegueix un sobredimensionament a tots els càlculs, ja que el corrent de curtcircuit calculat serà més elevat del que realment hi podrà aparèixer.

En el cas de l'esquema elèctric creat per aquest treball de fi de grau es considera la utilització dels valors mostrats a la taula 31 per les impedàncies del neutre i les resistències de posada a terra als neutres dels transformadors.

Tensió (kV)	Tractament del neutre	Resistència de posada a terra (Ω)	Impedància al neutre (Ω)
25	Directe	5	0
	Impedància	5	$31,8 + j22$
132	Directe	5	0
	Impedància	5	$100 + j100$
220	Directe	5	0
	Impedància	5	$100 + j100$

Taula 31: Valors de impedància al neutre i de resistència de posada a terra utilitzats a l'esquema elèctric de NEPLAN en funció del tractament del neutre. [Elaboració pròpia]

Els valors de resistència de posada a terra que es mostren a la taula 31 resulten d'una bona resistivitat del terreny a la zona on s'ubica el transformador i un bon elèctrode. En referència a la impedància ubicada als neutres de cadascuna de les tres tensions, en cas de que no es posi directament a terra, per cada tensió s'utilitzen uns valors diferents. En referència als valors escollits de 25 kV, aquests resulten de l'especificació tècnica [31]. Aquestes configuracions de la taula 31 es mostren des de la figura 40 fins la figura 47.

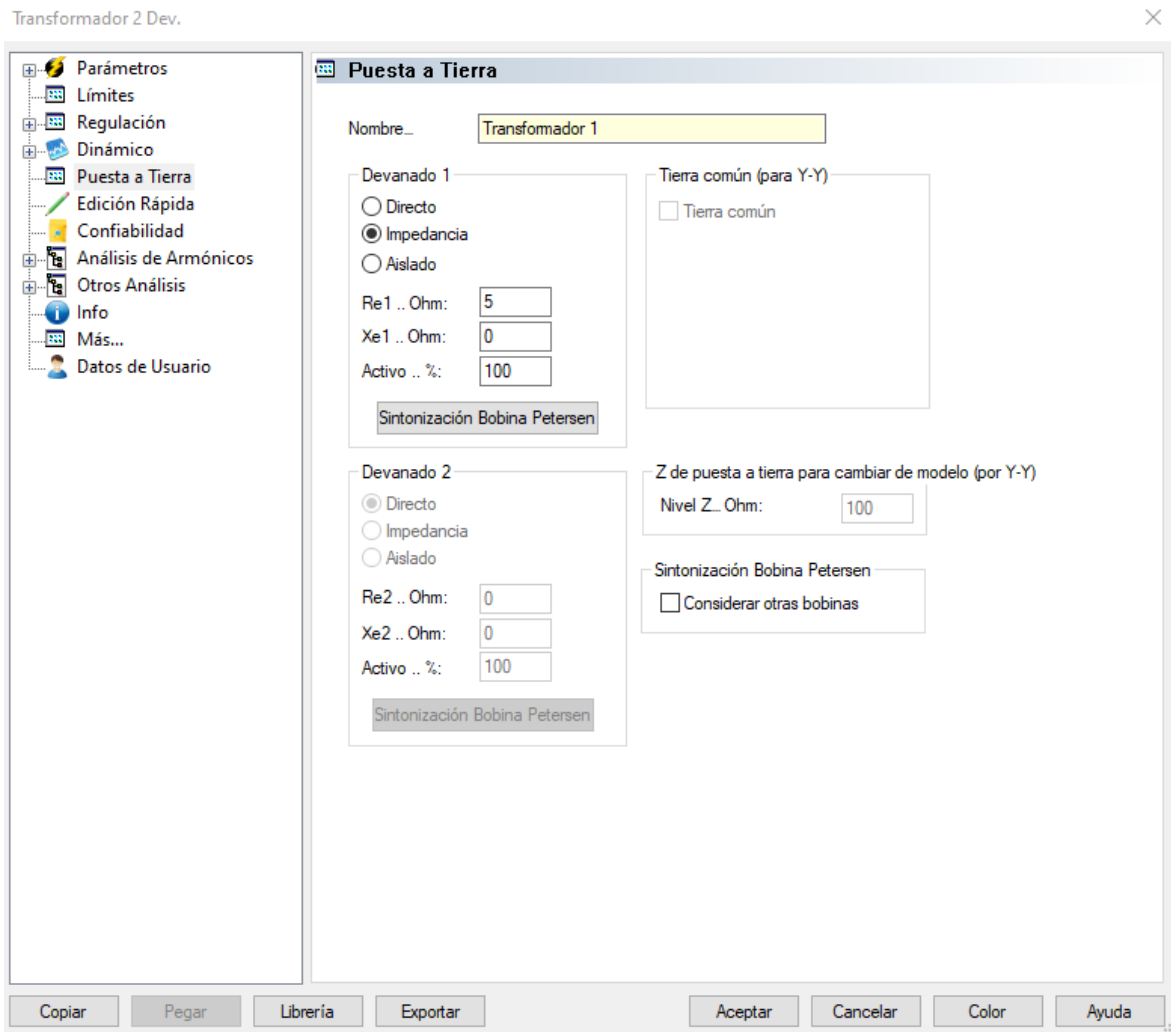


Figura 40: Configuració del neutre directe a terra del primari del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

Paralelo

P. a Tierra

Nombre...

Transf. Puesta a Tierra

Datos transformador

Vr .. kV:	<input type="text" value="25"/>
Sr .. MVA:	<input type="text" value="20"/>
R(0) .. %:	<input type="text" value="0"/>
Zcc(0) .. %:	<input type="text" value="4,8"/>

Puesta a Tierra del Transf.

RE .. Ohm:	<input type="text" value="5"/>
XE .. Ohm:	<input type="text" value="0"/>
Activo .. %:	<input type="text" value="100"/>

Considerar otras bobinas

Admitancia fija

P(0) .. MW:	<input type="text" value="41,2541z"/>	<input type="button" value="Cálculo P(0), Q(0)"/>
Q(0) .. Mvar:	<input type="text" value="4,12541z"/>	

Figura 41: Configuració del neutre directe a terra del secundari (zig-zag) del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

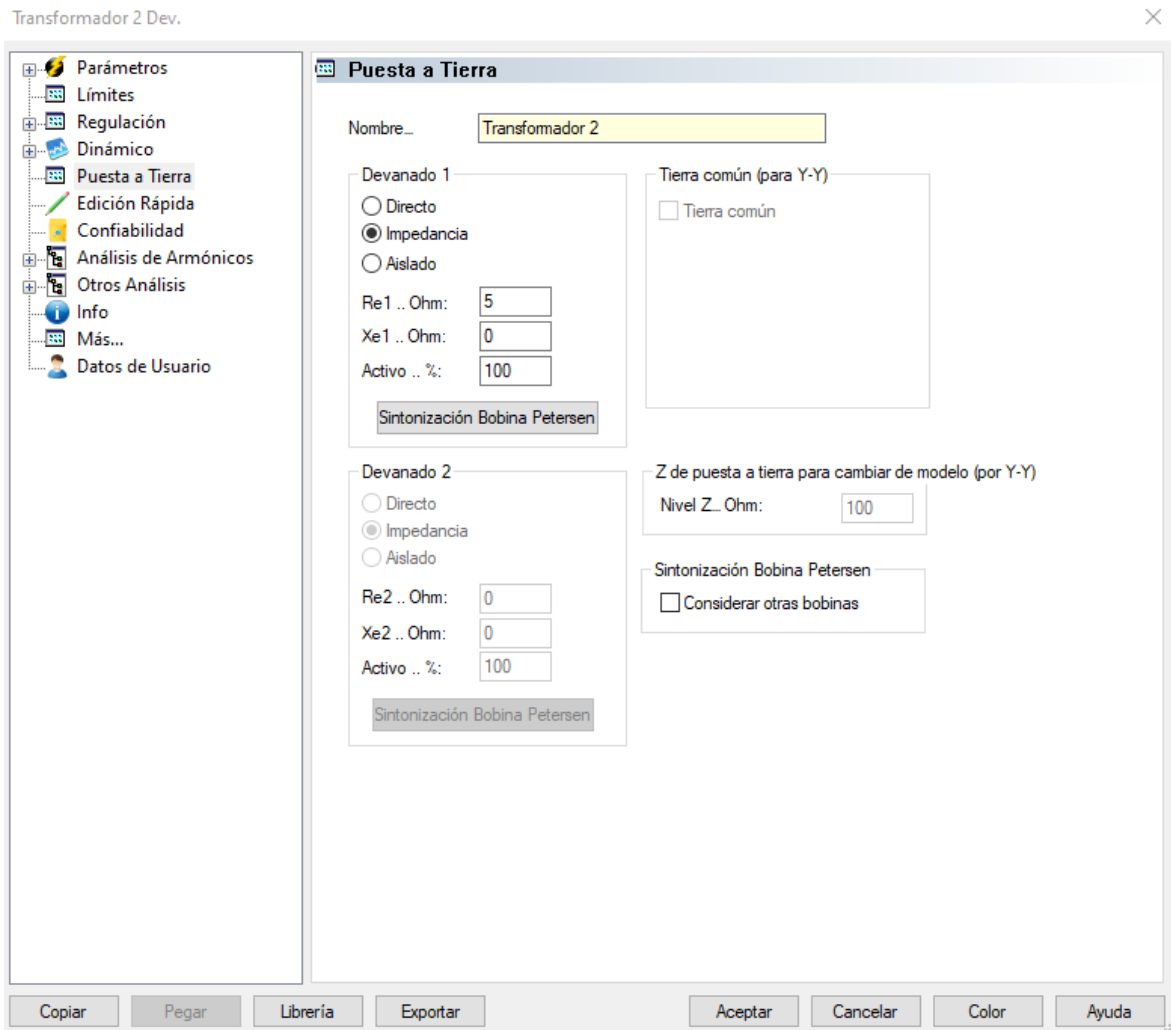


Figura 42: Configuració del neutre directe a terra del primari del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

Paralelo ×

- Parámetros
- Dinámico
- P. a Tierra
- Track autotransformer
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

P. a Tierra

Nombre...

Transf. Puesta a Tierra

Datos transformador

Vr .. kV:

Sr .. MVA:

R(0) .. %:

Zcc(0) .. %:

Puesta a Tierra del Transf.

RE .. Ohm:

XE .. Ohm:

Activo .. %:

Considerar otras bobinas

Admitancia fija

P(0) .. MW:

Q(0) .. Mvar:

Figura 43: Configuració del neutre directe a terra del secundari (zig-zag) del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

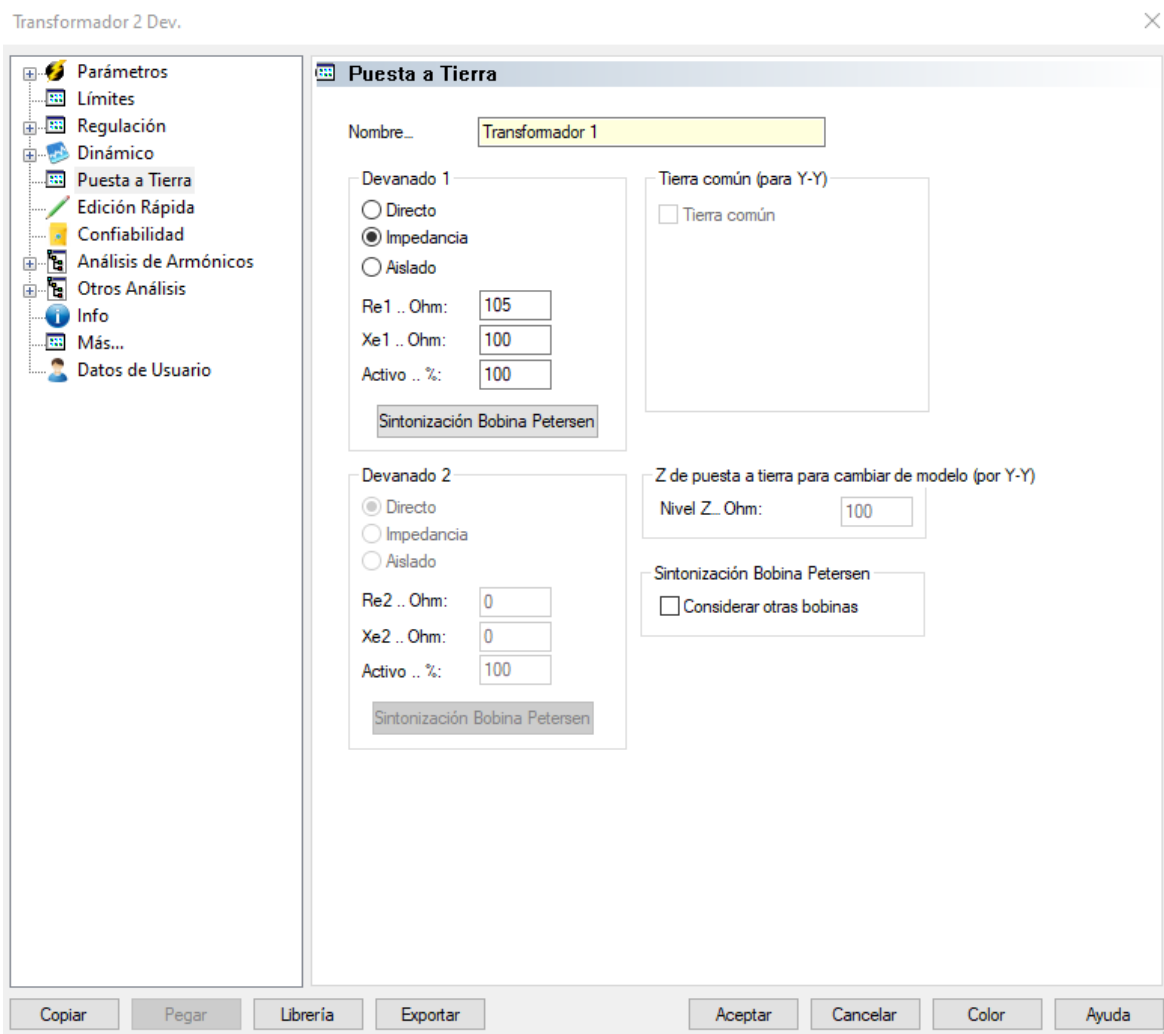


Figura 44: Configuració del neutre a terra amb impedància del primari del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

Paralelo

P. a Tierra

Nombre...

Transf. Puesta a Tierra

Datos transformador		Puesta a Tierra del Transf.	
Vr .. kV:	<input type="text" value="25"/>	RE .. Ohm:	<input type="text" value="36,8"/>
Sr .. MVA:	<input type="text" value="20"/>	XE .. Ohm:	<input type="text" value="22"/>
R(0) .. %:	<input type="text" value="0"/>	Activo .. %:	<input type="text" value="100"/>
Zcc(0) .. %:	<input type="text" value="4,8"/>	<input type="button" value="Sintonización Bobina Petersen"/>	
		<input type="checkbox"/> Considerar otras bobinas	

Admitancia fija

P(0) .. MW:	<input type="text" value="4,120776"/>	<input type="button" value="Cálculo P(0), Q(0)"/>
Q(0) .. Mvar:	<input type="text" value="2,519496"/>	

Figura 45: Configuració del neutre a terra amb impedància del secundari (zig-zag) del transformador 132/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

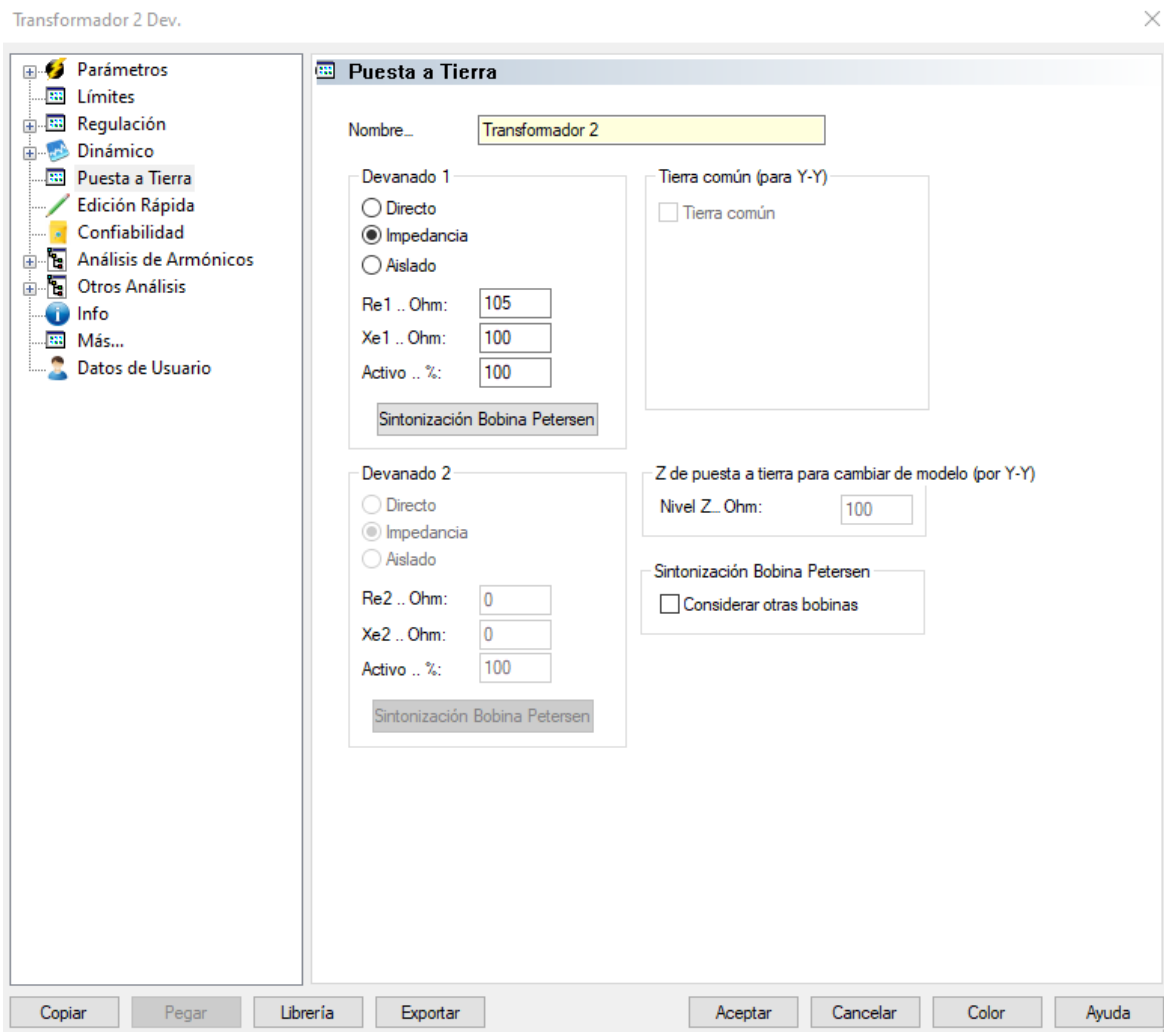


Figura 46: Configuració del neutre a terra amb impedància del primari del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

Paralelo

Parámetros
X

- Parámetros
- Dinámico
- P. a Tierra
- Track autotransformer
- Confiabilidad
- Análisis de Armónicos
- Otros Análisis
- Info
- Más...
- Datos de Usuario

P. a Tierra

Nombre...

Transf. Puesta a Tierra

Datos transformador

Vr .. kV:

Sr .. MVA:

R(0) .. %:

Zcc(0) .. %:

Puesta a Tierra del Transf.

RE .. Ohm:

XE .. Ohm:

Activo .. %:

Considerar otras bobinas

Admitancia fija

P(0) .. MW:

Q(0) .. Mvar:

Figura 47: Configuració del neutre a terra amb impedància del secundari (zig-zag) del transformador 220/25 kV considerant la resistència de posada a terra. [Elaboració pròpia]

4.1.5 Condicions per al càlcul del corrent de curtcircuit monofàsic

Tal com s'ha dit en apartats anteriors, el corrent de curtcircuit monofàsic varia en funció de diversos factors. Aquests factors afecten directament als valors del potencial de terra i, consegüentment, als valors de les tensions de pas i de contacte que dicten si el disseny de la PAT és correcte o no.

Per aquest treball s'han escollit diferents situacions possibles per realitzar els diversos càlculs. Convé subratllar que les opcions d'estudi són il·limitades, i que per la realització d'aquest treball de fi de grau aquestes han estat reduïdes.

Es treballa sobre els graus de llibertat que es llisten a continuació:

- Modificar R_t (resistència de posada a terra) dels suports:
 - És en aquest punt on afecten les diferents resistivitats del terreny.
 - Considerant que les R_t dels suports són totes iguals a cada tram de les diferents línies, o que aquestes són diferents per a cada suport.
- Modificar el tractament del neutre dels transformadors de 132/25 kV i 220/25 kV
 - Directe a terra (considerant R_t).
 - A terra amb impedància (considerant R_t).

Per tant, les opcions disponibles són les mostrades a la taula 32.

CAS		
A	R_t diferents	Neutre directe a terra
		Neutre a terra amb impedància
B	R_t iguals	Neutre directe a terra
		Neutre a terra amb impedància

*Taula 32: Casos possibles pel càlcul de corrent de curtcircuit monofàsic I''_{k1} amb NEPLAN.
[Elaboració pròpia]*

Per la realització de tots els càlculs es prenen tres opcions diferents com configuracions d'elèctrode base (una opció per cada tram de línia de les diferents tensions) presentades a les taules del manual tècnic MT 2.22.05 d'Iberdrola Distribución Eléctrica [8]. En efecte, tal com s'ha vist en apartats anteriors, les configuracions dels elèctrodes són pràcticament infinites, ja que totes les combinacions possibles queden fora d'estudi per la magnitud que això suposaria. De la mateixa manera, és convenient deixar constància del fet que, tal com es pot intuir, es tracta d'una selecció de configuracions d'elèctrodes provinents d'un manual tècnic d'una companyia distribuïdora d'Espanya. És a dir, els càlculs pertinents pel disseny de posades a terra, que es realitzen als apartats posteriors, tenen com a base valors de resistència de posada a terra i de corrents de curtcircuit monofàsic reals per a la xarxa espanyola, però no per les xarxes corresponents als altres països tractats en aquest treball de fi de grau. Així i tot, els valors que s'obtenen als pròxims apartats es consideren vàlids pels càlculs.

D'aquestes tres configuracions d'elèctrode es fa ús del coeficient de resistència de posada a terra K_r , en $\Omega/(\Omega \cdot m)$. Aquest serveix per aconseguir fàcilment el valor de la resistència de posada a terra R_t mitjançant l'expressió 45.

$$R_t = K_r \cdot \rho \quad (45)$$

On:

- R_t : Resistència de posada a terra de l'elèctrode, en Ω
- K_r : Coeficient de resistència de posada a terra, en $\Omega/(\Omega \cdot m)$
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$

Com es pot observar, es reafirma la importància que presenta la resistivitat a tot ho relacionat amb el disseny d'una posada a terra, com ja ha estat esmentat en apartats anteriors. A través de l'expressió 45, es demostra fàcilment que si hi ha present una elevada resistivitat, en conseqüència la resistència de posada a terra també ho serà, i és precisament el contrari de l'objectiu que a assolir.

També es fa ús dels coeficients de tensió de pas i de contacte, K_p i K_c respectivament, de cada elèctrode. Cal fer esment específic que a les taules del manual tècnic [8] només apareix el coeficient de tensió de pas K_p de cada elèctrode i que, per tant, el valor del coeficient de tensió de contacte K_c ha estat deduït mitjançant altres taules de configuracions d'elèctrodes on sí que es troben disponibles ambdós coeficients. D'aquesta manera, observant i prenent ordre de magnitud, es conclouen els valors dels coeficients característics de cada elèctrode que es mostren a la taula 34.

Les tres configuracions d'elèctrodes són les mostrades a la taula 33, on també es troben disponibles les descripcions de cadascun d'ells.

Elèctrode	Descripció
CPT-LA-1A-5+8P2	On 1A és el primer anell, 5 son les dimensions d'aquest (format per conductor de coure de 50 mm ² enterrat a una profunditat de 1 m) i 8P2 és el número de piques connectades a l'anell (8 en aquest cas) i la seva longitud, en m (2 en aquest cas). Longitud de fil conductor de l'elèctrode LM = 20 m
CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2	On 1A és el primer anell, 5,4 son les dimensions d'aquest (format per conductor de coure de 50 mm ² enterrat a una profunditat de 1 m), i 2A és el primer anell, 7,8 son les dimensions d'aquest (format per conductor de coure de 50 mm ² enterrat a una profunditat de 1 m) i 8P2 és el número de piques connectades a l'anell (8 en aquest cas) i la seva longitud, en m (2 en aquest cas). Longitud de fil conductor de l'elèctrode LM = 52,8 m
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	On 1A és el primer anell, 7 son les dimensions d'aquest (format per conductor de coure de 50 mm ² enterrat a una profunditat de 1 m) i 8P2 és el número de piques connectades a l'anell (8 en aquest cas) i la seva longitud, en m (2 en aquest cas), i on F és un flagel de coure de 50 mm ² enterrat a una profunditat de 1 m, i 10P2 és el número de piques del flagel (10 en aquest cas) i la seva longitud, en m (2 m en aquest cas). Longitud de fil conductor de l'elèctrode LM = 58 m

Taula 33: Característiques de les tres opcions d'elèctrodes seleccionades. [8] [Elaboració pròpia]

Elèctrode	K_r [$\Omega/(\Omega \cdot m)$]	K_p [$V/(\Omega \cdot m \cdot A)$]	K_c [$V/(\Omega \cdot m \cdot A)$]
CPT-LA-1A-5+8P2	0,0708	0,0091	0,02
CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2	0,048	0,00613	0,01
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	0,0301	0,00346	0,0085

Taula 34: Coeficients característics dels elèctrodes seleccionats. [8] [Elaboració pròpia]

Tal com s'ha tractat en apartats anteriors, i com es pot veure a la figura 25, tres línies a diferents tensions formen l'esquema elèctric utilitzat pel càlcul de corrents de curtcircuit monofàsiques. Per un tema de limitació d'opcions possibles i combinacions, tots els suports de cada línia li tenen assignada la mateixa configuració d'elèctrode de les tres seleccionades i mostrades a la taula 33. D'aquesta manera, la tensió assignada a cada configuració d'elèctrode és la llistada a continuació:

- 25 kV → CPT-LA-1A-5+8P2
- 132 kV → CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2
- 220 kV → CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2

El temps de desconexió dels interruptors se selecciona de 100 ms (és a dir, 0,1 s). El motiu d'aquesta selecció és que és el valor de duració de falta que dona el valor de tensió de contacte aplicada admissible més elevat, i, per tant, és el pitjor cas (vegeu taules 9 i 10). És cert que també apareix un valor de duració de la falta de 0,05 segons, però aquest es considera molt poc probable que succeeixi, a causa de les característiques de l'aparamenta de maniobra i de protecció utilitzada a l'alta tensió.

El factor c té un valor de 1,1 pel fet que tots els curtcircuits es produeixen a tensions superiors als 1000 V, ja que es realitzen en alta tensió. Si es donés el cas que hi hagués algun element de l'esquema elèctric a una tensió inferior als 1000 V el factor c hauria de tenir un valor igual a 1.

Per últim, se selecciona que la xarxa és asimètrica per tal que les tensions siguin correctes. És a dir, que el valor de tensió de la fase que estigui en defecte sigui de 0 V.

A la 48 es mostren els paràmetres utilitzats a l'hora de calcular els curtcircuits a NEPLAN.

Parámetros de Cortocircuito

Parámetro Nodos bajo falla Líneas en Falla Falla especial Cálculo de Arco Eléctrico

Tipo de falla:

Método de Cálculo:

Cálculo I_k" máx Flujo de carga previo al cálculo de Cortocircuito

Dist. de falla (No. de nodos) para mostrar resultados: Red asimétrica

Calcular de acuerdo a IEC60909

Selecc. automática del factor c Durac. de la falla en s para cálc. de corr. térmica:

Tolerancia reducida en sist. de bajo voltaje (sólo +6%) Durac. de la falla en s para cálc. de la corr. DC:

Cálculo de ip según R/X en ubic. de falla Tiempo de retardo del CB en s para la corriente de

Calcular según IEC61363-1 o IEC 61660-1(DC)

Corrientes en tiempo..s: Condiciones de precarga:

Retardo del INT en s para cálc. de corr. interrup. Ib: Comportamiento en el tiempo T final .. s:

Calcular de acuerdo a ANSI

Número de ciclos para cálculo corriente DC, IDC:

Número de ciclos para cálculo corriente interrup. Ib:

E operación .. pu:

Display Fault location in Message Window

Impedancia de Arco (No tiene en cuenta IEC/ANSI)

Parte Resistiva..Ohm:

Parte Reactiva..Ohm:

Referencias

IEC/ANSI: Voltaje con método de superposición

Referencia actual: V equivalente V nodo

Resonancia en redes conectadas a tierra y aisladas

Cálculo de la impedancia de secuencia cero simplificada Vn resonan. redes conect. a tierra y aisladas..kV

Arch. de Resultados

Crear después de cálculo Formato 4.x

Breaking Conditions

IEC/VDE Standard Swiss Standard

Cargabilidad máxima de elementos

Cargabilidad .. %:

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

Figura 48: Paràmetres de curtcircuit a NEPLAN. [Elaboració pròpia]

De la mateixa manera, a la figura 49 es mostren els suports (o nodes a NEPLAN) que estan en defecte per realitzar el càlcul de corrent de curtcircuit monofàsic. El fet de que estiguin tots seleccionats simultàniament no afecta al valor final real que apareix a cada suport a l'hora de calcular.

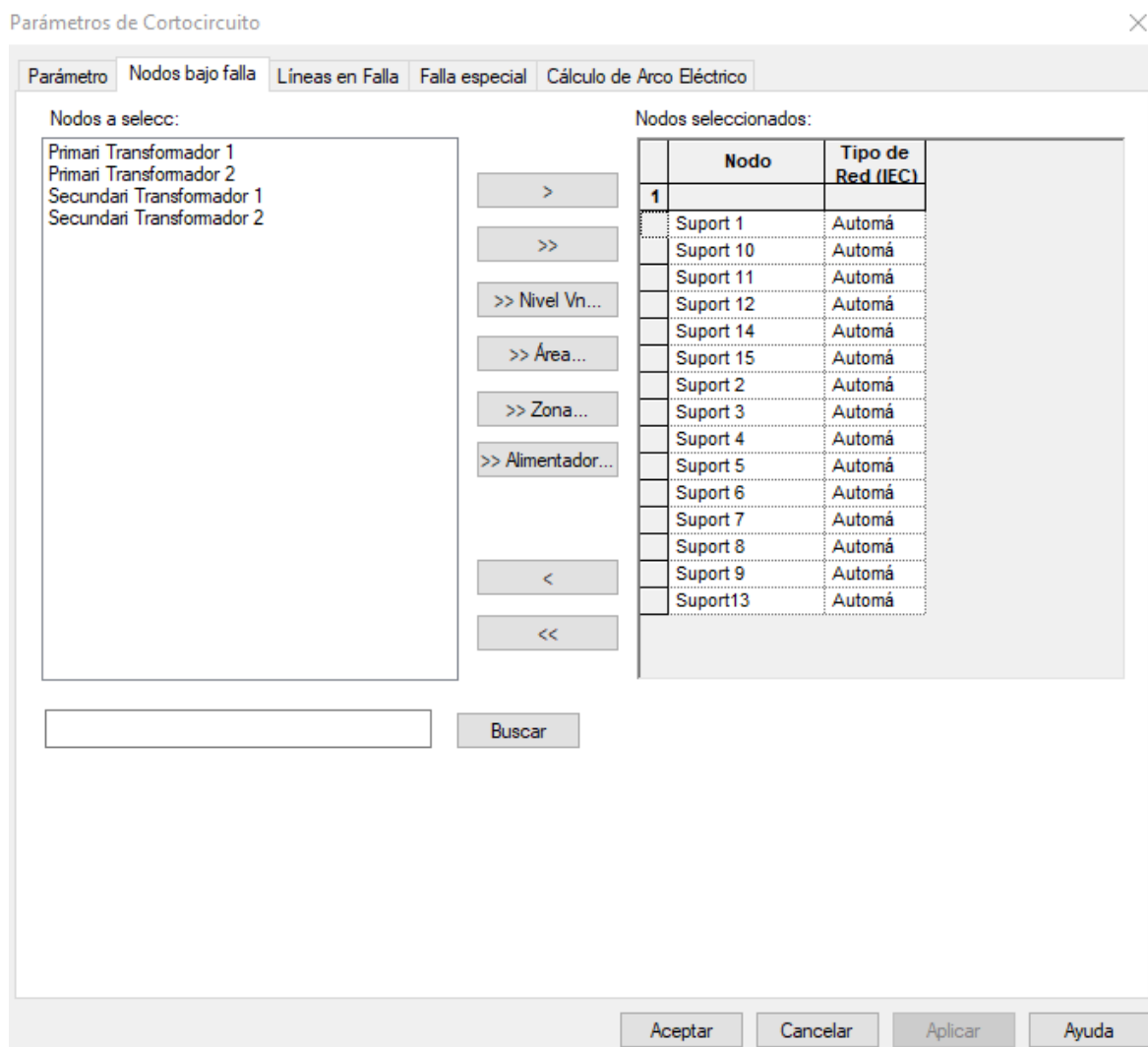


Figura 49: Nodos (suports) en defecte seleccionats a NEPLAN. [Elaboració pròpia]

Per aquest treball de fi de grau es fa una selecció de valors de resistivitat del terreny que poden aparèixer a diferents ubicacions i situacions. A continuació es llisten els valors de resistivitat del terreny triats pels càlculs de la resistència de posada a terra R_i :

- $\rho_1 = 25 \Omega \cdot m$
- $\rho_2 = 250 \Omega \cdot m$
- $\rho_3 = 350 \Omega \cdot m$
- $\rho_4 = 500 \Omega \cdot m$
- $\rho_5 = 1500 \Omega \cdot m$

A la realitat és poc probable arribar a valors elevats com el de ρ_5 , però igualment per aquest treball de fi de grau es troba interessant tenir una certa varietat i magnitud en els diferents valors de resistivitat del terreny.

Seguint l'expressió 45, i utilitzant els diferents valors de resistivitat del terreny amb el coeficient de resistència de posada a terra respectiu a cadascuna de les configuracions dels elèctrodes, s'assoleixen els resultats mostrats a la taula 35.

R _t AMB LA VARIACIÓ DE LA RESISTIVITAT DEL TERRENY			
Elèctrode CPT-LA-1A-5+8P2		Elèctrode CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2	
Resistivitat del terreny ρ (Ω -m)	Resistència de posada a terra R _t (Ω)	Resistivitat del terreny ρ (Ω -m)	Resistència de posada a terra R _t (Ω)
25	1,77	25	1,2
250	17,7	250	12
350	24,78	350	16,8
500	35,4	500	24
1500	106,2	1500	72
Elèctrode CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2			
Resistivitat del terreny ρ (Ω -m)	Resistència de posada a terra R _t (Ω)		
25	0,7525		
250	7,525		
350	10,535		
500	15,05		
1500	45,15		

Taula 35: Resistències de posada a terra R_t obtingudes per les diferents configuracions d'elèctrodes en funció de la variació de la resistivitat del terreny. [Elaboració pròpia]

A la taula 35 es pot apreciar amb facilitat la rellevància d'un terreny amb una baixa resistivitat, ja que si aquesta fos elevada implicaria una elevació del valor de la resistència de posada a terra. És precisament això una de les situacions que s'ha d'evitar, ja que, com s'ha comentat, si la resistència de posada a terra és gran afecta a les tensions que hi apareixen.

Si els valors de la taula 35 es representen en un gràfic, on a l'eix x aparegui el valor de la resistivitat del terreny i a l'eix y aparegui el valor de la resistència de posada a terra, s'obtenen les corbes mostrades a les figures 50, 51 i 52.

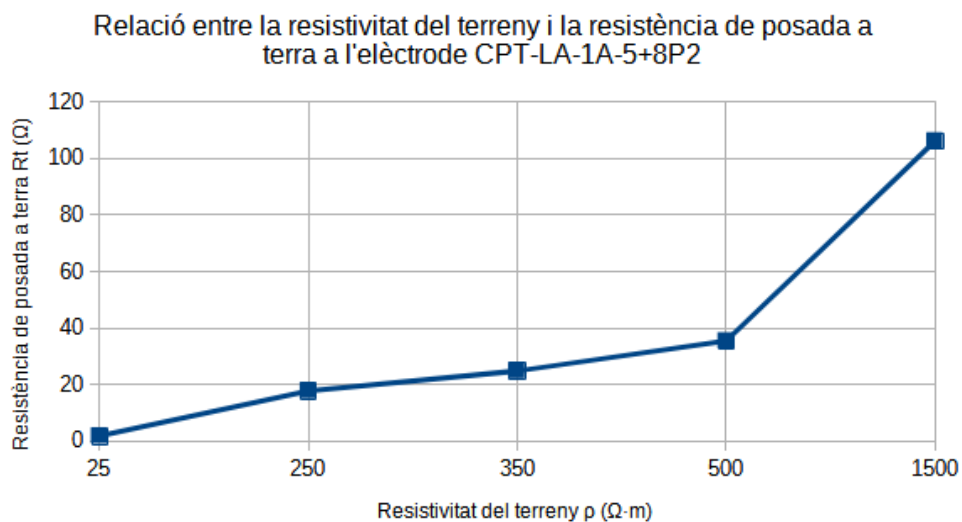


Figura 50: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-5+8P2. [Elaboració pròpia]

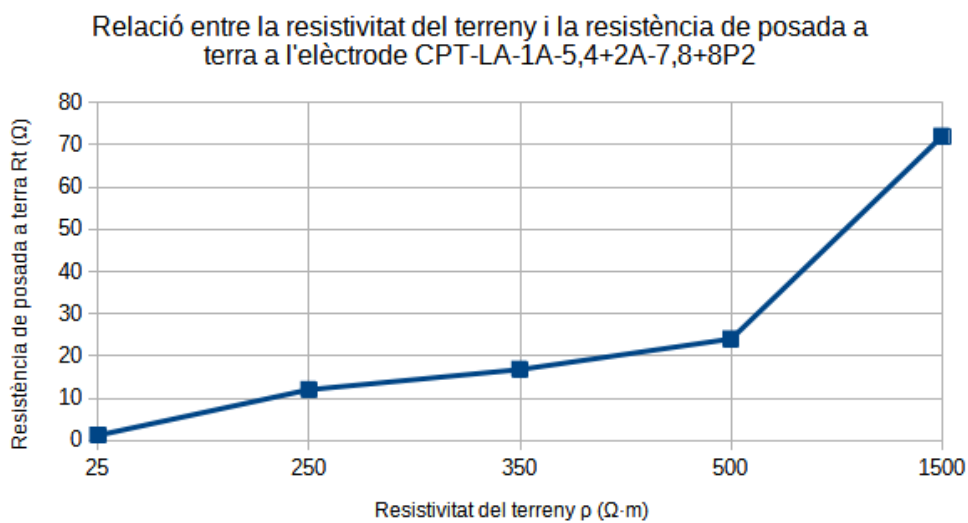


Figura 51: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2. [Elaboració pròpia]

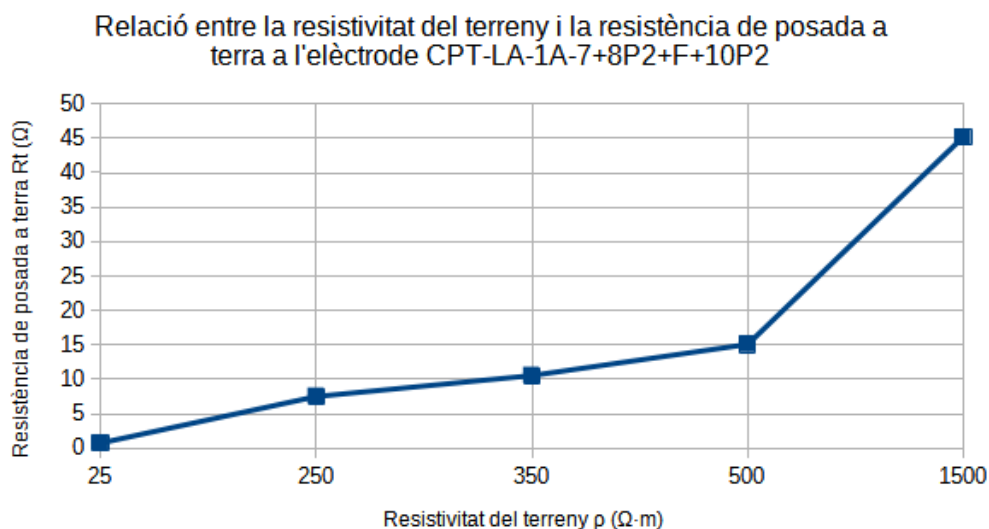


Figura 52: Relació entre la resistivitat del terreny i la resistència de posada a terra a l'elèctrode CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2. [Elaboració pròpia]

Amb aquestes tres figures (50, 51 i 52) es manifesta el que s'ha esmentat en diverses ocasions durant el treball, i és que a mesura que augmenta la resistivitat del terreny la resistència de posada a terra també ho fa. Per tant, és important recordar la importància que té la resistivitat del terreny a l'hora d'una correcta instal·lació de posada a terra.

Un detall interessant és que a mesura que la mida de l'elèctrode augmenta la seva resistència de posada a terra disminueix. Per tant, la mida de l'elèctrode i els components que el formen presenten una importància a l'hora del valor final de la resistència de posada a terra.

Abans d'executar els càlculs amb NEPLAN és important recordar el que tracten les diferents normatives sobre els corrents de curtcircuit, els corrents de falta i els corrents de terra (vegeu apartat 2.3.6). Amb l'esquema plantejat per calcular els corrents de curtcircuit monofàsic de la figura 25 hi apareixen uns elements que es troben al software amb el nom de *Tierra* (vegeu figura 53). Aquests representarien, en aquest treball de fi de grau, l'elèctrode de posada a terra amb la seva respectiva resistència de posada a terra.

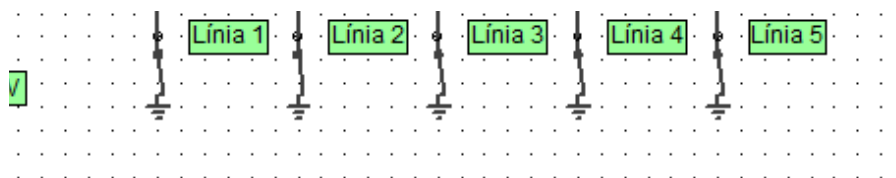


Figura 53: Element 'Tierra' a NEPLAN. [Elaboració pròpia]

Tot i que l'objectiu principal és calcular el corrent de curtcircuit monofàsic que apareix a cada suport (node) en cas de que aquest estigui en falta, s'han detectat mancances al

software NEPLAN i al seu anàlisi de curtcircuit. Tal com s'ha mencionat a l'apartat 2.3.6, no només es fa ús del corrent de curtcircuit monofàsic I''_{k1} , si no que també apareixen altres corrents com el corrent de terra i el corrent que circula per l'elèctrode. Seguint l'expressió 7, es té que el corrent de terra durant la falta, I_E , no es més que la multiplicació del corrent de curtcircuit monofàsic I''_{k1} pel factor reductor r característic de la línia. Per tant, si NEPLAN té totes les dades de la línia podria proveir aquest valor de corrent. De la mateixa manera, fins i tot podria subministrar el valor del potencial de terra, ja que, seguint l'expressió 8, depèn del valor del corrent de terra durant la falta I_E , de la resistència de posada a terra de l'elèctrode (resistència introduïda a l'element *Tierra*) i de la impedància a terra de tota la línia sense considerar la del suport en defecte Z_E . Tots i cadascun d'aquests paràmetres els té NEPLAN a l'hora de crear l'esquema elèctric, però no presenta cap eina que pugui utilitzar-los per aquesta finalitat. El mateix succeeix amb el corrent que circula per l'elèctrode, I_T , que seguint l'expressió 47, es veu que també depèn de paràmetres que NEPLAN té en el seu domini. Per tant, tot i que no és estrictament necessari per aquest treball, es conclou que l'element *Tierra* no presenta cap utilitzat, pel que es prescindeix d'ell.

A la figura 54 es mostra l'esquema elèctric utilitzat pels càlculs a NEPLAN (modificació del presentat a la figura 25).

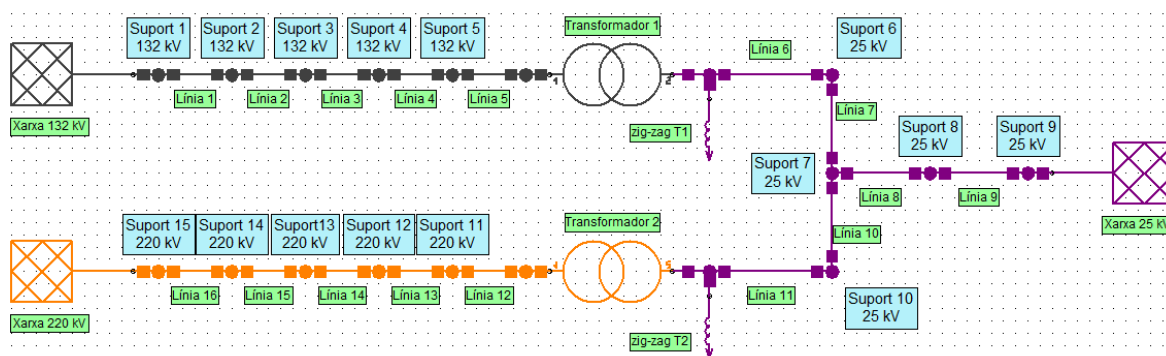


Figura 54: Esquema elèctric utilitzat per calcular corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} a NEPLAN.
[Elaboració pròpia]

4.1.6 Corrents de curtcircuit monofàsic obtinguts a NEPLAN

Amb l'ajut d'Excel, s'organitzen tots els resultats obtinguts en diferents fulles i taules. La taula a emplenar és la que mostra la taula 36.

Tots els resultats s'obtenen com a conseqüència d'aplicar totes les consideracions teòriques i pràctiques, així com tots els paràmetres seleccionats mencionats durant tot l'apartat 4.1.

Tensió	Nº Suport	Tractament del neutre	Corrent de curtcircuit monofàsic I''_{k1} (A)
132 kV	1	TN1	
		TN2	
	2	TN1	
		TN2	
	3	TN1	
		TN2	
	4	TN1	
		TN2	
	5	TN1	
		TN2	
25 kV	6	TN1	
		TN2	
	7	TN1	
		TN2	
	8	TN1	
		TN2	
	9	TN1	
		TN2	
	10	TN1	
		TN2	
220 kV	11	TN1	
		TN2	
	12	TN1	
		TN2	
	13	TN1	
		TN2	
	14	TN1	
		TN2	
	15	TN1	
		TN2	

Corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} (A) calculats = 30

*Taula 36: Taula per emplenar amb els corrents de curtcircuit monofàsic I''_{k1} calculats a cada suport a NEPLAN en funció de la tensió de la línia i del tractament del neutre.
[Elaboració pròpia]*

A la taula 36 apareixen els dos mètodes de tractament neutre que han estat llistats amb a l'inici d'aquest apartat.

Les sigles utilitzades pels dos possibles tractaments del neutre a les taules són:

- **TN1:** Neutre directe a terra.
- **TN2:** Neutre a terra amb impedància.

Els resultats dels corrents de curtcircuit monofàsic obtinguts a NEPLAN es mostren a la taula 37.

Tensió	Nº Suport	Tractament del neutre	Corrent de curtcircuit monofàsic I''_{K1} (A)
132 kV	1	TN1	13869,3
		TN2	13598,2
	2	TN1	13761,2
		TN2	13490,2
	3	TN1	13654,6
		TN2	13383,8
	4	TN1	13549,6
		TN2	13279
	5	TN1	13446,1
		TN2	13175,7
25 kV	6	TN1	8941,9
		TN2	6397,3
	7	TN1	12387,6
		TN2	9243
	8	TN1	14343
		TN2	11589,8
	9	TN1	18453,2
		TN2	16009,5
	10	TN1	9034,4
		TN2	6452,8
220 kV	11	TN1	8588,2
		TN2	8263,3
	12	TN1	8625,2
		TN2	8300,4
	13	TN1	8662,5
		TN2	8337,9
14	TN1	8700,2	
	TN2	8375,8	
15	TN1	8738,2	
	TN2	8414	

Corrents de curtcircuit monofàsic I''_{K1} (A) calculats = 30

Taula 37: Corrents de curtcircuit monofàsic calculats a cada suport a NEPLAN en funció de la tensió de la línia i del tractament del neutre. [Elaboració pròpia]

En aquests primers resultats de corrent de curtcircuit monofàsic ja hi ressalta la importància del tractament del neutre en el valor d'aquest, tal com s'ha explicat a l'apartat 4.1.2 .

Amb tot plegat, a tall de distribuir els corrents de curtcircuit monofàsic obtinguts per cada configuració de tractament del neutre, i amb les diferents resistències de posada a terra de cada elèctrode en funció de les diferents resistivitats del terreny, s'utilitzen les següents taules (vegeu les taules 38, 39 i 40) per tal de recollir els resultats de totes les combinacions plantejades sobre el disseny de la posada a terra amb MATLAB.

		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_{e0} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77		17,7		24,78		35,4		108,2	
TN1	2	17,7		24,78		35,4		108,2		1,77	
TN1	3	24,78		35,4		108,2		1,77			
TN1	4	35,4		108,2		1,77		17,7		24,78	
TN1	5	108,2		1,77		17,7		24,78		35,4	

		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_{e0} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77		17,7		24,78		35,4		108,2	
TN2	2	17,7		24,78		35,4		108,2		1,77	
TN2	3	24,78		35,4		108,2		1,77		17,7	
TN2	4	35,4		108,2		1,77		17,7		24,78	
TN2	5	108,2		1,77		17,7		24,78		35,4	

		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_{e0} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77		1,77		1,77		1,77		1,77	
TN1	2	17,7		17,7		17,7		17,7		17,7	
TN1	3	24,78		24,78		24,78		24,78		24,78	
TN1	4	35,4		35,4		35,4		35,4		35,4	
TN1	5	108,2		108,2		108,2		108,2		108,2	

		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_e (\Omega)$	PAT	$R_{e0} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77		1,77		1,77		1,77		1,77	
TN2	2	17,7		17,7		17,7		17,7		17,7	
TN2	3	24,78		24,78		24,78		24,78		24,78	
TN2	4	35,4		35,4		35,4		35,4		35,4	
TN2	5	108,2		108,2		108,2		108,2		108,2	

Taula 38: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 25 kV. [Elaboració pròpia]

CASA

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT
TN1	1	1,2		12		16,8		24		72	
TN1	2	12		16,8		24		72		1,2	
TN1	3	16,8		24		72		1,2		12	
TN1	4	24		72		1,2		12		16,8	
TN1	5	72		1,2		12		16,8		24	

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT
TN2	1	1,2		12		16,8		24		72	
TN2	2	12		16,8		24		72		1,2	
TN2	3	16,8		24		72		1,2		12	
TN2	4	24		72		1,2		12		16,8	
TN2	5	72		1,2		12		16,8		24	

CAS B

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT
TN1	1	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2	
TN1	2	12		12		12		12		12	
TN1	3	16,8		16,8		16,8		16,8		16,8	
TN1	4	24		24		24		24		24	
TN1	5	72		72		72		72		72	

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$		$\Gamma_{R0} = -A$	
Tractament del neutre	Combinació	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT	R_e (Ω)	PAT
TN2	1	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2	
TN2	2	12		12		12		12		12	
TN2	3	16,8		16,8		16,8		16,8		16,8	
TN2	4	24		24		24		24		24	
TN2	5	72		72		72		72		72	

Taula 39: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 132 kV. [Elaboració pròpia]

Tractament del neutre		Combinació	Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
			$R_{e1}(\Omega)$	PAT	$R_{e2}(\Omega)$	PAT	$R_{e3}(\Omega)$	PAT	$R_{e4}(\Omega)$	PAT	$R_{e5}(\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525		7,525		10,535		15,05		45,15		
TN1	2	7,525		10,535		15,05		45,15		0,7525		
TN1	3	10,535		15,05		45,15		0,7525		7,525		
TN1	4	15,05		45,15		0,7525		7,525		10,535		
TN1	5	45,15		0,7525		7,525		10,535		15,05		

Tractament del neutre		Combinació	Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
			$R_{e1}(\Omega)$	PAT	$R_{e2}(\Omega)$	PAT	$R_{e3}(\Omega)$	PAT	$R_{e4}(\Omega)$	PAT	$R_{e5}(\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525		7,525		10,535		15,05		45,15		
TN2	2	7,525		10,535		15,05		45,15		0,7525		
TN2	3	10,535		15,05		45,15		0,7525		7,525		
TN2	4	15,05		45,15		0,7525		7,525		10,535		
TN2	5	45,15		0,7525		7,525		10,535		15,05		

Tractament del neutre		Combinació	Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
			$R_{e1}(\Omega)$	PAT	$R_{e2}(\Omega)$	PAT	$R_{e3}(\Omega)$	PAT	$R_{e4}(\Omega)$	PAT	$R_{e5}(\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525		0,7525		0,7525		0,7525		0,7525		
TN1	2	7,525		7,525		7,525		7,525		7,525		
TN1	3	10,535		10,535		10,535		10,535		10,535		
TN1	4	15,05		15,05		15,05		15,05		15,05		
TN1	5	45,15		45,15		45,15		45,15		45,15		

Tractament del neutre		Combinació	Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
			$R_{e1}(\Omega)$	PAT	$R_{e2}(\Omega)$	PAT	$R_{e3}(\Omega)$	PAT	$R_{e4}(\Omega)$	PAT	$R_{e5}(\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525		0,7525		0,7525		0,7525		0,7525		
TN2	2	7,525		7,525		7,525		7,525		7,525		
TN2	3	10,535		10,535		10,535		10,535		10,535		
TN2	4	15,05		15,05		15,05		15,05		15,05		
TN2	5	45,15		45,15		45,15		45,15		45,15		

Taula 40: Taula de recollida d'informació per totes les combinacions possibles de l'estudi realitzat pels suports de la línia de 220 kV. [Elaboració pròpia]

4.2 Disseny i càlcul de posades a terra amb MATLAB

En aquest apartat s'han agrupat els diferents conceptes tractats al llarg de l'apartat 2.3. Més concretament, per la realització de les diferents aplicacions a MATLAB s'han utilitzat els diferents criteris de disseny establerts per cada normativa a l'apartat 2.3.7, referent al dimensionat respecte la seguretat de les persones.

Per la creació de les diferents aplicacions es fa ús del complement AppDesigner¹⁰ de MATLAB. Els motius per els quals s'escull aquesta eina de MATLAB són:

- Interfície intuïtiva, no només pel programador sinó també per l'usuari que l'empri.
- Facilitat a l'hora de programar el codi que dicta el comportament de l'aplicació.
- Eines útils per aconseguir les aplicacions desitjades.

4.2.1 Aplicacions dissenyades

A continuació es mostren els codis i les interfícies creades per cadascuna de les aplicacions creades per cada normativa, així com una breu descripció del seu funcionament.

Totes les aplicacions funcionen d'una manera semblant però no igual, ja que segueixen diagrames de blocs diferents. Malgrat que el funcionament i el seguiment dels diversos punts pot ser diferent, a totes i cadascuna d'elles s'hi han usat elements intuïtius pel seu ús senzill.

En referència als codis mostrats, cadascun d'ells té al seu interior petits comentaris explicatius referenciats amb un símbol de percentatge (%) en color verd. Per il·lustrar:

« % Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada »

D'igual manera, també cal fer un esment específic al fet que totes quatre aplicacions presenten interfícies pràcticament iguals, amb la intenció que l'usuari obtingui comoditat a l'hora d'utilitzar les diferents aplicacions. Per aquest motiu tots els elements presenten una consonància de disseny. Hi són un exemple clar dos ítems que es repeteixen a totes quatre aplicacions: el requadre de color groc que, en cas que el resultat final sigui negatiu, és a dir, que el disseny de PAT escollit sigui incorrecte, es mostren diferents punts on es poden aplicar millores en el nou disseny per tal que en tornar a fer les comprovacions sigui correcte, així com la bombeta que varia el seu color en funció de si el disseny és correcte (verd) o incorrecte (vermell). Aquests dos elements es poden observar, per exemple, a la figura 55.

En última instància, un altre punt a conèixer molt important és que no totes les caselles es poden editar. Només es poden introduir valors en aquelles que facin referència a paràmetres necessaris per als càlculs. Dit d'una altra manera, no es poden modificar les caselles que són utilitzades per mostrar resultats tant de càlculs com de paràmetres dependents d'altres.

¹⁰ AppDesigner és un complement de MATLAB que permet crear aplicacions mitjançant la combinació d'una interfície gràfica i un editor de codi per programar el comportament que es desitja.

4.2.1.1 PAT_ESP

Amb relació a l'aplicació pel disseny de PAT respecte la seguretat de les persones d'Espanya, es fa ús del diagrama de blocs de la figura 10.

A la figura 55 es mostra la interfície gràfica de l'aplicació PAT_ESP.

The screenshot shows the 'DISSENY PAT SUPORTS NORMA ESPANYA' application interface. It is divided into five main sections:

- 1. QÜESTIONS INICIALS:** Contains three dropdown menus for 'Material aïllant', 'Freqüentat', and 'Desconnexió automàtica immediata', each with a text input field below it.
- 2. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA:** A list of input fields for system parameters:
 - Corrent de curtcircuit monofàsic I_{k1} (0 A)
 - Duració del corrent de falta t_f (0 s)
 - Tensió de contacte aplicada admissible U_{ca} (0 V)
 - Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte (0 Ω)
 - Resistivitat del terreny ρ (0 Ω·m)
 - Selecció del tipus d'elèctrode bàsic (dropdown menu)
 - Coefficient de resistència de posada a terra Kr (0 Ω/(Ω·m))
 - Coefficient de tensió de contacte Kc (0 V/(Ω·m·A))
 - Coefficient de tensió de pas Kp (0 V/(Ω·m·A))
 - Resistència de posada a terra Rp (0 Ω)
 - Resistència equivalent del calçat d'un peu la sola del qual sigui aïllant Ra1 (Introduir 2000Ω si no es coneix el valor) (0 Ω)
- 3. CÀLCULS:** Output fields for:
 - Potencial de terra U_e (0 V)
 - Tensió de contacte U_c (0 V)
 - Tensió de pas U_p (0 V)
 - Tensió de contacte admissible U_{cad} (0 V)
 - Tensió de pas admissible U_{pad} (0 V)
 Includes a 'Calcular' button.
- 4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE:** A comparison field 'U_e < 2U_{ca}?' with a 'Comparar' button.
- 5. COMPARACIÓ DE LES TENSIONS DE PAS I DE CONTACTE:** Comparison fields 'U_c < U_{cad}' and 'U_p < U_{pad}' with 'Comparar' buttons.

A red circle icon labeled 'DISSENY CORRECTE' is visible in the top right corner. A yellow box on the left contains the text: 'MILLORES: Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar accés a les àrees.'

Figura 55: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

Mitjançant l'observació del codi es pot explicar el funcionament de l'aplicació segueix els punts següents:

- 1. Qüestions inicials:** En aquest primer punt es responen diferents preguntes que poden determinar si el disseny inicial triat és correcte sense necessitat de fer comprovacions de tensions de pas i de contacte i del potencial de terra.

% Value changed function: aMaterialallant

function aMaterialallantValueChanged(app, event)

% Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada

switch app.aMaterialallant.Value

case 'Si'

% Resultat

app.ResultatAillant.Value='Disseny inicial de PAT correcte';

app.ResultatFreqüentat.Value="";

app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";

```
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color='green';
    app.Millores.Visible = 'off';
case 'No'
    % Resultat
    app.ResultatAillant.Value='Suport freqüentat?';
    app.ResultatFrequentat.Value="";
    app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
    app.Millores.Visible = 'off';
case 'Sel·lecciona una opció'
    % Resultat
    app.ResultatAillant.Value="";
    app.ResultatFrequentat.Value="";
    app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
    app.Millores.Visible = 'off';
end
end
% Value changed function: bFrequentat
function bFrequentatValueChanged(app, event)
    % Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada
    switch app.bFrequentat.Value
        case 'Si'
            % Resultat
            app.ResultatFrequentat.Value='Seguir amb el pas 2';
            app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
            app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
            app.Millores.Visible = 'off';
        case 'No'
            % Resultat
            app.ResultatFrequentat.Value='Desconnexió automàtica immediata?';
            app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
```

```

        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    case 'Sel·lecciona una opció'
        % Resultat
        app.ResultatFrequentat.Value="";
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end
% Value changed function: cDesconnexiautomticainmediata
function cDesconnexiautomticainmediataValueChanged(app, event)
    % Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada
    switch app.cDesconnexiautomticainmediata.Value
        case 'Sel·lecciona una opció'
            app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
            app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
            app.Millores.Visible = 'off';
        case 'Si'
            app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value='Disseny inicial de PAT correcte';
            app.DISSENYCORRECTELamp.Color='green';
            app.Millores.Visible = 'off';
        case 'No'
            app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value='Seguir amb el pas 2';
            app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
            app.Millores.Visible = 'off';
    end
end
end

```

- 2. Introducció de les dades inicials del sistema:** En aquest punt s'introdueixen totes les dades necessàries per tal que funcions futures puguin utilitzar aquestes dades pels càlculs de les diferents tensions. És en aquest punt on en funció del

temps de desconexió seleccionat s'obté la tensió de contacte aplicada admissible, així com les diferents característiques de l'elèctrode seleccionat.

% Value changed function: Duracidelcorrentdefaltatf

function DuracidelcorrentdefaltatfValueChanged(app, event)

% Tensions de contacte aplicades admissibles Uca en funció del

% temps de duració de la falta tf

tf = app.Duracidelcorrentdefaltatf.Value;

if tf==0.05

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 735;

elseif tf==0.10

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 633;

elseif tf==0.2

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 528;

elseif tf==0.3

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 420;

elseif tf==0.4

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 310;

elseif tf==0.5

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 204;

elseif tf==1

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 107;

elseif tf==2

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 90;

elseif tf==5

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 81;

elseif tf==10

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 80;

elseif tf>10

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 50;

end

end

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic


```

function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)
% Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a
% seleccionar
Electrode = app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value;
if Electrode == 1
    app.CoficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;
    app.CoficientdetensidecontacteKc.Value = 0.020;
    app.CoficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;
elseif Electrode == 2
    app.CoficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;
    app.CoficientdetensidecontacteKc.Value = 0.010;
    app.CoficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;
elseif Electrode == 3
    app.CoficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;
    app.CoficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;
    app.CoficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;
elseif Electrode == 0
    app.CoficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";
    app.CoficientdetensidecontacteKc.Value = "";
    app.CoficientdetensidepasKp.Value = "";
end
end

```

3. **Càlculs:** En aquest punt es realitzen els càlculs, mitjançant les dades introduïdes al punt 2, de totes les tensions necessàries per les posteriors comparatives. Les tensions de contacte i pas es calculen mitjançant les expressions 48 i 49, respectivament. Però, és necessari obtenir abans el corrent de terra de la línia I_E i el corrent que circula per l'elèctrode I_T , a partir de les expressions 46 i 47. [4]

$$I_E = r \cdot I'_{k1} \quad (46)$$

On:

- I_E : Corrent de terra de la línia, en A
- r : Factor de reducció de la línia, sense unitats

- I''_{k1} : Corrent de curtcircuit monofàsic, en A

$$I_T = I_E \cdot \frac{Z_E}{Z_E + R_p} \quad (47)$$

On:

- I_T : Corrent que circula per l'elèctrode, en A
- I_E : Corrent de terra de la línia, en A
- Z_E : Impedància a terra de tota la línia sense considerar la del suport més proper al defecte, en Ω
- R_p : Resistència de posada a terra de l'elèctrode, en Ω

$$U_c = I_T \cdot \rho \cdot K_c \quad (48)$$

On:

- U_c : Tensió de contacte, en V
- I_T : Corrent que circula per l'elèctrode, en A
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
- K_c : Coeficient de tensió de contacte, en $V/(\Omega \cdot m \cdot A)$

$$U_p = I_T \cdot \rho \cdot K_p \quad (49)$$

On:

- U_p : Tensió de pas, en V
- I_T : Corrent que circula per l'elèctrode, en A
- ρ : Resistivitat del terreny, en $\Omega \cdot m$
- K_p : Coeficient de tensió de pas, en $V/(\Omega \cdot m \cdot A)$

Un altre aspecte molt important és el coeficient reductor de la resistivitat de la capa superficial, pel qual s'utilitza l'expressió 16.

```
% Button pushed function: CalcularButton
```

```
function CalcularButtonPushed(app, event)
```

```
% Crida de totes les variables necessàries pels càlculs
```

```
Rp = app.ResistnciadeposadaaterraRp.Value;
```

```
Ik1 = app.CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;
```

```
Ze = app.ImpedanciaZE.Value;
```

```
rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
```

```
Uca = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value;
```

```
Ra1 = app.ResistenciaRa1.Value;
Zb = 1000;
Kc = app.CoficientdetensidecontacteKc.Value;
Kp = app.CoficientdetensidepasKp.Value;

% Càlcul del potencial de terra amb el corrent IE, amb un valor
% de factor de reducció aproximat de 0,8
r = 0.8;
IE = Ik1*r;
Ue = IE*((Ze*Rp)/(Ze+Rp));
app.PotencialdeterraUe.Value = Ue;

% Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode
IT = IE*(Ze/(Rp+Ze));

% Càlcul de la tensió de contacte
Uc = Kc*IT*rho;
app.TensidecontacteUc.Value = Uc;

% Càlcul de la tensió de pas
Up = Kp*IT*rho;
app.TensidepasUp.Value = Up;

% Coeficient reductor Cs
rho_s = 1600;
hs = 0.1;
Cs = 1-0.016*((1-(rho/rho_s))/(2*hs+0.106));

% Càlcul de la tensió de contacte admissible
Ucad = Uca*(1+(((Ra1/2)+1.5*rho_s*Cs)/Zb));
app.TensidecontacteadmissibleUcad.Value=Ucad;
```

```

% Càlcul de la tensió de pas admissible
Upa = 10*Uca;
Upad = Upa*(1+((2*Ra1+6*rho_s*Cs)/Zb));
app.TensidepasadmissibleUpad.Value = Upad;
end

```

- 4. Comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible:** En aquest punt es comparen els valors obtinguts de potencial de terra i de tensió de contacte aplicada admissible. És aquí on es pot obtenir un veredicta respecte el correcte disseny de la instal·lació de posada a terra inicial.

```

% Button pushed function: CompararUeUcButton
function CompararUeUcButtonPushed(app, event)
% Crida de les variables necessàries per la comparativa
Ue = app.PotencialdeterraUe.Value;
Uca = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value;

% Opcions possibles per comparar i resultats
if Ue<2*Uca
    app.ComparacioUeUc.Value = 'Disseny correcte';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
    app.Millores.Visible = 'off';
elseif Ue>2*Uca
    app.ComparacioUeUc.Value = 'Seguir al pas 5';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'off';
end
end

```

- 5. Comparació de les tensions de pas i de contacte:** Aquest és l'últim punt que pot dictar si el disseny és correcte o no. Es comparen les tensions de contacte i de pas amb les tensions de contacte i de pas admissibles. En el cas que el resultat final no sigui favorable i el disseny inicial sigui erroni, apareix el missatge amb les millores.

```

% Button pushed function: CompararUpUcButton
function CompararUpUcButtonPushed(app, event)
    % Crida de les variables necessàries per la comparativa
    Uc = app.TensidecontacteUc.Value;
    Up = app.TensidepasUp.Value;
    Ucad = app.TensidecontacteadmissibleUcad.Value;
    Upad = app.TensidepasadmissibleUpad.Value;

    % Opcions possibles per comparar i resultats
    if Uc<Ucad && Up<Upad
        app.UcaUc.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
        app.UpaUp.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif Uc>Ucad
        app.UcaUc.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MODIFICACIONS.';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'on';
    elseif Up>Upad
        app.UpaUp.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MODIFICACIONS.';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'on';
    end
end
end

```

4.2.1.2 PAT_EEUU

Amb relació a l'aplicació pel disseny de PAT respecte la seguretat de les persones dels Estats Units d'Amèrica, es fa ús del diagrama de blocs de la figura 11.

A la figura 56 es mostra la interfície gràfica de l'aplicació PAT_EEUU.

The screenshot shows the PAT_EEUU application interface. At the top, it says "DISSENY PAT SUPORTS NORMA E.E.U.U." and "DISSENY CORRECTE" with a red indicator. The interface is organized into five numbered sections:

- 1. DADES INICIALS:** Includes input fields for "Resistivitat del terreny p" (0 Ω·m), "Selecció del tipus d'elèctrode" (dropdown menu), "Longitud del conductor de l'elèctrode LM" (0 m), and "Resistència de posada a terra Rg" (0 Ω).
- 2. TENSIONS DE CONTACTE I PAS:** Includes "Duració de l'exposició del cos al corrent ts (valor entre 0,03 i 3 segons)" (0 s) with a "Calcular" button, and "Tensió de pas Estep" (0 V) and "Tensió de contacte Etouch" (0 V) input fields.
- 3. VALORS DEL DEFECTE:** Includes "Corrent de curtcircuit monofàsic I'K1" (0 A), "Duració del corrent de falta tf" (0 s), and "Potencial de terra Ue" (0 V) with a "Calcular" button. Below is a "Ue < Etouch" input field with a "Comparar" button.
- 4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIO DE CONTACTE:** A section for comparing results.
- 5. TENSIO DE MALLA I PAS:** Includes "Tensió de malla Em" (0 V) and "Tensió de pas Ep" (0 V) input fields with a "Calcular" button. A yellow box below contains "MILLORES" (improvements) text.

Figura 56: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

El funcionament de l'aplicació segueix els punts següents:

- 1. Dades inicials:** En aquest primer punt s'introdueixen les dades inicials que són bàsiques pels càlculs que esdevenen als punts propers. Convé destacar l'aparició del paràmetre LM, que fa referència a la longitud del conductor de l'elèctrode. En el cas d'aquest treball de fi de grau, tal com s'ha vist a l'apartat 4.1.5, s'utilitzen tres configuracions diferents d'elèctrodes. De la mateixa manera, a la taula 33 es mostren descripcions d'aquests, de les quals s'extreuen les dimensions de fil emprat per cadascun d'ells.

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrode

function SeleccideltipusdelctrodeValueChanged(app, event)

% Longitud del conductor de l'elèctrode en funció de

% l'elèctrode seleccionat

switch app.Seleccideltipusdelctrode.Value

case 'CPT-LA-1A-5+8P2'

app.LongituddelconductordelctrodeLM.Value = 20;

case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'

app.LongituddelconductordelctrodeLM.Value = 52.8;

case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2'

app.LongituddelconductordelctrodeLM.Value = 58;

case 'Selecciona una opció'

app.LongituddelconductordelctrodeLM.Value = "";

```

end
end

```

- 2. Tensions de contacte i pas:** En aquest punt es calculen les tensions de pas i de contacte. Apareix un paràmetre que fa referència a la duració de l'exposició del cos al corrent. El valor d'aquest temps varia entre 0,03 i 3 segons. Si es pren atenció a com afecta aquest paràmetre al valor de les tensions s'extreu la conclusió de que a mida que el valor és més petit, el valor de la tensió augmenta. Per aquest treball de fi de grau s'utilitza un valor de 0,03 segons, per tal de calcular la pitjor situació possible.

```

% Button pushed function: CalcularEstepEtouch
function CalcularEstepEtouchButtonPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris pels càlculs de la tensió de pas i la tensió de
contacte
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    ts = app.Duracidelexposicidelcosalcorrentts.Value;

    % Coeficient reductor Cs
    rho_s = 1600;
    hs = 0.1;
    Cs = 1-((0.09*(1-(rho/rho_s)))/(2*hs+0.09));

    % Càlcul de la tensió de pas
    Estep = (1000+6*Cs*rho_s)*(0.116/sqrt(ts));
    app.TensidepasEstep.Value = Estep;

    % Càlcul de la tensió de contacte
    Etouch = (1000+1.5*Cs*rho_s)*(0.116/sqrt(ts));
    app.TensidecontacteEtouch.Value = Etouch;
end

```

- 3. Comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte:** En aquest punt es calcula el potencial de terra i es compara amb la tensió de contacte obtinguda

al punt 2. És en aquest punt on si es compleix que el potencial de terra presenta un valor inferior al de la tensió de contacte el disseny inicial triat és correcte.

% Button pushed function: CalcularPotencialTerra

function CalcularPotencialTerraPushed(app, event)

**% Crida dels paràmetres necessaris pel càlcul del potencial de
% terra**

$I_{k1} = \text{app.CorrentdecurtcircuitmonofasicIK1.Value};$

$R_g = \text{app.ResistnciadeposadaaterraRg.Value};$

% Càlcul del corrent de terra IE

$r = 0.8;$

$IE = I_{k1} * r;$

% Càlcul del potencial de terra

$U_e = IE * R_g;$

$\text{app.PotencialdeterraUe.Value} = U_e;$

end

% Button pushed function: CompararUeEtouch

function CompararUeEtouchPushed(app, event)

% Crida dels paràmetres necessaris per realitzar la comparació

$U_e = \text{app.PotencialdeterraUe.Value};$

$E_{touch} = \text{app.TensidecontacteEtouch.Value};$

% Comparació del valor de la tensió de contacte amb el del potencial de terra

if $U_e < E_{touch}$

$\text{app.UeEtouch.Value} = \text{'DISSENY CORRECTE'};$

$\text{app.DISSENYCORRECTE.Color} = \text{'green'};$

$\text{app.Millores.Visible} = \text{'off'};$

elseif $U_e > E_{touch}$

$\text{app.UeEtouch.Value} = \text{'Seguir amb el pas 5'};$

$\text{app.DISSENYCORRECTE.Color} = \text{'red'};$

$\text{app.Millores.Visible} = \text{'off'};$


```
end
end
```

- 4. Tensió de malla i pas:** En aquest punt final es calculen les tensions de malla i pas. A les expressions usades per calcular aquestes tensions apareixen uns coeficients, els valors dels quals han estat aproximats per la seva utilització. A la norma IEEE Std. 80 [12] es presenten possibles valors. De manera paral·lela al càlcul d'aquestes tensions, també es duu a terme la comparació amb les tensions de pas i de contacte. Així, s'obté el veredict de si el disseny seleccionat és correcte o no. En cas que no sigui correcte es mostra un missatge amb possibles millores a aplicar perquè sigui adequada.

% Button pushed function: CalcularResultat

```
function CalcularResultatPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris pel càlcul de Em i Es per
    % posteriorment comparar els resultats amb Etouch i Estep
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    IG = app.CorrentdecircuitmonofasicI1.Value;
    LM = app.LongituddelconductordelelectrodeLM.Value;
    Etouch = app.TensidecontacteEtouch.Value;
    Estep = app.TensidepasEstep.Value;

    % Es consideren els següents valors aproximats de Km i Ki:
    % Km = 0.1 aprox
    % Ki = 0.2 aprox
    Em = (rho*0.1*0.2*IG)/LM;
    app.TensidemallaEm.Value = Em;

    % Es considera el següent valor aproximat de Ks:
    % Ks = 0.05 aprox
    Es = (rho*0.05*0.2*IG)/LM;
    app.TensidepasEp.Value = Es;

    % Comparació de Em i Es amb Estep i Etouch, amb el resultat
    % corresponent
```

```

if Em < Etouch && Es < Estep
  app.Resultat.Value = 'DISSENY CORRECTE';
  app.DISSENYCORRECTE.Color = 'green';
  app.Millores.Visible = 'off';
elseif Em > Etouch
  app.Resultat.Value = 'DISSENY INCORRECTE: Em > Etouch';
  app.DISSENYCORRECTE.Color = 'red';
  app.Millores.Visible = 'on';
elseif Es > Estep
  app.Resultat.Value = 'DISSENY INCORRECTE: Es > Estep';
  app.DISSENYCORRECTE.Color = 'red';
  app.Millores.Visible = 'on';
end
end
end

```

4.2.1.3 PAT_UK

Amb relació a l'aplicació pel disseny de PAT respecte la seguretat de les persones del Regne Unit, es fa ús del diagrama de blocs de la figura 12.

A la figura 57 es mostra la interfície gràfica de l'aplicació PAT_UK.

The screenshot displays the 'DISSENY PAT SUPORTS NORMA REGNE UNIT' application interface. It is divided into several sections for data input and calculation steps:

- 1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA:** Includes input fields for 'Corrent de curtcircuit monofàsic I_{k1}' (0 A), 'Duració de la falta t_f' (0 s), 'Tensió de contacte aplicada admissible U_{Tpa}' (0 V), 'Corrent admissible pel cos humà I_B' (0 A), 'Impedància a terra equivalent Z_E de tota la línia, excepte R_t del suport que pateix el defecte' (0 Ω), and 'Resistivitat del terreny ρ' (0 Ω·m).
- 2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA:** Includes a dropdown for 'Selecció del tipus d'elèctrode bàsic', and input fields for 'Coeficient de resistència de posada a terra K_r' (0 Ω·m), 'Coeficient de tensió de contacte K_c' (0 V/(Ω·m·A)), 'Coeficient de tensió de pas K_p' (0 V/(Ω·m·A)), and 'Resistència de posada a terra R_E' (0 Ω).
- 3. PRIMERA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE:** Includes 'Potencial de terra U_e' (0 V) and a 'Calcular' button. Below it, 'UE ≤ 2 U_{Tpa}' is shown with a 'Comparar' button.
- 4. SEGONA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE:** Includes 'UE ≤ 4 U_{Tpa}' and a 'Comparar' button.
- 5. DETERMINACIÓ DE LA TENSÍO DE CONTACTE UT:** Includes 'Tensió de contacte UT' (0 V) and a 'Calcular' button.
- 6. DETERMINACIÓ DE LA TENSÍO DE CONTACTE ADMISSIBLE U_{Tpad}:** Includes 'Tensió de contacte admissible U_{Tpad}' (0 V) and a 'Calcular' button.
- 7. COMPARACIÓ DE UT AMB U_{Tpad}:** Includes 'UT ≤ U_{Tpad}' and a 'Comparar' button.

At the top right, a red circle indicates 'DISSENY CORRECTE'. A yellow box at the bottom right contains the text: 'MILLORES: Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos a les àrees.'

Figura 57: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_UK. [Elaboració pròpia]

El funcionament de l'aplicació segueix els punts següents:

- 1. Introducció de les dades inicials del sistema:** En aquest primer punt s'introdueixen les dades inicials que són bàsiques per als càlculs de les tensions de contacte i del potencial de terra. Es determina la tensió de contacte aplicada admissible segons la duració del corrent de falta i el corrent admissible del cos humà, que també depèn de la duració de la falta.

% Value changed function: Duracidelafaltatf

```
function DuracidelafaltatfValueChanged(app, event)
    tf = app.Duracidelafaltatf.Value;
    if tf==0.05
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 716;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.9;
    elseif tf==0.1
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 654;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.75;
    elseif tf==0.2
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 537;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.6;
    elseif tf==0.5
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 220;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.2;
    elseif tf==1
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 117;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.08;
    elseif tf==2
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 96;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.06;
    elseif tf==5
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 86;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.051;
    elseif tf==10
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 85;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
```

```

elseif tf>=10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 80;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
end
end
end

```

- 2. Elèctrode de posada a terra:** En aquest segon punt es selecciona l'elèctrode utilitzat i, segons la selecció, es mostren els coeficients característics d'aquest.

```

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic
function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)
    % Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a
    % seleccionar
    switch app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value
        case 'CPT-LA-1A-5+8P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.02;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;
        case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.01;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;
        case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;
        case 'Selecciona una opció'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = "";
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = "";
    end
end
end

```

- 3. Primera comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible:** En aquesta primera comparació es calcula el potencial de terra per seguidament comparar-lo amb la tensió de contacte aplicada admissible obtinguda a partir de la duració del defecte. Si es compleix la comparació, el disseny inicial seleccionat és correcte.

% Button pushed function: CalcularButton

function CalcularUE(app, event)

% Crida dels paràmetres necessaris

Ik1 = app.CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;

ZE = app.ImpedanciaZE.Value;

RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

% Càlcul del corrent IE, amb un valor de factor de reducció

% aproximat de 0,8

r = 0.8;

IE = Ik1*r;

% Càlcul del potencial de terra UE

UE = IE*((ZE*RE)/(ZE+RE));

app.PotencialdeterraUe.Value = UE;

end

% Button pushed function: CompararUE2UTpaButton

function CompararUE2UTpa(app, event)

UE = app.PotencialdeterraUe.Value;

UTp = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

if UE <= 2*UTp

app.UE2UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';

app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';

app.Millores.Visible = 'off';

elseif UE > 2*UTp

app.UE2UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 4';

app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';

```

    app.Millores.Visible = 'off';
end
end

```

- 4. Segona comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible:** En aquesta segona comparació es torna a comparar el potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible obtinguda a partir de la duració del defecte. Si es compleix la comparació, el disseny inicial seleccionat és correcte, tot i que convé destacar que serà necessari realitzar unes mesures.

% Button pushed function: CompararUE4UTpaButton

```

function CompararUE4UTpa(app, event)
    UE = app.PotencialdeterraUe.Value;
    UTp = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

    if UE <= 4*UTp
        app.UE4UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif UE > 4*UTp
        app.UE4UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 5';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end

```

- 5. Determinació de la tensió de contacte UT:** En aquest punt es calcula la tensió de contacte a partir de la resistivitat del terreny, el corrent que circula per l'elèctrode i el coeficient de tensió de contacte característic de l'elèctrode. Per la tensió de contacte s'utilitza l'expressió 48.

% Button pushed function: CalcularUTButton

```

function CalcularUT(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    Kc = app.CoficientdetensidecontacteKc.Value;

```

```
Ik1 = app.CurrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;
rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
ZE = app.ImpedanciaZE.Value;
RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;
```

```
% Càlcul del corrent a terra IE
```

```
r = 0.8;
IE = Ik1*r;
```

```
% Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode IT
```

```
IT = IE*(ZE/(RE+ZE));
```

```
% Càlcul de la tensió de contacte UT
```

```
UT = Kc*IT*rho;
app.TensidecontacteUT.Value = UT;
```

```
end
```

- 6. Determinació de la tensió de contacte admissible U_{tpad} :** En aquest punt es calcula la tensió de contacte admissible U_{tpad} . En aquesta tensió interactuen els dos factors introduïts a l'apartat 2.3.7.3, dels quals han estat escollits els valors que presenten el pitjor cas.

```
% Button pushed function: CalcularUTpadButton
```

```
function CalcularUTpad(app, event)
```

```
% Crida dels paràmetres necessaris
```

```
IB = app.CurrentadmissiblepelcoshumIB.Value;
```

```
% Impedància del cos humà comú de 1000 Ohms
```

```
ZT = 1000;
```

```
% Valors suposats dels paràmetres HF i BF per el pitjor cas:
```

```
HF = 0.4;
```

```
BF = 0.75;
```

```
% Valors de les resistències addicionals
```

```
RH = 100;
```

```
RF = 100;
```

```
% Càlcul de la tensió de contacte admissible
```

```
UTpad = IB*(1/HF)*(ZT*BF+RH+RF);
```

```
app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value = UTpad;
```

```
end
```

- 7. Comparació de UT amb UTpad:** En aquest punt final de l'aplicació s'obté el resultat de si el disseny de la PAT és correcte o no. Aquest resultat s'assoleix a partir de la comparació de la tensió de contacte calculada al punt 5 i la tensió de contacte admissible calculada al punt 6. De la mateixa manera que a les altres aplicacions, en cas de no complir amb el correcte disseny respecte a la seguretat de les persones apareix un missatge amb les possibles millores a aplicar perquè sigui correcte.

```
% Button pushed function: CompararButton
```

```
function CompararButtonPushed(app, event)
```

```
% Crida dels paràmetres necessaris
```

```
UT = app.TensidecontacteUT.Value;
```

```
UTpad = app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value;
```

```
% Opcions possibles per comparar i resultats
```

```
if UT <= UTpad
```

```
    app.UTUTpad.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
```

```
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
```

```
    app.Millores.Visible = 'off';
```

```
elseif UT > UTpad
```

```
    app.UTUTpad.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MILLORES';
```

```
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
```

```
    app.Millores.Visible = 'on';
```

```
end
```


end

4.2.1.4 PAT_MX

Amb relació a l'aplicació pel disseny de PAT respecte a la seguretat de les persones del Regne Unit, es fa ús del diagrama de blocs de la figura 14. Com s'ha vist en apartats anteriors, el disseny respecte a la seguretat de les persones és gairebé idèntic a l'utilitzat en el Regne Unit (vegeu apartats 2.3.7 i 4.2.1.3). La principal diferència es troba en la comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible.

A la figura 58 es mostra la interfície gràfica de l'aplicació PAT_MX.

The screenshot displays the 'DISSENY PAT SUPORTS NORMA MÈXIC' application interface. It is divided into several sections:

- 1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA:** Includes input fields for 'Corrent de curtcircuit monofàsic I''k1' (A), 'Duració de la falta tf' (s), 'Tensió de contacte aplicada admissible UTPa' (V), 'Corrent admissible pel cos humà IB' (A), 'Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte' (Ω), and 'Resistivitat del terreny p' ($\Omega \cdot m$).
- 2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA:** Includes a dropdown for 'Selecció del tipus d'elèctrode bàsic', and input fields for 'Coeficient de resistència de posada a terra Kr' ($\Omega(\Omega \cdot m)$), 'Coeficient de tensió de contacte Kc' (V/($\Omega \cdot m \cdot A$)), 'Coeficient de tensió de pas Kp' (V/($\Omega \cdot m \cdot A$)), and 'Resistència de posada a terra RE' (Ω).
- 3. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE:** Includes an input for 'Potencial de terra Ue' (V) and a 'Calcular' button. Below it, 'UE < UTPa' is shown with a 'Comparar' button.
- 4. DETERMINACIÓ DE LA TENSÍO DE CONTACTE UT:** Includes an input for 'Tensió de contacte UT' (V) and a 'Calcular' button.
- 5. DETERMINACIÓ DE LA TENSÍO DE CONTACTE ADMISSIBLE UTPad:** Includes an input for 'Tensió de contacte admissible UTPad' (V) and a 'Calcular' button.
- 6. COMPARACIÓ DE UT AMB UTPad:** Includes an input for 'UT ≤ UTPad' and a 'Comparar' button.

A red indicator light labeled 'DISSENY CORRECTE' is visible in the top right. A yellow box contains the text: 'MILLORES: Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos a les àrees.'

Figura 58: Interfície gràfica de l'aplicació PAT_MX. [Elaboració pròpia]

El funcionament de l'aplicació segueix els punts següents:

- 1. Introducció de les dades inicials del sistema:** En aquest primer punt s'introdueixen les dades inicials que són bàsiques per als càlculs de les tensions de contacte i del potencial de terra. Es determina la tensió de contacte aplicada admissible segons la duració del corrent de falta i el corrent admissible del cos humà, que també depèn de la duració de la falta.

% Value changed function: Duracidelafaltatf

function DuracidelafaltatfValueChanged(app, event)

tf = app.Duracidelafaltatf.Value;

if tf==0.05

app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 716;

```
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.9;
elseif tf==0.1
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 654;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.75;
elseif tf==0.2
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 537;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.6;
elseif tf==0.5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 220;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.2;
elseif tf==1
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 117;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.08;
elseif tf==2
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 96;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.06;
elseif tf==5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 86;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.051;
elseif tf==10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 85;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
elseif tf>=10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 80;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
end
end
```

- 2. Elèctrode de posada a terra:** En aquest segon punt es selecciona l'elèctrode utilitzat i, segons la selecció, es mostren els coeficients característics d'aquest.

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic

function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)

% Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a

% seleccionar

switch app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value

case 'CPT-LA-1A-5+8P2'

app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;

app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.02;

app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;

case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'

app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;

app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.01;

app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;

case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'

app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;

app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;

app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;

case 'Selecciona una opció'

app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";

app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = "";

app.CoefficientdetensidepasKp.Value = "";

end

end

- 3. Comparació del potencial de terra amb la tensió de contacte aplicada admissible:** En aquesta comparació primer es calcula el potencial de terra per seguidament comparar-lo amb la tensió de contacte aplicada admissible obtinguda a partir de la duració del defecte. Si es compleix la comparació, el disseny inicial seleccionat és correcte.

% Button pushed function: CalcularButton

function CalcularUE(app, event)

% Crida dels paràmetres necessaris

Ik1 = app.CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;

ZE = app.ImpedanciaZE.Value;

RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

```

% Càlcul del corrent IE amb un valor de factor de reducció
% aproximat de 0,8
r = 0.8;
IE = Ik1*r;

% Càlcul del potencial de terra UE
UE = IE*((ZE*RE)/(ZE+RE));
app.PotencialdeterraUe.Value = UE;
end

% Button pushed function: CompararUE2UTpaButton
function CompararUE2UTpa(app, event)
    UE = app.PotencialdeterraUe.Value;
    UTpa = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

    if UE < UTpa
        app.UE2UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif UE > UTpa
        app.UE2UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 4';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end
end

```

- 4. Determinació de la tensió de contacte UT:** En aquest punt es calcula la tensió de contacte a partir de la resistivitat del terreny, el corrent de curtcircuit monofàsic i el coeficient de tensió de contacte característic de l'elèctrode. Per la tensió de contacte s'utilitza l'expressió 48.

```

% Button pushed function: CalcularUTButton

```

```

function CalcularUT(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    Kc = app.CoficientdetensidecontacteKc.Value;
    Ik1 = app.CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    ZE = app.ImpedanciaZE.Value;
    RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

    % Càlcul del corrent a terra IE
    r = 0.8;
    IE = Ik1*r;

    % Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode IT
    IT = IE*(ZE/(RE+ZE));

    % Càlcul de la tensió de contacte UT
    UT = Kc*IT*rho;
    app.TensidecontacteUT.Value = UT;
end

```

- 5. Determinació de la tensió de contacte admissible Utpad:** En aquest punt es calcula la tensió de contacte admissible Utpad. En aquesta tensió interactuen els dos factors introduïts a l'apartat 2.3.7.3, dels quals han estat escollits els valors que presenten el pitjor cas.

```

% Button pushed function: CalcularUTpadButton
function CalcularUTpad(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    IB = app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value;

    % Impedància del cos humà comú de 1000 Ohms
    ZT = 1000;

```

% Valors suposats dels paràmetres HF i BF per el pitjor cas:

HF = 0.4;

BF = 0.75;

% Valors de les resistències addicionals

RH = 100;

RF = 100;

% Càlcul de la tensió de contacte admissible

UTpad = IB*(1/HF)*(ZT*BF+RH+RF);

app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value = UTpad;

end

- 6. Comparació de UT amb UTpad:** En aquest punt final de l'aplicació s'obté el resultat de si el disseny de la PAT és correcte o no. Aquest resultat s'assoleix a partir de la comparació de la tensió de contacte calculada al punt 5 i la tensió de contacte admissible calculada al punt 6. De la mateixa manera que a les altres aplicacions, en cas de no complir amb el correcte disseny respecte a la seguretat de les persones apareix un missatge amb les possibles millores a aplicar perquè sigui correcte.

% Button pushed function: CompararButton

function CompararButtonPushed(app, event)

% Crida dels paràmetres necessaris

UT = app.TensidecontacteUT.Value;

UTpad = app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value;

% Opcions possibles per comparar i resultats

if UT <= UTpad

app.UTUTpad.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';

app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';

app.Millores.Visible = 'off';

elseif UT > UTpad

app.UTUTpad.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MILLORES';

```

app.DISENYCORRECTELamp.Color = 'red';
app.Millores.Visible = 'on';

end

end

```

4.2.2 Càlculs i resultats

En aquest apartat es combinen totes les condicions i els resultats obtinguts en els apartats anteriors, amb la finalitat de, mitjançant aquests, obtenir si el disseny inicial de posada a terra per les condicions d'estudi és correcte per a cadascuna de les normes dels quatre països seleccionats. Tal com s'ha mencionat anteriorment, es fa ús de les taules 38, 39 i 40.

Amb la convergència de la utilització dels resultats assolits amb NEPLAN i l'execució de les aplicacions de MATLAB, i l'ajut d'Excel per organitzar els resultats, s'analitzen els casos dels apartats següents (que són els mencionats a la taula 32).

Amb l'objectiu d'aconseguir un cert grau de normalització a tots els casos i normatives, se seleccionen diferents valors fixos de paràmetres que apareixen a les diferents aplicacions. Aquests han estat seleccionats mitjançant criteris que estableixen les normatives estudiades (vegeu apartat 2.2), o bé diferents projectes consultats [26]–[28]. En diversos casos aquests valors són aproximats però es poden considerar vàlids. A la taula es mostren els paràmetres per cada normativa en qüestió amb el valor seleccionat.

Norma (Aplicació)	Paràmetre	Valor
Espanya	Impedància equivalent Z_E de tota la línia	0,7 Ω
	Resistència equivalent del calçat R_{a1}	2000 Ω
	Factor de reducció r	0,8
	Duració del corrent de falta t_f	0,1 s
	Resistivitat de la capa superficial del terreny ρ^*	1600 $\Omega \cdot m$
	Espessor de la capa superficial h_s	0,1 m
	Impedància del cos humà Z_B	1000 Ω
Estats Units d'Amèrica	Duració del corrent de falta t_f	0,1 s
	Duració de l'exposició del cos al corrent t_s	0,03 s
	Coefficient K_m	0,1
	Coefficient K_i	0,3
	Coefficient K_s	0,2

	Resistivitat de la capa superficial del terreny ρ^*	1600 $\Omega\cdot\text{m}$
	Espessor de la capa superficial h_s	0,1 m
Regne Unit	Impedància equivalent Z_E de tota la línia	0,7 Ω
	Factor de reducció r	0,8
	Duració del corrent de falta t_f	0,1 s
	Impedància del cos humà Z_B	1000 Ω
	Resistència addicional a les mans R_H	500 Ω
	Resistència addicional als peus R_F	500 Ω
	Factor de corrent del cor HF	0,4
	Factor del cos humà BF	0,75
	Mèxic	Impedància equivalent Z_E de tota la línia
Factor de reducció r		0,8
Duració del corrent de falta t_f		0,1 s
Impedància del cos humà Z_B		1000 Ω
Resistència addicional a les mans R_H		500 Ω
Resistència addicional als peus R_F		500 Ω
Factor de corrent del cor HF		0,4
Factor del cos humà BF		0,75

Taula 41: Paràmetres fixes en l'execució de totes les aplicacions. [Elaboració pròpia]

A les figures que es mostren a continuació es poden observar exemples de com es visualitza el resultat obtingut a l'executar les diferents aplicacions. Es troben exemples d'un resultat de disseny correcte i de disseny incorrecte per les quatre aplicacions creades.

DISSENY PAT SUPORTS NORMA ESPANYA
DISSENY CORRECTE

<p>1. QÜESTIONS INICIALS</p> <p>a. Material aïllant <input type="text" value="No"/> <input type="text" value="Suport freqüentat?"/></p> <p>b. Freqüentat <input type="text" value="Si"/> <input type="text" value="Seguir amb el pas 2"/></p> <p>c. Desconnexió automàtica immediata <input type="text" value="Sel·lecciona una opció"/> <input type="text"/></p>	<p>2. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA</p> <p>Corrent de curtcircuit monofàsic I^{"k1} <input type="text" value="8942"/> A</p> <p>Duració del corrent de falta tf <input type="text" value="0.1"/> s</p> <p>Tensió de contacte aplicada admissible Uca <input type="text" value="633"/> V</p> <p>Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte <input type="text" value="0.7"/> Ω</p> <p>Resistivitat del terreny p <input type="text" value="25"/> Ω·m</p> <p>Selecció del tipus d'elèctrode bàsic <input type="text" value="CPT-LA-1..."/></p> <p>Coefficient de resistència de posada a terra Kr <input type="text" value="0.0708"/> Ω/(Ω·m)</p> <p>Coefficient de tensió de contacte Kc <input type="text" value="0.02"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Coefficient de tensió de pas Kp <input type="text" value="0.0091"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Resistència de posada a terra Rp <input type="text" value="1.77"/> Ω</p> <p>Resistència equivalent del calçat d'un peu la sola del qual sigui aïllant Ra1 (Introduir 2000Ω si no es coneix el valor) <input type="text" value="2000"/> Ω</p>	<p>3. CÀLCULS</p> <p>Potencial de terra Ue <input type="text" value="3588"/> V</p> <p>Tensió de contacte Uc <input type="text" value="1014"/> V</p> <p>Tensió de pas Up <input type="text" value="461.2"/> V</p> <p>Tensió de contacte admissible Ucad <input type="text" value="2707"/> V</p> <p>Tensió de pas admissible Upad <input type="text" value="8.929e+04"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE</p> <p>Ue < 2Uca? <input type="text" value="Seguir al pas 5"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p> <p>5. COMPARACIÓ DE LES TENSIONS DE PAS I DE CONTACTE</p> <p>Uc < Ucad <input type="text" value="Tensions OK: Disseny correcte"/></p> <p>Up < Upad <input type="text" value="Tensions OK: Disseny correcte"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p>
--	---	--

Figura 59: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_ESP amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA ESPANYA
DISSENY CORRECTE

<p>1. QÜESTIONS INICIALS</p> <p>a. Material aïllant <input type="text" value="No"/> <input type="text" value="Suport freqüentat?"/></p> <p>b. Freqüentat <input type="text" value="Si"/> <input type="text" value="Seguir amb el pas 2"/></p> <p>c. Desconnexió automàtica immediata <input type="text" value="Sel·lecciona una opció"/> <input type="text"/></p>	<p>2. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA</p> <p>Corrent de curtcircuit monofàsic I^{"k1} <input type="text" value="1.845e+04"/> A</p> <p>Duració del corrent de falta tf <input type="text" value="0.1"/> s</p> <p>Tensió de contacte aplicada admissible Uca <input type="text" value="633"/> V</p> <p>Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte <input type="text" value="0.7"/> Ω</p> <p>Resistivitat del terreny p <input type="text" value="1500"/> Ω·m</p> <p>Selecció del tipus d'elèctrode bàsic <input type="text" value="CPT-LA-1..."/></p> <p>Coefficient de resistència de posada a terra Kr <input type="text" value="0.0708"/> Ω/(Ω·m)</p> <p>Coefficient de tensió de contacte Kc <input type="text" value="0.02"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Coefficient de tensió de pas Kp <input type="text" value="0.0091"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Resistència de posada a terra Rp <input type="text" value="106.2"/> Ω</p> <p>Resistència equivalent del calçat d'un peu la sola del qual sigui aïllant Ra1 (Introduir 2000Ω si no es coneix el valor) <input type="text" value="2000"/> Ω</p>	<p>3. CÀLCULS</p> <p>Potencial de terra Ue <input type="text" value="1.027e+04"/> V</p> <p>Tensió de contacte Uc <input type="text" value="2900"/> V</p> <p>Tensió de pas Up <input type="text" value="1320"/> V</p> <p>Tensió de contacte admissible Ucad <input type="text" value="2780"/> V</p> <p>Tensió de pas admissible Upad <input type="text" value="9.222e+04"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE</p> <p>Ue < 2Uca? <input type="text" value="Seguir al pas 5"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p> <p>5. COMPARACIÓ DE LES TENSIONS DE PAS I DE CONTACTE</p> <p>Uc < Ucad <input type="text" value="Disseny incorrecte: REALITZAR MODIFICI"/></p> <p>Up < Upad <input type="text" value="Tensions OK: Disseny correcte"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p>
--	---	---

MILLORES:

Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar accessos a les àrees.

Figura 60: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_ESP amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA E.E.U.U.

DISSENY CORRECTE

1. DADES INICIALS

Resistivitat del terreny ρ $\Omega \cdot m$

Selecció del tipus d'elèctrode

Longitud del conductor de l'elèctrode LM m

Resistència de posada a terra R_g Ω

2. TENSIONS DE CONTACTE I PAS

Duració de l'exposició del cos al corrent ts (valor entre 0,03 i 3 segons) s

Tensió de pas Estep V

Tensió de contacte Etouch V

3. VALORS DEL DEFECTE

Corrent de curtcircuit monofàsic I"K1 A

Duració del corrent de falta tf s

4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE

Potencial de terra Ue V

Ue < Etouch

5. TENSÍO DE MALLA I PAS

Tensió de malla Em V

Tensió de pas Ep V

DISSENY CORRECTE

Figura 61: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_EEUU amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA E.E.U.U.

DISSENY CORRECTE

1. DADES INICIALS

Resistivitat del terreny ρ $\Omega \cdot m$

Selecció del tipus d'elèctrode

Longitud del conductor de l'elèctrode LM m

Resistència de posada a terra R_g Ω

2. TENSIONS DE CONTACTE I PAS

Duració de l'exposició del cos al corrent ts (valor entre 0,03 i 3 segons) s

Tensió de pas Estep V

Tensió de contacte Etouch V

3. VALORS DEL DEFECTE

Corrent de curtcircuit monofàsic I"K1 A

Duració del corrent de falta tf s

4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE

Potencial de terra Ue V

Ue < Etouch

5. TENSÍO DE MALLA I PAS

Tensió de malla Em V

Tensió de pas Ep V

DISSENY INCORRECTE: Em > Etouch

MILLORES:

Disminuir la resistència de posada a terra augmentant la superfície de la malla. Afegir conductors en paral·lel amb poca distància entre si dins la malla. Limitar el corrent de falta. Limitar accessos a les àrees. Incrementar la tolerabilitat dels voltatges de contacte i pas.

Figura 62: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_EEUU amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA REGNE UNIT

DISSENY CORRECTE ●

1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA

Corrent de curtcircuit monofàsic I_{k1} A

Duració de la falta t_f s

Tensió de contacte aplicada admissible U_{Tpa} V

Corrent admissible pel cos humà I_B A

Impedància a terra equivalent Z_E de tota la línia, excepte R_t del suport que pateix el defecte Ω

Resistivitat del terreny ρ Ω·m

2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA

Selecció del tipus d'elèctrode bàsic

Coefficient de resistència de posada a terra K_r Ω/(Ω·m)

Coefficient de tensió de contacte K_c V/(Ω·m·A)

Coefficient de tensió de pas K_p V/(Ω·m·A)

Resistència de posada a terra R_E Ω

3. PRIMERA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE

Potencial de terra U_e V

UE ≤ 2 U_{Tpa}

4. SEGONA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE

UE ≤ 4 U_{Tpa}

5. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE UT

Tensió de contacte U_T V

6. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE ADMISSIBLE U_{Tpad}

Tensió de contacte admissible U_{Tpad} V

7. COMPARACIÓ DE UT AMB U_{Tpad}

UT ≤ U_{Tpad}

Figura 63: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_UK amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA REGNE UNIT

DISSENY CORRECTE ●

1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA

Corrent de curtcircuit monofàsic I_{k1} A

Duració de la falta t_f s

Tensió de contacte aplicada admissible U_{Tpa} V

Corrent admissible pel cos humà I_B A

Impedància a terra equivalent Z_E de tota la línia, excepte R_t del suport que pateix el defecte Ω

Resistivitat del terreny ρ Ω·m

2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA

Selecció del tipus d'elèctrode bàsic

Coefficient de resistència de posada a terra K_r Ω/(Ω·m)

Coefficient de tensió de contacte K_c V/(Ω·m·A)

Coefficient de tensió de pas K_p V/(Ω·m·A)

Resistència de posada a terra R_E Ω

3. PRIMERA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE

Potencial de terra U_e V

UE ≤ 2 U_{Tpa}

4. SEGONA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE

UE ≤ 4 U_{Tpa}

5. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE UT

Tensió de contacte U_T V

6. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE ADMISSIBLE U_{Tpad}

Tensió de contacte admissible U_{Tpad} V

7. COMPARACIÓ DE UT AMB U_{Tpad}

UT ≤ U_{Tpad}

MILLORES:

Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos a les àrees.

Figura 64: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_UK amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA MÈXIC
DISSENY CORRECTE

<p>1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA</p> <p>Corrent de curtcircuit monofàsic I^{"k1} <input type="text" value="8942"/> A</p> <p>Duració de la falta tf <input type="text" value="0.1"/> s</p> <p>Tensió de contacte aplicada admissible U_{Tpa} <input type="text" value="654"/> V</p> <p>Corrent admissible pel cos humà IB <input type="text" value="0.75"/> A</p> <p>Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte <input type="text" value="0.7"/> Ω</p> <p>Resistivitat del terreny ρ <input type="text" value="25"/> Ω·m</p> <p>2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA</p> <p>Selecció del tipus d'elèctrode bàsic <input type="text" value="CPT-LA-1..."/></p> <p>Coefficient de resistència de posada a terra Kr <input type="text" value="0.0708"/> Ω/(Ω·m)</p> <p>Coefficient de tensió de contacte Kc <input type="text" value="0.02"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Coefficient de tensió de pas Kp <input type="text" value="0.0091"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Resistència de posada a terra RE <input type="text" value="1.77"/> Ω</p>	<p>3. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE</p> <p>Potencial de terra Ue <input type="text" value="3588"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>UE < U_{Tpa} <input type="text" value="No compleix. Seguir al pas 4"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p> <p>4. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE UT</p> <p>Tensió de contacte UT <input type="text" value="1014"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>5. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE ADMISSIBLE U_{Tpad}</p> <p>Tensió de contacte admissible U_{Tpad} <input type="text" value="1781"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p>	<p>6. COMPARACIÓ DE UT AMB U_{Tpad}</p> <p>UT ≤ U_{Tpad} <input type="text" value="Tensions OK: Disseny correcte"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p>
---	--	---

Figura 65: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_MX amb resultat de disseny correcte. [Elaboració pròpia]

DISSENY PAT SUPORTS NORMA MÈXIC
DISSENY CORRECTE

<p>1. INTRODUCCIÓ DE LES DADES INICIALS DEL SISTEMA</p> <p>Corrent de curtcircuit monofàsic I^{"k1} <input type="text" value="1.845e+04"/> A</p> <p>Duració de la falta tf <input type="text" value="0.1"/> s</p> <p>Tensió de contacte aplicada admissible U_{Tpa} <input type="text" value="654"/> V</p> <p>Corrent admissible pel cos humà IB <input type="text" value="0.75"/> A</p> <p>Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del suport que pateix el defecte <input type="text" value="0.7"/> Ω</p> <p>Resistivitat del terreny ρ <input type="text" value="25"/> Ω·m</p> <p>2. ELÈCTRODE DE POSADA A TERRA</p> <p>Selecció del tipus d'elèctrode bàsic <input type="text" value="CPT-LA-1..."/></p> <p>Coefficient de resistència de posada a terra Kr <input type="text" value="0.0708"/> Ω/(Ω·m)</p> <p>Coefficient de tensió de contacte Kc <input type="text" value="0.02"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Coefficient de tensió de pas Kp <input type="text" value="0.0091"/> V/(Ω·m·A)</p> <p>Resistència de posada a terra RE <input type="text" value="1.77"/> Ω</p>	<p>3. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE</p> <p>Potencial de terra Ue <input type="text" value="7405"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>UE < U_{Tpa} <input type="text" value="No compleix. Seguir al pas 4"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p> <p>4. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE UT</p> <p>Tensió de contacte UT <input type="text" value="2092"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p> <p>5. DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE ADMISSIBLE U_{Tpad}</p> <p>Tensió de contacte admissible U_{Tpad} <input type="text" value="1781"/> V</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Calcular"/></p>	<p>6. COMPARACIÓ DE UT AMB U_{Tpad}</p> <p>UT ≤ U_{Tpad} <input type="text" value="Disseny incorrecte: REALITZAR MILLORES"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Comparar"/></p> <div style="background-color: yellow; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">MILLORES:</p> <p>Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos a les àrees.</p> </div>
--	--	--

Figura 66: Exemple d'execució de l'aplicació PAT_MX amb resultat de disseny incorrecte. [Elaboració pròpia]

A partir de l'execució de les diferents aplicacions considerant els paràmetres constants de la taula 41 i utilitzant les taules per emplenar amb els resultats (vegeu, per exemple, la taula 38), s'obtenen les dades que mostren les taules dels apartats 4.2.2.1 i 4.2.2.2.

Abans de continuar als següents apartats, cal fer esment específic al fet que en aquest projecte final de grau no s'esperen uns resultats en concret, ja que aquests depenen de factors gairebé infinits deguts a les múltiples configuracions de les xarxes elèctriques i de

les línies elèctriques d'alta tensió. Per tant, l'anàlisi dels resultats va íntimament relacionat a l'aleatorietat d'aquests. Tot i així, es considera que s'han assolit uns resultats dels quals es poden extreure detalls interessants o reafirmacions d'aspectes comentats al llarg del treball.

4.2.2.1 Cas A: Resistències de posada a terra diferents

En aquest primer cas es comprova si les diferents opcions de posada a terra seleccionades per cada línia compleixen amb la normativa de cada país, considerant que a cada suport la resistència de posada a terra de l'elèctrode és diferent. És a dir, tenint en compte que la resistivitat del terreny és diferent per la ubicació de cada suport.

CAS A											
		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E9} (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	17,7	OK	24,78	OK	35,4	NOK	106,2	OK
TN1	2	17,7	OK	24,78	OK	35,4	OK	106,2	NOK	1,77	OK
TN1	3	24,78	OK	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK
TN1	4	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	OK
TN1	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	OK
		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E9} (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	17,7	OK	24,78	OK	35,4	OK	106,2	OK
TN2	2	17,7	OK	24,78	OK	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK
TN2	3	24,78	OK	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK
TN2	4	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK	24,78	OK
TN2	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK	24,78	OK	35,4	OK

Taula 42: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS A											
		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E9} (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK
TN1	2	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN1	3	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK
TN1	4	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK
TN1	5	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK
		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E9} (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK
TN2	2	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN2	3	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	OK
TN2	4	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK
TN2	5	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK

Taula 43: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_T (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{T0} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	OK
TN1	2	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN1	3	24,78	OK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	NOK	17,7	OK
TN1	4	35,4	OK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	OK
TN1	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	OK

CAS A		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_T (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{T0} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	OK
TN2	2	17,7	OK	24,78	OK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN2	3	24,78	OK	35,4	OK	106,2	NOK	1,77	NOK	17,7	OK
TN2	4	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	OK
TN2	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	OK

Taula 44: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_T (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{T0} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	OK
TN1	2	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN1	3	24,78	OK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	NOK	17,7	OK
TN1	4	35,4	OK	106,2	NOK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	OK
TN1	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	NOK	35,4	OK

CAS A		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_T (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{T0} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	NOK	106,2	OK
TN2	2	17,7	OK	24,78	OK	35,4	NOK	106,2	NOK	1,77	OK
TN2	3	24,78	OK	35,4	OK	106,2	NOK	1,77	NOK	17,7	OK
TN2	4	35,4	OK	106,2	OK	1,77	OK	17,7	NOK	24,78	OK
TN2	5	106,2	OK	1,77	OK	17,7	OK	24,78	NOK	35,4	OK

Taula 45: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 25 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN1	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN1	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN1	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN1	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN2	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN2	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN2	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN2	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

Taula 46: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	NOK	72	NOK
TN1	2	12	OK	16,8	OK	24	NOK	72	NOK	1,2	OK
TN1	3	16,8	OK	24	NOK	72	NOK	1,2	OK	12	OK
TN1	4	24	NOK	72	NOK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN1	5	72	NOK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	NOK

		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	NOK	72	NOK
TN2	2	12	OK	16,8	OK	24	NOK	72	NOK	1,2	OK
TN2	3	16,8	OK	24	NOK	72	NOK	1,2	OK	12	OK
TN2	4	24	NOK	72	NOK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN2	5	72	NOK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	NOK

Taula 47: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN1	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN1	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN1	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN1	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN2	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN2	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN2	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN2	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

Taula 48: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN1	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN1	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN1	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN1	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

CAS A		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{K1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{K1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK
TN2	2	12	OK	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK
TN2	3	16,8	OK	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK
TN2	4	24	OK	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK
TN2	5	72	OK	1,2	OK	12	OK	16,8	OK	24	OK

Taula 49: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 132 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{B11} (\Omega)$	PAT	$R_{B12} (\Omega)$	PAT	$R_{B13} (\Omega)$	PAT	$R_{B14} (\Omega)$	PAT	$R_{B15} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK
TN1	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK
TN1	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK
TN1	4	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN1	5	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{B11} (\Omega)$	PAT	$R_{B12} (\Omega)$	PAT	$R_{B13} (\Omega)$	PAT	$R_{B14} (\Omega)$	PAT	$R_{B15} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK
TN2	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK
TN2	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK
TN2	4	15,05	OK	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN2	5	45,15	OK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

Taula 50: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{B11} (\Omega)$	PAT	$R_{B12} (\Omega)$	PAT	$R_{B13} (\Omega)$	PAT	$R_{B14} (\Omega)$	PAT	$R_{B15} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN1	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN1	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN1	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN1	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{B11} (\Omega)$	PAT	$R_{B12} (\Omega)$	PAT	$R_{B13} (\Omega)$	PAT	$R_{B14} (\Omega)$	PAT	$R_{B15} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN2	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN2	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN2	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN2	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

Taula 51: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{k1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN1	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN1	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN1	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN1	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{k1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN2	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN2	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN2	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN2	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

Taula 52: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{k1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN1	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN1	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN1	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN1	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

CAS A		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{k1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R1} (\Omega)$	PAT	$R_{R2} (\Omega)$	PAT	$R_{R3} (\Omega)$	PAT	$R_{R4} (\Omega)$	PAT	$R_{R5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK
TN2	2	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK
TN2	3	10,535	OK	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK
TN2	4	15,05	OK	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK
TN2	5	45,15	NOK	0,7525	OK	7,525	OK	10,535	OK	15,05	OK

Taula 53: Resultats PAT pel CAS A als suports de la línia de 220 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

Prenent atenció als resultats, es pot veure que hi ha casos en els que l'elèctrode seleccionat és correcte en totes les configuracions possibles en la situació plantejada, com són els casos de les taules 46, 48, 49 i 50.

Una de les taules que mostra resultats més interessants és la que exposa els resultats de les posades a terra de la línia de 25 kV segons l'execució de l'aplicació PAT_ESP (vegeu la taula 42). Un cop en aquesta taula, cal prendre atenció al que succeeix al suport 9. En cas de curtcircuit monofàsic, hi apareix un corrent de valor $I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$ (bastant més elevat que els que apareixen en cas de curtcircuit als altres suports de la línia). Bé, l'única resistència de posada a terra que compleix amb la normativa de disseny respecte a la seguretat de les persones 2.3.7.1 és la de la resistivitat del terreny més baixa. Essent el mateix elèctrode, si se suposa que hi ha resistivitats més elevades la resistència de posada a terra de l'elèctrode augmentarà i provocarà una elevació tant del potencial de

terra com de les tensions de pas i de contacte. Cal recordar que a l'apartat on s'ha fet una introducció i una explicació de què és la resistivitat del terreny i com afecta a les posades a terra ja s'ha mencionat aquest fet. És per això pel que interessa una resistivitat del terreny amb el menor valor possible. Certament, aquest fet ja es pot apreciar a la taula 35 on es mostren les diferents resistències de posada a terra per cada elèctrode seleccionat segons la resistivitat del terreny en el que estigui enterrat. En síntesi, es pot apreciar a la perfecció el paper important de la resistivitat del terreny i, per tant, es recomana que per realitzar qualsevol instal·lació de posada a terra es tinguin en consideració els diferents paràmetres presentats a l'apartat 3.2 per tal que el valor d'aquesta sigui el més baix possible.

De manera paral·lela, també s'aprecia satisfactòriament la rellevància del tractament del neutre de les subestacions. Tal com s'ha comentat a l'apartat 4.1.2, el tractament del neutre afecta a la magnitud del corrent de curtcircuit. De la mateixa manera, també s'ha fet menció al fet que si aquest és posat directe a terra (com és el cas de TN1), pot provocar que el valor de corrent de curtcircuit monofàsic augmenti considerablement. Per aquest treball, a la configuració del neutre TN2 (posat a terra amb impedància), s'escullen les impedàncies mostrades a la taula 31). Amb aquest petit afegit el corrent de curtcircuit monofàsic al suport 9 decreix d'un valor inicial de 18453,2 A a un valor de 16009,5 A. Aquesta diferència de magnitud pot semblar insignificant, tot i que són gairebé 2500 A menys, marca la diferència. Com a conseqüència, el mateix elèctrode que al tractament TN1 no complia amb la normativa amb resistivitats elevades, ara sí que ho fa. Aquest fet es repeteix en altres taules de resultats a altres normatives, com és ara la taula 44.

Certament, també pot succeir que el tractament del neutre es modifiqui, provocant així un decreixement del valor del corrent de curtcircuit, però aquest no sigui suficient com per fer que les mateixes resistències de posada a terra passin d'un estat d'incompliment de les tensions de pas i contacte a un correcte disseny. N'és un exemple clar el mostrat a la taula 52.

Cal recordar que aquests dos aspectes apareixien tant a la introducció de les posades a terra (vegeu apartat 2.1) com als requeriments de les diferents normatives (vegeu apartat 2.3.1).

En síntesi, d'aquest cas A s'extreuen dues conclusions principals bàsiques però fonamentals pel correcte disseny d'una instal·lació de posada a terra. Es tracta de:

- La resistivitat del terreny sempre ha de tenir el valor més baix possible, de manera que la resistència de posada a terra que presenti l'elèctrode sigui també ho més baixa possible.
- El tractament del neutre presenta certa importància per controlar el valor del corrent de curtcircuit. Per això, ha de ser considerat en l'estudi i el disseny d'una instal·lació de posada a terra. De la mateixa manera, el corrent de curtcircuit monofàsic a terra veu el seu valor afectat per la duració del defecte. Per tant és també idoni controlar els temps d'actuació perquè siguin el més òptims possible.

4.2.2.2 Cas B: Resistències de posada iguals

Un cop vist el cas A, on es considera que cada suport presenta una resistència de posada a terra diferent, es comprova què succeeix si es consideren que a cada suport la resistència de posada a terra de l'elèctrode és igual, sense donar importància a que realment cada suport és diferent per la seva resistivitat del terreny i també pel corrent de falta que el pot afectar.

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK
TN1	2	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	OK
TN1	3	24,78	OK	24,78	OK	24,78	OK	24,78	NOK	24,78	OK
TN1	4	35,4	OK	35,4	OK	35,4	OK	35,4	NOK	35,4	OK
TN1	5	106,2	OK	106,2	OK	106,2	OK	106,2	NOK	106,2	OK

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK
TN2	2	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK
TN2	3	24,78	OK	24,78	OK	24,78	OK	24,78	OK	24,78	OK
TN2	4	35,4	OK	35,4	OK	35,4	OK	35,4	OK	35,4	OK
TN2	5	106,2	OK	106,2	OK	106,2	OK	106,2	OK	106,2	OK

Taula 54: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{k1} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 14343 \text{ A}$		$I''_{k1} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK
TN1	2	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK
TN1	3	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK
TN1	4	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK
TN1	5	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{k1} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 9243 \text{ A}$		$I''_{k1} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{k1} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK
TN2	2	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	OK
TN2	3	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK
TN2	4	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK
TN2	5	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK

Taula 55: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{KI} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{KI} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{KI} = 14343 \text{ A}$		$I''_{KI} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{KI} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	NOK	1,77	OK
TN1	2	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	OK
TN1	3	24,78	OK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	OK
TN1	4	35,4	OK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	OK
TN1	5	106,2	OK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	OK

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{KI} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{KI} = 9243 \text{ A}$		$I''_{KI} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{KI} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{KI} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	NOK	1,77	OK
TN2	2	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	OK
TN2	3	24,78	OK	24,78	OK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	OK
TN2	4	35,4	OK	35,4	OK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	OK
TN2	5	106,2	OK	106,2	OK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	OK

Taula 56: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{KI} = 8941,9 \text{ A}$		$I''_{KI} = 12387,6 \text{ A}$		$I''_{KI} = 14343 \text{ A}$		$I''_{KI} = 18453,2 \text{ A}$		$I''_{KI} = 9034,4 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	NOK	1,77	OK
TN1	2	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	NOK	17,7	OK
TN1	3	24,78	OK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	OK
TN1	4	35,4	OK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	OK
TN1	5	106,2	OK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	OK

CAS B		Suport 6		Suport 7		Suport 8		Suport 9		Suport 10	
		$I''_{KI} = 6397,3 \text{ A}$		$I''_{KI} = 9243 \text{ A}$		$I''_{KI} = 11589,8 \text{ A}$		$I''_{KI} = 16009,5 \text{ A}$		$I''_{KI} = 6452,8 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E7} (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_E (\Omega)$	PAT	$R_{E10} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,77	OK	1,77	OK	1,77	OK	1,77	NOK	1,77	OK
TN2	2	17,7	OK	17,7	OK	17,7	OK	17,7	NOK	17,7	OK
TN2	3	24,78	OK	24,78	OK	24,78	NOK	24,78	NOK	24,78	OK
TN2	4	35,4	OK	35,4	OK	35,4	NOK	35,4	NOK	35,4	OK
TN2	5	106,2	OK	106,2	OK	106,2	NOK	106,2	NOK	106,2	OK

Taula 57: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 25 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$I''_{k1} = 13869,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13761,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13654,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13549,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN1	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN1	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN1	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN1	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$I''_{k1} = - A$		$I''_{k1} = - A$		$I''_{k1} = - A$		$I''_{k1} = - A$		$I''_{k1} = - A$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN2	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN2	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN2	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN2	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

Taula 58: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$I''_{k1} = 13869,3 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13761,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13654,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13549,6 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN1	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN1	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN1	4	24	NOK	24	NOK	24	NOK	24	NOK	24	NOK
TN1	5	72	NOK	72	NOK	72	NOK	72	NOK	72	NOK

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$I''_{k1} = 13598,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13490,2 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13383,8 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13279 \text{ A}$		$I''_{k1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN2	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN2	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN2	4	24	NOK	24	NOK	24	NOK	24	NOK	24	NOK
TN2	5	72	NOK	72	NOK	72	NOK	72	NOK	72	NOK

Taula 59: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{k1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN1	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN1	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN1	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN1	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{k1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN2	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN2	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN2	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN2	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

Taula 60: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{k1} = 13869,3 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13761,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13654,6 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13549,6 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13446,1 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN1	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN1	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN1	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN1	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN1	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

CAS B		Suport 1		Suport 2		Suport 3		Suport 4		Suport 5	
		$\Gamma_{k1} = 13598,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13490,2 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13383,8 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13279 \text{ A}$		$\Gamma_{k1} = 13175,7 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{E1} (\Omega)$	PAT	$R_{E2} (\Omega)$	PAT	$R_{E3} (\Omega)$	PAT	$R_{E4} (\Omega)$	PAT	$R_{E5} (\Omega)$	PAT
TN2	1	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK	1,2	OK
TN2	2	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK	12	OK
TN2	3	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK	16,8	OK
TN2	4	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK	24	OK
TN2	5	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK	72	OK

Taula 61: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 132 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

CAS B											
		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{011} (\Omega)$	PAT	$R_{012} (\Omega)$	PAT	$R_{013} (\Omega)$	PAT	$R_{014} (\Omega)$	PAT	$R_{015} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN1	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN1	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN1	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN1	5	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK

		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{011} (\Omega)$	PAT	$R_{012} (\Omega)$	PAT	$R_{013} (\Omega)$	PAT	$R_{014} (\Omega)$	PAT	$R_{015} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN2	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN2	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN2	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN2	5	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK	45,15	OK

Taula 62: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_ESP. [Elaboració pròpia]

CAS B											
		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{011} (\Omega)$	PAT	$R_{012} (\Omega)$	PAT	$R_{013} (\Omega)$	PAT	$R_{014} (\Omega)$	PAT	$R_{015} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN1	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN1	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN1	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN1	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{011} (\Omega)$	PAT	$R_{012} (\Omega)$	PAT	$R_{013} (\Omega)$	PAT	$R_{014} (\Omega)$	PAT	$R_{015} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN2	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN2	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN2	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN2	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

Taula 63: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_EEUU. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R11} (\Omega)$	PAT	$R_{R12} (\Omega)$	PAT	$R_{R13} (\Omega)$	PAT	$R_{R14} (\Omega)$	PAT	$R_{R15} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN1	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN1	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN1	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN1	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

CAS B		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R11} (\Omega)$	PAT	$R_{R12} (\Omega)$	PAT	$R_{R13} (\Omega)$	PAT	$R_{R14} (\Omega)$	PAT	$R_{R15} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN2	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN2	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN2	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN2	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

Taula 64: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_UK. [Elaboració pròpia]

CAS B		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8588,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8625,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8662,5 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8700,2 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8738,2 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R11} (\Omega)$	PAT	$R_{R12} (\Omega)$	PAT	$R_{R13} (\Omega)$	PAT	$R_{R14} (\Omega)$	PAT	$R_{R15} (\Omega)$	PAT
TN1	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN1	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN1	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN1	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN1	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

CAS B		Suport 11		Suport 12		Suport 13		Suport 14		Suport 15	
		$I''_{K1} = 8263,3 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8300,4 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8337,9 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8375,8 \text{ A}$		$I''_{K1} = 8414 \text{ A}$	
Tractament del neutre	Combinació	$R_{R11} (\Omega)$	PAT	$R_{R12} (\Omega)$	PAT	$R_{R13} (\Omega)$	PAT	$R_{R14} (\Omega)$	PAT	$R_{R15} (\Omega)$	PAT
TN2	1	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK	0,7525	OK
TN2	2	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK	7,525	OK
TN2	3	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK	10,535	OK
TN2	4	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK	15,05	OK
TN2	5	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK	45,15	NOK

Taula 65: Resultats PAT pel CAS B als suports de la línia de 220 kV segons PAT_MX. [Elaboració pròpia]

Els resultats són certament interessants. Durant el llarg del treball s'ha repetit la idea de que cada instal·lació de posada a terra és única i diferent per les condicions que la defineixen. La seva ubicació, la naturalesa del terreny on es situa, etc. en son alguns exemples. En el cas A, mostrat a l'apartat 4.2.2.1, sembla que, evidentment, per complir amb les necessitats desitjades, ho correcte és que cada suport tingui una resistència de posada diferent i única. Però, en aquest cas B els resultats reflecteixen una possible realitat. Si bé hi ha casos on es veu que no podria ser que totes les resistències de posada a terra es consideressin iguals perquè no complirien amb les tensions de pas i de contacte (vegeu, per exemple, la taula 64), hi ha una gran diversitat de casos on es compleix que el disseny és correcte per qualsevol de les resistències de posada a terra presentades, sense importar la ubicació del suport i la diferència del valor de corrent de curtcircuit i de resistivitat del terreny que això suposa.

Aquest fet pot resultar molt útil per les companyies distribuïdores i les seves línies elèctriques, ja que suposa un estalvi de costos que pot resultar interessant. Un bon exemple d'això és no haver de realitzar estudis del terreny.

5 Conclusions

A manera de conclusió, aquest treball de fi de grau ha permès reunir, ampliar i explicar coneixements sobre les posades a terra en els suports de les línies elèctriques d'alta tensió.

No ha estat fàcil, ja que gairebé tota la informació que hi ha disponible tant a normes com a manuals tècnics fa referència a les subestacions elèctriques. A més, durant la realització del treball han sorgit diverses dificultats amb les normatives, pel fet que accedir a elles pot arribar a ser molt tediós i desesperant, fet que crítico, puix uns aspectes que són normatius i que, teòricament, tothom ha de complir haurien de ser d'accés públic o a un cost molt reduït.

Un altre aspecte a comentar respecte a les normatives i les dificultats que representen és la poca normalització que hi ha en certs països. Un bon exemple és el succeït amb la idea inicial d'aquest treball de fi de grau. Al principi, a part de les normatives que finalment s'han treballat, també es volia tractar alguna norma asiàtica (concretament de Japó), però no hi va estar possible trobar res en anglès, ni molt menys en castellà. Tot estava en japonès. Per contra, no considero gaire útil certes normatives que són idèntiques a altres, però tenen codis diferents al estar a diferents països, fet que embolica al consultant.

No obstant això, a part d'aquests punts negatius, per això ha servit aquest treball, perquè en aquest document es troben fàcilment diferents aspectes relatius a les línies elèctriques d'alta tensió i la posada a terra dels seus suports. És un tema molt ampli i tractar-ho tot és pràcticament impossible, ja que com s'ha vist al llarg del treball les possibilitats de situacions són infinites.

A més, ha estat molt útil la utilització dels dos softwares. Pel que fa a NEPLAN, a part de facilitar el càlcul de tots els corrents de curtcircuit monofàsic desitjats a partir d'una situació amb dades els més reals possibles, ha servit per detectar certes mancances en la seva eina d'anàlisi de curtcircuit. Amb MATLAB s'ha vist que, tot i ser una eina de càlcul excel·lent, també té complements molt interessants com l'utilitzat en aquest projecte (AppDesigner), permetent crear les quatre aplicacions que, conjuntament amb els corrents obtinguts a NEPLAN, ha permès comprovar si els dissenys de les posades a terra eren correctes o no amb molta facilitat. Un bon treball futur seria perfeccionar les diferents aplicacions i unir-les en una sola per tal que qualsevol persona que ho desitgés pogués comprovar si el disseny seleccionat de la posada a terra és correcte en funció de cada normativa, i fins i tot donés opcions possibles en cas que fos incorrecte.

Recollint tot el que s'ha dit, aquest treball m'ha permès adquirir una gran quantitat de coneixement que abans no tenia respecte de les instal·lacions d'alta tensió i les línies elèctriques. I no solament ha estat tot en l'àmbit de coneixement, també m'ha proporcionat certes aptituds personals i acadèmiques de les quals abans no en tenia constància de que fos capaç.

Annex 1: Corrents de curtcircuit calculats a NEPLAN

Corrientes en ubicaciones de falla NEPLAN®

	ID	Ubicación de Falla	Vn kV	Fase	Ik''(RST) A	Tipo de falla	Método
1	819	Suport 15	220,000	L1	8738,2	Falla Mon	IEC6090
2	819	Suport 15	220,000	L2	0,0		
3	819	Suport 15	220,000	L3	0,0		
4	860	Suport 10	25,000	L1	9034,4	Falla Mon	IEC6090
5	860	Suport 10	25,000	L2	0,0		
6	860	Suport 10	25,000	L3	0,0		
7	907	Suport 12	220,000	L1	8625,2	Falla Mon	IEC6090
8	907	Suport 12	220,000	L2	0,0		
9	907	Suport 12	220,000	L3	0,0		
10	899	Suport 11	220,000	L1	8588,2	Falla Mon	IEC6090
11	899	Suport 11	220,000	L2	0,0		
12	899	Suport 11	220,000	L3	0,0		
13	356	Suport 1	132,000	L1	13869,3	Falla Mon	IEC6090
14	356	Suport 1	132,000	L2	0,0		
15	356	Suport 1	132,000	L3	0,0		
16	359	Suport 2	132,000	L1	13761,2	Falla Mon	IEC6090
17	359	Suport 2	132,000	L2	0,0		
18	359	Suport 2	132,000	L3	0,0		
19	362	Suport 3	132,000	L1	13654,6	Falla Mon	IEC6090
20	362	Suport 3	132,000	L2	0,0		
21	362	Suport 3	132,000	L3	0,0		
22	368	Suport 4	132,000	L1	13549,6	Falla Mon	IEC6090
23	368	Suport 4	132,000	L2	0,0		
24	368	Suport 4	132,000	L3	0,0		
25	371	Suport 5	132,000	L1	13446,1	Falla Mon	IEC6090
26	371	Suport 5	132,000	L2	0,0		
27	371	Suport 5	132,000	L3	0,0		
28	971	Suport 9	25,000	L1	18453,2	Falla Mon	IEC6090
29	971	Suport 9	25,000	L2	0,0		
30	971	Suport 9	25,000	L3	0,0		
31	474	Suport 6	25,000	L1	8941,9	Falla Mon	IEC6090
32	474	Suport 6	25,000	L2	0,0		
33	474	Suport 6	25,000	L3	0,0		
34	519	Suport 7	25,000	L1	12387,6	Falla Mon	IEC6090
35	519	Suport 7	25,000	L2	0,0		
36	519	Suport 7	25,000	L3	0,0		
37	522	Suport 8	25,000	L1	14343,0	Falla Mon	IEC6090
38	522	Suport 8	25,000	L2	0,0		
39	522	Suport 8	25,000	L3	0,0		
40	811	Suport 14	220,000	L1	8700,2	Falla Mon	IEC6090
41	811	Suport 14	220,000	L2	0,0		
42	811	Suport 14	220,000	L3	0,0		
43	803	Suport13	220,000	L1	8662,5	Falla Mon	IEC6090
44	803	Suport13	220,000	L2	0,0		
45	803	Suport13	220,000	L3	0,0		

Figura 67: Resultats obtinguts de corrent de curtcircuit monofàsic per TN1 a NEPLAN. [Elaboració pròpia]

Corrientes en ubicaciones de falla NEPLAN®

	ID	Ubicación de Falla	Vn kV	Fase	Ik"(RST) A	Tipo de falla	Método
1	819	Suport 15	220,000	L1	8414,0	Falla Mon	IEC6090
2	819	Suport 15	220,000	L2	0,0		
3	819	Suport 15	220,000	L3	0,0		
4	860	Suport 10	25,000	L1	6452,8	Falla Mon	IEC6090
5	860	Suport 10	25,000	L2	0,0		
6	860	Suport 10	25,000	L3	0,0		
7	907	Suport 12	220,000	L1	8300,4	Falla Mon	IEC6090
8	907	Suport 12	220,000	L2	0,0		
9	907	Suport 12	220,000	L3	0,0		
10	899	Suport 11	220,000	L1	8263,3	Falla Mon	IEC6090
11	899	Suport 11	220,000	L2	0,0		
12	899	Suport 11	220,000	L3	0,0		
13	356	Suport 1	132,000	L1	13598,2	Falla Mon	IEC6090
14	356	Suport 1	132,000	L2	0,0		
15	356	Suport 1	132,000	L3	0,0		
16	359	Suport 2	132,000	L1	13490,2	Falla Mon	IEC6090
17	359	Suport 2	132,000	L2	0,0		
18	359	Suport 2	132,000	L3	0,0		
19	362	Suport 3	132,000	L1	13383,8	Falla Mon	IEC6090
20	362	Suport 3	132,000	L2	0,0		
21	362	Suport 3	132,000	L3	0,0		
22	368	Suport 4	132,000	L1	13279,0	Falla Mon	IEC6090
23	368	Suport 4	132,000	L2	0,0		
24	368	Suport 4	132,000	L3	0,0		
25	371	Suport 5	132,000	L1	13175,7	Falla Mon	IEC6090
26	371	Suport 5	132,000	L2	0,0		
27	371	Suport 5	132,000	L3	0,0		
28	971	Suport 9	25,000	L1	16009,5	Falla Mon	IEC6090
29	971	Suport 9	25,000	L2	0,0		
30	971	Suport 9	25,000	L3	0,0		
31	474	Suport 6	25,000	L1	6397,3	Falla Mon	IEC6090
32	474	Suport 6	25,000	L2	0,0		
33	474	Suport 6	25,000	L3	0,0		
34	519	Suport 7	25,000	L1	9243,0	Falla Mon	IEC6090
35	519	Suport 7	25,000	L2	0,0		
36	519	Suport 7	25,000	L3	0,0		
37	522	Suport 8	25,000	L1	11589,8	Falla Mon	IEC6090
38	522	Suport 8	25,000	L2	0,0		
39	522	Suport 8	25,000	L3	0,0		
40	811	Suport 14	220,000	L1	8375,8	Falla Mon	IEC6090
41	811	Suport 14	220,000	L2	0,0		
42	811	Suport 14	220,000	L3	0,0		
43	803	Suport13	220,000	L1	8337,9	Falla Mon	IEC6090
44	803	Suport13	220,000	L2	0,0		
45	803	Suport13	220,000	L3	0,0		

Figura 68: Resultats obtinguts de corrent de curtcircuit monofàsic per TN2 a NEPLAN. [Elaboració pròpia]

Annex 2: Codis complets de les aplicacions generades a MATLAB

Codi complet PAT_ESP

El codi complet creat a AppDesigner per l'aplicació PAT_ESP és el següent:

```
classdef PAT_ESP < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure            matlab.ui.Figure
        Millores             matlab.ui.control.Label
        Volts_6              matlab.ui.control.Label
        TensidepasUp         matlab.ui.control.NumericEditField
        TensidepasUpEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        Volts_5              matlab.ui.control.Label
        TensidecontacteUc    matlab.ui.control.NumericEditField
        TensidecontacteUcEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        VohmmA_2             matlab.ui.control.Label
        VohmmA               matlab.ui.control.Label
        CoeficientdetensidepasKp    matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        CoeficientdetensidecontacteKc  matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        ohmsohmsm            matlab.ui.control.Label
        CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr  matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        CompararUpUcButton   matlab.ui.control.Button
        CompararUeUcButton   matlab.ui.control.Button
        UpaUp                matlab.ui.control.EditField
    end
end
```

UpUpadLabel	matlab.ui.control.Label
UcaUc	matlab.ui.control.EditField
UcUcadLabel	matlab.ui.control.Label
COMPARACIDEUeAMBUC_2	matlab.ui.control.Label
DISSENYCORRECTELamp	matlab.ui.control.Lamp
DISSENYCORRECTELampLabel	matlab.ui.control.Label
COMPARACIDEUeAMBUC	matlab.ui.control.Label
Volts_4	matlab.ui.control.Label
TensidepasadmissibleUpad	matlab.ui.control.NumericEditField
TensidepasadmissibleUpadLabel	matlab.ui.control.Label
ComparacioUeUc	matlab.ui.control.EditField
Ue2UcaLabel	matlab.ui.control.Label
Ohms_3	matlab.ui.control.Label
ResistenciaRa1	matlab.ui.control.NumericEditField
EditFieldLabel_2	matlab.ui.control.Label
Volts_3	matlab.ui.control.Label
TensidecontacteadmissibleUcad	matlab.ui.control.NumericEditField
TensidecontacteadmissibleUcadLabel	matlab.ui.control.Label
TensidecontacteaplicadaadmissibleUca	matlab.ui.control.NumericEditField
TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel	matlab.ui.control.Label
Volts	matlab.ui.control.Label
Ohms_2	matlab.ui.control.Label
ResistnciadeposadaaterraRp	matlab.ui.control.NumericEditField
ResistnciadeposadaaterraRpEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CalcularButton	matlab.ui.control.Button
CALCULS	matlab.ui.control.Label
Volts_2	matlab.ui.control.Label
PotencialdeterraUe	matlab.ui.control.NumericEditField
PotencialdeterraUeEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Seleccideltipusdelctrodebsic	matlab.ui.control.DropDown
SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel	matlab.ui.control.Label


```

Ohmsmetre          matlab.ui.control.Label
Resistivitatdelterreny  matlab.ui.control.NumericEditField
ResistivitatdelterrenyLabel  matlab.ui.control.Label
Ohms_1            matlab.ui.control.Label
ImpedanciaZE      matlab.ui.control.NumericEditField
EditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
QUESTIONSINICIALS      matlab.ui.control.Label
INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA  matlab.ui.control.Label
segons            matlab.ui.control.Label
Duracidelcorrentdefaltatf  matlab.ui.control.NumericEditField
DuracidelcorrentdefaltatfEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
Ampers            matlab.ui.control.Label
Correntdecurtcircuitmonofsicl1  matlab.ui.control.NumericEditField
Correntdecurtcircuitmonofsicl1EditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
ResultatDesconnexioAutomatica  matlab.ui.control.EditField
cDesconnexiautomticainmediata  matlab.ui.control.DropDown
cDesconnexiautomticainmediataDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
ResultatFrequentat      matlab.ui.control.EditField
bFrequentat            matlab.ui.control.DropDown
bFrequentatDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
ResultatAillant        matlab.ui.control.EditField
aMaterialallant        matlab.ui.control.DropDown
aMaterialallantDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA  matlab.ui.control.Label
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Value changed function: aMaterialallant
function aMaterialallantValueChanged(app, event)

```

```
% Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada
switch app.aMaterialallant.Value
    case 'Si'
        % Resultat
        app.ResultatAillant.Value='Disseny inicial de PAT correcte';
        app.ResultatFrequentat.Value="";
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    case 'No'
        % Resultat
        app.ResultatAillant.Value='Suport freqüentat?';
        app.ResultatFrequentat.Value="";
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    case 'Sel·lecciona una opció'
        % Resultat
        app.ResultatAillant.Value="";
        app.ResultatFrequentat.Value="";
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end

% Value changed function: bFrequentat
function bFrequentatValueChanged(app, event)
    % Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada
    switch app.bFrequentat.Value
        case 'Si'
```

```

    % Resultat
    app.ResultatFrequentat.Value='Seguir amb el pas 2';
    app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
    app.DISENYCORRECTELamp.Color='red';
    app.Millores.Visible = 'off';
case 'No'
    % Resultat
    app.ResultatFrequentat.Value='Desconnexió automàtica immediata?';
    app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
    app.DISENYCORRECTELamp.Color='red';
    app.Millores.Visible = 'off';
case 'Sel·lecciona una opció'
    % Resultat
    app.ResultatFrequentat.Value="";
    app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
    app.DISENYCORRECTELamp.Color='red';
    app.Millores.Visible = 'off';
end
end

% Value changed function: cDesconnexiautomticainmediata
function cDesconnexiautomticainmediataValueChanged(app, event)
    % Accions a realitzar en funció de l'opció seleccionada
    switch app.cDesconnexiautomticainmediata.Value
    case 'Sel·lecciona una opció'
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value="";
        app.DISENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    case 'Si'
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value='Disseny inicial de PAT correcte';
        app.DISENYCORRECTELamp.Color='green';
    end
end

```

```
        app.Millores.Visible = 'off';
    case 'No'
        app.ResultatDesconnexioAutomatica.Value='Seguir amb el pas 2';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color='red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end

% Value changed function: Duracidelcorrentdefaltatf
function DuracidelcorrentdefaltatfValueChanged(app, event)
    % Tensions de contacte aplicades admissibles Uca en funció del
    % temps de duració de la falta tf
    tf = app.Duracidelcorrentdefaltatf.Value;
    if tf==0.05
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 735;
    elseif tf==0.10
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 633;
    elseif tf==0.2
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 528;
    elseif tf==0.3
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 420;
    elseif tf==0.4
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 310;
    elseif tf==0.5
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 204;
    elseif tf==1
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 107;
    elseif tf==2
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 90;
    elseif tf==5
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 81;
```

```
elseif tf==10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 80;
elseif tf>10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value = 50;
end
end
end

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic
function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)
    % Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a
    % seleccionar
    Electrode = app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value;
    if Electrode == 1
        app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;
        app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.020;
        app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;
    elseif Electrode == 2
        app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;
        app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.010;
        app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;
    elseif Electrode == 3
        app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;
        app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;
        app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;
    elseif Electrode == 0
        app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";
        app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = "";
        app.CoefficientdetensidepasKp.Value = "";
    end
end
end
```

```

% Button pushed function: CalcularButton
function CalcularButtonPushed(app, event)
    % Crida de totes les variables necessàries pels càlculs
    Rp = app.ResistnciadeposadaaterraRp.Value;
    Ik1 = app.CorrentdecircuitmonofsicIk1.Value;
    Ze = app.ImpedanciaZE.Value;
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    Uca = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value;
    Ra1 = app.ResistenciaRa1.Value;
    Zb = 1000;
    Kc = app.CoeficientdetensidecontacteKc.Value;
    Kp = app.CoeficientdetensidepasKp.Value;

    % Càlcul del potencial de terra amb el corrent IE, amb un valor
    % de factor de reducció aproximat de 0,8
    r = 0.8;
    IE = Ik1*r;
    Ue = IE*((Ze*Rp)/(Ze+Rp));
    app.PotencialdeterraUe.Value = Ue;

    % Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode
    IT = IE*(Ze/(Rp+Ze));

    % Càlcul de la tensió de contacte
    Uc = Kc*IT*rho;
    app.TensidecontacteUc.Value = Uc;

    % Càlcul de la tensió de pas
    Up = Kp*IT*rho;
    app.TensidepasUp.Value = Up;

```

```

% Coeficient reductor Cs
rho_s = 1600;
hs = 0.1;
Cs = 1-0.016*((1-(rho/rho_s))/(2*hs+0.106));

% Càlcul de la tensió de contacte admissible
Ucad = Uca*(1+(((Ra1/2)+1.5*rho_s*Cs)/Zb));
app.TensidecontacteadmissibleUcad.Value=Ucad;

% Càlcul de la tensió de pas admissible
Upa = 10*Uca;
Upad = Upa*(1+((2*Ra1+6*rho_s*Cs)/Zb));
app.TensidepasadmissibleUpad.Value = Upad;
end

% Button pushed function: CompararUeUcButton
function CompararUeUcButtonPushed(app, event)
% Crida de les variables necessàries per la comparativa
Ue = app.PotencialdeterraUe.Value;
Uca = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Value;

% Opcions possibles per comparar i resultats
if Ue<2*Uca
    app.ComparacioUeUc.Value = 'Disseny correcte';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
    app.Millores.Visible = 'off';
elseif Ue>2*Uca
    app.ComparacioUeUc.Value = 'Seguir al pas 5';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'off';
end

```

```
end

% Button pushed function: CompararUpUcButton
function CompararUpUcButtonPushed(app, event)
    % Crida de les variables necessàries per la comparativa
    Uc = app.TensidecontacteUc.Value;
    Up = app.TensidepasUp.Value;
    Ucad = app.TensidecontacteadmissibleUcad.Value;
    Upad = app.TensidepasadmissibleUpad.Value;

    % Opcions possibles per comparar i resultats
    if Uc<Ucad && Up<Upad
        app.UcaUc.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
        app.UpaUp.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif Uc>Ucad
        app.UcaUc.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MODIFICACIONS.';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'on';
    elseif Up>Upad
        app.UpaUp.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MODIFICACIONS.';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'on';
    end
end

end

end

% Component initialization
methods (Access = private)
```



```

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 1158 642];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.Scrollable = 'on';

% Create DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA = uilabel(app.UIFigure);
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.BackgroundColor = [0 0.1725 0.4902];
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.FontSize = 18;
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.FontColor = [1 1 1];
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.Position = [391 562 377 53];
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.Text = 'DISSENY PAT SUPORTS NORMA
ESPANYA';

% Create aMaterialallantDropDownLabel
app.aMaterialallantDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.aMaterialallantDropDownLabel.Position = [32 483 97 22];
app.aMaterialallantDropDownLabel.Text = 'a. Material aïllant';

% Create aMaterialallant
app.aMaterialallant = uidropdown(app.UIFigure);
app.aMaterialallant.Items = {'Sel·lecciona una opció', 'Si', 'No'};
app.aMaterialallant.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@aMaterialallantValueChanged, true);
app.aMaterialallant.Position = [131 483 164 22];
app.aMaterialallant.Value = 'Sel·lecciona una opció';

```

```
% Create ResultatAillant
app.ResultatAillant = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.ResultatAillant.Editable = 'off';
app.ResultatAillant.HorizontalAlignment = 'right';
app.ResultatAillant.Position = [32 446 263 22];

% Create bFrequentatDropDownLabel
app.bFrequentatDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.bFrequentatDropDownLabel.Position = [32 409 77 22];
app.bFrequentatDropDownLabel.Text = 'b. Freqüentat';

% Create bFrequentat
app.bFrequentat = uidropdown(app.UIFigure);
app.bFrequentat.Items = {'Sel·lecciona una opció', 'Si', 'No'};
app.bFrequentat.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @bFrequentatValueChanged,
true);
app.bFrequentat.Position = [131 409 164 22];
app.bFrequentat.Value = 'Sel·lecciona una opció';

% Create ResultatFrequentat
app.ResultatFrequentat = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.ResultatFrequentat.Editable = 'off';
app.ResultatFrequentat.HorizontalAlignment = 'right';
app.ResultatFrequentat.Position = [32 370 263 22];

% Create cDesconnexiaautomticainmediataDropDownLabel
app.cDesconnexiaautomticainmediataDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.cDesconnexiaautomticainmediataDropDownLabel.WordWrap = 'on';
app.cDesconnexiaautomticainmediataDropDownLabel.Position = [32 309 84 42];
app.cDesconnexiaautomticainmediataDropDownLabel.Text = 'c. Desconnexió automàtica
inmediata';
```

```
% Create cDesconnexiautomticainmediata
app.cDesconnexiautomticainmediata = uidropdown(app.UIFigure);
app.cDesconnexiautomticainmediata.Items = {'Sel·lecciona una opció', 'Si', 'No'};
    app.cDesconnexiautomticainmediata.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@cDesconnexiautomticainmediataValueChanged, true);
app.cDesconnexiautomticainmediata.Position = [131 319 164 22];
app.cDesconnexiautomticainmediata.Value = 'Sel·lecciona una opció';

% Create ResultatDesconnexioAutomatica
app.ResultatDesconnexioAutomatica = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.ResultatDesconnexioAutomatica.Editable = 'off';
app.ResultatDesconnexioAutomatica.HorizontalAlignment = 'right';
app.ResultatDesconnexioAutomatica.Position = [32 276 263 22];

% Create Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel.Position = [370 483 200 22];
    app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel.Text = 'Corrent de curtcircuit monofàsic
l''k1';

% Create Correntdecurtcircuitmonofsick1
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1.Position = [589 483 100 22];

% Create Ampers
app.Ampers = uilabel(app.UIFigure);
app.Ampers.Position = [699 483 25 22];
app.Ampers.Text = 'A';

% Create DuracidelcorrentdefaltatfEditFieldLabel
app.DuracidelcorrentdefaltatfEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DuracidelcorrentdefaltatfEditFieldLabel.Position = [370 452 160 22];
```

```
app.DuracidelcorrentdefaltatfEditFieldLabel.Text = 'Duració del corrent de falta tf';

% Create Duracidelcorrentdefaltatf
app.Duracidelcorrentdefaltatf = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
    app.Duracidelcorrentdefaltatf.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DuracidelcorrentdefaltatfValueChanged, true);
app.Duracidelcorrentdefaltatf.Position = [589 452 100 22];

% Create segons
app.segons = uilabel(app.UIFigure);
app.segons.Position = [699 452 25 22];
app.segons.Text = 's';

% Create INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA = uilabel(app.UIFigure);
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.HorizontalAlignment = 'center';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontSize = 15;
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontWeight = 'bold';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontAngle = 'italic';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Position = [335 519 423 22];
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Text = '2. INTRODUCCIÓ DE LES DADES
INICIALS DEL SISTEMA';

% Create QUESTIONSINICIALS
app.QUESTIONSINICIALS = uilabel(app.UIFigure);
app.QUESTIONSINICIALS.HorizontalAlignment = 'center';
app.QUESTIONSINICIALS.FontSize = 15;
app.QUESTIONSINICIALS.FontWeight = 'bold';
app.QUESTIONSINICIALS.FontAngle = 'italic';
app.QUESTIONSINICIALS.Position = [75 519 179 22];
app.QUESTIONSINICIALS.Text = '1. QÜESTIONS INICIALS';
```

```
% Create EditFieldLabel
app.EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.EditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.EditFieldLabel.Position = [370 354 200 48];
app.EditFieldLabel.Text = 'Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia, excepte Rt del
suport que pateix el defecte';

% Create ImpedanciaZE
app.ImpedanciaZE = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ImpedanciaZE.Position = [589 367 100 22];

% Create Ohms_1
app.Ohms_1 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_1.Position = [699 367 25 22];
app.Ohms_1.Text = 'Ω';

% Create ResistivitatdelterrenyLabel
app.ResistivitatdelterrenyLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistivitatdelterrenyLabel.WordWrap = 'on';
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Position = [370 328 199 16];
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Text = 'Resistivitat del terreny ρ';

% Create Resistivitatdelterreny
app.Resistivitatdelterreny = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Resistivitatdelterreny.Position = [589 325 100 22];

% Create Ohmsmetre
app.Ohmsmetre = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohmsmetre.Position = [699 325 28 22];
app.Ohmsmetre.Text = 'Ω·m';
```

```
% Create SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Position = [370 292 193 22];
    app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Text = 'Selecció del tipus d"elèctrode
bàsic';

% Create Seleccideltipusdelctrodebsic
app.Seleccideltipusdelctrodebsic = uidropdown(app.UIFigure);
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Items = {'Selecciona una opció', 'CPT-LA-1A-5+8P2',
'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2', 'CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2'};
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.ItemsData = [0 1 2 3];
        app.Seleccideltipusdelctrodebsic.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged, true);
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Position = [589 292 100 22];
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value = 0;

% Create PotencialdeterraUeEditFieldLabel
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Position = [791 483 118 22];
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Text = 'Potencial de terra Ue';

% Create PotencialdeterraUe
app.PotencialdeterraUe = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.PotencialdeterraUe.Editable = 'off';
app.PotencialdeterraUe.Position = [1006 483 104 22];

% Create Volts_2
app.Volts_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_2.Position = [1123 483 25 22];
app.Volts_2.Text = 'V';

% Create CALCULS
```

```
app.CALCULS = uilabel(app.UIFigure);
app.CALCULS.HorizontalAlignment = 'center';
app.CALCULS.FontSize = 15;
app.CALCULS.FontWeight = 'bold';
app.CALCULS.FontAngle = 'italic';
app.CALCULS.Position = [921 519 94 22];
app.CALCULS.Text = '3. CÀLCULS';

% Create CalcularButton
app.CalcularButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularButtonPushed,
true);
app.CalcularButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularButton.Position = [919 304 100 22];
app.CalcularButton.Text = 'Calcular';

% Create ResistnciadeposadaaterraRpEditFieldLabel
app.ResistnciadeposadaaterraRpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistnciadeposadaaterraRpEditFieldLabel.Position = [370 156 184 22];
app.ResistnciadeposadaaterraRpEditFieldLabel.Text = 'Resistència de posada a terra Rp';

% Create ResistnciadeposadaaterraRp
app.ResistnciadeposadaaterraRp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ResistnciadeposadaaterraRp.Position = [589 156 100 22];

% Create Ohms_2
app.Ohms_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_2.Position = [700 156 25 22];
app.Ohms_2.Text = 'Ω';

% Create Volts
```

```
app.Volts = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts.Position = [699 414 25 22];
app.Volts.Text = 'V';

% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel.WordWrap = 'on';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel.Position = [370 412 200 26];
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUcaLabel.Text = 'Tensió de contacte aplicada
admissible Uca';

% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUca
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Editable = 'off';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUca.Position = [589 414 100 22];

% Create TensidecontacteadmissibleUcadLabel
app.TensidecontacteadmissibleUcadLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteadmissibleUcadLabel.Position = [791 386 198 22];
app.TensidecontacteadmissibleUcadLabel.Text = 'Tensió de contacte admissible Ucad';

% Create TensidecontacteadmissibleUcad
app.TensidecontacteadmissibleUcad = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteadmissibleUcad.Editable = 'off';
app.TensidecontacteadmissibleUcad.Position = [1006 386 104 22];

% Create Volts_3
app.Volts_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_3.Position = [1122 386 25 22];
app.Volts_3.Text = 'V';
```



```
% Create EditFieldLabel_2
app.EditFieldLabel_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.EditFieldLabel_2.WordWrap = 'on';
app.EditFieldLabel_2.Position = [370 72 193 70];
    app.EditFieldLabel_2.Text = {'Resistència equivalent del calçat d'un peu la sola del qual
sigui aïllant Ra1'; '(Introduir 2000Ω si no es coneix el valor)'};

% Create ResistenciaRa1
app.ResistenciaRa1 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ResistenciaRa1.Position = [589 96 100 22];

% Create Ohms_3
app.Ohms_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_3.Position = [699 96 25 22];
app.Ohms_3.Text = 'Ω';

% Create Ue2UcaLabel
app.Ue2UcaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Ue2UcaLabel.Position = [788 206 69 22];
app.Ue2UcaLabel.Text = 'Ue < 2Uca?';

% Create ComparacioUeUc
app.ComparacioUeUc = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.ComparacioUeUc.Editable = 'off';
app.ComparacioUeUc.Position = [872 206 238 22];

% Create TensidepasadmissibleUpadLabel
app.TensidepasadmissibleUpadLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidepasadmissibleUpadLabel.Position = [791 348 172 22];
app.TensidepasadmissibleUpadLabel.Text = 'Tensió de pas admissible Upad';
```

```
% Create TensidepasadmissibleUpad
app.TensidepasadmissibleUpad = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidepasadmissibleUpad.Editable = 'off';
app.TensidepasadmissibleUpad.Position = [1006 348 104 22];

% Create Volts_4
app.Volts_4 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_4.Position = [1122 348 25 22];
app.Volts_4.Text = 'V';

% Create COMPARACIDEUeAMBUc
app.COMPARACIDEUeAMBUc = uilabel(app.UIFigure);
app.COMPARACIDEUeAMBUc.HorizontalAlignment = 'center';
app.COMPARACIDEUeAMBUc.WordWrap = 'on';
app.COMPARACIDEUeAMBUc.FontSize = 15;
app.COMPARACIDEUeAMBUc.FontWeight = 'bold';
app.COMPARACIDEUeAMBUc.FontAngle = 'italic';
app.COMPARACIDEUeAMBUc.Position = [795 242 347 51];
    app.COMPARACIDEUeAMBUc.Text = '4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA
AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE';

% Create DISSENYCORRECTELampLabel
app.DISSENYCORRECTELampLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTELampLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.FontWeight = 'bold';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Position = [943 583 129 22];
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Text = 'DISSENY CORRECTE';

% Create DISSENYCORRECTELamp
app.DISSENYCORRECTELamp = uilamp(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTELamp.Position = [1082 574 41 41];
```

```
app.DISSENYCORRECTELamp.Color = [1 0 0];

% Create COMPARACIDEUeAMBUc_2
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.HorizontalAlignment = 'center';
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.WordWrap = 'on';
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.FontSize = 15;
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.FontWeight = 'bold';
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.FontAngle = 'italic';
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.Position = [795 122 347 35];
app.COMPARACIDEUeAMBUc_2.Text = '5. COMPARACIÓ DE LES TENSIONS DE PAS I
DE CONTACTE';

% Create UcUcadLabel
app.UcUcadLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UcUcadLabel.Position = [788 89 62 22];
app.UcUcadLabel.Text = 'Uc < Ucad';

% Create UcaUc
app.UcaUc = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UcaUc.Editable = 'off';
app.UcaUc.Position = [872 89 239 22];

% Create UpUpadLabel
app.UpUpadLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UpUpadLabel.Position = [788 56 63 22];
app.UpUpadLabel.Text = 'Up < Upad';

% Create UpaUp
app.UpaUp = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UpaUp.Editable = 'off';
```

```
app.UpaUp.Position = [872 56 239 22];

% Create CompararUeUcButton
app.CompararUeUcButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUeUcButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUeUcButtonPushed, true);
app.CompararUeUcButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararUeUcButton.Position = [919 172 100 22];
app.CompararUeUcButton.Text = 'Comparar';

% Create CompararUpUcButton
app.CompararUpUcButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUpUcButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUpUcButtonPushed, true);
app.CompararUpUcButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararUpUcButton.Position = [919 21 100 22];
app.CompararUpUcButton.Text = 'Comparar';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Position = [370 245 199 32];
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de resistència
de posada a terra Kr';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Editable = 'off';
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Position = [589 250 100 22];

% Create ohmsohmsm
app.ohmsohmsm = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.ohmsohmsm.Position = [699 250 49 22];
app.ohmsohmsm.Text = ' $\Omega/(\Omega \cdot m)$ ';

% Create CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel
app.CoficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Position = [370 221 195 22];
app.CoficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de contacte
Kc';

% Create CoeficientdetensidecontacteKc
app.CoficientdetensidecontacteKc = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoficientdetensidecontacteKc.Editable = 'off';
app.CoficientdetensidecontacteKc.Position = [589 221 100 22];

% Create CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel
app.CoficientdetensidepasKpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Position = [370 188 168 22];
app.CoficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de pas Kp';

% Create CoeficientdetensidepasKp
app.CoficientdetensidepasKp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoficientdetensidepasKp.Editable = 'off';
app.CoficientdetensidepasKp.Position = [589 188 100 22];

% Create VohmmA
app.VohmmA = uilabel(app.UIFigure);
app.VohmmA.Position = [700 221 60 22];
app.VohmmA.Text = ' $V/(\Omega \cdot m \cdot A)$ ';

% Create VohmmA_2
app.VohmmA_2 = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.VohmmA_2.Position = [700 188 60 22];
app.VohmmA_2.Text = 'V/( $\Omega \cdot m \cdot A$ )';

% Create TensidecontacteUcEditFieldLabel
app.TensidecontacteUcEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteUcEditFieldLabel.Position = [791 452 124 22];
app.TensidecontacteUcEditFieldLabel.Text = 'Tensió de contacte Uc';

% Create TensidecontacteUc
app.TensidecontacteUc = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteUc.Editable = 'off';
app.TensidecontacteUc.Position = [1006 452 104 22];

% Create Volts_5
app.Volts_5 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_5.Position = [1122 452 25 22];
app.Volts_5.Text = 'V';

% Create TensidepasUpEditFieldLabel
app.TensidepasUpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidepasUpEditFieldLabel.Position = [791 419 98 22];
app.TensidepasUpEditFieldLabel.Text = 'Tensió de pas Up';

% Create TensidepasUp
app.TensidepasUp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidepasUp.Editable = 'off';
app.TensidepasUp.Position = [1006 419 104 22];

% Create Volts_6
app.Volts_6 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_6.Position = [1122 419 25 22];
```

```
app.Volts_6.Text = 'V';

% Create Millores
app.Millores = uilabel(app.UIFigure);
app.Millores.BackgroundColor = [0.8471 1 0.1686];
app.Millores.HorizontalAlignment = 'center';
app.Millores.WordWrap = 'on';
app.Millores.FontWeight = 'bold';
app.Millores.Visible = 'off';
app.Millores.Position = [33 21 263 207];
app.Millores.Text = {'MILLORES:;', 'Disminuir la resistència de posada a terra amb un millor
elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar accessos a les àrees.'};

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = PAT_ESP

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
```

```

        clear app
    end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end

```

Codi complet PAT_EEUU

El codi complet creat a AppDesigner per l'aplicació PAT_EEUU és el següent:

```

classdef PAT_EEUU < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure          matlab.ui.Figure
        Millores           matlab.ui.control.Label
        m                  matlab.ui.control.Label
        LongituddelconductordelelctrodeLM  matlab.ui.control.NumericEditField
        LongituddelconductordelelctrodeLMEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        Seleccideltipusdelctrode          matlab.ui.control.DropDown
        SeleccideltipusdelctrodeDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
        Resultat                matlab.ui.control.EditField
        CalcularResultat        matlab.ui.control.Button
        V_5                      matlab.ui.control.Label
        TensidepasEp             matlab.ui.control.NumericEditField
    end
end

```



```

TensidepasEpEditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
V_4                            matlab.ui.control.Label
TensidemallaEm                matlab.ui.control.NumericEditField
TensidemallaEmEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
TENSIODEMALLAIPAS            matlab.ui.control.Label
CompararUeEtouch              matlab.ui.control.Button
UeEtouch                       matlab.ui.control.EditField
UeEtouchEditFieldLabel        matlab.ui.control.Label
CalcularPotencialTerra        matlab.ui.control.Button
V_3                            matlab.ui.control.Label
PotencialdeterraUe            matlab.ui.control.NumericEditField
PotencialdeterraUeLabel       matlab.ui.control.Label

                                COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE
matlab.ui.control.Label

VALORSDELDEFECTE              matlab.ui.control.Label
ohm                            matlab.ui.control.Label
ResistnciadeposadaaterraRg    matlab.ui.control.NumericEditField
ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
V_2                            matlab.ui.control.Label
V                              matlab.ui.control.Label
CalcularEstepEtouch           matlab.ui.control.Button
TensidecontacteEtouch         matlab.ui.control.NumericEditField
TensidecontacteEtouchLabel    matlab.ui.control.Label
TensidepasEstep               matlab.ui.control.NumericEditField
TensidepasEstepLabel          matlab.ui.control.Label
s_2                            matlab.ui.control.Label
Duracidelexposicidelcosalcorrentts  matlab.ui.control.NumericEditField
                                Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel
matlab.ui.control.Label

TENSIONSDECONTACTEIPAS        matlab.ui.control.Label

```

```

Duracidelcorrentdefaltatf    matlab.ui.control.NumericEditField
DuracidelcorrentdefaltatfLabel  matlab.ui.control.Label
s                            matlab.ui.control.Label
A                            matlab.ui.control.Label
CorrentdecurtcircuitmonofsicK1  matlab.ui.control.NumericEditField
CorrentdecurtcircuitmonofsicK1EditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
ohmm                        matlab.ui.control.Label
Resistivitatdelterreny        matlab.ui.control.NumericEditField
ResistivitatdelterrenyEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
DISSENYCORRECTE              matlab.ui.control.Lamp
DISSENYCORRECTELampLabel     matlab.ui.control.Label
DADESEDELTERRENY            matlab.ui.control.Label
DISSENYPATSUPORTSNORMAEEUU   matlab.ui.control.Label
end

```

```

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

```

```

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrode
function SeleccideltipusdelctrodeValueChanged(app, event)
    % Longitud del conductor de l'elèctrode en funció de
    % l'elèctrode seleccionat
    switch app.Seleccideltipusdelctrode.Value
        case 'CPT-LA-1A-5+8P2'
            app.LongituddelconductordelelctrodeLM.Value = 20;
        case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'
            app.LongituddelconductordelelctrodeLM.Value = 52.8;
        case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2'
            app.LongituddelconductordelelctrodeLM.Value = 58;
    end

```

```

        case 'Selecciona una opció'
            app.LongituddelconductordelelectrodeLM.Value = "";
        end
    end

end

% Button pushed function: CalcularEstepEtouch
function CalcularEstepEtouchButtonPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris pels càlculs de la tensió de pas i la tensió de
contacte
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    ts = app.Duracidelexposicidelcosalcorrentts.Value;

    % Coeficient reductor Cs
    rho_s = 1600;
    hs = 0.1;
    Cs = 1-((0.09*(1-(rho/rho_s)))/(2*hs+0.09));

    % Càlcul de la tensió de pas
    Estep = (1000+6*Cs*rho_s)*(0.116/sqrt(ts));
    app.TensidepasEstep.Value = Estep;

    % Càlcul de la tensió de contacte
    Etouch = (1000+1.5*Cs*rho_s)*(0.116/sqrt(ts));
    app.TensidecontacteEtouch.Value = Etouch;
end

% Button pushed function: CalcularPotencialTerra
function CalcularPotencialTerraPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris pel càlcul del potencial de

```

```
% terra
Ik1 = app.CorrentdecircuitmonofasicIk1.Value;
Rg = app.ResistnciadeposadaaterraRg.Value;

% Càlcul del corrent de terra IE
r = 0.8;
IE = Ik1*r;

% Càlcul del potencial de terra
Ue = IE*Rg;
app.PotencialdeterraUe.Value = Ue;
end

% Button pushed function: CompararUeEtouch
function CompararUeEtouchPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris per realitzar la comparació
    Ue = app.PotencialdeterraUe.Value;
    Etouch = app.TensidecontacteEtouch.Value;

    % Comparació del valor de la tensió de contacte amb el del potencial de terra
    if Ue < Etouch
        app.UeEtouch.Value = 'DISSENY CORRECTE';
        app.DISSENYCORRECTE.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif Ue > Etouch
        app.UeEtouch.Value = 'Seguir amb el pas 5';
        app.DISSENYCORRECTE.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end
```

```
end

% Button pushed function: CalcularResultat
function CalcularResultatPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris pel càlcul de Em i Es per
    % posteriorment comparar els resultats amb Etouch i Estep
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    IG = app.CorrentdecircuitmonofasicK1.Value;
    LM = app.LongituddelconductordelelectrodeLM.Value;
    Etouch = app.TensidecontacteEtouch.Value;
    Estep = app.TensidepasEstep.Value;

    % Es consideren els següents valors aproximats de Km i Ki:
    % Km = 0.1 aprox
    % Ki = 0.2 aprox
    Em = (rho*0.1*0.2*IG)/LM;
    app.TensidemallaEm.Value = Em;

    % Es considera el següent valor aproximat de Ks:
    % Ks = 0.05 aprox
    Es = (rho*0.05*0.2*IG)/LM;
    app.TensidepasEp.Value = Es;

    % Comparació de Em i Es amb Estep i Etouch, amb el resultat
    % corresponent
    if Em < Etouch && Es < Estep
        app.Resultat.Value = 'DISSENY CORRECTE';
        app.DISSENYCORRECTE.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
```

```
elseif Em > Etouch
    app.Resultat.Value = 'DISSENY INCORRECTE: Em > Etouch';
    app.DISSENYCORRECTE.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'on';
elseif Es > Estep
    app.Resultat.Value = 'DISSENY INCORRECTE: Es > Estep';
    app.DISSENYCORRECTE.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'on';
end
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 1226 561];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.Scrollable = 'on';

% Create DISSENYPATISUPORTSNORMAEEUU
app.DISSENYPATISUPORTSNORMAEEUU = uilabel(app.UIFigure);
    app.DISSENYPATISUPORTSNORMAEEUU.BackgroundColor = [0 0.1725
0.4902];
    app.DISSENYPATISUPORTSNORMAEEUU.HorizontalAlignment = 'center';
```

```
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAEEUU.FontSize = 18;
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAEEUU.FontColor = [1 1 1];
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAEEUU.Position = [425 481 377 53];
    app.DISSENYPATSUPORTSNORMAEEUU.Text = 'DISSENY PAT SUPORTS
NORMA E.E.U.U.';
```

```
% Create DADESDELTERRENY
```

```
app.DADESDELTERRENY = uilabel(app.UIFigure);
app.DADESDELTERRENY.HorizontalAlignment = 'center';
app.DADESDELTERRENY.FontSize = 15;
app.DADESDELTERRENY.FontWeight = 'bold';
app.DADESDELTERRENY.FontAngle = 'italic';
app.DADESDELTERRENY.Position = [143 437 143 22];
app.DADESDELTERRENY.Text = '1. DADES INICIALS';
```

```
% Create DISSENYCORRECTELampLabel
```

```
app.DISSENYCORRECTELampLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTELampLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.FontWeight = 'bold';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Position = [995 502 129 22];
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Text = 'DISSENY CORRECTE';
```

```
% Create DISSENYCORRECTE
```

```
app.DISSENYCORRECTE = uilamp(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTE.Position = [1134 493 41 41];
app.DISSENYCORRECTE.Color = [1 0 0];
```

```
% Create ResistivatdelterrenyEditFieldLabel
```

```
app.ResistivatdelterrenyEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.ResistivatdelterrenyEditFieldLabel.Position = [36 395 134 22];
app.ResistivatdelterrenyEditFieldLabel.Text = 'Resistivat del terreny  $\rho$ ';

% Create Resistivatdelterreny
app.Resistivatdelterreny = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Resistivatdelterreny.Position = [221 395 137 22];

% Create ohmm
app.ohmm = uilabel(app.UIFigure);
app.ohmm.Position = [369 395 28 22];
app.ohmm.Text = ' $\Omega \cdot m$ ';

% Create CorrentdecircuitmonofasicK1EditFieldLabel
app.CorrentdecircuitmonofasicK1EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CorrentdecircuitmonofasicK1EditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.CorrentdecircuitmonofasicK1EditFieldLabel.Position = [434 386 175 31];
app.CorrentdecircuitmonofasicK1EditFieldLabel.Text = 'Corrent de circuit
monofàsic I''K1';

% Create CorrentdecircuitmonofasicK1
app.CorrentdecircuitmonofasicK1 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CorrentdecircuitmonofasicK1.Position = [619 390 137 22];

% Create A
app.A = uilabel(app.UIFigure);
app.A.Position = [767 390 25 22];
app.A.Text = 'A';

% Create s
```



```
app.s = uilabel(app.UIFigure);
app.s.Position = [767 359 25 22];
app.s.Text = 's';

% Create DuracidelcorrentdefaltatfLabel
app.DuracidelcorrentdefaltatfLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DuracidelcorrentdefaltatfLabel.Position = [434 359 160 22];
app.DuracidelcorrentdefaltatfLabel.Text = 'Duració del corrent de falta tf';

% Create Duracidelcorrentdefaltatf
app.Duracidelcorrentdefaltatf = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Duracidelcorrentdefaltatf.Position = [619 359 137 22];

% Create TENSIONSDECONTACTEIPAS
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS = uilabel(app.UIFigure);
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.HorizontalAlignment = 'center';
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.FontSize = 15;
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.FontWeight = 'bold';
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.FontAngle = 'italic';
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.Position = [88 230 254 22];
app.TENSIONSDECONTACTEIPAS.Text = '2. TENSIONS DE CONTACTE I PAS';

% Create Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel
app.Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel.WordWrap =
'on';
app.Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel.Position = [36
167 175 42];
```

```
app.Duracidelexposicidelcosalcorrenttsvalorentre003i3segonsLabel.Text =  
'Duració de l'exposició del cos al corrent ts (valor entre 0,03 i 3 segons);'
```

```
% Create Duracidelexposicidelcosalcorrentts
```

```
app.Duracidelexposicidelcosalcorrentts = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.Duracidelexposicidelcosalcorrentts.Position = [221 177 137 22];
```

```
% Create s_2
```

```
app.s_2 = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.s_2.Position = [369 177 25 22];
```

```
app.s_2.Text = 's';
```

```
% Create TensidepasEstepLabel
```

```
app.TensidepasEstepLabel = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.TensidepasEstepLabel.Position = [36 98 175 22];
```

```
app.TensidepasEstepLabel.Text = 'Tensió de pas Estep';
```

```
% Create TensidepasEstep
```

```
app.TensidepasEstep = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.TensidepasEstep.Editable = 'off';
```

```
app.TensidepasEstep.Position = [221 98 137 22];
```

```
% Create TensidecontacteEtouchLabel
```

```
app.TensidecontacteEtouchLabel = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.TensidecontacteEtouchLabel.Position = [36 62 175 22];
```

```
app.TensidecontacteEtouchLabel.Text = 'Tensió de contacte Etouch';
```

```
% Create TensidecontacteEtouch
```

```
app.TensidecontacteEtouch = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.TensidecontacteEtouch.Editable = 'off';
app.TensidecontacteEtouch.Position = [221 62 137 22];

% Create CalcularEstepEtouch
app.CalcularEstepEtouch = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularEstepEtouch.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularEstepEtouchButtonPushed, true);
app.CalcularEstepEtouch.FontWeight = 'bold';
app.CalcularEstepEtouch.Position = [165 136 100 22];
app.CalcularEstepEtouch.Text = 'Calcular';

% Create V
app.V = uilabel(app.UIFigure);
app.V.Position = [369 98 25 22];
app.V.Text = 'V';

% Create V_2
app.V_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.V_2.Position = [369 62 25 22];
app.V_2.Text = 'V';

% Create ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel
app.ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel.Position = [36 275 164 32];
    app.ResistnciadeposadaaterraRgEditFieldLabel.Text = 'Resistència de posada a
terra Rg';

% Create ResistnciadeposadaaterraRg
app.ResistnciadeposadaaterraRg = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```

app.ResistnciadeposadaaterraRg.Position = [221 280 137 22];

% Create ohm
app.ohm = uilabel(app.UIFigure);
app.ohm.Position = [369 280 25 22];
app.ohm.Text = 'Ω';

% Create VALORSDELDEFECTE
app.VALORSDELDEFECTE = uilabel(app.UIFigure);
app.VALORSDELDEFECTE.HorizontalAlignment = 'center';
app.VALORSDELDEFECTE.FontSize = 15;
app.VALORSDELDEFECTE.FontWeight = 'bold';
app.VALORSDELDEFECTE.FontAngle = 'italic';
app.VALORSDELDEFECTE.Position = [516 437 193 22];
app.VALORSDELDEFECTE.Text = '3. VALORS DEL DEFECTE';

% Create
COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE =
uilabel(app.UIFigure);
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Ho
rizontalAlignment = 'center';
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.W
ordWrap = 'on';
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Fo
ntSize = 15;
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Fo
ntWeight = 'bold';
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Fo
ntAngle = 'italic';
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Po
sition = [421 287 383 43];

```

```
app.COMPARACIODELPOTENCIALDETERRAAMBLATENSIODECONTACTE.Text = '4. COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE';
```

```
% Create PotencialdeterraUeLabel  
app.PotencialdeterraUeLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.PotencialdeterraUeLabel.WordWrap = 'on';  
app.PotencialdeterraUeLabel.Position = [434 240 175 31];  
app.PotencialdeterraUeLabel.Text = 'Potencial de terra Ue';
```

```
% Create PotencialdeterraUe  
app.PotencialdeterraUe = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');  
app.PotencialdeterraUe.Editable = 'off';  
app.PotencialdeterraUe.Position = [619 244 137 22];
```

```
% Create V_3  
app.V_3 = uilabel(app.UIFigure);  
app.V_3.Position = [767 244 25 22];  
app.V_3.Text = 'V';
```

```
% Create CalcularPotencialTerra  
app.CalcularPotencialTerra = uibutton(app.UIFigure, 'push');  
app.CalcularPotencialTerra.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,  
@CalcularPotencialTerraPushed, true);  
app.CalcularPotencialTerra.FontWeight = 'bold';  
app.CalcularPotencialTerra.Position = [563 209 100 22];  
app.CalcularPotencialTerra.Text = 'Calcular';
```

```
% Create UeEtouchEditFieldLabel  
app.UeEtouchEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.UeEtouchEditFieldLabel.Position = [434 171 76 22];
```

```
app.UeEtouchEditFieldLabel.Text = 'Ue < Etouch';

% Create UeEtouch
app.UeEtouch = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UeEtouch.Editable = 'off';
app.UeEtouch.Position = [547 171 209 22];

% Create CompararUeEtouch
app.CompararUeEtouch = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUeEtouch.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUeEtouchPushed, true);
app.CompararUeEtouch.FontWeight = 'bold';
app.CompararUeEtouch.Position = [563 129 100 22];
app.CompararUeEtouch.Text = 'Comparar';

% Create TENSIODEMALLAIPAS
app.TENSIODEMALLAIPAS = uilabel(app.UIFigure);
app.TENSIODEMALLAIPAS.HorizontalAlignment = 'center';
app.TENSIODEMALLAIPAS.WordWrap = 'on';
app.TENSIODEMALLAIPAS.FontSize = 15;
app.TENSIODEMALLAIPAS.FontWeight = 'bold';
app.TENSIODEMALLAIPAS.FontAngle = 'italic';
app.TENSIODEMALLAIPAS.Position = [818 436 383 24];
app.TENSIODEMALLAIPAS.Text = '5. TENSÍO DE MALLA I PAS';

% Create TensidemallaEmEditFieldLabel
app.TensidemallaEmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidemallaEmEditFieldLabel.Position = [843 395 118 22];
app.TensidemallaEmEditFieldLabel.Text = 'Tensió de malla Em';
```

```
% Create TensidemallaEm
app.TensidemallaEm = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidemallaEm.Editable = 'off';
app.TensidemallaEm.Position = [1028 395 137 22];

% Create V_4
app.V_4 = uilabel(app.UIFigure);
app.V_4.Position = [1176 395 25 22];
app.V_4.Text = 'V';

% Create TensidepasEpEditFieldLabel
app.TensidepasEpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidepasEpEditFieldLabel.Position = [843 364 98 22];
app.TensidepasEpEditFieldLabel.Text = 'Tensió de pas Ep';

% Create TensidepasEp
app.TensidepasEp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidepasEp.Editable = 'off';
app.TensidepasEp.Position = [1028 364 137 22];

% Create V_5
app.V_5 = uilabel(app.UIFigure);
app.V_5.Position = [1176 364 25 22];
app.V_5.Text = 'V';

% Create CalcularResultat
app.CalcularResultat = uibutton(app.UIFigure, 'push');
```

```
        app.CalcularResultat.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularResultatPushed, true);

    app.CalcularResultat.FontWeight = 'bold';
    app.CalcularResultat.Position = [960 326 100 22];
    app.CalcularResultat.Text = 'Calcular';

% Create Resultat
app.Resultat = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.Resultat.Editable = 'off';
app.Resultat.Position = [843 287 344 22];

% Create SeleccideltipusdelctrodeDropDownLabel
app.SeleccideltipusdelctrodeDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.SeleccideltipusdelctrodeDropDownLabel.Position = [36 359 161 22];
    app.SeleccideltipusdelctrodeDropDownLabel.Text = 'Selecció del tipus
d"elèctrode';

% Create Seleccideltipusdelctrode
app.Seleccideltipusdelctrode = uidropdown(app.UIFigure);
    app.Seleccideltipusdelctrode.Items = {'Selecciona una opció', 'CPT-LA-1A-5+8P2',
'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2', 'CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2'};
    app.Seleccideltipusdelctrode.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@SeleccideltipusdelctrodeValueChanged, true);
    app.Seleccideltipusdelctrode.Position = [221 359 137 22];
    app.Seleccideltipusdelctrode.Value = 'Selecciona una opció';

% Create LongitudelconductordelelctrodeLMEditFieldLabel
app.LongitudelconductordelelctrodeLMEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.LongitudelconductordelelctrodeLMEditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.LongitudelconductordelelctrodeLMEditFieldLabel.Position = [36 318 164 30];
```



```
app.LongituddelconductordelelectrodeLMeditFieldLabel.Text = 'Longitut del
conductor de l"elèctrode LM';
```

```
% Create LongituddelconductordelelectrodeLM
```

```
app.LongituddelconductordelelectrodeLM = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.LongituddelconductordelelectrodeLM.Editable = 'off';
```

```
app.LongituddelconductordelelectrodeLM.Position = [221 322 137 22];
```

```
% Create m
```

```
app.m = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.m.Position = [369 322 25 22];
```

```
app.m.Text = 'm';
```

```
% Create Millores
```

```
app.Millores = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.Millores.BackgroundColor = [1 1 0.4];
```

```
app.Millores.HorizontalAlignment = 'center';
```

```
app.Millores.WordWrap = 'on';
```

```
app.Millores.FontWeight = 'bold';
```

```
app.Millores.Visible = 'off';
```

```
app.Millores.Position = [843 129 344 123];
```

```
app.Millores.Text = {'MILLORES:': 'Disminuir la resistència de posada a terra
augmentant la superfície de la malla. Afegir conductors en paral·lel amb poca distància
entre si dins la malla. Limitar el corrent de falta. Limitar accessos a les àrees. Incrementar
la tolerabilitat dels voltatges de contacte i pas.'};
```

```
% Show the figure after all components are created
```

```
app.UIFigure.Visible = 'on';
```

```
end
```

```
end
```

```
% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = PAT_EEUU

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
    clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end
```

Codi complet PAT_UK

El codi complet creat a AppDesigner per l'aplicació PAT_UK és el següent:

```

classdef PAT_UK < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure          matlab.ui.Figure
        Millores          matlab.ui.control.Label
        UTUTpad           matlab.ui.control.EditField
        UTUTpadEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        CompararButton    matlab.ui.control.Button

        Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte
        matlab.ui.control.Label
        CalcularUTpadButton  matlab.ui.control.Button
        Volts_4            matlab.ui.control.Label
        TensidecontacteadmissibleUTpad  matlab.ui.control.NumericEditField
        TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad  matlab.ui.control.Label
        CalcularUTButton   matlab.ui.control.Button
        Volts_3           matlab.ui.control.Label
        TensidecontacteUT  matlab.ui.control.NumericEditField
        TensidecontacteUTEEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        VohmmA_3         matlab.ui.control.Label
        VohmmA_2         matlab.ui.control.Label
        CoeficientdetensidepasKp  matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        CoeficientdetensidecontacteKc  matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        ohmohmm         matlab.ui.control.Label
        CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr  matlab.ui.control.NumericEditField
        CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
    end
end

```

```

CompararUE2UTpaButton      matlab.ui.control.Button
Ampers_2                    matlab.ui.control.Label
CorrentadmissiblepelcoshumIB  matlab.ui.control.NumericEditField
CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
Duracidelafaltatf          matlab.ui.control.NumericEditField
DuracidelafaltatfEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
CompararUE4UTpaButton      matlab.ui.control.Button
                             pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad
matlab.ui.control.Label
UE4UTpa                     matlab.ui.control.EditField
UE4UTpaLabel                matlab.ui.control.Label
UE2UTpa                     matlab.ui.control.EditField
UE2UTpaLabel                matlab.ui.control.Label
ResistnciadeposadaaterraRE  matlab.ui.control.NumericEditField
ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2  matlab.ui.control.Label
Segons                      matlab.ui.control.Label
DISSENYCORRECTELamp        matlab.ui.control.Lamp
DISSENYCORRECTELampLabel   matlab.ui.control.Label
DeterminaciodelatensiodecontacteUT  matlab.ui.control.Label
TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa  matlab.ui.control.NumericEditField
TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel  matlab.ui.control.Label
Volts                       matlab.ui.control.Label
Ohms_2                      matlab.ui.control.Label
CalcularButton              matlab.ui.control.Button
                             pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada
matlab.ui.control.Label
Volts_2                     matlab.ui.control.Label
PotencialdeterraUe          matlab.ui.control.NumericEditField
PotencialdeterraUeEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label

```

```

Seleccideltipusdelctrodebsic matlab.ui.control.DropDown
SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel matlab.ui.control.Label
Ohmsmetre matlab.ui.control.Label
Resistivitatdelterreny matlab.ui.control.NumericEditField
ResistivitatdelterrenyLabel matlab.ui.control.Label
Ohms_1 matlab.ui.control.Label
ImpedanciaZE matlab.ui.control.NumericEditField
EditFieldLabel matlab.ui.control.Label
INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA matlab.ui.control.Label
Ampers matlab.ui.control.Label
Correntdecurtcircuitmonofsick1 matlab.ui.control.NumericEditField
Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel matlab.ui.control.Label
DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA matlab.ui.control.Label
end

```

```

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

```

```

% Value changed function: Duracidelafaltatf
function DuracidelafaltatfValueChanged(app, event)
    tf = app.Duracidelafaltatf.Value;
    if tf==0.05
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 716;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.9;
    elseif tf==0.1
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 654;
        app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.75;
    elseif tf==0.2
        app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 537;
    end
end

```

```

    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.6;
elseif tf==0.5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 220;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.2;
elseif tf==1
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 117;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.08;
elseif tf==2
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 96;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.06;
elseif tf==5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 86;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.051;
elseif tf==10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 85;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
elseif tf>=10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 80;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
end
end

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic
function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)
    % Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a
    % seleccionar
    switch app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value
        case 'CPT-LA-1A-5+8P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;

```

```

    app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.02;
    app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;
case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'
    app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;
    app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.01;
    app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;
case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'
    app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;
    app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;
    app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;
case 'Selecciona una opció'
    app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";
    app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = "";
    app.CoefficientdetensidepasKp.Value = "";
end
end

```

```

% Button pushed function: CalcularButton

```

```

function CalcularUE(app, event)

```

```

    % Crida dels paràmetres necessaris

```

```

    Ik1 = app.CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1.Value;

```

```

    ZE = app.ImpedanciaZE.Value;

```

```

    RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

```

```

% Càlcul del corrent IE, amb un valor de factor de reducció

```

```

% aproximat de 0,8

```

```

r = 0.8;

```

```

IE = Ik1*r;

```

```
% Càlcul del potencial de terra UE
UE = IE*((ZE*RE)/(ZE+RE));
app.PotencialdeterraUe.Value = UE;
end

% Button pushed function: CompararUE2UTpaButton
function CompararUE2UTpa(app, event)
    UE = app.PotencialdeterraUe.Value;
    UTp = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

    if UE <= 2*UTp
        app.UE2UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif UE > 2*UTp
        app.UE2UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 4';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end

% Button pushed function: CompararUE4UTpaButton
function CompararUE4UTpa(app, event)
    UE = app.PotencialdeterraUe.Value;
    UTp = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

    if UE <= 4*UTp
        app.UE4UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
```



```
    app.Millores.Visible = 'off';
elseif UE > 4*UTp
    app.UE4UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 5';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'off';
end
end

% Button pushed function: CalcularUTButton
function CalcularUT(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    Kc = app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value;
    Ik1 = app.Correntdecircuitmonofasick1.Value;
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    ZE = app.ImpedanciaZE.Value;
    RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

    % Càlcul del corrent a terra IE
    r = 0.8;
    IE = Ik1*r;

    % Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode IT
    IT = IE*(ZE/(RE+ZE));

    % Càlcul de la tensió de contacte UT
    UT = Kc*IT*rho;
    app.TensidecontacteUT.Value = UT;
end
```

```
% Button pushed function: CalcularUTpadButton
function CalcularUTpad(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    IB = app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value;

    % Impedància del cos humà comú de 1000 Ohms
    ZT = 1000;

    % Valors suposats dels paràmetres HF i BF per el pitjor cas:
    HF = 0.4;
    BF = 0.75;

    % Valors de les resistències addicionals
    RH = 100;
    RF = 100;

    % Càlcul de la tensió de contacte admissible
    UTpad = IB*(1/HF)*(ZT*BF+RH+RF);
    app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value = UTpad;
end

% Button pushed function: CompararButton
function CompararButtonPushed(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    UT = app.TensidecontacteUT.Value;
    UTpad = app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value;

    % Opcions possibles per comparar i resultats
    if UT <= UTpad
```

```
    app.UTUTpad.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
    app.Millores.Visible = 'off';
elseif UT > UTpad
    app.UTUTpad.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MILLORES';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'on';
end
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 1209 626];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.Scrollable = 'on';

% Create DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA = uilabel(app.UIFigure);
    app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.BackgroundColor = [0 0.1725
0.4902];
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.FontSize = 18;
```

```
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.FontColor = [1 1 1];
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.Position = [407 552 407 53];
app.DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA.Text = 'DISSENY PAT SUPORTS
NORMA REGNE UNIT';

% Create Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel.Position = [27 445 200 22];
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel.Text = 'Corrent de curtcircuit
monofàsic l''k1';

% Create Correntdecurtcircuitmonofsick1
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1.Position = [246 445 100 22];

% Create Ampers
app.Ampers = uilabel(app.UIFigure);
app.Ampers.Position = [356 445 25 22];
app.Ampers.Text = 'A';

% Create INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA = uilabel(app.UIFigure);
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.HorizontalAlignment = 'center';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.WordWrap = 'on';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontSize = 15;
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontWeight = 'bold';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontAngle = 'italic';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Position = [27 487 354 37];
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Text = '1. INTRODUCCIÓ DE
LES DADES INICIALS DEL SISTEMA';
```

```
% Create EditFieldLabel
app.EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.EditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.EditFieldLabel.Position = [27 281 200 48];
    app.EditFieldLabel.Text = 'Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia,
excepte Rt del suport que pateix el defecte';

% Create ImpedanciaZE
app.ImpedanciaZE = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ImpedanciaZE.Position = [246 294 100 22];

% Create Ohms_1
app.Ohms_1 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_1.Position = [356 294 25 22];
app.Ohms_1.Text = 'Ω';

% Create ResistivitatdelterrenyLabel
app.ResistivitatdelterrenyLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistivitatdelterrenyLabel.WordWrap = 'on';
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Position = [27 255 199 16];
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Text = 'Resistivitat del terreny ρ';

% Create Resistivitatdelterreny
app.Resistivitatdelterreny = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Resistivitatdelterreny.Position = [246 252 100 22];

% Create Ohmsmetre
app.Ohmsmetre = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.Ohmsmetre.Position = [356 252 28 22];
app.Ohmsmetre.Text = ' $\Omega \cdot m$ ';

% Create SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Position = [29 178 193 22];
    app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Text = 'Selecció del tipus
d"elèctrode bàsic';

% Create Seleccideltipusdelctrodebsic
app.Seleccideltipusdelctrodebsic = uidropdown(app.UIFigure);
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Items = {'Selecciona una opció', 'CPT-LA-1A-
5+8P2', 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2', 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'};
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged, true);
app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Position = [248 178 100 22];
app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value = 'Selecciona una opció';

% Create PotencialdeterraUeEditFieldLabel
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Position = [439 435 118 22];
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Text = 'Potencial de terra Ue';

% Create PotencialdeterraUe
app.PotencialdeterraUe = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.PotencialdeterraUe.Editable = 'off';
app.PotencialdeterraUe.Position = [657 435 104 22];

% Create Volts_2
app.Volts_2 = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.Volts_2.Position = [768 435 25 22];
app.Volts_2.Text = 'V';

% Create paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada =
uilabel(app.UIFigure);
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.HorizontalAl
ignment = 'center';
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.WordWrap
= 'on';
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontSize =
15;
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontWeight
= 'bold';
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontAngle =
'italic';
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.Position =
[439 473 344 51];
    app.paComparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.Text = '3.
PRIMERA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIO DE
CONTACTE APLICADA ADMISSIBLE';

% Create CalcularButton
app.CalcularButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularUE,
true);
app.CalcularButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularButton.Position = [566 400 100 22];
app.CalcularButton.Text = 'Calcular';

% Create Ohms_2
app.Ohms_2 = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.Ohms_2.Position = [356 40 25 22];
app.Ohms_2.Text = 'Ω';

% Create Volts
app.Volts = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts.Position = [356 373 25 22];
app.Volts.Text = 'V';

% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.WordWrap = 'on';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.Position = [27 368 200 33];
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.Text = 'Tensió de contacte
aplicada admissible UTpa';

% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Editable = 'off';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Position = [246 373 100 22];

% Create DeterminaciodelatensiodecontacteUT
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT = uilabel(app.UIFigure);
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.HorizontalAlignment = 'center';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.WordWrap = 'on';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontSize = 15;
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontWeight = 'bold';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontAngle = 'italic';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.Position = [446 117 347 34];
```



```
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.Text = '5. DETERMINACIÓ DE LA  
TENSÍO DE CONTACTE UT';
```

```
% Create DISSENYCORRECTELampLabel  
app.DISSENYCORRECTELampLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.DISSENYCORRECTELampLabel.HorizontalAlignment = 'center';  
app.DISSENYCORRECTELampLabel.FontWeight = 'bold';  
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Position = [975 567 129 22];  
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Text = 'DISSENY CORRECTE';
```

```
% Create DISSENYCORRECTELamp  
app.DISSENYCORRECTELamp = uilamp(app.UIFigure);  
app.DISSENYCORRECTELamp.Position = [1114 558 41 41];  
app.DISSENYCORRECTELamp.Color = [1 0 0];
```

```
% Create Segons  
app.Segons = uilabel(app.UIFigure);  
app.Segons.Position = [356 414 25 22];  
app.Segons.Text = 's';
```

```
% Create INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA_2  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2 = uilabel(app.UIFigure);  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.HorizontalAlignment = 'center';  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.WordWrap = 'on';  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontSize = 15;  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontWeight = 'bold';  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontAngle = 'italic';  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.Position = [29 212 354 25];  
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.Text = '2. ELÈCTRODE DE  
POSADA A TERRA';
```

```
% Create ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel
app.ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel.Position = [29 40 185 22];
    app.ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel.Text = 'Resistència de posada a
terra RE';
```

```
% Create ResistnciadeposadaaterraRE
app.ResistnciadeposadaaterraRE = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ResistnciadeposadaaterraRE.Position = [248 40 100 22];
```

```
% Create UE2UTpaLabel
app.UE2UTpaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UE2UTpaLabel.Position = [439 359 75 22];
app.UE2UTpaLabel.Text = 'UE ≤ 2 UTpa';
```

```
% Create UE2UTpa
app.UE2UTpa = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UE2UTpa.Editable = 'off';
app.UE2UTpa.Position = [556 359 205 22];
```

```
% Create UE4UTpaLabel
app.UE4UTpaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UE4UTpaLabel.Position = [439 202 75 22];
app.UE4UTpaLabel.Text = 'UE ≤ 4 UTpa';
```

```
% Create UE4UTpa
app.UE4UTpa = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UE4UTpa.Editable = 'off';
```

```
app.UE4UTpa.Position = [556 202 205 22];

% Create pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad =
uilabel(app.UIFigure);
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.Horizontal
Alignment = 'center';
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.WordWra
p = 'on';
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.FontSize
= 15;
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.FontWeig
ht = 'bold';
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.FontAngl
e = 'italic';
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.Position =
[439 244 344 51];
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicadaad.Text = '4.
SEGONA COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSIÓ DE CONTACTE
APLICADA ADMISSIBLE';

% Create CompararUE4UTpaButton
app.CompararUE4UTpaButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUE4UTpaButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUE4UTpa, true);
    app.CompararUE4UTpaButton.FontWeight = 'bold';
    app.CompararUE4UTpaButton.Position = [569 168 100 22];
    app.CompararUE4UTpaButton.Text = 'Comparar';

% Create DuracidelafaltatfEditFieldLabel
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel.Position = [29 414 112 22];
```

```
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel.Text = 'Duració de la falta tf';

% Create Duracidelafaltatf
app.Duracidelafaltatf = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
    app.Duracidelafaltatf.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DuracidelafaltatfValueChanged, true);
app.Duracidelafaltatf.Position = [246 414 100 22];

% Create CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel
app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel.Position = [27 341 196 22];
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel.Text = 'Corrent admissible pel
cos humà IB';

% Create CorrentadmissiblepelcoshumIB
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Editable = 'off';
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Position = [246 341 100 22];

% Create Ampers_2
app.Ampers_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ampers_2.Position = [356 341 25 22];
app.Ampers_2.Text = 'A';

% Create CompararUE2UTpaButton
app.CompararUE2UTpaButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUE2UTpaButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUE2UTpa, true);
app.CompararUE2UTpaButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararUE2UTpaButton.Position = [566 319 100 22];
```

```
app.CompararUE2UTpaButton.Text = 'Comparar';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Position = [29 131 198
35];
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de
resistència de posada a terra Kr';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr.Editable = 'off';
app.CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr.Position = [248 137 100 22];

% Create ohmohmm
app.ohmohmm = uilabel(app.UIFigure);
app.ohmohmm.Position = [356 137 49 22];
app.ohmohmm.Text = ' $\Omega/(\Omega \cdot m)$ ';

% Create CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel
app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Position = [29 102 195 22];
app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de
contacte Kc';

% Create CoeficientdetensidecontacteKc
app.CoeficientdetensidecontacteKc = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoeficientdetensidecontacteKc.Editable = 'off';
```

```
app.CoefficientdetensidecontacteKc.Position = [248 102 100 22];

% Create CoefficientdetensidepasKpEditFieldLabel
app.CoefficientdetensidepasKpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoefficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Position = [29 70 168 22];
    app.CoefficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de pas
Kp';

% Create CoefficientdetensidepasKp
app.CoefficientdetensidepasKp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoefficientdetensidepasKp.Editable = 'off';
app.CoefficientdetensidepasKp.Position = [248 70 100 22];

% Create VohmmA_2
app.VohmmA_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.VohmmA_2.Position = [356 102 60 22];
app.VohmmA_2.Text = 'V/( $\Omega \cdot m \cdot A$ )';

% Create VohmmA_3
app.VohmmA_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.VohmmA_3.Position = [356 70 60 22];
app.VohmmA_3.Text = 'V/( $\Omega \cdot m \cdot A$ )';

% Create TensidecontacteUTEEditFieldLabel
app.TensidecontacteUTEEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteUTEEditFieldLabel.Position = [439 84 125 22];
app.TensidecontacteUTEEditFieldLabel.Text = 'Tensió de contacte UT';

% Create TensidecontacteUT
```

```
app.TensidecontacteUT = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteUT.Editable = 'off';
app.TensidecontacteUT.Position = [657 84 104 22];

% Create Volts_3
app.Volts_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_3.Position = [768 84 25 22];
app.Volts_3.Text = 'V';

% Create CalcularUTButton
app.CalcularUTButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.CalcularUTButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularUT,
true);
app.CalcularUTButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularUTButton.Position = [570 49 100 22];
app.CalcularUTButton.Text = 'Calcular';

% Create DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad = uilabel(app.UIFigure);
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.HorizontalAlignment =
'center';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.WordWrap = 'on';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontSize = 15;
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontWeight = 'bold';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontAngle = 'italic';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.Position = [834 490 347
34];
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.Text = '6.
DETERMINACIÓ DE LA TENSÍO DE CONTACTE ADMISSIBLE UTpad';
```

```
% Create TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel
app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel.Position = [834 449 206 22];
    app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel.Text = 'Tensió de contacte
admissible UTpad';

% Create TensidecontacteadmissibleUTpad
app.TensidecontacteadmissibleUTpad = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Position = [1055 449 100 22];

% Create Volts_4
app.Volts_4 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_4.Position = [1164 449 25 22];
app.Volts_4.Text = 'V';

% Create CalcularUTpadButton
app.CalcularUTpadButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularUTpadButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularUTpad, true);
app.CalcularUTpadButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularUTpadButton.Position = [958 414 100 22];
app.CalcularUTpadButton.Text = 'Calcular';

% Create Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte =
uilabel(app.UIFigure);
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Horizontal
Alignment = 'center';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.WordWra
p = 'on';
```



```
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontSize
= 15;
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontWeig
ht = 'bold';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontAngl
e = 'italic';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Position =
[834 373 347 22];
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Text = '7.
COMPARACIÓ DE UT AMB UTpad';

% Create CompararButton
app.CompararButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararButtonPushed, true);
app.CompararButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararButton.Position = [958 281 100 22];
app.CompararButton.Text = 'Comparar';

% Create UTUTpadEditFieldLabel
app.UTUTpadEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UTUTpadEditFieldLabel.Position = [834 328 71 22];
app.UTUTpadEditFieldLabel.Text = 'UT ≤ UTpad';

% Create UTUTpad
app.UTUTpad = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UTUTpad.Position = [912 328 269 22];

% Create Millores
app.Millores = uilabel(app.UIFigure);
app.Millores.BackgroundColor = [1 1 0.302];
```

```
app.Millores.HorizontalAlignment = 'center';
app.Millores.WordWrap = 'on';
app.Millores.FontWeight = 'bold';
app.Millores.Visible = 'off';
app.Millores.Position = [834 91 321 162];

app.Millores.Text = {'MILLORES:'; 'Disminuir la resistència de posada a terra amb
un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos
a les àrees.'};

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = PAT_UK

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
    clear app
end
end
```

```

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)

end

end

end

```

Codi complet PAT_MX

El codi complet creat a AppDesigner per l'aplicació PAT_UK és el següent:

```

classdef PAT_MX < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)

        UIFigure          matlab.ui.Figure
        Millores           matlab.ui.control.Label
        UTUTpad            matlab.ui.control.EditField
        UTUTpadEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        CompararButton     matlab.ui.control.Button

        Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte
        matlab.ui.control.Label

        CalcularUTpadButton  matlab.ui.control.Button
        Volts_4              matlab.ui.control.Label

        TensidecontacteadmissibleUTpad  matlab.ui.control.NumericEditField
        TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad  matlab.ui.control.Label
        CalcularUTButton     matlab.ui.control.Button
    end
end

```

Volts_3 matlab.ui.control.Label
 TensidecontacteUT matlab.ui.control.NumericEditField
 TensidecontacteUTEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 VohmmA_3 matlab.ui.control.Label
 VohmmA_2 matlab.ui.control.Label
 CoeficientdetensidepasKp matlab.ui.control.NumericEditField
 CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 CoeficientdetensidecontacteKc matlab.ui.control.NumericEditField
 CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 ohmohmm matlab.ui.control.Label
 CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr matlab.ui.control.NumericEditField
 CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 CompararUE2UTpaButton matlab.ui.control.Button
 Ampers_2 matlab.ui.control.Label
 CorrentadmissiblepelcoshumIB matlab.ui.control.NumericEditField
 CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 Duracidelafaltatf matlab.ui.control.NumericEditField
 DuracidelafaltatfEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 UE2UTpa matlab.ui.control.EditField
 UEUTpaLabel matlab.ui.control.Label
 ResistnciadeposadaaterraRE matlab.ui.control.NumericEditField
 ResistnciadeposadaaterraREEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
 INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA_2 matlab.ui.control.Label
 Segons matlab.ui.control.Label
 DISSENYCORRECTELamp matlab.ui.control.Lamp
 DISSENYCORRECTELampLabel matlab.ui.control.Label
 DeterminaciodelatensiodecontacteUT matlab.ui.control.Label
 TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa matlab.ui.control.NumericEditField
 TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel matlab.ui.control.Label

```

Volts                matlab.ui.control.Label
Ohms_2              matlab.ui.control.Label
CalcularButton      matlab.ui.control.Button
                    pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada
matlab.ui.control.Label
Volts_2             matlab.ui.control.Label
PotencialdeterraUe  matlab.ui.control.NumericEditField
PotencialdeterraUeEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
Seleccideltipusdelctrodebsic matlab.ui.control.DropDown
SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel matlab.ui.control.Label
Ohmsmetre           matlab.ui.control.Label
Resistivitatdelterreny matlab.ui.control.NumericEditField
ResistivitatdelterrenyLabel matlab.ui.control.Label
Ohms_1              matlab.ui.control.Label
ImpedanciaZE        matlab.ui.control.NumericEditField
EditFieldLabel      matlab.ui.control.Label
INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA matlab.ui.control.Label
Ampers              matlab.ui.control.Label
CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1 matlab.ui.control.NumericEditField
CorrentdecurtcircuitmonofsicIk1EditFieldLabel matlab.ui.control.Label
DISSENYPATSUPORTSNORMAESPANYA matlab.ui.control.Label
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Value changed function: Duracidelafaltatf
function DuracidelafaltatfValueChanged(app, event)
    tf = app.Duracidelafaltatf.Value;

```

```
if tf==0.05
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 716;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.9;
elseif tf==0.1
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 654;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.75;
elseif tf==0.2
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 537;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.6;
elseif tf==0.5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 220;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.2;
elseif tf==1
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 117;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.08;
elseif tf==2
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 96;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.06;
elseif tf==5
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 86;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.051;
elseif tf==10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 85;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
elseif tf>=10
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value = 80;
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value = 0.05;
end
end
```

```

% Value changed function: Seleccideltipusdelctrodebsic
function SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged(app, event)
    % Coeficients característics de cadascun dels elèctrodes a
    % seleccionar
    switch app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value
        case 'CPT-LA-1A-5+8P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0708;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.02;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.0091;
        case 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.048;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.01;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00613;
        case 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = 0.0301;
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = 0.0085;
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = 0.00346;
        case 'Selecciona una opció'
            app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Value = "";
            app.CoefficientdetensidecontacteKc.Value = "";
            app.CoefficientdetensidepasKp.Value = "";
    end
end

% Button pushed function: CalcularButton
function CalcularUE(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    Ik1 = app.CorrentdecircuitmonofsicIk1.Value;

```

```
ZE = app.ImpedanciaZE.Value;
RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

% Càlcul del corrent IE amb un valor de factor de reducció
% aproximat de 0,8
r = 0.8;
IE = Ik1*r;

% Càlcul del potencial de terra UE
UE = IE*((ZE*RE)/(ZE+RE));
app.PotencialdeterraUe.Value = UE;
end

% Button pushed function: CompararUE2UTpaButton
function CompararUE2UTpa(app, event)
    UE = app.PotencialdeterraUe.Value;
    UTpa = app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Value;

    if UE < UTpa
        app.UE2UTpa.Value = 'Disseny inicial correcte per UTp';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
        app.Millores.Visible = 'off';
    elseif UE > UTpa
        app.UE2UTpa.Value = 'No compleix. Seguir al pas 4';
        app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
        app.Millores.Visible = 'off';
    end
end
```



```
% Button pushed function: CalcularUTButton
function CalcularUT(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    Kc = app.CoeficientdetensidecontacteKc.Value;
    Ik1 = app.CorrentdecortcircuitmonofsicIk1.Value;
    rho = app.Resistivitatdelterreny.Value;
    ZE = app.ImpedanciaZE.Value;
    RE = app.ResistnciadeposadaaterraRE.Value;

    % Càlcul del corrent a terra IE
    r = 0.8;
    IE = Ik1*r;

    % Càlcul del corrent que circula per l'elèctrode IT
    IT = IE*(ZE/(RE+ZE));

    % Càlcul de la tensió de contacte UT
    UT = Kc*IT*rho;
    app.TensidecontacteUT.Value = UT;
end

% Button pushed function: CalcularUTpadButton
function CalcularUTpad(app, event)
    % Crida dels paràmetres necessaris
    IB = app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Value;

    % Impedància del cos humà comú de 1000 Ohms
    ZT = 1000;
```

```
% Valors suposats dels paràmetres HF i BF per el pitjor cas:
HF = 0.4;
BF = 0.75;

% Valors de les resistències addicionals
RH = 100;
RF = 100;

% Càlcul de la tensió de contacte admissible
UTpad = IB*(1/HF)*(ZT*BF+RH+RF);
app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value = UTpad;
end

% Button pushed function: CompararButton
function CompararButtonPushed(app, event)
% Crida dels paràmetres necessaris
UT = app.TensidecontacteUT.Value;
UTpad = app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Value;

% Opcions possibles per comparar i resultats
if UT <= UTpad
    app.UTUTpad.Value = 'Tensions OK: Disseny correcte';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'green';
    app.Millores.Visible = 'off';
elseif UT > UTpad
    app.UTUTpad.Value = 'Disseny incorrecte: REALITZAR MILLORES';
    app.DISSENYCORRECTELamp.Color = 'red';
    app.Millores.Visible = 'on';
end
```

```
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 1209 610];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.Scrollable = 'on';

% Create DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA = uilabel(app.UIFigure);
    app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.BackgroundColor = [0 0.1725
0.4902];
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.FontSize = 18;
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.FontColor = [1 1 1];
app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.Position = [407 536 407 53];
    app.DISSENYPAT SUPORTS NORMA ESPANYA.Text = 'DISSENY PAT SUPORTS
NORMA MÈXIC';

% Create Correntdecurtcircuitmonofsicl1EditFieldLabel
app.Correntdecurtcircuitmonofsicl1EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Correntdecurtcircuitmonofsicl1EditFieldLabel.Position = [27 429 200 22];
```

```
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1EditFieldLabel.Text = 'Corrent de curtcircuit  
monofàsic l''k1';
```

```
% Create Correntdecurtcircuitmonofsick1
```

```
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.Correntdecurtcircuitmonofsick1.Position = [246 429 100 22];
```

```
% Create Ampers
```

```
app.Ampers = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.Ampers.Position = [356 429 25 22];
```

```
app.Ampers.Text = 'A';
```

```
% Create INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.HorizontalAlignment = 'center';
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.WordWrap = 'on';
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontSize = 15;
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontWeight = 'bold';
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.FontAngle = 'italic';
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Position = [27 471 354 37];
```

```
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA.Text = '1. INTRODUCCIÓ DE  
LES DADES INICIALS DEL SISTEMA';
```

```
% Create EditFieldLabel
```

```
app.EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.EditFieldLabel.WordWrap = 'on';
```

```
app.EditFieldLabel.Position = [27 265 200 48];
```

```
app.EditFieldLabel.Text = 'Impedància a terra equivalent ZE de tota la línia,  
excepte Rt del suport que pateix el defecte';
```

```
% Create ImpedanciaZE
app.ImpedanciaZE = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ImpedanciaZE.Position = [246 278 100 22];

% Create Ohms_1
app.Ohms_1 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_1.Position = [356 278 25 22];
app.Ohms_1.Text = 'Ω';

% Create ResistivitatdelterrenyLabel
app.ResistivitatdelterrenyLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistivitatdelterrenyLabel.WordWrap = 'on';
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Position = [27 239 199 16];
app.ResistivitatdelterrenyLabel.Text = 'Resistivitat del terreny ρ';

% Create Resistivitatdelterreny
app.Resistivitatdelterreny = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Resistivitatdelterreny.Position = [246 236 100 22];

% Create Ohmsmetre
app.Ohmsmetre = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohmsmetre.Position = [356 236 28 22];
app.Ohmsmetre.Text = 'Ω·m';

% Create SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Position = [29 162 193 22];
    app.SeleccideltipusdelctrodebsicDropDownLabel.Text = 'Selecció del tipus
d"elèctrode bàsic';
```

```
% Create Seleccideltipusdelctrodebsic
app.Seleccideltipusdelctrodebsic = uidropdown(app.UIFigure);
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Items = {'Selecciona una opció', 'CPT-LA-1A-
5+8P2', 'CPT-LA-1A-5,4+2A-7,8+8P2', 'CPT-LA-1A-7+8P2+F10P2'};
    app.Seleccideltipusdelctrodebsic.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@SeleccideltipusdelctrodebsicValueChanged, true);
app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Position = [248 162 100 22];
app.Seleccideltipusdelctrodebsic.Value = 'Selecciona una opció';

% Create PotencialdeterraUeEditFieldLabel
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Position = [439 419 118 22];
app.PotencialdeterraUeEditFieldLabel.Text = 'Potencial de terra Ue';

% Create PotencialdeterraUe
app.PotencialdeterraUe = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.PotencialdeterraUe.Editable = 'off';
app.PotencialdeterraUe.Position = [657 419 104 22];

% Create Volts_2
app.Volts_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_2.Position = [768 419 25 22];
app.Volts_2.Text = 'V';

% Create pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada =
uilabel(app.UIFigure);
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.HorizontalAl
ignment = 'center';
```

```
    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.WordWrap
= 'on';

    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontSize =
15;

    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontWeight
= 'bold';

    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.FontAngle =
'italic';

    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.Position =
[439 457 344 51];

    app.pacomparaciodelpotencialdeterramablatensiodecontacteaplicada.Text = '3.
COMPARACIÓ DEL POTENCIAL DE TERRA AMB LA TENSÍO DE CONTACTE
APLICADA ADMISSIBLE';

% Create CalcularButton
app.CalcularButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularUE,
true);

app.CalcularButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularButton.Position = [566 384 100 22];
app.CalcularButton.Text = 'Calcular';

% Create Ohms_2
app.Ohms_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ohms_2.Position = [356 24 25 22];
app.Ohms_2.Text = 'Ω';

% Create Volts
app.Volts = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts.Position = [356 357 25 22];
app.Volts.Text = 'V';
```

```
% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.WordWrap = 'on';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.Position = [27 352 200 33];
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpaLabel.Text = 'Tensió de contacte
aplicada admissible UTpa';

% Create TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa
    app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Editable = 'off';
app.TensidecontacteaplicadaadmissibleUTpa.Position = [246 357 100 22];

% Create DeterminaciodelatensiodecontacteUT
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT = uilabel(app.UIFigure);
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.HorizontalAlignment = 'center';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.WordWrap = 'on';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontSize = 15;
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontWeight = 'bold';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.FontAngle = 'italic';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.Position = [442 239 347 34];
    app.DeterminaciodelatensiodecontacteUT.Text = '4. DETERMINACIÓ DE LA
TENSÍO DE CONTACTE UT';

% Create DISSENYCORRECTELampLabel
app.DISSENYCORRECTELampLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTELampLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.FontWeight = 'bold';
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Position = [975 551 129 22];
app.DISSENYCORRECTELampLabel.Text = 'DISSENY CORRECTE';
```



```
% Create DISSENYCORRECTELamp
app.DISSENYCORRECTELamp = uilamp(app.UIFigure);
app.DISSENYCORRECTELamp.Position = [1114 542 41 41];
app.DISSENYCORRECTELamp.Color = [1 0 0];

% Create Segons
app.Segons = uilabel(app.UIFigure);
app.Segons.Position = [356 398 25 22];
app.Segons.Text = 's';

% Create INTRODUCIDELESDADESDELSISTEMA_2
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.HorizontalAlignment = 'center';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.WordWrap = 'on';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontSize = 15;
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontWeight = 'bold';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.FontAngle = 'italic';
app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.Position = [29 196 354 25];
    app.INTRODUCCIDELESDADESDELSISTEMA_2.Text = '2. ELÈCTRODE DE
POSADA A TERRA';

% Create ResistnciadeposadaaterraREeditFieldLabel
app.ResistnciadeposadaaterraREeditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResistnciadeposadaaterraREeditFieldLabel.Position = [29 24 185 22];
    app.ResistnciadeposadaaterraREeditFieldLabel.Text = 'Resistència de posada a
terra RE';

% Create ResistnciadeposadaaterraRE
app.ResistnciadeposadaaterraRE = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
```

```
app.ResistnciadeposadaaterraRE.Position = [248 24 100 22];

% Create UEUTpaLabel
app.UEUTpaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UEUTpaLabel.Position = [439 343 65 22];
app.UEUTpaLabel.Text = 'UE < UTpa';

% Create UE2UTpa
app.UE2UTpa = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UE2UTpa.Editable = 'off';
app.UE2UTpa.Position = [556 343 205 22];

% Create DuracidelafaltatfEditFieldLabel
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel.Position = [29 398 112 22];
app.DuracidelafaltatfEditFieldLabel.Text = 'Duració de la falta tf';

% Create Duracidelafaltatf
app.Duracidelafaltatf = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
    app.Duracidelafaltatf.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
    @DuracidelafaltatfValueChanged, true);
app.Duracidelafaltatf.Position = [246 398 100 22];

% Create CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel
app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel.Position = [27 325 196 22];
    app.CorrentadmissiblepelcoshumIBEditFieldLabel.Text = 'Corrent admissible pel
cos humà IB';

% Create CorrentadmissiblepelcoshumIB
```

```
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Editable = 'off';
app.CorrentadmissiblepelcoshumIB.Position = [246 325 100 22];

% Create Ampers_2
app.Ampers_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Ampers_2.Position = [356 325 25 22];
app.Ampers_2.Text = 'A';

% Create CompararUE2UTpaButton
app.CompararUE2UTpaButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararUE2UTpaButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararUE2UTpa, true);
app.CompararUE2UTpaButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararUE2UTpaButton.Position = [566 303 100 22];
app.CompararUE2UTpaButton.Text = 'Comparar';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel
    app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.WordWrap = 'on';
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Position = [29 115 198
35];

    app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKrEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de
resistència de posada a terra Kr';

% Create CoeficientderesistnciadeposadaaterraKr
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Editable = 'off';
app.CoefficientderesistnciadeposadaaterraKr.Position = [248 121 100 22];
```

```
% Create ohmohmm
app.ohmohmm = uilabel(app.UIFigure);
app.ohmohmm.Position = [356 121 49 22];
app.ohmohmm.Text = ' $\Omega/(\Omega \cdot m)$ ';

% Create CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel
app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Position = [29 86 195 22];
    app.CoeficientdetensidecontacteKcEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de
contacte Kc';

% Create CoeficientdetensidecontacteKc
app.CoeficientdetensidecontacteKc = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoeficientdetensidecontacteKc.Editable = 'off';
app.CoeficientdetensidecontacteKc.Position = [248 86 100 22];

% Create CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel
app.CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Position = [29 54 168 22];
    app.CoeficientdetensidepasKpEditFieldLabel.Text = 'Coeficient de tensió de pas
Kp';

% Create CoeficientdetensidepasKp
app.CoeficientdetensidepasKp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CoeficientdetensidepasKp.Editable = 'off';
app.CoeficientdetensidepasKp.Position = [248 54 100 22];

% Create VohmmA_2
app.VohmmA_2 = uilabel(app.UIFigure);
```

```
app.VohmmA_2.Position = [356 86 60 22];
app.VohmmA_2.Text = 'V/( $\Omega \cdot m \cdot A$ )';

% Create VohmmA_3
app.VohmmA_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.VohmmA_3.Position = [356 54 60 22];
app.VohmmA_3.Text = 'V/( $\Omega \cdot m \cdot A$ )';

% Create TensidecontacteUTEditFieldLabel
app.TensidecontacteUTEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteUTEditFieldLabel.Position = [439 206 125 22];
app.TensidecontacteUTEditFieldLabel.Text = 'Tensió de contacte UT';

% Create TensidecontacteUT
app.TensidecontacteUT = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteUT.Editable = 'off';
app.TensidecontacteUT.Position = [657 206 104 22];

% Create Volts_3
app.Volts_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_3.Position = [768 206 25 22];
app.Volts_3.Text = 'V';

% Create CalcularUTButton
app.CalcularUTButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.CalcularUTButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @CalcularUT,
true);
app.CalcularUTButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularUTButton.Position = [566 171 100 22];
```

```
app.CalcularUTButton.Text = 'Calcular';

% Create DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad = uilabel(app.UIFigure);
    app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.HorizontalAlignment =
'center';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.WordWrap = 'on';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontSize = 15;
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontWeight = 'bold';
app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.FontAngle = 'italic';
    app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.Position = [442 121 347
34];

        app.DeterminaciodelatensiodecontacteadmissibleUTpad.Text = '5.
DETERMINACIÓ DE LA TENSIÓ DE CONTACTE ADMISSIBLE UTpad';

% Create TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel
app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel.Position = [442 80 206 22];
    app.TensidecontacteadmissibleUTpadEditFieldLabel.Text = 'Tensió de contacte
admissible UTpad';

% Create TensidecontacteadmissibleUTpad
app.TensidecontacteadmissibleUTpad = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensidecontacteadmissibleUTpad.Position = [663 80 100 22];

% Create Volts_4
app.Volts_4 = uilabel(app.UIFigure);
app.Volts_4.Position = [772 80 25 22];
app.Volts_4.Text = 'V';
```

```
% Create CalcularUTpadButton
app.CalcularUTpadButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CalcularUTpadButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularUTpad, true);
app.CalcularUTpadButton.FontWeight = 'bold';
app.CalcularUTpadButton.Position = [566 45 100 22];
app.CalcularUTpadButton.Text = 'Calcular';

% Create Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte =
uilabel(app.UIFigure);
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Horizontal
Alignment = 'center';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.WordWra
p = 'on';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontSize
= 15;
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontWeig
ht = 'bold';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.FontAngl
e = 'italic';
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Position =
[838 486 347 22];
    app.Comparaciodelatensiodecontacteadmissibleamblatensiodecontacte.Text = '6.
COMPARACIÓ DE UT AMB UTpad';

% Create CompararButton
app.CompararButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
    app.CompararButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CompararButtonPushed, true);
app.CompararButton.FontWeight = 'bold';
app.CompararButton.Position = [962 398 100 22];
```

```
app.CompararButton.Text = 'Comparar';

% Create UTUTpadEditFieldLabel
app.UTUTpadEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UTUTpadEditFieldLabel.Position = [838 440 71 22];
app.UTUTpadEditFieldLabel.Text = 'UT ≤ UTpad';

% Create UTUTpad
app.UTUTpad = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UTUTpad.Position = [916 440 269 22];

% Create Millores
app.Millores = uilabel(app.UIFigure);
app.Millores.BackgroundColor = [1 1 0.302];
app.Millores.HorizontalAlignment = 'center';
app.Millores.WordWrap = 'on';
app.Millores.FontWeight = 'bold';
app.Millores.Visible = 'off';
app.Millores.Position = [851 196 321 162];

app.Millores.Text = {'MILLORES:'; 'Disminuir la resistència de posada a terra amb
un millor elèctrode o resistivitat del terreny, limitar el corrent de falta o limitar els accessos
a les àrees.'};

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';

end

end

% App creation and deletion
methods (Access = public)
```



```
% Construct app
function app = PAT_MX

    % Create UIFigure and components
    createComponents(app)

    % Register the app with App Designer
    registerApp(app, app.UIFigure)

    if nargin == 0
        clear app
    end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end
```

Referències

- [1] P. Simón Comín, F. Garnacho Vecino, J. Moreno Mohíno, i A. González Sanz, *Cálculo y diseño de líneas eléctricas de alta tensión: Aplicación al Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT): Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero*. Madrid: Garceta, 2012.
- [2] G. Buigues Beraza, «Metodología para la detección y localización de faltas en redes de distribución con puesta a tierra activa», Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco. Escuela técnica superior de ingeniería de Bilbao, Bilbao, 2011.
- [3] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23*. 2014, p. 131. [En línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/05/09/337/con>
- [4] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09*. 2008, p. 156. [En línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/02/15/223/con>
- [5] Asociación Española de Normalización, «Líneas eléctricas aéreas de más de 1 kV en corriente alterna. Parte 1: Requisitos generales. Especificaciones comunes.», Asociación Española de Normalización, maig 2017.
- [6] Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 50341-2-6 - Líneas eléctricas aéreas de más de 1 kV en corriente alterna. Parte 2-6: Aspectos Normativos Nacionales para España (basados en la Norma EN 50341-1-2012)», Asociación Española de Normalización, Espanya, maig 2017.
- [7] Iberdrola Distribución Eléctrica, «MT 2.23.35 - Diseño de puestas a tierra en apoyos de LAAT de tensión nominal igual o inferior a 20kV», Iberdrola Distribución Eléctrica, Espanya, feb. 2014.
- [8] Iberdrola Distribución Eléctrica, «MT 2.22.05 - Diseño de puestas a tierra en apoyos de líneas aéreas de alta tensión de tensión nominal 30, 45 y 66 kV sin hilo de tierra», Iberdrola Distribución Eléctrica, Espanya, feb. 2014.
- [9] National Fire Protection Association, *NFPA 70 - National Electrical Code*. 2020, p. 908. [En línea]. Disponible a: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70>
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «Std 142-2007 - Grounding of Industrial and Commercial Power Systems», Estats Units d'Amèrica, 2007.

- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «Std 1863-2019 - Guide for Overhead AC Transmission Line Design», Estats Units d'Amèrica, 2019.
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «Std 80-2013 - Guide for Safety in AC Substation Grounding», Estats Units d'Amèrica, 2013.
- [13] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *National Electrical Safety Code (NESC)*. Estats Units d'Amèrica, 2017.
- [14] The British Standards Institution, *BS7430:2011+A1:2015 - Code of practice for protective earthing of electrical installations*. 2015, p. 98.
- [15] Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 50522 - Puesta a tierra en instalaciones de tensión superior a 1 kV en corriente alterna», Asociación Española de Normalización, Espanya, jul. 2012.
- [16] Comisión Reguladora de Energía, *Acuerdo por el que la Comisión Reguladora de Energía ordena la publicación del proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-018-CRE-2020, Instalaciones eléctricas-Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución-Especificaciones de seguridad*. 2021, p. 159.
- [17] Comisión Reguladora de Energía, *Acuerdo por el que la Comisión Reguladora de Energía ordena la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-018-CRE-2019, Instalaciones de energía eléctrica-Conexión, interconexión, transmisión y distribución-Especificaciones de seguridad y procedimiento para la evaluación de la conformidad*. 2020, p. 118.
- [18] Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 61936-1 - Instalaciones eléctricas de tensión nominal superior a 1 kV en corriente alterna. Parte 1: Reglas comunes», Asociación Española de Normalización, Espanya, set. 2012.
- [19] Asociación Española de Normalización, «UNE-IEC/TS 60479-1 - Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos. Parte 1: Aspectos generales», Asociación Española de Normalización, Espanya, maig 2007.
- [20] J. Moreno Clemente, «Instalaciones de puesta a tierra en centros de transformación». 1991.
- [21] M. Palomar Blázquez, «Estudi d'instal·lacions de posada a terra de sistemes elèctrics», Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 2015.
- [22] G. Rojas, «Manual de sistemas de puesta a tierra», General Distribuidora S.A. (GEDISA), Venezuela, Manual Tècnic, 2007.
- [23] R. Ruelas Gómez, «Teoría y diseño de sistemas de tierras según las normas oficiales mexicanas (NOM) e IEEE», *ELECTRONÍQUEL*.
<https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html>

- [24] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «Std 81-2012 - Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System», Estats Units d'Amèrica, 2012.
- [25] D. Amat González, «Estudio de sobretensiones debidas a cortocircuitos fase-tierra en redes de media tensión para distintos regímenes de neutro.», Projecte Final de Grau, Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [26] J. A. Oncins Baldellou, «Línea Almunia y distribución en media tensión en el núcleo urbano de Almunia de San Juan», Projecte Final de Grau, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2011.
- [27] G. Soria Martínez, «Cálculo y diseño de línea aérea de alta tensión de 132 kV», Projecte Final de Grau, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016.
- [28] R. Olives Piris, «Línea de transporte de energía eléctrica de 220 kV y 200 MVA», Projecte Final de Grau, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 2022.
- [29] J. Escayola i Circuns, «Projecte d'una subestació elèctrica de distribució de 132/25 kV de 40 MVA», Projecte Final de Grau, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 2013.
- [30] J. F. Moreno Molina, «Diseño de subestación transformadora», Projecte Final de Grau, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, 2004.
- [31] Endesa Distribución Eléctrica, S.L.U., «Especificaciones técnicas particulares de subestaciones AT/MT», Endesa Distribución Eléctrica, S.L.U., Espanya, SRZ001, maig 2019.
- [32] R. Horta Bernús, «Corrents de curtcircuit». 2022.
- [33] F. Barrero González, *Sistemas de energía eléctrica*. Extremadura: Thomson, 2004.
- [34] R. Horta Bernús, «Instal·lacions de posada a terra». 2022.
- [35] Ciudad universitaria virtual de San Isidoro, «Estudio de los factores que afectan a la resistencia de un conductor. Práctica virtual». <https://www.cuvsi.com/2014/12/estudio-de-los-factores-que-afectan-la.html>
- [36] D. Trebolle Trebolle, P. Frías Marín, J. M. Maza Ortega, i J. L. Martínez Ramos, «El control de tensión en redes de distribución con Generación Distribuida». 2012.