



**PROYECTO MODIFICADO DE NUEVO
CENTRO DE SECCIONAMIENTO
AUTOMATIZADO DENOMINADO "PI
ASPÁRRENA" Y DE LA DOBLE LSAT DE
ALIMENTACIÓN A 30 KV AL MISMO, EN EL
TÉRMINO MUNICIPAL DE SAN MILLÁN /
DONEMILIAGA PROVINCIA DE ÁLAVA**

**ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA,
TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD**

SITUACIÓN: Polígono 1, Parcela 198

LOCALIDAD: San Millán / Donemiliaga (Álava)

AUTOR DEL PROYECTO: © ALBERTO DE CARLOS ALONSO.

Ingeniero Industrial col nº 2343.

ÍNDICE

ÍNDICE	2
1 ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ANEXO	3
2 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO EN VARIANTE ENTRE CS "PI ASPÁRRENA" Y APOYO N° 88	4
2.1 VERIFICACIÓN DEL CONDUCTOR POR CORTOCIRCUITO.....	4
2.2 VERIFICACIÓN DE LA PANTALLA POR CORTOCIRCUITO.....	6
3 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA CS	8
3.1 DATOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN Y UBICACIÓN	8
3.2 CÁLCULOS	10
3.2.1 CONSIDERACIÓN CON CALZADO.....	10
3.2.2 CONSIDERACIÓN SIN CALZADO.....	13
4 CORRECCIONES RELACIONADAS CON EL CENTRO DE SECCIONAMIENTO EN RESPUESTA AL SEGUNDO REQUERIMIENTO	14
4.1 PLANOS ACOTADOS DE LA ACERA PERIMETRAL DE CS	14
4.2 TENSIÓN DE FALTA Y AISLAMIENTO BT	14
5 CORRECCIONES RELACIONADAS CON EL APOYO N° 88 EN RESPUESTA AL SEGUNDO REQUERIMIENTO	16
5.1 PLANO DE PUESTA A TIERRA DE APOYO N° 88	16
5.2 CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA DEL APOYO N° 88	16
5.2.1 GENERALIDADES.....	16
5.2.2 VALORES ADMISIBLES DE LA TENSIÓN DE CONTACTO APLICADA	16
5.2.3 VALORES DE LAS TENSIONES MÁXIMAS DE CONTACTO Y DE PASO ADMISIBLES PARA LA INSTALACIÓN	18
5.2.4 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	20
6 CONCLUSIÓN	35

1 ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ANEXO

PERFECT BUSINESS LOCATION S.L., con CIF: B-10747947 y domicilio a efecto de notificaciones en Calle Amaya, 12 – 1 DR, Pamplona/Iruña, 31004, Navarra, es promotora del nuevo centro de seccionamiento automatizado denominado "PI ASPÁRRENA" y de la doble LSAT de alimentación a 30 kV al mismo, en el término municipal de San Millán / Donemiliaga, provincia de Álava.

Tras haber presentado los diferentes proyectos a tramitación, así como ir atendiendo las diferentes condiciones de los organismos y entidades aceptadas que han derivado en nuevas separatas y/o proyectos modificados, en julio de 2025 se recibe requerimiento para la corrección de defectos en la documentación presentada por parte del Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco, de la Delegación Territorial de Álava, asignado con número de expediente 01GEY 202300036 y fecha de firma a 4 de julio de 2025.

PERFECT BUSINESS LOCATION S.L., presentó en julio de 2025 un anexo que atendía a dicho requerimiento con el objeto de corregir los defectos correspondientes al "Proyecto modificado de centro de seccionamiento automatizado denominado "PI Aspárrena" y de la doble LSAT de alimentación a 30 kV al mismo, en el término municipal de San Millán / Donemiliaga, provincia de Álava".

Posteriormente, en septiembre de 2025 se recibe un nuevo requerimiento para la corrección de defectos en la documentación presentada por parte del Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco, de la Delegación Territorial de Álava, asignado con número de expediente 01GEY 202300036 y fecha de firma a 15 de septiembre de 2025.

PERFECT BUSINESS LOCATION S.L., a través del presente anexo, atiende los dos requerimientos indicados, al objeto de corregir los defectos correspondientes al "Proyecto modificado de centro de seccionamiento automatizado denominado "PI Aspárrena" y de la doble LSAT de alimentación a 30 kV al mismo, en el término municipal de San Millán / Donemiliaga, provincia de Álava".

Particularmente, se corrigen los siguientes defectos nombrados en el requerimiento 1:

- Cálculo de la intensidad máxima admisible para el cable en cortocircuito. Respondido en apartado 2 "Cálculo de cortocircuito en líneas desde CTPM hasta CS".
- Cálculo del sistema de puesta a tierra del centro de seccionamiento. Respondido en el apartado 3 "Cálculo de puesta a tierra CS"

Particularmente, se corrigen los siguientes defectos nombrados en el requerimiento 2:

- Será obligatoria la presentación de los proyectos suscritos por el titulado competente. Junto con este Anexo, se adjunta el proyecto firmado con su declaración responsable correspondiente firmada.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

- Los anexos a los proyectos también deberán estar firmados.
Se adjuntan los Anexos firmados.
- Se requiere para el proyecto ESO20230028-P4.-CS-Y-VARIANTE-COMPLETO-CON SEPARATAS responder a lo siguiente:
 - Planos acotados con la acera perimetral correspondiente al método de PAT seleccionado y cálculo de tensión que aparece en caso de falta y verificación del nivel de aislamiento de los materiales de BT (punto 5.4.10 de la MT 2.11.33).
 - Cálculos de PAT del apoyo nº 88 y planos de esta y de la acera perimetral en su caso.
Se responde en los apartados 4: "Correcciones relacionadas con el centro de seccionamiento en respuesta al segundo requerimiento" y 5: "Correcciones relacionadas con el apoyo nº 88 en respuesta al segundo requerimiento" de este Anexo.

2 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO EN VARIANTE ENTRE CS "PI ASPÁRRENA" Y APOYO Nº 88

A continuación, se realiza la comprobación de la intensidad de cortocircuito admisible en los circuitos de la variante del CS "PI Aspárrena" hasta el apoyo nº 88.

Se trata de dos circuitos (ida y vuelta) a 30 kV que transportan 5 MW de potencia cada uno. Cada circuito está compuesto por una terna de conductor AL RH5Z1 18/30 kV 3x(1x240)mm² + P-16 Al.

2.1 VERIFICACIÓN DEL CONDUCTOR POR CORTOCIRCUITO

Se verifica que, bajo condición de cortocircuito, el aumento de temperatura de los conductores sea inferior al valor máximo admisible.

De acuerdo con la norma UNE 21192, la mínima sección de cable debido al aumento de temperatura por cortocircuito viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{I_{AD}^2 \cdot t}{K^2 \cdot \ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}} \quad I_{AD} = \sqrt{\frac{K^2 \cdot S^2 \cdot \ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{t}}$$

Siendo:

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

- S [mm²]: Sección transversal del conductor.
- t [s]: Duración del cortocircuito (se considera, $t=1$ s).
- K [As^{1/2}/mm²]: Constante en función del material del componente conductor de corriente.

$$K \left[\frac{A \cdot s^{\frac{1}{2}}}{mm^2} \right] = \sqrt{\frac{\sigma_c \cdot (\beta + 20) \cdot 10^{-12}}{\rho_{20}}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot (228 + 20) \cdot 10^{-12}}{2,8264 \cdot 10^{-8}}} = 148$$

- σ_c [J/K·m³]: Calor específico volumétrico a 20°C del componente conductor de corriente.
- ρ_{20} [Ω·m]: Resistividad eléctrica a 20°C del componente conductor de corriente.
- S [mm²]: Sección transversal del conductor.
- θ_f [°C]: Temperatura final del conductor.
- θ_i [°C]: Temperatura inicial del conductor.
- β [°C]: Inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor de corriente a 0°C.
- I_{AD} [A]: Corriente de cortocircuito (valor cuadrático medio durante t segundos).

$$I_{AD} [A] = \sqrt{\frac{148^2 \cdot 400^2 \cdot \ln\left(\frac{250 + 228}{90 + 228}\right)}{1}} = 37.793 [A]$$

$$I_{AD} = \frac{I}{\varepsilon}$$

- I [A]: intensidad de cortocircuito
- ε : factor que tiene en cuenta la pérdida de calor en los componentes adyacentes.

$$\varepsilon = \sqrt{1 + F \cdot A \cdot \sqrt{\frac{t}{S}} + F^2 \cdot B \cdot \left(\frac{t}{S}\right)} = \sqrt{1 + 0,7 \cdot 0,8162 \cdot \sqrt{\frac{1}{240}} + 0,7^2 \cdot 0,0004 \cdot \left(\frac{1}{240}\right)} = 1,0183$$

$$A \left[\left(\frac{mm^2}{s} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = \frac{C_1}{\sigma_c} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} = \frac{2464}{2,5 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^6}{3,5}} = 0,8162$$

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$B \left[\frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right] = \frac{C_2}{\sigma_c} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} = \frac{1,22}{2,5 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^6}{3,5}} = 0,0004$$

Siendo:

- C1 [mm/m]: constante con valor de 2464 [mm/m].
- C2 [K·m mm²/ J]: constante con valor de 1.22 [K·m mm²/ J].
- F: factor que tiene en cuenta la imperfección de los contactos térmicos entre el conductor o los alambres y los materiales no metálicos adyacentes (0.7 como valor recomendado).
- σ_i [J/K·m³]: calor específico volumétrico de los materiales no metálicos adyacentes.
- ρ_i [K/m·W]: resistividad térmica de los materiales no metálicos adyacentes.

$$I[A] = I_{AD} \cdot \varepsilon = 37.793 \cdot 1,0183 = 38.484,61 [A]$$

$$P_{CC}[MVA] = \sqrt{3} \cdot I \cdot V = \sqrt{3} \cdot 38.484,61 \cdot 30.000 = 1.999 [MVA]$$

Comparando estos valores con los de las potencias de cortocircuito indicados por i-DE en el punto de interconexión a la red de distribución:

Potencias de cortocircuito en punto de interconexión a red de distribución		
	Trifásica (MVA)	Monofásica (MVA)
Mínima habitual:	118	64
Máxima de Diseño:	1.000	466

Observamos que la línea subterránea soporta la intensidad de cortocircuito máxima de diseño de 1.000 MVA.

2.2 VERIFICACIÓN DE LA PANTALLA POR CORTOCIRCUITO

De acuerdo con el punto 6.3 del ITC-LAT 06, la intensidad de cortocircuito admisible en las pantallas de cables con aislamiento seco deberá ser como mínimo 1000 A para 1 s, y la sección transversal deberá ser calculada según la norma UNE 21192.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

La sección transversal mínima del cable que permite transportar la corriente de cortocircuito se determina mediante un procedimiento similar al explicado en el caso del conductor, pero ahora el factor "ε" será:

$$\varepsilon' = 1 + 0,61 \cdot M \cdot \sqrt{t} - 0,069 \cdot (M \cdot \sqrt{t})^2 + 0,0043 \cdot (M \cdot \sqrt{t})^3$$

Donde:

$$M[s^{-1/2}] = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}}\right)}{2 \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot 10^{-3}} \cdot F = \frac{\left(\sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^6}{6}} + \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{3,5}}\right)}{2 \cdot 3,45 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,7 = 0,1371$$

- σ_1 [J/K·m3]: Calor específico volumétrico de la pantalla
- σ_2 y σ_3 [J/K·m3]: Calor específico volumétrico de los materiales adyacentes a la pantalla
- ρ_2 y ρ_3 [K/m·W]: Resistividad térmica específico volumétrico de los materiales adyacentes a la pantalla
- δ [mm]: Espesor de la pantalla
- t [s]: Duración del cortocircuito (en nuestro caso, $t=1$ s)
- F : factor que tiene en cuenta la imperfección de los contactos térmicos entre el conductor o los alambres y los materiales no metálicos adyacentes (0.7 como valor recomendado)

$$\varepsilon' = 1 + 0,61 \cdot 0,1371 \cdot \sqrt{1} - 0,069 \cdot (0,1371 \cdot \sqrt{1})^2 + 0,0043 \cdot (0,1371 \cdot \sqrt{1})^3 = 1,0823$$

Retomando lo indicado por la UNE 21192, el cálculo de la corriente de cortocircuito máxima vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$I'_{AD} = \sqrt{\frac{K'^2 \cdot S'^2 \cdot \ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{t}}$$

Siendo:

- S' [mm2]: Sección transversal de la pantalla.
- t [s]: Duración del cortocircuito (se considera, $t=1$ s).
- K [As^{1/2}/mm2]: Constante en función del material del componente conductor de corriente.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$K' \left[\frac{A \cdot s^{\frac{1}{2}}}{mm^2} \right] = \sqrt{\frac{\sigma_c \cdot (\beta + 20) \cdot 10^{-12}}{\rho_{20}}} = \sqrt{\frac{3,45 \cdot 10^6 \cdot (234,5 + 20) \cdot 10^{-12}}{1,7241 \cdot 10^{-8}}} = 226$$

- σ_c [J/K·m³]: Calor específico volumétrico a 20°C de la pantalla.
- ρ_{20} [Ω·m]: Resistividad eléctrica a 20°C de la pantalla.
- S [mm²]: Sección transversal de la pantalla.
- θ_f [°C]: Temperatura final de la pantalla.
- θ_i [°C]: Temperatura inicial de la pantalla.
- β [K]: Inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura de la pantalla a 0°C.
- I_{AD} [A]: Corriente de cortocircuito (valor cuadrático medio durante t segundos).

$$I'_{AD} = \sqrt{\frac{226^2 \cdot 25^2 \cdot \ln\left(\frac{250 + 234,5}{80 + 234,5}\right)}{1}} = 3.714 \text{ [A]}$$

$$I' \text{ [A]} = I'_{AD} \cdot \varepsilon = 3.714 \cdot 1,0823 = 4.019 \text{ [A]}$$

3 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA CS

3.1 DATOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN Y UBICACIÓN

Diseñar el sistema de puesta a tierra de protección de un Centro de Transformación Protección y medida prefabricado de hormigón, emplazado en la superficie, de dimensiones en de envolvente en planta, 2,38 m x 6,08 m.

Datos necesarios:

- Tensión nominal de la línea: $U_n = 30 \text{ kV}$
- Intensidad máxima de falta a tierra: $I_{1f} = 9000 \text{ A}$

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Tabla 5. Intensidades máximas de puesta a tierra e impedancias equivalentes para cada nivel de tensión y tipo de puesta a tierra de la ST.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tipo de puesta a tierra **	Reactancia equivalente X_{LTH} (Ω)	Intensidad máxima de corriente de defecto a tierra * (A)
13,2	Rígido	1,863	4500
13,2	Reactancia 4 Ω	4,5	1863
15	Rígido	2,117	4500
15	Reactancia 4 Ω	4,5	2117
20	Zig-Zag 500A	25,4	500
20	Zig-Zag 1000A	12,7	1000
20	Reactancia 5,2 Ω	5,7	2228
30	Zig-Zag 1000 A	2,117	9000

- Resistividad del terreno: $\rho=300 \Omega.m$
- Características de actuación de las protecciones: $I'_{1F}.t=2200$

Tabla 6. Característica de actuación de las protecciones en caso de defecto a tierra.

Característica de actuación de las protecciones	U_n (kV)
$I'_{1F}.t = 400$	≤ 20 kV
$I'_{1FP}.t = 400$	
$I'_{1F}.t = 2200$	30 kV
$I'_{1FP}.t = 2200$	

- Tipo de pantallas de los cables: Conectada
- Número de centros de transformación conectados a través de pantallas: N=2
- Valor máximo de la resistencia a tierra: $R_{max}=60 \Omega$

Tabla 4. Valores máximos de la resistencia a tierra en Centros de Transformación.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Conexión de las pantallas	Máximo valor de la resistencia de puesta a tierra (Ω)
≤ 20 kV	Desconectado	50
	Conectado	100
30 kV	Desconectado	30
	Conectado	60

3.2 CÁLCULOS

3.2.1 CONSIDERACIÓN CON CALZADO

- Electrodo utilizado:

Los cálculos de comprobación de puesta a tierra se realizarán considerando un electrodo de puesta a tierra será de 4 x 8 m.

Tabla A1.1.2 Centros de Transformación prefabricados de hormigón de superficie (CTS) y Centros de Seccionamiento independientes (CSI). Tensión nominal 30 kV. $I_{1FP} < 5000$ A. Pantallas de los cables: conectado a un Centro de Transformación. Accesibilidad: con calzado.

Designación del electrodo	ρ max ($\Omega.m$)				K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$	$K_{p,t-t}$ $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$	$K_{p,a-t}$ $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
	N=3	N=7	N=14	N=22			
CPT-CT-A-(4x8)+8P2	100	200	400	600	0,06488	0,01329	0,03140

Por tanto, para el electrodo utilizado **CPT-CT-A-(4x8)+8P2:**

$K_r = 0,06488$ ($\Omega / \Omega.m$)
 $K_{p,t-t} = 0,01329$ ($V / (\Omega.m).A$)
 $K_{p,a-t} = 0,03140$ ($V / (\Omega.m).A$)
 $K_r' = 0,088$ ($\Omega / \Omega.m$)

- Resistencia de tierra del CS

$$R_T = K_r * \rho = 0,06488 * 300 = 19,464 \Omega$$

- r_E

$$R_{pant} = \frac{\rho * K_r'}{N} = \frac{300 * 0,088}{2} = 13,2 \Omega$$

$$R_{TOT} = \frac{R_T * R_{pant}}{R_T + R_{pant}} = \frac{19,464 * 13,2}{19,464 + 13,2} = 7,866 \Omega$$

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} = \frac{7,866}{19,464} = 0,4$$

- Reactancia equivalente de la subestación

$$X_{LTH} = 2,117 \Omega$$

- Cálculo de la intensidad de la corriente de defecto a tierra

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$I'_{1Fp} = \frac{1,1 * U_n}{r_E * \sqrt{3} * \sqrt{R_T^2 + (\frac{X_{LTH}}{r_E})^2}} = \frac{1,1 * 30000}{0,4 * \sqrt{3} * \sqrt{19,464^2 + (\frac{2,117}{0,4})^2}} = 2361,57 A$$

- Cumplimiento del requisito correspondiente a la tensión de contacto

Con objeto de evitar el riesgo por tensión contacto en el exterior, se emplazará en la superficie, una acera perimetral de hormigón a 1,2 m de las paredes del Centro de Transformación y del transformador de potencia. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallazo se conectará a un punto a la puesta a tierra de protección del Centro de Transformación.

Con objeto de evitar el riesgo por tensión de paso y contacto en el interior, en el piso del Centro de Transformación se instalará un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formado una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos, preferentemente opuestos, a la puesta a tierra de protección del centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esté sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm de espesor como mínimo.

- Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación

- a) Con los dos pies en el terreno:

$$K_{p.t-t}=0,01329 \text{ (V/(} \Omega \cdot \text{m).A)}$$

$$U'_{p1} = K_{p.t-t} * \rho * I_E = K_{p.t-t} * \rho * r_E * I'_{1Fp}$$

$$=0,01329*300*0,4*2361,57=3766,23 \text{ V}$$

- b) Con un pie en la acera y otro terreno

$$K_{p.a-t}=0,03140 \text{ (V/(} \Omega \cdot \text{m).A)}$$

$$U'_{p2} = K_{p.a-t} * \rho * I_E = K_{p.a-t} * \rho * r_E * I'_{1Fp}$$

$$=0,03140*300*0,4*2361,57=8898,40 \text{ V}$$

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona

- c) Con los dos pies en el terreno:

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$U'_{Pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{Z_b}} (V) = \frac{3766,23}{1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 300}{1000}} = 553,86 V$$

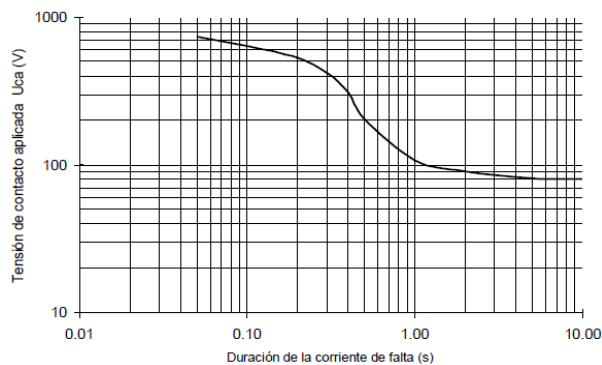
d) Con un pie en la acera y otro en el terreno:

$$U'_{Pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_S^*}{Z_b}} = \frac{8898,40}{1 + \frac{2 * 2000 + 3 * 3000}{1000}} = 635,6 V$$

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones).

$$t = \frac{2200}{2361,57} = 0,93 s$$

- Determinación de la tensión de paso admisible establecida por el RLAT



ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Tabla 2. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F

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
0.60	185
0.70	165
0.80	146
0.9	126
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Según la figura 3, como $U_{pa}=10*U_{ca}$, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no será superior a 1200 V, para el tiempo especificado de 0,93 s.

- Verificación del cumplimiento con la tensión de paso.

Como, $U'_{pa1}=563,61 < 1200$ V y $U'_{pa2}=646,79 < 1200$ V, el electrodo considerado, CPT-CT-A-(4x8) + 8P2, cumple con el requisito reglamentario. Además, el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $R_T=19,464 \Omega$, valor inferior al exigido de 60 Ω .

3.2.2 CONSIDERACIÓN SIN CALZADO

- Electrodo utilizado:

CPT-CT-A-(4x8)+8P2:

Kr= 0,06488 ($\Omega/ \Omega.m$)

Kp.t-t=0,01329 ($V/(\Omega.m).A$)

Kp.a-t= 0,03140 ($V/(\Omega.m).A$)

Kr'=0,088 ($\Omega/ \Omega.m$)

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona:
 - e) Con los dos pies en el terreno:

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$U'_{Pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{6\rho_s}{Z_b}} (V) = \frac{3832,56}{1 + \frac{6 * 300}{1000}} = 1368,77 V$$

f) Con un pie en la acera y el otro en el terreno:

$$U'_{Pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s}{Z_b}} (V) = \frac{9055,1}{1 + \frac{3 * 300 + 3 * 3000}{1000}} (V) = 830,74 V$$

Como, $U'_{pa1}=553,86 < 1200 V$ y $U'_{pa2}=635,6 < 1200 V$, el electrodo considerado, CPT-CT-A-(4x8) + 8P2, cumple con el requisito reglamentario. Además, el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $R_T=19,464 \Omega$, valor inferior al exigido de 60Ω .

4 CORRECCIONES RELACIONADAS CON EL CENTRO DE SECCIONAMIENTO EN RESPUESTA AL SEGUNDO REQUERIMIENTO

4.1 PLANOS ACOTADOS DE LA ACERA PERIMETRAL DE CS

Al final de este documento, en el Anexo: "Planos", se adjunta el plano de la puesta a tierra calculada para el centro de seccionamiento. La comprobación de la puesta a tierra se realizó para una configuración de electrodo **CPT-CT-A-(4x8)+8P2**, con unas dimensiones de 4x8 metros. Las dimensiones de la puesta a tierra mostrada en el plano adjunto son de 8,08x4,38 metros, con lo que muestra una geometría muy similar a la calculada. En el plano se muestra también la acera perimetral acotada, según lo requerido.

4.2 TENSIÓN DE FALTA Y AISLAMIENTO BT

En este apartado se verificará que la tensión que aparece en la instalación en caso de falta sea inferior a la tensión de aislamiento de los cuadros BT del Centro de Seccionamiento, en este caso 20 kV.

La tensión que aparece en caso de falta (V) depende de la intensidad de corriente de defecto a tierra (I'_{1Fp}) y el paralelo de las resistencias del centro de seccionamiento y del resto de centros de transformación conectados a través de las pantallas de los cables (R_{TOT}).

$$V = I'_{1Fp} \cdot R_{TOT}$$

Siendo I'_{1Fp} la intensidad de la corriente de defecto a tierra.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$I'_{1Fp} = \frac{1,1 * U_n}{r_E * \sqrt{3} * \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} = \frac{1,1 * 30000}{0,4 * \sqrt{3} * \sqrt{19,464^2 + \left(\frac{2,117}{0,4}\right)^2}} = 2361,57 \text{ A}$$

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} = \frac{7,866}{19,464} = 0,4$$

$$R_T = \rho \cdot k_r = 300 \cdot 0,06488 = 19,464 \Omega$$

Siendo R_{TOT} el paralelo de las resistencias del Centro de Seccionamiento y del resto de Centros de Transformación conectados a través de las pantallas de los cables.

$$R_{TOT} = \frac{R_T * R_{pant}}{R_T + R_{pant}} = \frac{19,464 * 13,2}{19,464 + 13,2} = 7,866 \Omega$$

Resultando la tensión que aparece en caso de falta:

$$V = I'_{1Fp} \cdot R_{TOT} = 2361,57 \cdot 7,866 = 18576,11 \text{ V}$$

Por lo que el aislamiento BT de 20 kV es suficiente para soportar la tensión en caso de falta.

5 CORRECCIONES RELACIONADAS CON EL APOYO N° 88 EN RESPUESTA AL SEGUNDO REQUERIMIENTO

Nota aclaratoria: el cálculo y modificaciones del apoyo n° 88 es responsabilidad de la compañía distribuidora, no obstante, se adjunta el cálculo y planos de la puesta a tierra para un apoyo genérico de dimensiones similares a las del apoyo que se utilizará.

5.1 PLANO DE PUESTA A TIERRA DE APOYO N° 88

En el Anexo: planos, al final de este documento se adjunta el plano de la puesta a tierra del apoyo n° 88.

5.2 CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA DEL APOYO N° 88

5.2.1 GENERALIDADES

El sistema de puesta a tierra está constituido por uno o varios electrodos de puesta a tierra enterrados en el suelo y por la línea de tierra que conecta dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra empleados son de material, diseño, dimensiones, colocación en el terreno y número apropiados para la naturaleza y condiciones del terreno, de modo que garanticen una tensión de contacto dentro de los niveles aceptables.

A falta de realizar un estudio geotécnico detallado, se considera una resistividad del terreno de 300 Ω .m.

5.2.2 VALORES ADMISIBLES DE LA TENSIÓN DE CONTACTO APLICADA

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese tocándolas, podría circular a través de él una corriente peligrosa. En la ITC-LAT 07 del RLAT, se establecen los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, Uca, a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta. Estos valores se dan en la figura 1:

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

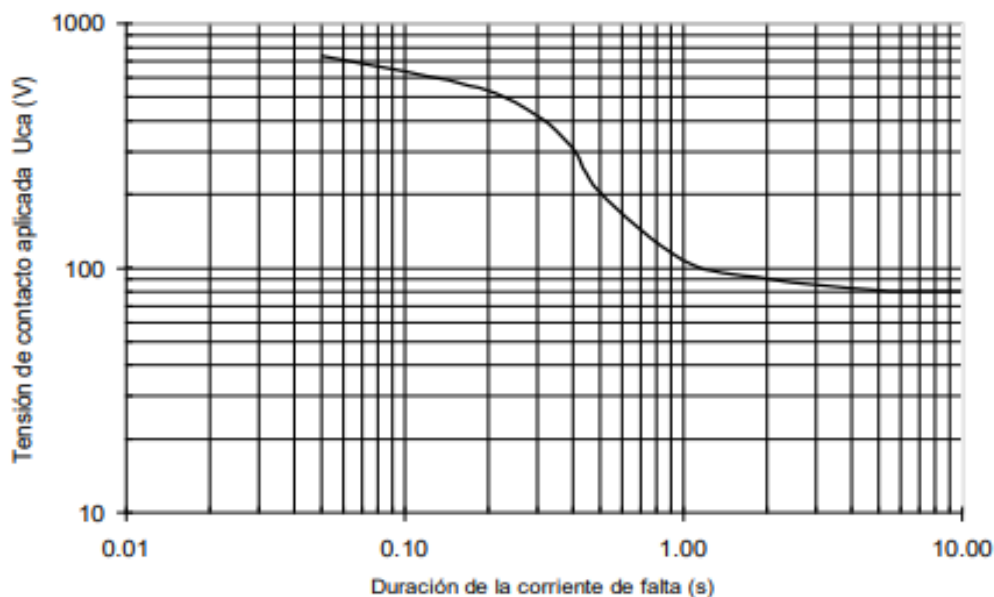


Figura 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta.

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
0,60	185
0,70	165
0,80	146
0,9	126
1,00	107
2,00	90
5,00	81
10,00	80
> 10,00	50

Se aplicará una tensión de contacto admisible de 204 V, correspondiente a un tiempo de duración de falta de 0,5 s.

Para las tensiones de paso no es necesario definir valores admisibles, ya que los valores admisibles de las tensiones de paso aplicadas son mayores que los valores admisibles en las tensiones de contacto

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

aplicadas. Cuando las tensiones de contacto calculadas sean superiores a los valores máximos admisibles, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas.

5.2.3 VALORES DE LAS TENSIONES MÁXIMAS DE CONTACTO Y DE PASO ADMISIBLES PARA LA INSTALACIÓN

La ITC-LAT 07 del RLAT establece las máximas tensiones de contacto admisibles en la instalación, U_c . Para determinar las máximas tensiones de contacto admisibles, U_c , se emplea la siguiente expresión:

$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] (V)$$

Donde:

- U_c , es la máxima tensión de contacto admisible en la instalación en V.
- U_{ca} , es la tensión de contacto aplicada admisible, tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies (tabla 1).
- R_{a1} , es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2.000 Ω .
- R_{a2} , es, la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2} = 3 \cdot \rho_s$, siendo ρ_s la resistividad del suelo cerca de la superficie.
- Z_B , es la impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1.000 Ω .

Resultando:

$$U_{c,admisible} = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] = 204 \left[1 + \frac{2000 + 3 \cdot 300}{2 \cdot 1000} \right] = 499,8 A$$

Para poder identificar los apoyos en los que se debe garantizar los valores admisibles de las tensiones de contacto, en la ITC-LAT 07 del RLAT se establece la definición de apoyo no frecuentado de la siguiente forma:

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

El apoyo nº 88 es un apoyo con conversión A/S sin elementos de seccionamiento, pero se ubica a escasos metros de un carril bici, con lo que a efectos del cálculo de su puesta a tierra, se considerará como apoyo frecuentado.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, los apoyos frecuentados podrán considerarse exentos del cumplimiento de las tensiones de contacto en los siguientes casos:

1. Cuando se aíslen los apoyos de tal forma que todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de 1,25 m, utilizando para ello vallas aislantes.
2. Cuando todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de 1,25 m, debido a agentes externos (orografía del terreno, obstáculos naturales, etc).
3. Cuando el apoyo esté recubierto por placas aislantes o protegido por obra de fábrica de ladrillo hasta una altura de 2,5 m, de forma que se impida la escalada al apoyo.

En estos casos, no obstante, se debe garantizar que se cumplan las tensiones de paso aplicadas especificadas en el ITC-RAT 13.

La máxima tensión de paso admisible en la instalación, U_p se determina con la siguiente expresión:

$$U_{p\ t-t,admisible} = U_{pa} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b} \right] (V)$$

Donde:

- **Up**, es la máxima tensión de paso admisible en la instalación en V.
- **Upa**, es la tensión de paso aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies.

$$U_{pa} = 10 \cdot \frac{K}{t^n} = 10 \cdot \frac{72}{0,5^1} = 1440 V$$

- K=72 y n=1 para tiempos inferiores a 0,9 segundos.
- K=78,5 y n=0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos.
- t=duración de la falta en segundos.
- **Ra1**, es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2.000 Ω.
- **Ra2**, es, la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $Ra2 = 3 \cdot \rho_s$, siendo ρ_s la resistividad del suelo cerca de la superficie.
- **ZB**, es la impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1.000 Ω.
- **ps***, es la resistividad de la capa superficial (material constituyente de la acera perimetral, normalmente de hormigón de serie HM-20B20, equivalente a una resistencia característica mínima de 200 daN/cm²). El valor considerado para el hormigón es de 3.000 Ω.m.

Resultando:

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$U_{p\ t-t,admissible} = U_{pa} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b} \right] = 1440 \left[1 + \frac{2 \cdot 2000 + 2 \cdot 900}{1000} \right] = 9792\ V$$

En el caso de que una persona esté pisando con un pie la acera perimetral y con otro el terreno, la tensión de paso de acceso máxima admisible tiene como valor:

$$\begin{aligned} U_{p\ a-t,admissible} &= 10 \cdot \frac{K}{t^n} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b} \right] = 1440 \left[1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 300 + 3 \cdot 3000}{1000} \right] \\ &= 21456\ (V) \end{aligned}$$

5.2.4 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La verificación del sistemas de puesta a tierra empleados para apoyos de líneas aéreas frecuentados con calzado, sigue el procedimiento que se describe a continuación:

1) Establecimiento de las características del suelo

El establecimiento de las características del suelo significa obtener la resistividad del terreno. Este valor puede ser obtenido de dos formas:

- Según se especifica en el ITC-RAT13, en función de la naturaleza del terreno, para el caso de instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA.
- Utilizando alguno de los métodos sancionados por la práctica para su medida, como es el método de Wenner.

A efectos de los cálculos de puesta a tierra del apoyo nº 88, se considera una resistividad del terreno de 300 Ω .m.

2) Elección del sistema de puesta a tierra y cálculo de la resistencia de tierra

La configuración del electrodo a emplear para su utilización en el caso de líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado, según la forma de la cimentación será.

- **Apoyos con cimentación monobloque.**

Con objeto de evitar el riesgo por tensión de contacto, se emplazará una acera perimetral de hormigón de serie HM-20/B/20, equivalente a una resistencia característica mínima de 200 daN/cm², a 1,2 m de la cimentación del apoyo. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallado se conectará a un punto a la puesta a tierra de protección del apoyo.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

El electrodo principal de tierra se realizará mediante un bucle perimetral con la cimentación, cuadrado, a una distancia horizontal de 2 m. como mínimo del borde de la cimentación, formado por conductor de cobre de 50 mm² de sección, enterrado como mínimo a 1 m de profundidad, al que se conectarán en cada uno de sus vértices y en el centro de cada lado, ocho picas de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro, al que se conectarán picas, bien en hilera separadas 3 m entre sí, o siguiendo la periferia del apoyo completando sucesivos anillos (véase figura 4). En todo caso la resistencia de puesta a tierra presentada por el electrodo, en ningún caso debe ser superior a los valores indicados en la tabla 6.

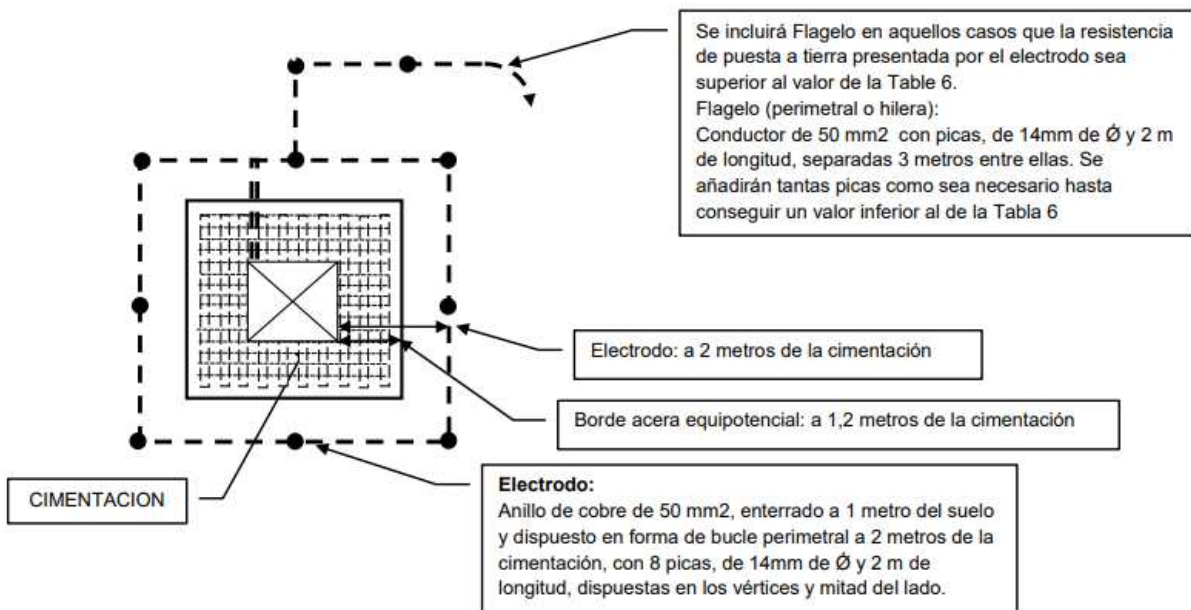


Figura 4. Configuración del electrodo de puesta a tierra para apoyos frecuentados con calzado en cimentaciones monobloque (Torres C y serie S1)

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Designación del electrodo	Dimensiones del electrodo (anillo perimetral con la cimentación) (m)
CPT-LA-1A-5+8P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+1P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+2P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+3P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+4P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+5P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+6P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+8P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+10P2	5 x 5
CPT-LA-1A-5+8P2+F+12P2	5 x 5
CPT-LA-1A-6+8P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+1P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+2P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+3P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+5P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+6P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+7P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+9P2	6 x 6
CPT-LA-1A-6+8P2+F+11P2	6 x 6
CPT-LA-1A-7+8P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+1P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+2P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+3P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+4P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+5P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+6P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+7P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+8P2	7 x 7
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	7 x 7

Tipos de electrodos utilizados en líneas aéreas para apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque.

Se utilizará un electrodo de 5 metros de lado compuesto por 8 picas de 2 metros de longitud.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

El valor máximo de la resistencia de puesta a tierra para un apoyo frecuentado con calzado se muestra en la tabla a continuación:

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Máximo valor de la resistencia de puesta a tierra (Ω)
30	30
45	50
66	70

Valores máximos de la resistencia a tierra en apoyos frecuentados.

Los valores de resistencia indicados anteriormente deben de confirmarse con medidas en el terreno sin recurrir a rellenos diferentes del propio terreno.

Los valores de la resistencia de puesta a tierra correspondientes a la configuración del electrodo de puesta a tierra se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_r , por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$.

En la tabla a continuación se muestran los valores K_r para las diferentes configuraciones de apoyos frecuentados con calzado.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Designación del electrodo	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$
CPT-LA-1A-5+8P2	0,0708
CPT-LA-1A-5+8P2+F+1P2	0,0633
CPT-LA-1A-5+8P2+F+2P2	0,0578
CPT-LA-1A-5+8P2+F+3P2	0,0530
CPT-LA-1A-5+8P2+F+4P2	0,0488
CPT-LA-1A-5+8P2+F+5P2	0,0450
CPT-LA-1A-5+8P2+F+6P2	0,0421
CPT-LA-1A-5+8P2+F+8P2	0,0370
CPT-LA-1A-5+8P2+F+10P2	0,0330
CPT-LA-1A-5+8P2+F+12P2	0,0299
CPT-LA-1A-6+8P2	0,0647
CPT-LA-1A-6+8P2+F+1P2	0,0573
CPT-LA-1A-6+8P2+F+2P2	0,0529
CPT-LA-1A-6+8P2+F+3P2	0,0489
CPT-LA-1A-6+8P2+F+5P2	0,0423
CPT-LA-1A-6+8P2+F+6P2	0,0395
CPT-LA-1A-6+8P2+F+7P2	0,0372
CPT-LA-1A-6+8P2+F+9P2	0,0332
CPT-LA-1A-6+8P2+F+11P2	0,0300
CPT-LA-1A-7+8P2	0,0582
CPT-LA-1A-7+8P2+F+1P2	0,0525
CPT-LA-1A-7+8P2+F+2P2	0,0489
CPT-LA-1A-7+8P2+F+3P2	0,0455
CPT-LA-1A-7+8P2+F+4P2	0,0424
CPT-LA-1A-7+8P2+F+5P2	0,0397
CPT-LA-1A-7+8P2+F+6P2	0,0374
CPT-LA-1A-7+8P2+F+7P2	0,0352
CPT-LA-1A-7+8P2+F+8P2	0,0334
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	0,0301

Coefficiente de resistencia de puesta a tierra K_r para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque.

Como se observa en la tabla, el valor k_r para la configuración escogida es:

$$K_r = 0,0708 \Omega/\Omega.m.$$

A continuación determinamos la resistencia de la puesta a tierra:

$$R_T = \rho \cdot k_r = 300 \cdot 0,0708 = 21,24 \Omega$$

Por lo que se cumple el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Posteriormente, tras realizar la comprobación in-situ de la resistencia de puesta a tierra, en caso de determinarse una resistencia del electrodo superior a 30Ω , se incluirá el flagelo de puesta a tierra hasta obtener una resistencia de puesta a tierra inferior a 30Ω .

3) Cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra

Para el cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra se tiene en cuenta que el tipo de defecto a tierra es monofásico, tomando las intensidades máximas en los distintos niveles de tensión existentes en la instalación.

La intensidad de defecto a tierra depende, entre otros parámetros, de:

- La impedancia de puesta a tierra de servicio de la subestación (en adelante ST).
- La tolerancia de la impedancia de puesta a tierra de servicio de la ST.
- La impedancia del transformador de la ST.
- La tensión máxima del transformador de la ST.
- La propia impedancia de puesta a tierra de protección en el apoyo.
- La corriente que se deriva por las pantallas de los cables subterráneos o por los hilos de guarda de las líneas aéreas.

Para el diseño de la instalación de puesta a tierra de un apoyo, se parte de la intensidad máxima de defecto a tierra, sin considerar el valor de la impedancia de la puesta a tierra de protección del apoyo, puesto que, inicialmente, se desconoce.

Para calcular la intensidad máxima de defecto a tierra, teniendo en cuenta la impedancia de puesta a tierra de servicio de la ST y del apoyo, es necesario conocer el equivalente Thévenin para fallo monofásico de la red.

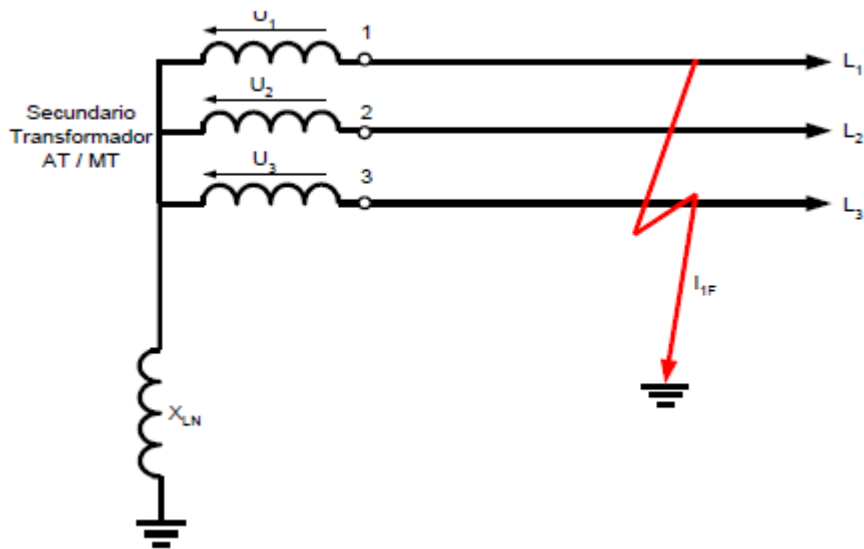
Con este fin, se considerará que la corriente de puesta a tierra es igual a la corriente de defecto, es decir, que toda la corriente de defecto circula por el electrodo de puesta a tierra, despreciando la corriente que se deriva por las pantallas de los cables o los hilos de guarda, si estos existieran.

Equivalentes Thévenin para fallo monofásico a tierra

Los distintos sistemas de puesta a tierra de servicio en la red de distribución de Media Tensión de Iberdrola, dan lugar a un circuito equivalente Thévenin para el fallo monofásico. A continuación, se representan los circuitos trifilares y los circuitos equivalentes Thévenin.

El circuito trifilar del lado de Media Tensión del transformador de la ST para los distintos sistemas de puesta a tierra de Iberdrola se puede unificar en el representado en la figura a continuación.

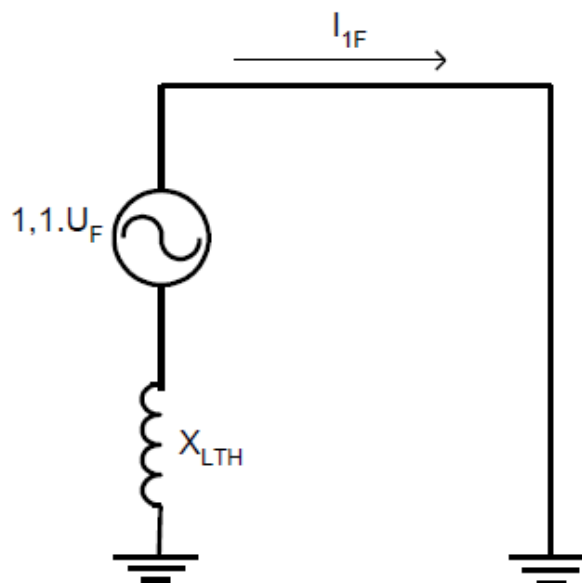
ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD



Esquema unifilar con estrella puesta a tierra por reactancia, lado de MT de ST

El equivalente Thevenin correspondiente a un fallo monofásico se representa en la siguiente figura. Se considera el factor de tensión $c=1,1$, según Norma UNE-EN 60909-1. Este factor tiene en cuenta:

- La variación de la tensión en el espacio y en el tiempo.
- Tolerancia "negativa" de la impedancia de puesta a tierra, etc.
- La variación en la posición de las tomas de regulación de tensión de los transformadores.
- El comportamiento subtransitorio de los alternadores y motores.



ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad de falta a tierra máxima con neutro puesto a tierra por reactancia.

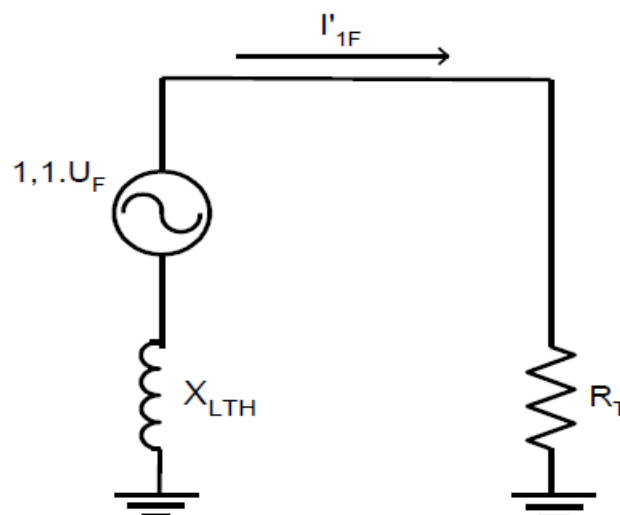
A continuación se definen, para los diferentes sistemas de puesta a tierra adoptados por Iberdrola en cada una de las subestaciones, los valores adoptados para la corriente máxima de defecto a tierra, empleados para la verificación de las configuraciones tipo de los sistemas de puesta a tierra descritos anteriormente.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tipo de puesta a tierra	Reactancia equivalente X_{LTH} (Ω)	Intensidad máxima de corriente de defecto a tierra (A)
30	Zig-Zag 1000 A	2,117	9.000
45	Rígido a tierra	1,143	25.000
66	Rígido a tierra	1,677	25.000

Intensidades máximas de puesta a tierra e impedancias equivalentes para cada nivel de tensión y tipo de puesta a tierra de la ST

4) Cálculo de las intensidad de la corriente de puesta a tierra en el apoyo

Para el cálculo de las intensidades de las corrientes de defecto a tierra y de puesta a tierra (en nuestro caso la misma), se ha de tener en cuenta la forma de conexión del neutro a tierra en la ST, la configuración y características de la red durante el período subtransitorio y la resistencia de puesta a tierra del electrodo considerado, R_T de la figura siguiente.



ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad máxima de defecto a tierra en redes con puesta a tierra por reactancia, teniendo en cuenta la impedancia de PAT de protección del apoyo RT.

Para garantizar el diseño correcto de la puesta a tierra de los apoyos no frecuentados, tal como indica el apartado 7.3.4.3 de la ITC LAT- 07 del RLAT, se debe de cumplir que la línea esté provista con desconexión automática inmediata (en un tiempo inferior a 1 segundo) para su protección.

La característica de actuación de las protecciones instaladas en las líneas aéreas de Iberdrola de tensión nominal 30 kV garantiza la actuación de las protecciones en un tiempo, t , inferior al determinado por las relaciones siguientes:

$$I'_{1F} \cdot t = 2200, \text{ para línea de } Un = 30 \text{ kV}$$

siendo I'_{1F} , la intensidad de la corriente de defecto a tierra, en amperios y t , el tiempo de actuación de las protecciones en segundos.

Para las intensidades máximas de la corriente de defecto a tierra indicadas en la tabla de intensidades máximas de puesta a tierra ($I'_{1F} = I_{1F}$), las protecciones instaladas actúan en un tiempo inferior a 1 s.

Nótese que el tiempo de actuación variará en función de la intensidad de defecto a tierra y la curva de relé, pero en ningún caso superará los 10 s.

Consideraremos un valor de I'_{1F} máximo correspondiente a un tiempo de actuación de las protecciones de 0,5 segundos, con lo que aplicando la relación anterior resulta una $I'_{1F} = 4400$ A.

Los puntos 5 a 11, que a continuación se describen se utilizarán para verificar los sistemas de puesta a tierra empleados en apoyos frecuentados.

5) Verificación del sistema de puesta a tierra elegido

Los estudios realizados con los electrodos anteriormente indicados, utilizando las intensidades de defecto a tierra y los tiempos de actuación de las protecciones propios de las redes de Iberdrola y para resistividades del terreno entre 200 y 1000 $\Omega \cdot m$, demuestran que es imposible cumplir con el valor reglamentario de la tensión de contacto si no se recurre a medidas adicionales de seguridad.

A fin de reducir los riesgos a las personas y los bienes se recurre al empleo de medidas adicionales, tal como establece la ITC-LAT 07 del RLAT. En este caso se ha considerado:

- Para apoyos con cimentación monobloque, una acera perimetral de hormigón de serie HM-20/B/20, equivalente a una resistencia característica mínima de 200 daN/cm², a 1,2 m de la cimentación del apoyo. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallado se conectará a un punto a la puesta a tierra de protección del apoyo.

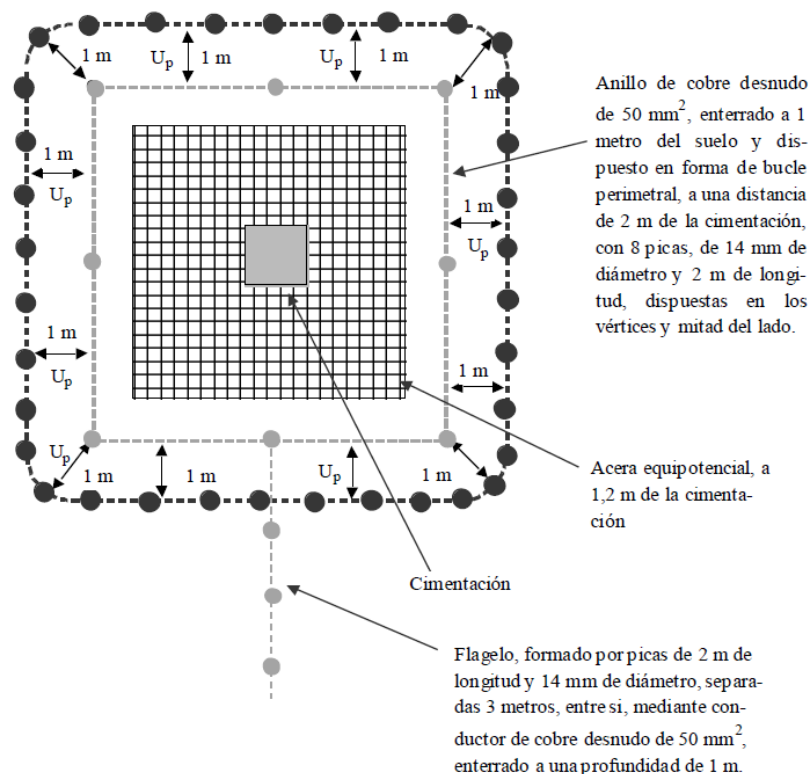
Al adoptar esta medida adicional, no será necesario calcular la tensión de contacto aplicada ya que es cero, pero será necesario cumplir con los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas. Para ello deberá tomarse como referencia lo establecido en la ITC-RAT 13.

6) Verificación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación, al adoptar la medida adicional

Aplicando el método de Howe, se determina la tensión de paso máxima que aparece en la instalación. En este caso se determinarán dos valores de la tensión de paso:

a. Tensión de paso máxima en las proximidades del electrodo, con los dos pies en el terreno.

En la figura a continuación se indican los puntos donde se deben de obtener los valores de la tensión de paso, U_p , con los dos pies en el terreno, seleccionando posteriormente el valor máximo de los obtenidos.



Los valores máximos de la tensión de paso, en voltios, con los dos pies en el terreno, para cada configuración, se pueden obtener multiplicando el coeficiente Kp , indicado en la tabla a continuación, por

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$ y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra $I'IF$, en amperios.

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A} \right)$
CPT-LA-1A-5+8P2	0,0091
CPT-LA-1A-5+8P2+F+1P2	0,00854
CPT-LA-1A-5+8P2+F+2P2	0,00764
CPT-LA-1A-5+8P2+F+3P2	0,00687
CPT-LA-1A-5+8P2+F+4P2	0,00626
CPT-LA-1A-5+8P2+F+5P2	0,00578
CPT-LA-1A-5+8P2+F+6P2	0,00536
CPT-LA-1A-5+8P2+F+8P2	0,00468
CPT-LA-1A-5+8P2+F+10P2	0,00415
CPT-LA-1A-5+8P2+F+12P2	0,00372
CPT-LA-1A-6+8P2	0,00784
CPT-LA-1A-6+8P2+F+1P2	0,00741
CPT-LA-1A-6+8P2+F+2P2	0,00671
CPT-LA-1A-6+8P2+F+3P2	0,00609
CPT-LA-1A-6+8P2+F+5P2	0,00514
CPT-LA-1A-6+8P2+F+6P2	0,00479
CPT-LA-1A-6+8P2+F+7P2	0,00449
CPT-LA-1A-6+8P2+F+9P2	0,00397
CPT-LA-1A-6+8P2+F+11P2	0,00357
CPT-LA-1A-7+8P2	0,00691
CPT-LA-1A-7+8P2+F+1P2	0,00655
CPT-LA-1A-7+8P2+F+2P2	0,006
CPT-LA-1A-7+8P2+F+3P2	0,00548
CPT-LA-1A-7+8P2+F+4P2	0,00504
CPT-LA-1A-7+8P2+F+5P2	0,00467
CPT-LA-1A-7+8P2+F+6P2	0,00436
CPT-LA-1A-7+8P2+F+7P2	0,00409
CPT-LA-1A-7+8P2+F+8P2	0,00386
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	0,00346

Coefficiente de tensión de paso K_p , para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque, con los dos pies en el terreno.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Como se observa en la tabla, el valor k_p en apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque, con los dos pies en el terreno para la configuración escogida es:

$$K_r=0,0091 \Omega/\Omega.m.A$$

El valor máximo de la tensión de paso, en voltios, con los dos pies en el terreno, se obtiene multiplicando el coeficiente K_p , indicado en la tabla anterior, por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$ y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra I'_{1F} , en amperios.

Resultando:

$$U_p = k_{p\ t-t} \cdot \rho \cdot I'_{1F} = 0,0091 \cdot 300 \cdot 4400 = 12012 V$$

b. Tensión de paso con un pié en la acera y otro en el terreno

El valor de la tensión de paso con un pié en la acera y otro en el terreno coincide con la tensión de paso de acceso, de forma que un pié estaría a la tensión de puesta a tierra del apoyo y el otro pié sobre el terreno a 1 m de distancia de la acera.

Los valores máximos de la tensión de paso, en voltios, con un pié en la acera y otro en el terreno, para la configuración del electrodo, se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_p , indicado en la tabla a continuación por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$ y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra I'_{1F} , en amperios.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A} \right)$
CPT-LA-1A-5+8P2	0,0209
CPT-LA-1A-5+8P2+F+1P2	0,0194
CPT-LA-1A-5+8P2+F+2P2	0,0170
CPT-LA-1A-5+8P2+F+3P2	0,0150
CPT-LA-1A-5+8P2+F+4P2	0,0134
CPT-LA-1A-5+8P2+F+6P2	0,0108
CPT-LA-1A-5+8P2+F+8P2	0,0091
CPT-LA-1A-5+8P2+F+10P2	0,0078
CPT-LA-1A-5+8P2+F+12P2	0,0068
CPT-LA-1A-6+8P2	0,0188
CPT-LA-1A-6+8P2+F+1P2	0,0178
CPT-LA-1A-6+8P2+F+2P2	0,0160
CPT-LA-1A-6+8P2+F+3P2	0,0143
CPT-LA-1A-6+8P2+F+5P2	0,0117
CPT-LA-1A-6+8P2+F+6P2	0,0107
CPT-LA-1A-6+8P2+F+7P2	0,0098
CPT-LA-1A-6+8P2+F+9P2	0,0084
CPT-LA-1A-6+8P2+F+11P2	0,0074
CPT-LA-1A-7+8P2	0,0171
CPT-LA-1A-7+8P2+F+1P2	0,0165
CPT-LA-1A-7+8P2+F+2P2	0,0150
CPT-LA-1A-7+8P2+F+3P2	0,0136
CPT-LA-1A-7+8P2+F+4P2	0,0124
CPT-LA-1A-7+8P2+F+5P2	0,0113
CPT-LA-1A-7+8P2+F+6P2	0,0104
CPT-LA-1A-7+8P2+F+7P2	0,0096
CPT-LA-1A-7+8P2+F+8P2	0,0089
CPT-LA-1A-7+8P2+F+10P2	0,0078

Coefficiente de tensión de paso K_p , para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque, con un pie en la acera y otro en el terreno.

Como se observa en la tabla, el valor k_p en apoyos frecuentados con calzado en cimentación monobloque, con un pie en la acera y otro en el terreno para la configuración escogida es:

$$K_r = 0,0209 \Omega / \Omega.m.A$$

El valor máximo de la tensión de paso, en voltios, con un pie en la acera y otro en el terreno, se obtiene multiplicando el coeficiente K_p , indicado en la tabla anterior, por el valor de la resistividad del terreno en $\Omega.m$ y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra $I'1F$ ($T=0,5 s$), en amperios.

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Resultando:

$$U_p = k_{p a-t} \cdot \rho \cdot I'_{1F} = 0,0209 \cdot 300 \cdot 4400 = 27588 V$$

7) Cumplimiento de los valores de tensión de paso aplicadas a la persona.

La determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones en caso de falta a tierra), que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso, es función de la tensión máxima de paso aplicada, según indica la ITC-RAT 13. El valor de dicha tensión es:

$$U'_{pa t-t} = \frac{U'_{p t-t}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{Z_b}} (V)$$
$$U'_{pa a-t} = \frac{U'_{p a-t}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b}} (V)$$

Siendo:

- $U'_{p t-t}=12012 V$
- $U'_{p a-t}=27588 V$
- $R_{a1}=2000 \Omega$
- $\rho_s=300 \Omega.m$
- $\rho_s^*=3000 \rho.m$

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona

Con los dos pies en el terreno:

$$U'_{pa t-t} = \frac{U'_{p t-t}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{Z_b}} = \frac{12012}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 6 \cdot 300}{1000}} = 1766,47 V$$

Con un pie en la acera y otro en el terreno

$$U'_{pa t-t} = \frac{U'_{p a-t}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3 \cdot \rho_s^*}{Z_b}} = \frac{27588}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 3000}{1000}} = 1970,57 V$$

Comparando con los valores máximos admisibles de tensiones de paso calculados previamente resulta:

$$U'_{pa t-t} < U'_{pa t-t,admisible}$$

ANEXO DE RESPUESTA A DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

$$1766,47 V < 9792 V$$

Por lo que se cumple la tensión de paso con los dos pies en el terreno.

$$U'_{pa\ a-t} < U'_{pa\ a-t,admisibile}$$

$$1970,57 V < 21456 V$$

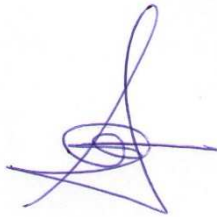
Por lo que se cumple la tensión de paso con un pie en la acera y otro en el terreno.

Concluimos que la elección del sistema de puesta a tierra es válido para el apoyo nº 88 monobloque frecuentado con calzado.

6 CONCLUSIÓN

Con la exposición de motivos realizada en el presente anexo creemos haber subsanado todos los defectos encontrados por los técnicos de Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medioambiente del Gobierno Vasco, por lo que procedemos a dar traslado de los mismos a fin de obtener su aprobación. En cualquier caso, quedamos a su disposición para cualquier aclaración que precisen.

Atentamente,

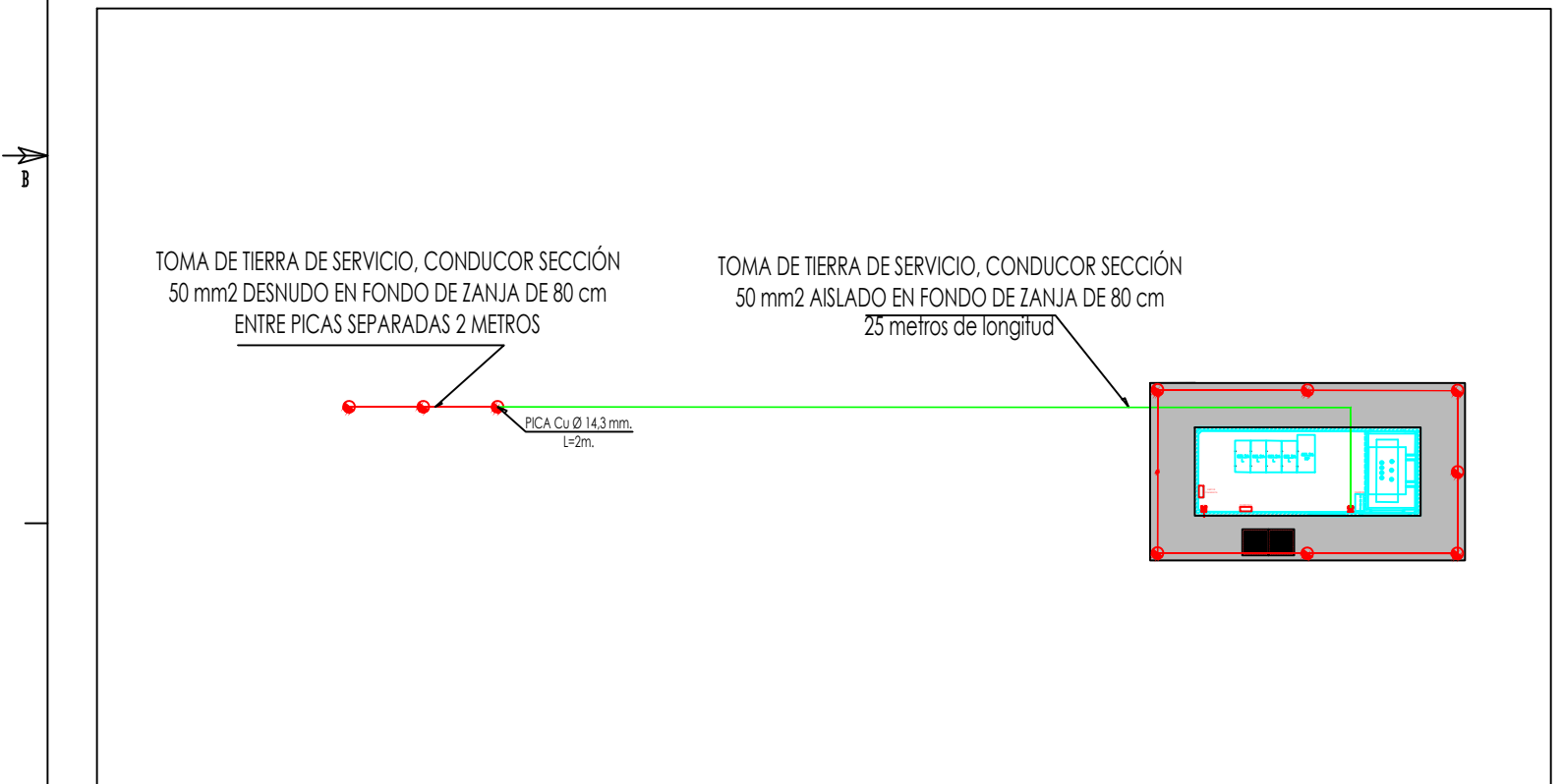
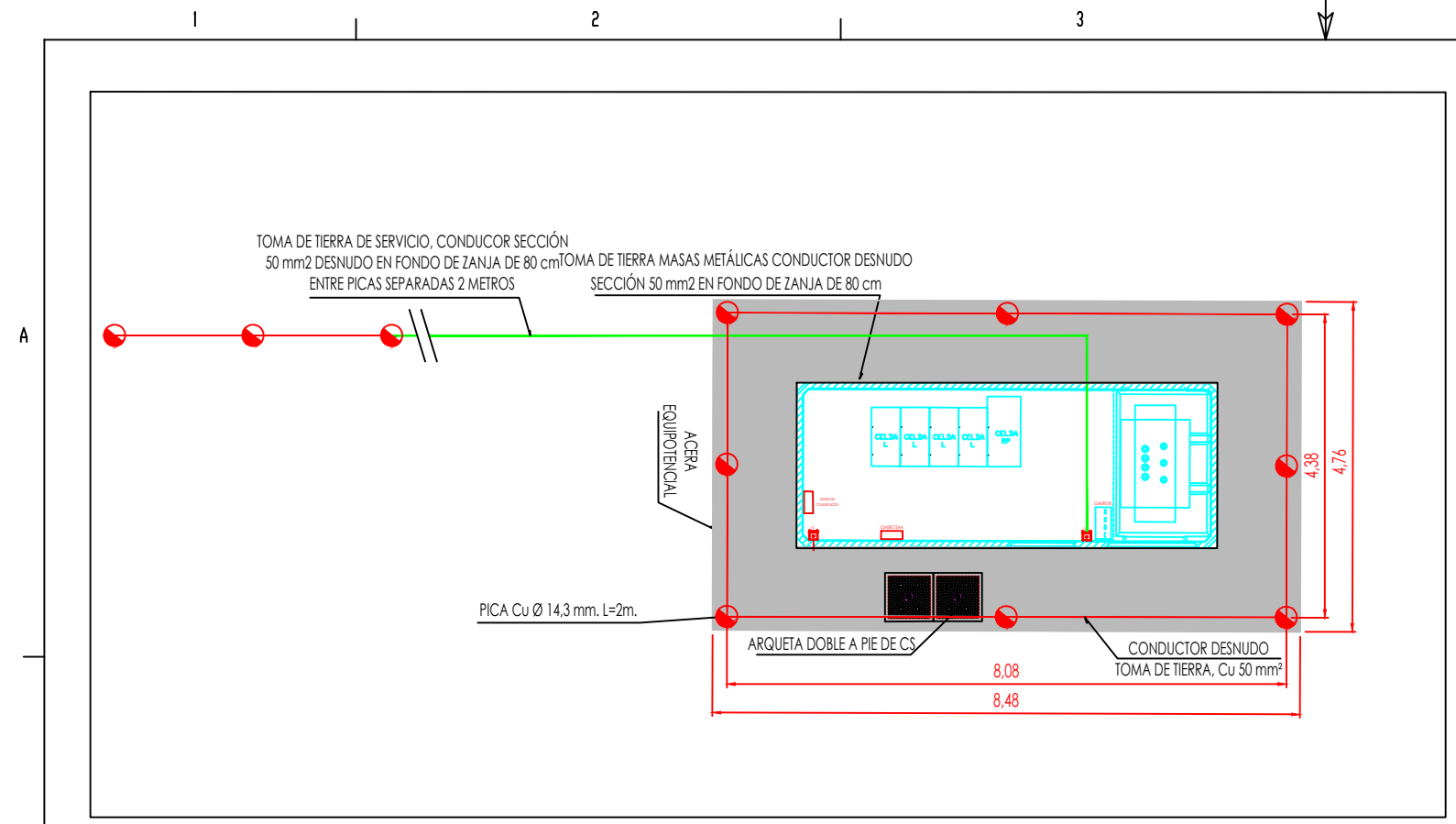


Fdo. Alberto de Carlos Alonso

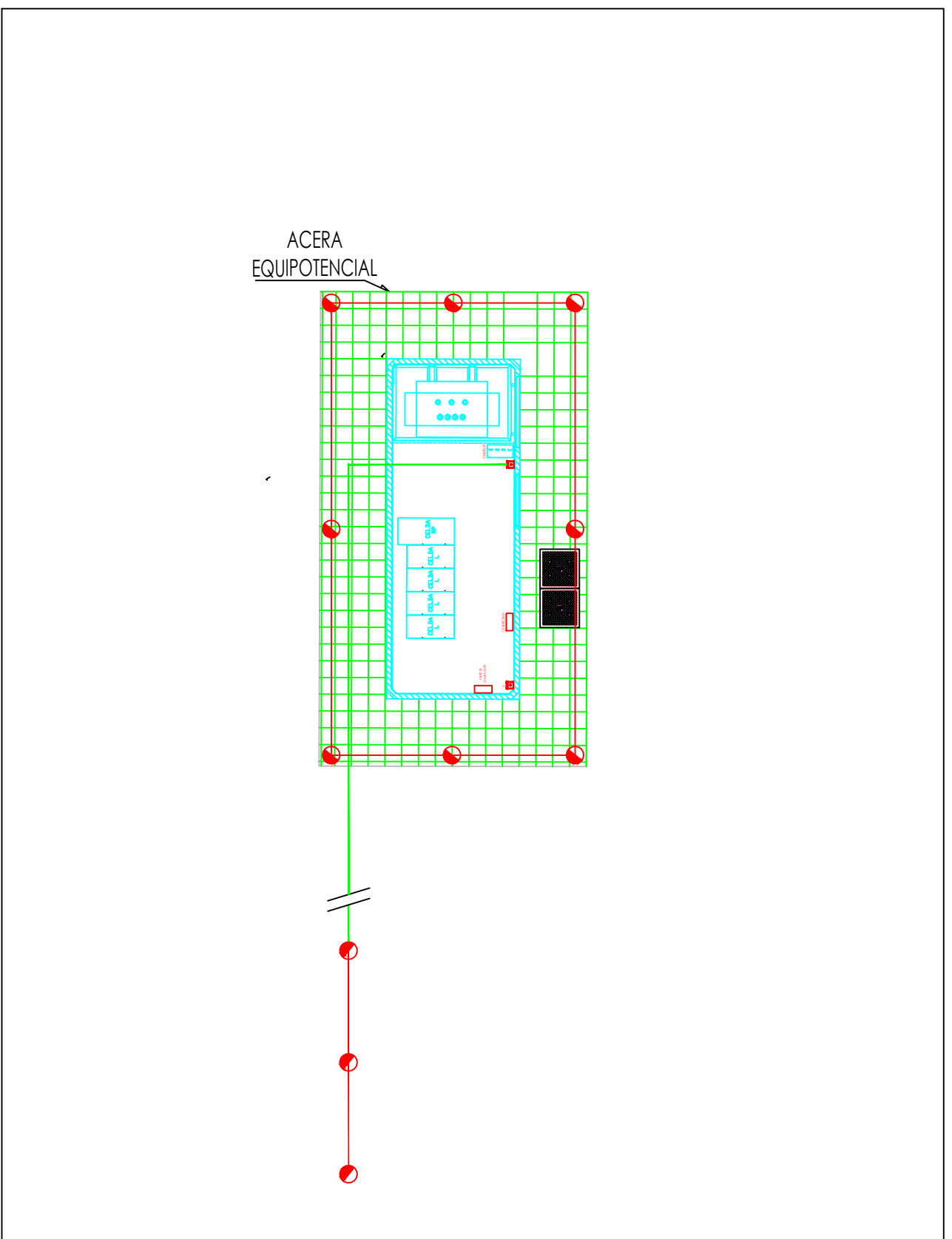
Ingeniero Industrial col. nº 2343 COIAR.



ANEXO: PLANOS



PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN Y ACERA PERIMETRAL

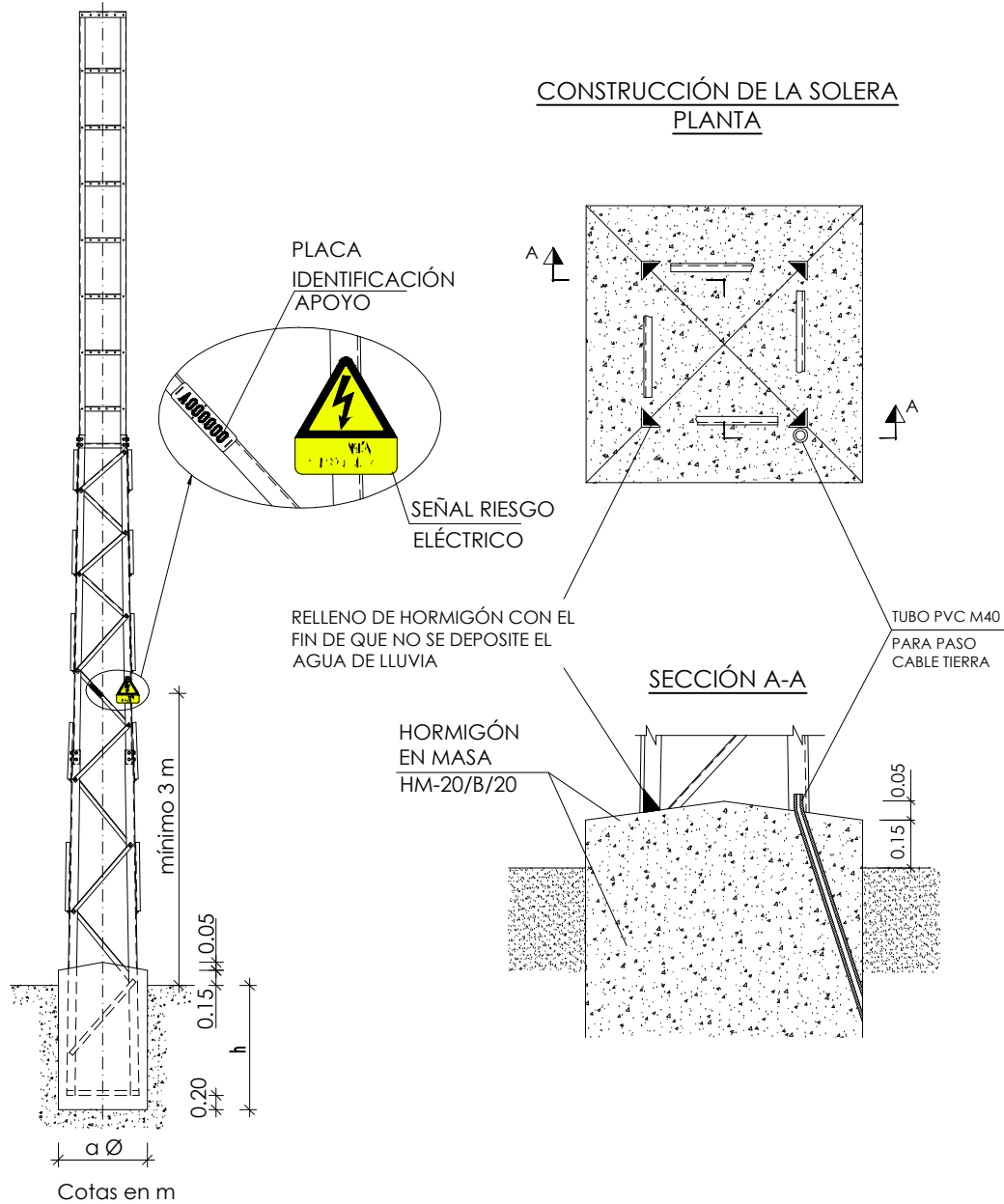


DETALLE TOMA DE TIERRA Y ACERA EQUIPOTENCIAL

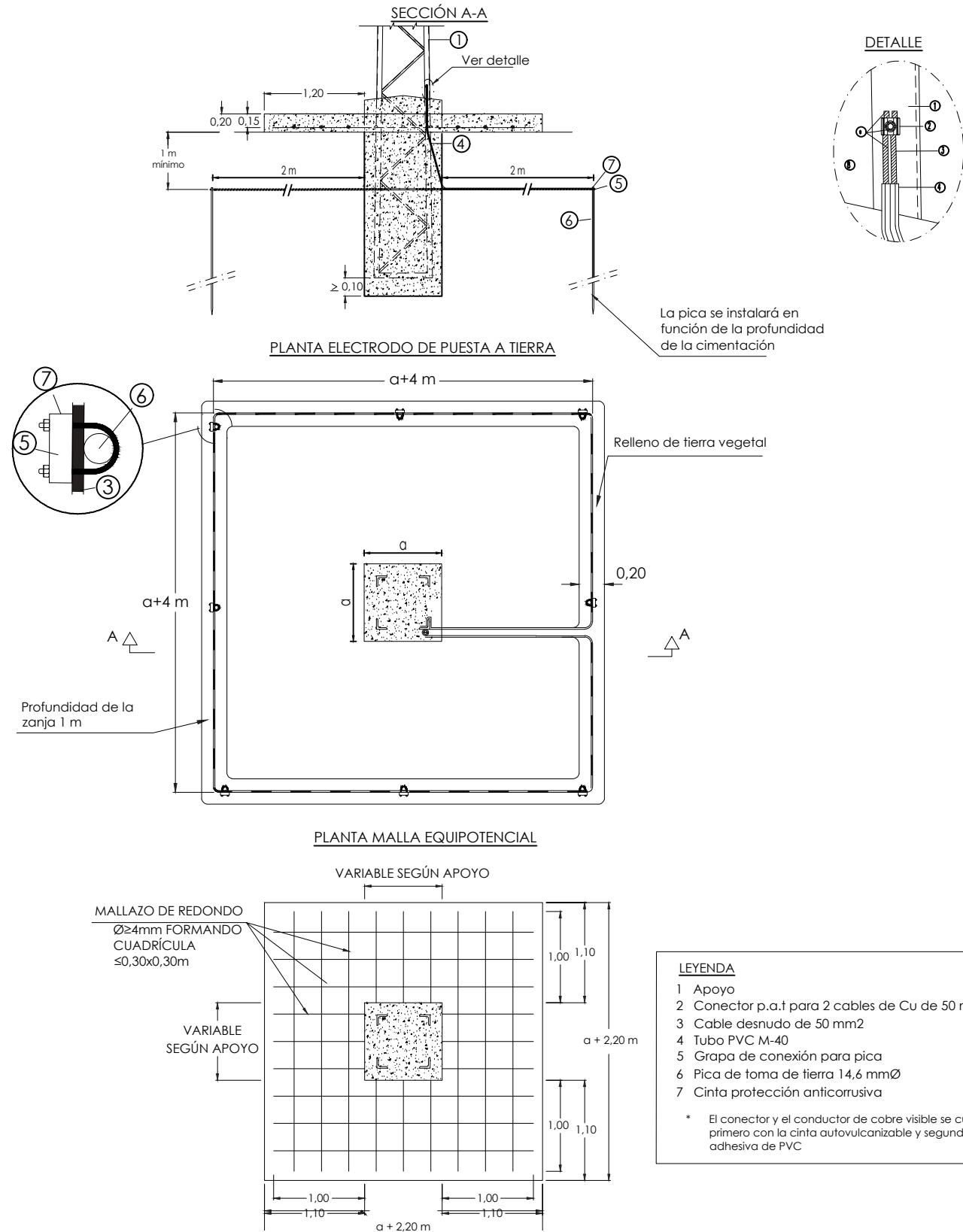
A	0	SEPT-25	FECHA	EL INGENIERO INDUSTRIAL	PROYECTO DE NUEVO CENTRO DE SECCIONAMIENTO AUTOMATIZADO DENOMINADO "PI ASPÁRRENA" Y DE LA DOBLE LSAT DE ALIMENTACIÓN A 30 kv AL MISMO, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SAN MILLÁN / DONEMILIAGA, PROVINCIA DE ÁLAVA	F	DIN-A3
		J.I.C.	DIBUJADO			ANUL.	AR
		A.D.C.	COMPROBADO			PROYECTO Nº	SIGUE HOJA
			APROBADO			ALBERTO DE CARLOS ALONSO COLEGIADO Nº2.343 DEL COIAR	TOMA DE TIERRA C.SECCIONAMIENTO Y ACERA PERIMETRAL
				ESCALA	1:75		



DETALLE CIMENTACIÓN MONOBLOQUE DE APOYO N° 88



DETALLE PUESTA A TIERRA DE APOYO N° 88 CON ACERA PERIMETRAL



A		0		SEPT-25	FECHA	EL INGENIERO INDUSTRIAL	PROYECTO DE NUEVO CENTRO DE SECCIONAMIENTO AUTOMATIZADO DENOMINADO "PI ASPÁRRENA" Y DE LA DOBLE LSAT DE ALIMENTACIÓN A 30 KV AL MISMO, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SAN MILLÁN / DONEMILIAGA, PROVINCIA DE ÁLAVA	F	DIN-A3
				J.I.C.	DIBUJADO	ALBERTO DE CARLOS ALONSO COLEGIADO N°2.343 DEL COIAR	TOMA DE TIERRA APOYO N° 88	ANUL.	AR
				A.D.C.	COMPROBADO		ESCALA 1:75	PROYECTO N°	SIGUE HOJA
					APROBADO			PLANO N° 0015	HOJA REV.