



PROYECTO DE CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, PROTECCIÓN Y MEDIDA Y LÍNEA DE EVACUACIÓN DE PLANTA FOTOVOLTAICA "IGORITA" EN POLÍGONO 1, PARCELA 362 DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE ZALDUONDO (ÁLAVA)

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

SITUACIÓN: Polígono 1, Parcela 362 del término municipal de Zalduondo (Álava)

LOCALIDAD: Zalduondo (Álava)

AUTOR DEL PROYECTO: © ALBERTO DE CARLOS ALONSO.

Ingeniero Industrial col nº 2343.

ÍNDICE

ÍNDICE	2
1 ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ANEXO	3
2 CORRECCIONES PARTE DE MEDIA TENSIÓN	4
2.1 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO	4
2.1.1 VERIFICACIÓN DEL CONDUCTOR POR CORTOCIRCUITO.....	4
2.1.2 VERIFICACIÓN DE LA PANTALLA POR CORTOCIRCUITO.....	6
2.2 PLANOS ACOTADOS DE ACERA PERIMETRAL.....	8
2.3 CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA EN CTPM DE SUPERFICIE "IGORITA".....	9
2.3.1 DATOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN Y UBICACIÓN	9
2.3.2 CÁLCULOS.....	11
3 CORRECCIONES PARTE DE BAJA TENSIÓN	16
3.1 ESQUEMA UNIFILAR DE CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN	16
3.2 CÁLCULO DE PROTECCIONES EN BAJA TENSIÓN	16
4 CONCLUSIÓN	20

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 de la planta de instalación fotovoltaica de 2,5 MW "Igorita" sita en polígono 1, parcela 362 del término municipal de Zaldondo (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 recibió un 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 de centro de transformación, protección y medida y línea de evacuación de planta fotovoltaica "Igorita" en polígono 1, parcela 362 del término municipal de Zaldondo (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 de centro de transformación, protección y medida y línea de evacuación de planta fotovoltaica "Igorita" en polígono 1, parcela 362 del término municipal de Zaldondo (Álava)".

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

- Para la línea subterránea desde el CT hasta la arqueta de unión calcular la intensidad de cortocircuito máxima admisible. Respondido en apartado 2.1 "Cálculo de cortocircuito".
- Planos acotados con la acera perimetral correspondiente al método de PAT seleccionado y cálculo de la 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). Respondido en apartados 2.2 "Planos acotados de acera perimetral" y 2.3 "cálculo de puesta a tierra en CTPM de superficie Igorita".
- Añadir los cálculos de las protecciones en el circuito de BT compartido por todos los generadores. Respondido en apartado 3.2 "Cálculo de protecciones en baja tensión".

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

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 2, se adjunta el proyecto firmado con su declaración responsable correspondiente firmada.
- Los anexos a los proyectos también deberán estar firmados. Se adjuntan todos los anexos de respuesta a los requerimientos firmados.
- Se requiere para el Proyecto-modificado-planta IGORITA / ESO20230028 P1—CTPM-IGORITA+ANEXO-A-P1-CTPM-IGORITA, indicar en qué apartado y/o número de página se encuentran los cálculos correspondientes a la protección "Interruptor diferencial 630A 3P 25Ka 800 Vac 300 Ma" visible en el plano 03.04.1 del "Proyecto—modificado-planta-IGORITA". O si por el contrario esa protección no está incluida como parece indicar el anexo. En los apartados 3.1 "Esquema unifilar de cuadro de baja tensión" y 3.2 "Cálculo de protecciones en baja tensión" del presente anexo se responden a estas cuestiones.

En los apartados sucesivos se realizan las correcciones de los defectos indicados.

2 CORRECCIONES PARTE DE MEDIA TENSIÓN

2.1 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO

En este apartado, se calcula la intensidad de cortocircuito máxima admisible en el circuito entre el CTPM "Igorita" y el centro de seccionamiento "PI ASPÁRRENA".

Se trata de una línea subterránea a 30 kV que transporta 2,5 MW, y comparte canalización con la línea de evacuación de la "PFV Katarri". La línea está compuesta por una terna de conductor AL RH5Z1 18/30 kV 3x(1x240)mm² + P-16 Al.

2.1.1 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:

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

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

Siendo:

- 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.

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

- σ_c [J/K·m³]: Calor específico volumétrico a 20°C del componente conductor de corriente.
- ρ_{20} [$\Omega \cdot m$]: 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).

$$I_{AD} [A] = \sqrt{\frac{148^2 \cdot 240^2 \cdot \ln\left(\frac{250 + 228}{90 + 228}\right)}{1}} = 22.676 [A]$$

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

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

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

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

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

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

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.

$$I[A] = I_{AD} \cdot \varepsilon = 22.676 \cdot 1,0183 = 23.090 [A]$$

$$P_{CC}[MVA] = \sqrt{3} \cdot I \cdot V = \sqrt{3} \cdot 23.090 \cdot 30.000 = 1.195 [MVA]$$

2.1.2 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.

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:

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

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

Donde:

$$M[s^{-1/2}] = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}}\right)}{2 \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot 10^{-3}} \cdot F = \frac{\left(\sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^6}{6}} + \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{3,5}}\right)}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,19 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,7 = 0,9961$$

- 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)

$$\varepsilon' = 1 + 0,61 \cdot 0,9961 \cdot \sqrt{1} - 0,069 \cdot (0,9961 \cdot \sqrt{1})^2 + 0,0043 \cdot (0,9961 \cdot \sqrt{1})^3 = 1,5434$$

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

$$K' \left[\frac{A \cdot s^2}{mm^2} \right] = \sqrt{\frac{\sigma_c \cdot (\beta + 20) \cdot 10^{-12}}{\rho_{20}}} = 148$$

- σ_c [J/K·m³]: Calor específico volumétrico a 20°C de la pantalla.
- ρ_{20} [$\Omega \cdot m$]: 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).

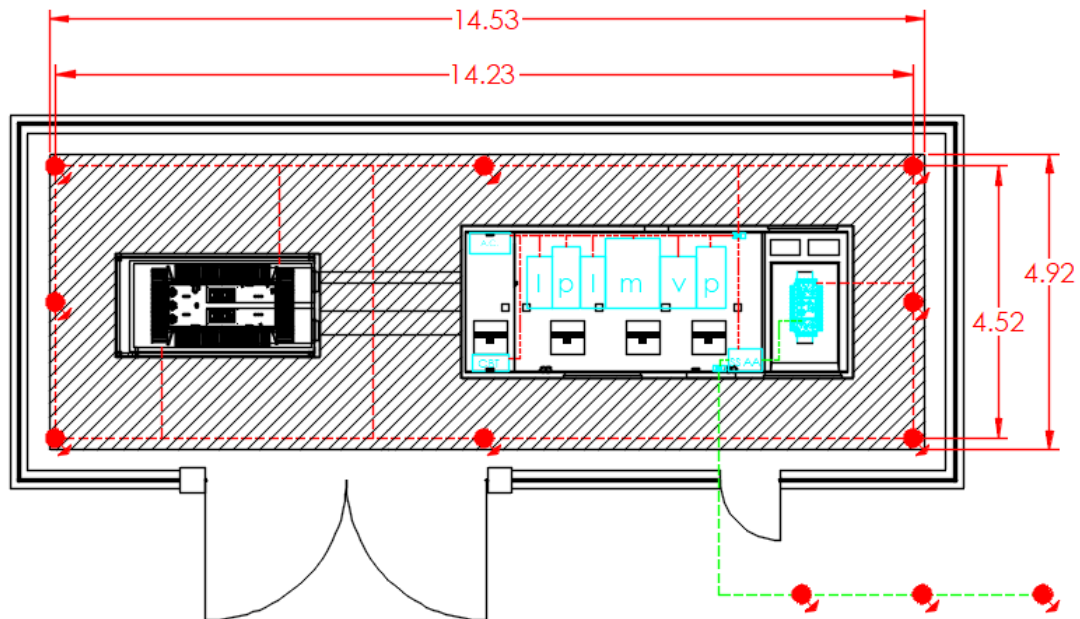
$$I'_{AD} = \sqrt{\frac{148^2 \cdot 16^2 \cdot \ln\left(\frac{250 + 228}{80 + 228}\right)}{1}} = 1.569,88 [A]$$

$$I' [A] = I'_{AD} \cdot \varepsilon = 1569,88 \cdot 1,5434 = 2.422,95 [A]$$

2.2 PLANOS ACOTADOS DE ACERA PERIMETRAL

Respecto al **plano acotado con la acera perimetral** correspondiente al método de PAT seleccionado, se adjunta a continuación una imagen donde se indican las dimensiones de la misma.

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



Los cálculos de la tensión que aparece en caso de falta y la verificación del nivel de aislamiento de los materiales BT se indican a continuación:

2.3 CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA EN CTPM DE SUPERFICIE "IGORITA"

2.3.1 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, 2,52 m x 6,5 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: $\rho=300 \Omega \cdot m$
- Características de actuación de las protecciones: $I'_{1F} \cdot t=2200$

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

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

- Tipo de pantallas de los cables: Conectada
- Número de centros de transformación conectados a través de pantallas: N=1
- 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

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

2.3.2 CÁLCULOS

CONSIDERACIÓN DE CALZADO

- Electrodo utilizado:
se va a considerar la puesta a tierra como una combinación de electrodos: uno de ellos es de 9x4,5 m, y el otro es de 5x4,5 m. Interpolaremos valores para obtener el valor equivalente a una malla de 14x4,5 m.

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

Designación del electrodo	$\rho \text{ max } (\Omega.m)$				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-(4.5x5)+8P2	100	200	400	600	0,07399	0,01537	0,03634
CPT-CT-A-(4.5x9)+8P2	100	200	400	600	0,06021	0,01206	0,02888

Para malla 4,5x5 m
 $K_r=0,07399 (\Omega/ \Omega.m)$
 $K_{p.t-t}=0,01537 (V/(\Omega.m).A)$
 $K_{p.a-t}=0,03634 (V/(\Omega.m).A)$

Para malla 4,5x9 m
 $K_r=0,06021 (\Omega/ \Omega.m)$
 $K_{p.t-t}=0,01206 (V/(\Omega.m).A)$
 $K_{p.a-t}=0,02888 (V/(\Omega.m).A)$

Relacionando los valores de ambas mallas, resulta:

Para malla 4,5x14 m
 $K_r= 0,04643 (\Omega/ \Omega.m)$
 $K_{p.t-t}=0,00875 (V/(\Omega.m).A)$
 $K_{p.a-t}= 0,02142 (V/(\Omega.m).A)$

- Electrodo utilizado:
CPT-CT-A-(4,5x14) + 8P2

 $K_r= 0,04643 (\Omega/ \Omega.m)$
 $K_{p.t-t}=0,00875 (V/(\Omega.m).A)$
 $K_{p.a-t}= 0,02142 (V/(\Omega.m).A)$

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

- Resistencia de tierra del CTPM
 $RT=K_r \cdot \rho = 0,04643 \cdot 300 = 13,929 \Omega$

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

- r_E

$$R_{pant} = \frac{\rho * Kr'}{N} = \frac{300 * 0,088}{1} = 26,4 \Omega$$

$$R_{TOT} = \frac{R_T * R_{pant}}{R_T + R_{pant}} = \frac{13,929 * 26,4}{13,929 + 26,4} = 9,118 \Omega$$

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} = 0,6546$$

- Reactancia equivalente de la subestación

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

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

$$I'_{1FP} = \frac{1,1 * U_n}{r_E * \sqrt{3} * \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} = \frac{1,1 * 30000}{0,6546 * \sqrt{3} * \sqrt{13,929^2 + \left(\frac{2,117}{0,6546}\right)^2}} = 1441,59 A$$

- 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:

$$K_{p.t-t}=0,00875 \text{ (V/(} \Omega \cdot \text{m) \cdot A)}$$

$$U'_{p1} = K_{p.t-t} * \rho * I_E = K_{p.t-t} * \rho * r_E * I'_{1FP} = 0,00875 * 300 * 0,6546 * 1441,59 = 2477,12 V$$

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

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

$$K_{p.a-t}=0,02142 \text{ (V/(\Omega.m).A)}$$

$$U'_{p2} = K_{p.a-t} * \rho * I_E = K_{p.a-t} * \rho * r_E * I'_{1Fp} = 0,02142 * 300 * 0,6546 * 1441,59 = 6063,99 \text{ V}$$

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona

c) Con los dos pies en el terreno:

$$U'_{pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{Z_b}} \text{ (V)}$$

$$U'_{pa1} = \frac{2477,12}{1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 300}{1000}} = 364,28 \text{ (V)}$$

d) Con un pie en la acera terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s^*}{Z_b}} \text{ (V)}$$

$$U'_{pa2} = \frac{6063,99}{1 + \frac{2 * 2000 + 3 * 3000}{1000}} = 433,14 \text{ (V)}$$

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

$$t = \frac{2200}{I'_{1Fp}} = \frac{2200}{1441,59} = 1,526 \text{ s}$$

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

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

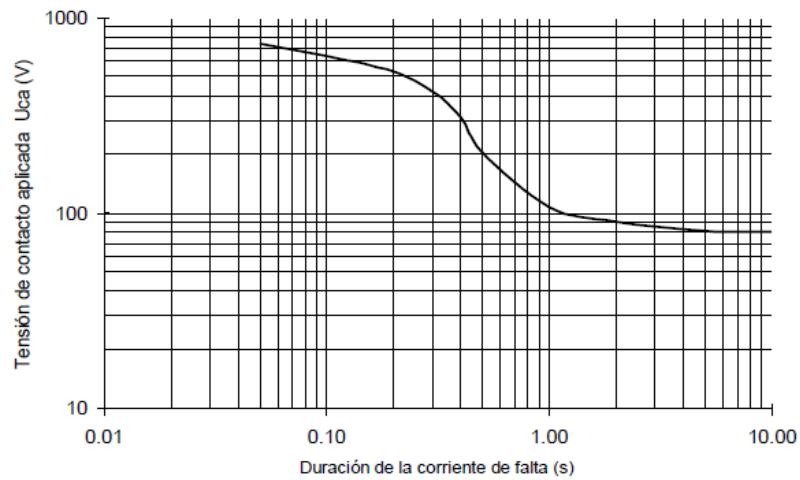


Tabla 2. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F

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 985 V, para el tiempo especificado de 1,5 s.

- Verificación del cumplimiento con la tensión de paso.

Como, $U'_{pa1}=364,28 < 985$ V y $U'_{pa2}=433,14 < 985$ V, el electrodo considerado, CPT-CT-A-(4,5x14) + 8P2, cumple con el requisito reglamentario. Además, el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $R_T=13,929 \Omega$, valor inferior al exigido de 60 Ω .

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

CONSIDERACIÓN SIN CALZADO

- Electrodo utilizado:

CPT-CT-A-(4,5x14) + 8P2

Kr= 0,04643 (Ω/ Ω.m)

Kp.t-t=0,00875 (V/(Ω.m).A)

Kp.a-t= 0,02142 (V/(Ω.m).A)

Kr'= 0,088 (Ω/ Ω.m)

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

$$U'_{pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{6\rho_s}{Z_b}} (V)$$

$$U'_{pa1} = \frac{2477,12}{1 + \frac{6 * 300}{1000}} = 884,68 (V)$$

- f) Con un pie en la acera terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s^*}{Z_b}} (V)$$

$$U'_{pa2} = \frac{6063,99}{1 + \frac{3 * 300 + 3 * 3000}{1000}} = 556,33 (V)$$

Como, $U'_{pa1}=884,68 < 985$ V y $U'_{pa2}=556,33 < 985$ V, el electrodo considerado, CPT-CT-A-(4,5x14) + 8P2, cumple con el requisito reglamentario. Además el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $RT=13,929$ Ω, valor inferior al exigido de 60 Ω.

TENSIÓN QUE APARECE EN LA INSTALACIÓN EN CASO DE FALTA

$$V = I'_{1FP} * R_{TOT} = 1441,59 * 9,118 = 13144,42 V$$

Con lo que será necesario un nivel de aislamiento en los cuadros de BT superior a ese valor, en este caso el nivel de aislamiento será 15 kV.

3 CORRECCIONES PARTE DE BAJA TENSIÓN

3.1 ESQUEMA UNIFILAR DE CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN

En el plano adjunto se muestra el esquema unifilar definitivo del cuadro general de baja tensión de la planta fotovoltaica "Igorita", ubicado en el centro de transformación, protección y medida. Es un cuadro general que agrupa 10 entradas a 800V provenientes de los inversores de la planta fotovoltaica. Cada una de estas entradas se protege con interruptores magnetotérmicos tripolo, y la protección de la agrupación de circuitos se realiza con un interruptor general automático, según lo mostrado en el esquema unifilar adjunto en el anexo: planos.

3.2 CÁLCULO DE PROTECCIONES EN BAJA TENSIÓN

A continuación, se justifican brevemente las protecciones en el cuadro general de baja tensión que agrupa las entradas de los inversores de la PFV "Igorita" en el CTPM.

La planta fotovoltaica "Igorita" tiene una potencia pico de 3.120 kWp. La energía producida pasa de CC a CA en 10 inversores SUNGROW SGX de 250 kW, con una tensión de salida de 800V.

Estos inversores se agrupan en el cuadro general de baja tensión (CGBT) ubicado en el CTPM, con 10 entradas trifásicas protegidas con interruptores magnetotérmicos tripolo de 250 A por fase.

COMPROBACIÓN DE CONDUCTOR CA ENTRE INVERSORES Y CGBT

El conductor empleado que une las salidas de los inversores con cada entrada del CGBT en el **XZ1(S) Al 0,6/1 kV, 3x(1x240) mm²**, con una intensidad admisible de 253 A enterrado a 25°C, y de 290 A bajo tubo a 40°C.

La intensidad que circulará por cada conductor será de:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V} = \frac{250.000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 800 \text{ V}} = 180,42 \text{ A}$$

Por lo que el conductor de BT empleado entre los inversores y el cuadro general de baja tensión es válido.

COMPROBACIÓN DE INTERRUPTORES MAGNETOTÉRMICOS DE LAS ENTRADAS CGBT

El cuadro general de baja tensión (CGBT) consta de 10 entradas, cada entrada está protegida contra sobrecorrientes por interruptores magnetotérmicos de tripolares de 250 A.

Un buen dimensionamiento del interruptor magnetotérmico debe cumplir con 2 condiciones.

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

Condición 1

Esta condición indica físicamente que el interruptor debe dejar pasar la corriente necesaria para que la instalación funcione según la demanda prevista, pero no debe permitir que se alcance una corriente que deteriore el cable, concretamente, su aislamiento, que es la parte débil.

Se deberá cumplir la siguiente expresión:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Donde:

- **I_b**: corriente de diseño del circuito correspondiente, tal como hemos calculado, I_b=180,42 A.
- **I_n**: corriente nominal del interruptor magnetotérmico, que en este caso es de 250 A.
- **I_z**: corriente máxima admisible del conductor protegido, para una terna del conductor empleado de aluminio de 240 mm² de sección con aislamiento XLPE enterrados es de 253 A.

Sustituyendo estos valores en la expresión, obtenemos:

$$180,42 A \leq 250 A \leq 253 A$$

CUMPLE LA CONDICIÓN 1

Condición 2

$$I_2 \leq 1,45 * I_z$$

Esta desigualdad expresa que en realidad los cables eléctricos pueden soportar sobrecargas transitorias (no permanentes) sin deteriorarse de hasta un 145% de la intensidad máxima admisible térmicamente y sólo entonces los interruptores han de actuar.

Donde:

- **I₂**: corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección para un tiempo largo.
- **I_z**: corriente máxima admisible del conductor protegido, que según el REBT, para una terna del conductor empleado directamente enterrado, es de 253 A.

$$I_2 \leq 1,45 * 253$$

$$I_2 \leq 367 A$$

$$I_2 = 1,30 * I_n, \text{ para interruptores de uso no doméstico.}$$

$$I_2 = 1,30 * 180,42 = 234,55 A$$

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

Resultando:

$$243,55 A \leq 367 A$$

CUMPLE LA CONDICIÓN 2

Por lo que al cumplirse las 2 condiciones, se concluye que el dimensionamiento de los interruptores magnetotérmicos empleados es adecuado.

COMPROBACIÓN DE PUENTES BT ENTRE CGBT Y TRANSFORMADOR

Las fases del puente BT que une las salidas de los inversores con cada entrada del CGBT se disponen en ternas **XZ1(S) Al 0,6/1 kV, 3x(5x240) mm²**, con una intensidad admisible de 471 A al aire a 40°C. Los puentes se componen de 5 ternas de dicho conductor por fase.

La intensidad que circulará por cada fase será de:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V} = \frac{2.500.000 W}{\sqrt{3} * 800 V} = 1804,22 A$$

Al componerse cada fase por 5 conductores, la intensidad que circula por cada conductor es de

$$I_{conductor} = \frac{1804,22 A}{5} = 360,84 A$$

Por lo que el conductor de BT empleado entre el CGBT y el transformador es válido.

COMPROBACIÓN DE INTERRUPTOR GENERAL AUTOMÁTICO

La salida del cuadro general de baja tensión (CGBT) está protegida por un interruptor general automático de 4 polos de 2500 A regulado al 80%, por lo que actúa como un interruptor a 2000 A.

Un buen dimensionamiento del interruptor general debe cumplir con 2 condiciones.

Condición 1

Esta condición indica físicamente que el interruptor debe dejar pasar la corriente necesaria para que la instalación funcione según la demanda prevista, pero no debe permitir que se alcance una corriente que deteriore el cable, concretamente, su aislamiento, que es la parte débil.

Se deberá cumplir la siguiente expresión:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

Donde:

- **I_b**: corriente de diseño del circuito correspondiente, tal como hemos calculado, I_b=1804,22 A.
- **I_n**: corriente nominal del interruptor magnetotérmico, que en este caso está regulado a 2000 A.
- **I_z**: corriente máxima admisible del conductor protegido, que es de 471x5 ternas=2355 A al aire a 40°C.

Sustituyendo estos valores en la expresión, obtenemos:

$$1804,22 A \leq 2000 A \leq 2355 A$$

CUMPLE LA CONDICIÓN 1

Condición 2

$$I_2 \leq 1,45 * I_z$$

Esta desigualdad expresa que en realidad los cables eléctricos pueden soportar sobrecargas transitorias (no permanentes) sin deteriorarse de hasta un 145% de la intensidad máxima admisible térmicamente y sólo entonces los interruptores han de actuar.

Donde:

- **I₂**: corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección para un tiempo largo.
- **I_z**: corriente máxima admisible del conductor protegido, que según el REBT, para 5 ternas del conductor empleado al aire es de 2355 A.

$$I_z = 2355 A$$

$$I_2 \leq 1,45 * 2355 A$$

$$I_2 \leq 3414,75 A$$

$$I_2 = 1,30 * I_n, \text{ para interruptores de uso no doméstico.}$$

$$I_2 = 1,30 * 1804,2 = 2345,5 A$$

Resultando:

$$2345,5 A \leq 3414,75 A$$

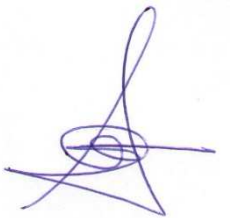
CUMPLE LA CONDICIÓN 2

Por lo que al cumplirse las 2 condiciones, se concluye que el dimensionamiento del interruptor general automático es adecuado.

4 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,



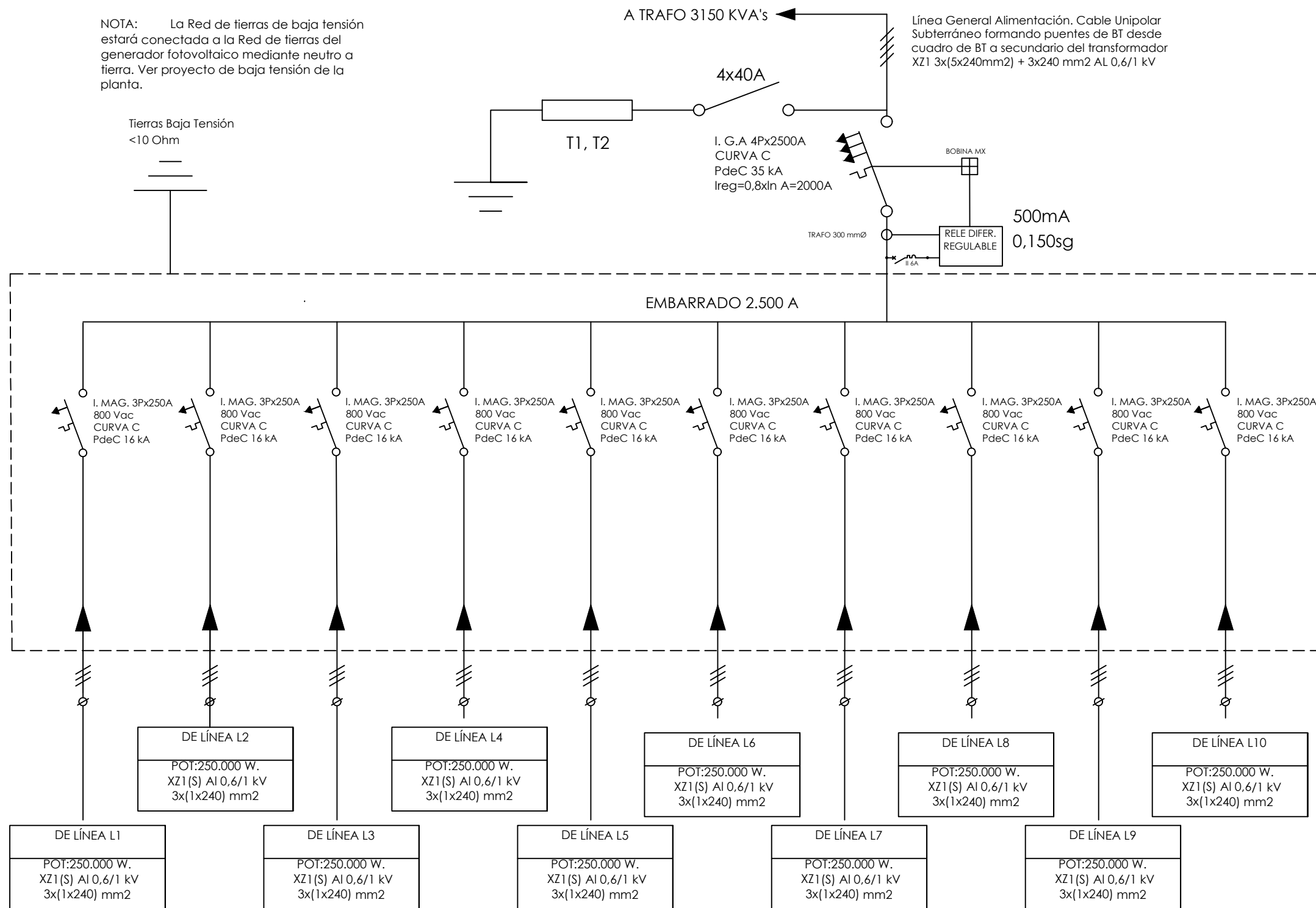
Fdo. Alberto de Carlos Alonso

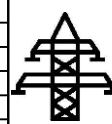



Ingeniero Industrial col. nº 2343 COIAR.



ANEXO: PLANOS

NOTA: Reservados todos los derechos del Copyright. Este documento es copia de su original del que es autor el Ingeniero firmante. Su utilización parcial o total, así como cualquier reproducción o cesión a terceros requerirá la autorización expresa de su autor.



REV.1	09-2025	J.I.C.	A.D.C.	A.D.C.	PRIMERA EMISIÓN	 PERFECT BUSINESS LOCATION S.L. <small>EMPLAZAMIENTO POLÍGONO 1, PARCELA 362 DEL T.M. DE ZALDUONDO (ÁLAVA)</small>	<small>PROMOTOR</small> PERFECT BUSINESS LOCATION S.L. 	<small>PROYECTO</small> PROYECTO DE CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, PROTECCIÓN Y MEDIDA Y LÍNEA DE EVACUACIÓN DE PLANTA FOTOVOLTAICA "IGORITA" EN POLÍGONO 1, PARCELA 362 DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE ZALDUONDO (ÁLAVA)	<small>AUTOR</small> 	<small>FIRMA</small> 	<small>TÍTULO</small> ESQUEMA UNIFILAR CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN	<small>FORMATO</small> A3
<small>REVISIÓN</small> FECHA	<small>DIBUJADO</small> REVISADO	<small>APROBADO</small> DESCRIPCIÓN	<small>PLANO Nº</small> ESO20230028 - P1_CTPM_12.0	<small>ESCALA</small> S/E								