ANEJO IX

INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MONITORIZACIÓN

PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS RIEGOS DEL VIAR: PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4 MW Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

PROMOTOR: **SOCIEDAD ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS, S.A.**

BENEFICIARIO: **COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ZONA REGABLE DEL VIAR**

ANEJO IX. INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MONITORIZACIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. 7

2. NORMATIVA. 8

3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE CONTINUA. 9

3.1. Generalidades. 9

3.2. Descripción de los elementos de la instalación. 9

3.2.1. Series de módulos. 9

3.2.2. Inversores tipo String. 9

3.2.3. Conductor de baja tensión en corriente continua. 10

3.3. Cálculo de conductores de baja tensión en corriente continua. 11

3.3.1. Cálculo de sección por intensidad admisible. 11

3.3.2. Criterio de Caída de Tensión. 13

3.3.3. Criterio de Intensidad de Cortocircuito. 14

3.3.4. Resultado del cálculo. 14

3.4. Protecciones. 15

3.4.1. Esquema de conexión. 15

3.4.2. Protección de las series con fusibles. 15

3.4.3. Protección contra sobretensiones. 16

3.4.4. Interruptor seccionador en carga. 16

3.4.5. Puesta a tierra. 17

4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE ALTERNA. 18

4.1. Cálculo de sección por intensidad admisible. 19

4.1.1. Intensidad máxima admisible. 19

4.1.2. Factor de corrección por temperatura. 19

4.1.3. Factor de corrección por resistividad térmica del terreno 20

4.1.4. Factor de corrección por agrupamiento 20

4.2. Criterio de Caída de Tensión. 21

4.3. Criterio de Intensidad de Cortocircuito. 22

4.4. Resultado del cálculo. 22

5. CENTRO DE BAJA TENSIÓN (CBT). 28

5.1. Descripción. 28

5.2. Envolvente. 28

5.3. Placa Piso. 29

5.4. Accesos. 29

5.5. Acabado. 29

5.6. Alumbrado. 29

5.7. Cimentación. 30

5.8. Características detalladas. 30

5.9. Características de los cuadros de protección de B.T. 30

5.10. Transformador de servicios auxiliares. 31

5.11. Líneas de los servicios auxiliares del CBT. 32

5.12. Puesta a tierra del Centro de Baja Tensión. 33

6. CENTRO DE MEDIA TENSIÓN (CMT). 38

6.1. Características generales del centro de transformación. 39

6.2. Programa de necesidades y potencia instalada en kVA. 39

6.3. Descripción. 39

6.4. Envolvente. 40

6.5. Placa piso. 41

6.6. Accesos. 41

6.7. Ventilación. 41

6.8. Acabado. 41

6.9. Alumbrado. 42

6.10. Varios. 42

6.11. Cimentación. 42

6.12. Características detalladas. 42

6.13. Instalación eléctrica. 43

6.13.1. Características de la red de alimentación. 43

6.13.2. Características de la aparamenta de media tensión. 43

6.13.3. Base y frente. 43

6.13.4. Cuba. 44

6.13.5. Interruptor/Seccionador/Seccionador de puesta a tierra. 44

6.13.6. Mecanismo de maniobra. 44

6.13.7. Fusibles (Celda modulares). 44

6.13.8. Características descriptivas de la aparamenta MT y transformadores. 45

6.14. Características del transformador de potencia. 49

6.15. Sensores de intensidad. 54

6.16. Sensores de Tensión. 54

6.17. Puesta a tierra. 55

6.17.1. Tierra de protección. 55

6.17.2. Tierra de servicio. 55

6.18. Instalaciones secundarias. 55

6.18.1. Alumbrado. 55

6.18.2. Protección contra incendios. 55

6.18.3. Armario de primeros auxilios. 56

6.18.4. Medidas de seguridad. 56

6.19. Limitación de campos magnéticos. 56

6.20. Nivel de Ruido. 57

6.21. Requisitos del equipo de medida. 58

6.22. Cálculos. 58

6.22.1. Intensidad de media tensión. 58

6.22.2. Intensidad de baja tensión. 59

6.22.3. Cortocircuitos. 59

6.23. Dimensionado del embarrado de servicio 60

6.23.1. Comprobación por densidad de corriente. 60

6.23.2. Comprobación por solicitación electrodinámica. 61

6.23.3. Comprobación por solicitación térmica. 61

6.23.4. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos. 61

6.23.5. Dimensionado de los puentes de MT. 63

6.23.6. Dimensionado de los puentes de BT. 63

6.23.7. Dimensionado de la ventilación del Centro de Transformación. 64

6.23.8. Dimensionado del pozo apagafuegos. 64

6.23.9. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra. 64

6.23.10. Cálculo de las tensiones de contacto y de paso aplicadas. Valores máximos reglamentarios. 70

6.23.11. Cálculo de las tensiones aplicadas. 70

6.23.12. Investigación de las tensiones transferibles al exterior. 73

7. LÍNEA DE EVACUACIÓN SUBTERRANEA DE MEDIA TENSIÓN. 74

7.1. Conductor de la línea de media tensión. 74

7.1.1. Características del conductor. 75

7.1.2. Terminaciones. 76

7.1.3. Empalmes. 76

7.2. Canalización subterránea. 76

7.2.1. Descripción del trazado. 76

7.2.2. Arquetas 78

7.2.3. Cruzamientos, proximidades y paralelismos 78

7.2.4. Puesta a tierra ____ *79*

7.2.5. Estudio de seguridad y salud. Plan de seguridad ____ *79*

7.3. Cálculos Justificativos. ____ **79**

7.3.1. Introducción ____ *79*

7.3.2. Características eléctricas del conductor. ____ *80*

7.3.3. Intensidades máximas admisibles para el cable. ____ *81*

7.3.4. Cálculo de la caída de tensión. ____ *85*

7.3.5. Intensidad máxima admisible para el cable en cortocircuito. ____ *86*

7.3.6. Intensidad máxima admisible para la pantalla en cortocircuito ____ *88*

7.3.7. Protecciones ____ *89*

7.3.8. Pérdidas de potencia ____ *89*

8. CONEXIÓN DE LA LÍNEA DE EVACUACIÓN. ____ **90**

9. ALIMENTACIÓN GRUPOS DE BOMBEO EXISTENTES. ____ **91**

9.1. Antecedentes. ____ **91**

9.2. Cálculo de sección por intensidad admisible. ____ **91**

9.3. Criterio de caída de tensión. ____ **92**

9.4. Criterio de intensidad de cortocircuito. ____ **92**

9.5. Resultado del cálculo. ____ **93**

9.6. Ventilación en sala de variadores. ____ **93**

10. SISTEMA ANTIVERTIDO. ____ **93**

11. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN. ____ **94**

PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS RIEGOS DEL VIAR: PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4 MW Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

TÉRMINO MUNICIPAL: **ALCALÁ DEL RÍO**

PROMOTOR: **COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ZONA REGABLE DEL VIAR**

ANEJO IX. INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MONITORIZACIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

En el presente anejo se justifican y definen las obras e instalaciones eléctricas necesarias para el establecimiento de la instalación fotovoltaica proyectada.

Desde el punto de vista eléctrico, en la instalación eléctrica proyectada podemos distinguir las siguientes partes bien diferenciadas:

- Instalación Eléctrica de Baja Tensión (BT) en corriente continua.
- Instalación Eléctrica de Baja Tensión (BT) en corriente alterna.
- Centro de Baja Tensión.
- Centro de Media Tensión.
- Línea de evacuación subterránea de M.T.
- Conexión de la línea de evacuación.
- Alimentación de grupos de bombeo existentes.
- Sistema antivertido.
- Sistema de monitorización.

En este tipo de instalaciones se tendrán en cuenta principalmente el REBT, el RAT (incluyendo sus normas UNE correspondientes) y especialmente la ITC-BT-040 Instalaciones Generadoras de BT.

De acuerdo con la normativa NRZ-104, las instalaciones de conexión de generadores y su desarrollo se regirán según los artículos 30 y 32 del *RD 1955/2000 por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica*. Las instalaciones de conexión de generadores no formarán parte de las redes de distribución.

2. NORMATIVA.

Para la realización de los cálculos que se desarrollan a continuación se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión R.D. 842/2.002 y en particular, su instrucción técnica complementaria ITC-BT-40 (Instalaciones Generadoras de Baja Tensión).

- Reglamento sobre condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Media Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, aprobadas según Real Decreto 223/2.008, de 15 de febrero. En especial la ITC-LAS 06 (líneas subterráneas con cables aislados).

- Norma UNE HD 60364-5-52:2.011 (Instalaciones Eléctricas de Edificios. Parte 5: Selección e Instalación de Equipos Eléctricos. Capítulo 52: Canalizaciones. Sección 523: Corrientes Admisibles).

- Pliego de Condiciones Técnicas del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

- Orden de 26 de marzo de 2.007, por la que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas.

- Resolución de 26 de marzo de 2.018, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueba la Instrucción Técnica Componentes (ITC-FV-04) de la Orden de marzo de 2.007, por la que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas.

- Real Decreto 337/2.014, 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, en especial la ITC-RAT 14 sobre "instalaciones eléctricas de interior" y la ITC-RAT 16 sobre "conjuntos prefabricados de aparamenta bajo envolvente metálica hasta 52 kV.

3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE CONTINUA.

3.1. Generalidades.

La instalación eléctrica de baja tensión en corriente continua comprende todo el sistema de cableado desde las series de módulos fotovoltaicos hasta los inversores tipo *String*.

3.2. Descripción de los elementos de la instalación.

3.2.1. Series de módulos.

Los módulos fotovoltaicos irán conectados en series de 32 módulos, desde donde partirá un conductor en corriente continua hasta su correspondiente inversor tipo *String*.

3.2.2. Inversores tipo String.

Los inversores tipo String, irán fijados sobre pie metálico o de hormigón prefabricado.

Son los encargados de poner en paralelo las agrupaciones de series. En nuestro caso, se eligen inversores de hasta 18 entradas (bipolares +/ -).

Los inversores tipo String tendrán un grado de protección mínima de IP66 y estarán dotados en su interior de los siguientes elementos:

- Dispositivo de desconexión del lado de entrada.
- Protección anti-isla.

- Protección contra sobre intensidades AC.
- Protección contra polaridad inversa DC.
- Monitoreo de fallos de las series.
- Protección pararrayos AC/DC Tipo II.
- Detección de resistencia de aislamiento DC.
- Monitoreo de corriente residual.
- Elementos para lectura de datos y monitorización.

3.2.3. Conductor de baja tensión en corriente continua.

Para la elección y el dimensionamiento de los conductores se han aplicado los siguientes criterios:

- Tensión de operación: 1.500 Vdc
- Caída de tensión máxima admisible hasta la entrada a los Inversores: < 1,5%
- Intensidades de cálculo: maximizada un 25%

El conductor empleado en el cableado que une los módulos fotovoltaicos y los inversores tipo String, será de las siguientes características:

- Conductor: Cobre.
- Sección: 10 mm^2.
- Tensión de servicio: 1,5kV DC.
- Tensión máxima permitida: 1,8kV DC.
- Aislamiento y cubierta exterior: Elastómero termoestable.

La conexión se realizará mediante conectores tipo MC4 con las siguientes características:

- Corriente nominal: hasta 30A.
- Tensión máxima: 1.500Vdc.
- Grado de protección: IP67.
- Rango de temperatura: -40ºC hasta +90ºC.

3.3. Cálculo de conductores de baja tensión en corriente continua.

El resultado de cálculo para determinar y validar la sección de los conductores de baja tensión en corriente continua, según el criterio térmico y de caída de tensión, se recoge a continuación:

3.3.1. Cálculo de sección por intensidad admisible.

Se instalará un conductor diseñado según el estándar europeo EN 50618 y el estándar internacional IEC 62930, que garantiza una calidad a lo largo de la vida útil de la instalación fotovoltaica.

Con el valor de intensidad de cortocircuito en condiciones STC (Condiciones de Prueba Estándares) para realizar el cálculo obtendremos la sección por intensidad admisible y por intensidad de cortocircuito en un solo cálculo.

3.3.1.1. Factor de corrección por temperatura.

Cuando la temperatura del terreno es distinta a los 25 ºC, las intensidades admisibles se deberán multiplicar por un factor de corrección que tenga en cuenta el distinto salto térmico.

$$F_{ct} = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}}$$

En la tabla siguiente se reflejan los valores correspondientes a las distintas temperaturas del terreno, según la fórmula indicada:

Temperatura máxima de conductor (ºC)	Temperatura del terreno, en ºC, t								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

En nuestro caso, se tomará un factor de corrección por temperatura de **0,97**.

3.3.1.2. Factor de corrección por resistividad térmica del terreno.

Un factor a considerar es la resistividad estándar del terreno, la cual influye en la intensidad admisible en cables enterrados en instalaciones interiores o receptoras, frente al método que se venía utilizando hasta 2004 proveniente de la ITC-BT-07, que a su vez ha sido redactada basándose en la UNE 20435.

Resistividad térmica del terreno K.m/W	**0,5**	**0,7**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**
Cables en conductos enterrados (D1)	**1,28**	**1,2**	**1,18**	**1,1**	**1,05**	**1**	**0,96**

En nuestro caso, se tomará el valor de **1,0**.

3.3.1.3. Factor de corrección por agrupamiento

El calentamiento mutuo de los cables, cuando varios circuitos coinciden en la misma canalización, obliga a considerar un factor de corrección adicional para tener en cuenta la mayor dificultad para disipar el calor generado, ya que esta situación equivale a una mayor temperatura ambiente.

Por esta razón, la norma UNE-HD 60364-5-52 incluye la tabla B.52.19 en la que se reseñan los factores de corrección a considerar cuando en una canalización se encuentran juntos varios circuitos o varios cables multiconductores. Estos factores deben utilizarse para modificar las intensidades indicadas en la mencionada tabla.

Tabla B.52.19 – Factores de reducción para más de un circuito, cables en conductos enterrados en el suelo – Método de instalación D1 de las tablas B.52.2 a B.52.5

A) Cables multipolares en conductos individuales				
Número de cables	Distancia entre conductos [a]			
	Nula (conductos en contacto)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

En este caso, el valor de este coeficiente depende del número de circuitos que vayan alojados en la misma zanja, lo cual queda recogido en la tabla da cálculo.

3.3.2. Criterio de Caída de Tensión.

Para el criterio de caída de tensión se tendrá en cuenta la siguiente fórmula.

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S \cdot n}$$

Siendo:

ΔV = Caída de tensión en V

ρ = Resistividad del conductor

L = Longitud del Conductor

I = Intensidad de servicio permanente

S = Sección del conductor

n = Número de conductores por fase

Según el punto 5 de la ITC-BT40 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), la caída de tensión entre el generador y el punto de conexión a la red interior debe de ser como máximo del 1,5%.

Se considerará, por tanto, el 1,5% de caída de tensión entre los paneles y el inversor.

En valor absoluto:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100$$

En el cuadro de cálculo de secciones se detallan las distintas caídas de tensión de la red de corriente continua de la planta.

3.3.3. Criterio de Intensidad de Cortocircuito.

Este cálculo es implícito al criterio de la intensidad admisible, pues se ha partido de la intensidad de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos para calcular la sección. Las protecciones de las series están dentro de los inversores tipo String, al tener entrada directa de las cadenas sin caja de conexiones previa.

3.3.4. Resultado del cálculo.

A continuación, se muestra el resultado del cálculo de los conductores de baja tensión en corriente continua.

TRAMO							PREDIMENSIONAMIENTO			CRITERIO TERMICO						CRITERIO CAIDA DE TENSIÓN			CRIT. INT. CORTOCIRCUITO	
Tramo	L (m)	Método	I (A)	Coef	Ic (A)	V (V)	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iadm (A)	Coef. Tª	Coef. Res.	Coef. Agr.	Iadm* (A)	¿CUMPLE?	ΔV (V)	ΔV (%)	ΔV acum. (%)	Icc adm	Icc en kA
BAJA TENSIÓN																				
CORRIENTE CONTINUA																				
SERIE-INV.01	107,20	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	8,935	0,812	0,812	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.02	94,69	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	7,892	0,717	0,717	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.03	107,20	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	8,935	0,812	0,812	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.04	107,20	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	8,935	0,812	0,812	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.05	94,69	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	7,892	0,717	0,717	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.06	150,65	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	12,556	1,141	1,141	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.07	149,89	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	12,493	1,135	1,135	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.08	107,20	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	8,935	0,812	0,812	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.09	137,39	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	11,451	1,040	1,040	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.10	116,04	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	9,672	0,879	0,879	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.11	128,54	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	10,714	0,973	0,973	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.12	137,39	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,45	30,56	CUMPLE	11,451	1,040	1,040	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.13	116,04	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	9,672	0,879	0,879	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.14	158,74	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	13,231	1,202	1,202	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.15	107,20	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	8,935	0,812	0,812	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.16	149,89	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	12,493	1,135	1,135	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.17	149,89	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	12,493	1,135	1,135	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.18	77,00	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	6,418	0,583	0,583	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.19	149,89	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	12,493	1,135	1,135	No Aplica	No Aplica
SERIE-INV.20	147,54	D1	18,52	1,25	23,15	1.100,80	CU	10	1	70,00	0,97	1,00	0,49	33,27	CUMPLE	12,297	1,117	1,117	No Aplica	No Aplica

3.4. Protecciones.

3.4.1. Esquema de conexión.

Para proteger a las personas frente a derivaciones en el lado de corriente continua de la instalación se contemplan las siguientes soluciones:

- Configuración Flotante del Generador:

  Tanto el polo positivo como el negativo están aislados de tierra.

- Vigilancia permanente del aislamiento:

  Detecta los fallos de aislamiento a tierra de los polos (+) o (−). Esta protección está incorporada en los Inversores a instalar.

- Se procurará separar lo máximo posible los cables de corriente positivos de los negativos para que, en el caso de fallos de aislamientos, el daño sea el mínimo.

3.4.2. Protección de las series con fusibles.

Cada módulo solar posee un diodo *bypass* que impide que pueda absorber corriente de otro de los módulos de la serie, si en alguno de ellos se produce una sombra.

El inversor será de tipo “free fuse” por lo que no será necesario el empleo de fusibles de protección para los diferentes strings.

3.4.3. Protección contra sobretensiones.

Además, en la parte de corriente continua, los inversores irán provistos, en su interior, de descargador de sobretensiones Tipo 2, con una tensión máxima de funcionamiento de 1.500 Vdc.

La norma que regula las protecciones contra las sobretensiones es la IEC 61643-11, que establece los criterios para dimensionar el equipo capaz de limitar las sobretensiones a un valor que protejan los equipos. Para la protección del campo fotovoltaico el dispositivo a instalar debe cumplir:

- Nivel de protección (Up) < 2,5 kV, pues se considera que los equipos que se protegen se corresponden con la Categoría II (equipos destinados a conectarse a una instalación eléctrica fija).
- Tensión aplicada al dispositivo de protección en servicio permanente debe ser menor que la máxima tensión soportada por éste de manera continuada.
- Intensidad nominal de descarga deberá ser mayor de 5 kA, al ser de Tipo 2 la forma de onda de la corriente estará caracterizada por 8/20µs.
- La conexión entre dicho dispositivo y tierra deberá realizarse con un conductor de cobre de sección no inferior a 6 mm².

3.4.4. Interruptor seccionador en carga.

Este interruptor es un dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado), de accionamiento manual. Se utiliza para cerrar y abrir circuitos cargados en condiciones normales de circuitos, sin defectos.

Por lo tanto, no proporciona ninguna protección a los circuitos que controla. La norma que debe cumplir es la IEC 60947-3.

El inversor dispondrá de este dispositivo.

3.4.5. Puesta a tierra.

Se unirán al sistema de tierras las partes metálicas del marco de los módulos, la estructura soporte de los módulos, así como las carcasas de los inversores y todos los elementos metálicos con posibilidad de entrar en contacto con partes activas de la instalación. La descripción de la red de tierras es la siguiente:

- Se tratará de un hilo de cobre desnudo, de 35 mm^2 de sección, el cual discurrirá siguiendo el trazado de las zanjas de corriente continua. Se instalará a una profundidad mínima de 50 cm sobre la rasante. A este hilo se conectarán, en diferentes puntos y mediante cable aislado de las mismas características indicadas, las estructuras soportes de los módulos, así como todos los elementos metálicos con posibilidad de entrar en contacto con partes activas de la instalación.
- El vigilante permanente de aislamiento se debe conectar a la misma tierra de referencia que las estructuras de los paneles, por lo que se deberá unir a la misma conexión equipotencial que todas las tierras comentadas anteriormente.

El Reglamento, en su Instrucción MIE-RAT-13, apartado 4.2. establece las ecuaciones que se incluyen a continuación, para el cálculo de la resistencia de electrodos:

TIPO DE ELECTRODO	RESISTENCIA
Placa enterrada profunda	$R = 0{,}8\,\frac{\rho}{P}$
Placa enterrada vertical	$R = 1{,}6\,\frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2\,\frac{\rho}{L}$
Malla de tierra	$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

Siendo:

R = Resistencia a tierra del electrodo, en ohmios.

ρ = Resistividad del terreno, en ohmios metro.

P = Perímetro de la placa, en metros.

L = Longitud en metros de la pica o del conductor, y en la malla la longitud total de los conductores enterrados.

r = Radio en metros de un círculo de la misma superficie del área cubierta por la malla.

En nuestro caso, el electrodo de puesta a tierra estará formado por un conjunto de picas verticales de 2 metros de longitud y conductor de cobre desnudo de 35mm^2, enterradas a 0,5 m de profundidad, a lo largo de toda la estructura de la instalación de los módulos fotovoltaicos, para conseguir una resistencia a tierra igual o inferior a 25Ω en toda la instalación. Considerando la resistividad del terreno en 150 Ω.m, tendremos:

$$R = \frac{\rho}{L} = 25\ \Omega$$

Total de picas de 2 metros= 123 picas.

Total conductor de cobre desnudo de 35mm^2= 2.460 m.

Con lo que se estima una resistencia de puesta a tierra, para la instalación fotovoltaica, de 0,1016 Ω.

No obstante lo expuesto, y de acuerdo con el punto 12 de la ITC-BT-18, y dada la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad cualquier instalación de toma de tierra deberá ser obligatoriamente comprobada por el Director de la Obra, o Empresa instaladora, en el momento de dar de alta la instalación para su puesta en marcha o en funcionamiento.

4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE ALTERNA.

La instalación eléctrica de baja tensión en corriente alterna comprende todo el sistema de cableado desde los inversores *String*, hasta el Centro de Baja Tensión (CBT), y

desde éste hasta el Centro de Media Tensión (CMT), donde se alojará el transformador de 4000 kVA.

Para la elección y el dimensionamiento de los conductores se han aplicado los siguientes criterios:

- Tensión de operación: 800 V
- Caída de tensión máxima admisible < 1,0%
- Intensidades de cálculo: maximizada un 25%

El conductor empleado en el cableado de corriente alterna, será de las siguientes características:

- Conductor: Aluminio o cobre, según tramo (ver esquema unifilar).
- Tensión de servicio: 0,6/1kV AC.
- Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE).
- Cubierta exterior: Poliolefina termoplástica.

4.1. Cálculo de sección por intensidad admisible.

4.1.1. Intensidad máxima admisible.

La intensidad máxima admisible de las líneas de corriente alterna de salida de cada inversor se calculará teniendo en cuenta loa potencia de este y que la instalación es trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

Se considerará un cos φ igual a 1.

4.1.2. Factor de corrección por temperatura.

Cuando la temperatura del terreno es distinta a los 25ºC, las intensidades admisibles se deberán multiplicar por un factor de corrección que tenga en cuenta el distinto salto térmico.

$$F_{ct} = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}}$$

En la tabla siguiente se reflejan los valores correspondientes a las distintas temperaturas del terreno, según la fórmula indicada:

Temperatura máxima de conductor (ºC)	Temperatura del terreno, en ºC, t								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

En nuestro caso, se tomará un factor de corrección por temperatura de **0,97**.

4.1.3. Factor de corrección por resistividad térmica del terreno

Un factor a considerar es la resistividad estándar del terreno, la cual influye en la intensidad admisible en cables enterrados en instalaciones interiores, o receptoras, frente al método que se venía utilizando hasta 2004 proveniente de la ITC-BT-07, que a su vez ha sido redactada basándose en la UNE 20435.

Resistividad térmica del terreno K.m/W	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Cables en conductos enterrados (D1)	1,28	1,2	1,18	1,1	1,05	1	0,96

4.1.4. Factor de corrección por agrupamiento

El calentamiento mutuo de los cables, cuando varios circuitos coinciden en la misma canalización, obliga a considerar un factor de corrección adicional para tener en cuenta la mayor dificultad para disipar el calor generado, ya que esta situación equivale a una mayor temperatura ambiente.

Por esta razón, la norma UNE-HD 60364-5-52 incluye la tabla B.52.19 en la que se reseñan los factores de corrección a considerar cuando en una canalización se encuentran juntos varios circuitos o varios cables multiconductores. Estos factores deben utilizarse para modificar las intensidades indicadas en la mencionada tabla.

Tabla B.52.19 – Factores de reducción para más de un circuito, cables en conductos enterrados en el suelo – Método de instalación D1 de las tablas B.52.2 a B.52.5

A) Cables multipolares en conductos individuales				
Número de cables	Distancia entre conductos [a]			
	Nula (conductos en contacto)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

En este caso, el valor de este coeficiente depende del número de circuitos que vayan alojados en la misma zanja, lo cual queda recogido en la tabla de cálculo.

4.2. Criterio de Caída de Tensión.

Para el criterio de caída de tensión se tendrá en cuenta la siguiente fórmula.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{S \cdot n}$$

Siendo:

ρ = Resistividad del conductor.

L = Longitud de la Línea.

I = Intensidad nominal de la corriente.

S = Sección elegida del conductor.

n = Número de conductores por fase.

cos φ = Coseno de φ entre la tensión de fase e intensidad

En valor absoluto:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100$$

En nuestro caso consideraremos un cos φ igual a 1.

4.3. Criterio de Intensidad de Cortocircuito.

El criterio de verificación del cableado por criterio de cortocircuito, se basa en la premisa básica de que las protecciones eléctricas a instalar actuarán antes de poner en riesgo la integridad del mismo, ante este tipo de defectos. En el apartado posterior, se desarrolla la justificación del mismo.

4.4. Resultado del cálculo.

El resultado de cálculo para determinar y validar la sección de los conductores de baja tensión en corriente alterna, según el criterio térmico y de caída de tensión, se recogen a continuación.

TRAMO										CRITERIO INT. MÁX. ADM						CRITERIO CAÍDA DE TENSIÓN		
Tramo	L (m)	Método	I (A)	Coef	I cal. (A)	V (V)	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iadm (A)	Coef.Tª	Coef. Res.	Coef. Agr.	Iadm* (A)	¿CUMPLE?	AV (V)	AV (%)	AV acum. (%)
INV.01-CBT	115,94	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	150	2	201	0,97	1	0,49	95,5353	CUMPLE	3,475	0,434	0,434
INV.02-CBT	96,54	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	150	2	201	0,97	1	0,49	95,5353	CUMPLE	2,894	0,362	0,362
INV.03-CBT	98,25	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	150	2	201	0,97	1	0,49	95,5353	CUMPLE	2,945	0,368	0,368
INV.04-CBT	78,84	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	150	2	201	0,97	1	0,49	95,5353	CUMPLE	2,363	0,295	0,295
INV.05-CBT	70,01	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	150	2	201	0,97	1	0,49	95,5353	CUMPLE	2,099	0,262	0,262
INV.06-CBT	29,09	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	0,545	0,068	0,068
INV.07-CBT	30,30	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	0,568	0,071	0,071
INV.08-CBT	24,39	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	0,457	0,057	0,057
INV.09-CBT	39,15	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	0,733	0,092	0,092
INV.10-CBT	56,83	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	1,065	0,133	0,133
INV.11-CBT	50,92	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	0,954	0,119	0,119
INV.12-CBT	59,77	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	1,120	0,140	0,140
INV.13-CBT	74,52	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	1,396	0,175	0,175
INV.14-CBT	77,45	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	1,451	0,181	0,181
INV.15-CBT	92,21	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	1,728	0,216	0,216
INV.16-CBT	95,14	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	1,782	0,223	0,223
INV.17-CBT	103,99	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	1,948	0,244	0,244
INV.18-CBT	118,74	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,42	106,3314	CUMPLE	2,225	0,278	0,278
INV.19-CBT	121,67	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	2,279	0,285	0,285
INV.20-CBT	130,52	D1	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	2	261	0,97	1	0,39	98,7363	CUMPLE	2,445	0,306	0,306
CBT-CMT	20,03	D1	2886,75	1	2886,75	800	CU	300	8	380	0,97	1	1	368,6	CUMPLE	0,917	0,115	0,549

Para el dimensionamiento del cableado de conexión al transformador de potencia, se ha considerado oportuno, no incrementar en un 25 % la intensidad proveniente de todos los inversores y optar por asumir como intensidad de cálculo, la intensidad en secundario permisible en condiciones estándar, por este equipo. La motivación de esta actuación, se debe a las limitaciones en las conexiones físicas que presentan estos equipos, la ya compleja ejecución de los trabajos propuestos sin aplicar este incremento, pero también debido a que los cálculos considerados en las salidas de los inversores asumen unos valores conservadores. Existen equipos que poseen una potencia en (kWp) en condiciones STC inferiores a la potencia nominal del inversor, existen limitaciones de corriente de entrada al configurar más de un string por MPPt…

Para la conexión del cableado de alterna a los inversores, estos últimos no admiten la conexión de 2 cables por fase, por lo que se instalará, junto a cada inversor, un cuadro eléctrico para reducir la sección, de manera que a cada inversor se le conectará 1 cable por fase de 240 mm^2.

TRAMO										CRITERIO INT. MÁX. ADM						CRITERIO CAÍDA DE TENSIÓN		
Tramo	L (m)	Método	I (A)	Coef	I cal. (A)	V (V)	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iadm (A)	Coef.Tª	Coef. Res.	Coef. Agr.	Iadm* (A)	¿CUMPLE?	AV (V)	AV (%)	AV acum. (%)
C.RED-INV	1,00	C	144,338	1,25	180,42	800	AL	240	1	261	0,87	--	1	227,07	CUMPLE	0,037	0,005	0,005

Para verificar el cableado por el criterio de cortocircuito, en primer lugar, debemos justificar la protección eléctrica implementada:

- <u>Cálculo de fusibles frente a sobrecargas</u>

  Según los cables considerados, deberá verificarse:

$$I_b \leq I_n \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_Z$$

$$I_2 = n \cdot I_n$$

Siendo:

Ib = Intensidad utilizada en el circuito, A

In = Intensidad nominal del dispositivo de protección, A

Iz = Intensidad admisible en el conductor en las condiciones de instalación, A.

I2 = Intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección, A. Se toma igual a la intensidad de funcionamiento en el tiempo convencional.

n = número de veces que la intensidad I2 es la intensidad del dispositivo de protección.

Tomaremos como referencia la protección de uno de los inversores, siendo la conclusión semejante para el resto de líneas.

$$144 \leq I_n \leq 191$$

$$I_2 \leq 1{,}45 * 191;\ I_2 = n * I_n$$

$$144 \leq I_n \leq \frac{1{,}45}{n} * 191$$

Donde el factor de proporcionalidad n, dependerá del tipo de fusible elegido. Asumiremos un factor de proporcionalidad de 1,6, aunque debería consultarse las curvas de fusión del fusible para ratificar esta aproximación, entendemos que la apreciación realizada es suficientemente válida.

$$144 \leq I_n \leq 173$$

Así optamos por la instalación de fusibles de 160 A (x3), gG para la protección de todas las líneas de alimentación a los inversores.

- Cálculo de fusibles por cortocircuito

Se asumirá que el cortocircuito trifásico es el que genera las corrientes más elevadas, mientras que será el defecto entre dos fases, quien producirá la corriente de

cortocircuito mínima en el punto a estudio, que se puede demostrar igual a 0,86 Icc trifásico. Observándose que existe el suficiente margen para no ser preciso un cálculo más laborioso, al complicarse la determinación impedancia equivalente recorrida por Icc desde el generador hasta el punto de defecto, en otro tipo de defectos (Defecto a tierra).

Nos apoyaremos en las siguientes expresiones:

$$I_{CC} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{CC}}$$

Siendo:

U = Tensión compuesta entre fases, V

Icc = Intensidad de cortocircuito trifásico, A

Zcc = Impedancia equivalente de todas las impedancias recorridas por Icc desde el generador hasta el punto de defecto, Ω

$$Z_{CC} = \sqrt{\left(\sum R\right)^2 + \left(\sum X\right)^2}$$

∑R = Suma de todas las resistencias en serie, Ω

∑X = Suma de todas las reactancias en serie, Ω

$$Z_{TR} = \frac{u_{cc}}{100}\frac{U^2}{S_n}$$

$$R_{TR} = \frac{U^2}{S_n{}^2}W$$

Ztr = Impedancia del transformador, Ω

U = Tensión compuesta entre fases, V

Ucc = Tensión de cortocircuito, %.

Sn = Potencia aparente del transformador, VA

Rtr = Parte resistiva de la impedancia del transformador, Ω.

W = Pérdidas en el cobre por efecto Joule en los arrollamientos, W.

Para la determinación de la resistencia y reactancia por unidad de longitud (Ω/m) de los cableados presentes se consultan referencias bibliográficas. Así se arrojan los siguientes resultados:

TRAMO					CRITERIO CORTOCIRCUITO		
Tramo	L (m)	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iccmax (kA)	Iccmin (kA)	Is (kA)
INV.01-CBT	115,94	AL	150	2	40,36	17,36	12,61
INV.02-CBT	96,54	AL	150	2	40,36	19,25	12,61
INV.03-CBT	98,25	AL	150	2	40,36	19,07	12,61
INV.04-CBT	78,84	AL	150	2	40,36	21,30	12,61
INV.05-CBT	70,01	AL	150	2	40,36	22,46	12,61
INV.06-CBT	29,09	AL	240	2	40,36	30,16	20,18
INV.07-CBT	30,30	AL	240	2	40,36	29,97	20,18
INV.08-CBT	24,39	AL	240	2	40,36	30,86	20,18
INV.09-CBT	39,15	AL	240	2	40,36	28,73	20,18
INV.10-CBT	56,83	AL	240	2	40,36	26,42	20,18
INV.11-CBT	50,92	AL	240	2	40,36	27,16	20,18
INV.12-CBT	59,77	AL	240	2	40,36	26,06	20,18
INV.13-CBT	74,52	AL	240	2	40,36	24,37	20,18
INV.14-CBT	77,45	AL	240	2	40,36	24,05	20,18
INV.15-CBT	92,21	AL	240	2	40,36	22,55	20,18
INV.16-CBT	95,14	AL	240	2	40,36	22,27	20,18
INV.17-CBT	103,99	AL	240	2	40,36	21,46	20,18
INV.18-CBT	118,74	AL	240	2	40,36	20,22	20,18
INV.19-CBT	121,67	AL	240	2	40,36	19,98	20,18
INV.20-CBT	130,52	AL	240	2	40,36	19,31	20,18
CBT-CMT	20,03	CU	300	8	40,36	34,71	153,48

Para justificar la adecuación de la protección (fusibles) e integridad del cableado, nos apoyaremos:

- Su poder de corte será mayor, en el punto en el que estén instalados, que el valor de la intensidad de cortocircuito máxima prevista. Los fusibles presentarán un poder de corte superiores a 50 kA.

- Toda la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en cualquier punto, debe interrumpirse en un tiempo inferior a aquel que llevaría al conductor a alcanzar su temperatura límite. (250 º C para conductores XLPE como los proyectados).

Para esta segunda condición, será necesario ratificar:

$$I_S > I_f$$

$$I_{cc} > I_f$$

Siendo:

Is = Intensidad de cortocircuito admisible en el cable durante un tiempo máximo de 5 segundos.

Icc = Intensidad de cortocircuito en el punto que está situado el fusible.

If = Intensidad de fusión del fusible en 5 segundos.

Así, para determinar:

$$I_S = k\frac{S}{\sqrt{t}}$$

k = constante que depende de la naturaleza del conductor (Cu o Al) y del tipo de aislamiento (PVC o XLPE). Cu aislamiento en PVC (115), Cu aislamiento en XLPE (143), Al aislamiento en XLPE (94).

S = sección del conductor, mm^2

t = duración del cortocircuito, s

Atendiendo a las curvas de fusión (Tiempo-Corriente) de un fabricante de fusibles gG, se puede leer que la intensidad de fusión If en cinco segundos, es de unos 400 A.

Por lo tanto, tomando como referencia una de las protecciones expuestas, se cumple:

$$I_S = 12.61\ kA > I_f \approx 400\ A$$

$$I_{cc} = 17.36\ kA > I_f \approx 400\ A$$

5. CENTRO DE BAJA TENSIÓN (CBT).

Para la ubicación de los armarios de baja tensión en alterna, así como todos los elementos necesarios para el sistema de monitorización y seguridad, se ha optado por instalar un edificio prefabricado con las características que a continuación se describen.

5.1. Descripción.

El edificio consta de una envolvente de hormigón, de estructura monobloque, en cuyo interior se incorporan todos los componentes eléctricos, desde los cuadros de baja tensión, embarrado, dispositivos de control e interconexiones entre los diversos elementos.

La principal ventaja que presentan estos edificios es que tanto la construcción como el montaje y equipamiento interior pueden ser realizados íntegramente en fábrica, garantizando con ello una calidad uniforme y reduciendo considerablemente los trabajos de obra civil y montaje en el punto de instalación.

5.2. Envolvente.

La envolvente del edificio es de hormigón armado vibrado. Se compone de dos partes: una que aglutina el fondo y las paredes, que incorpora las puertas y rejillas de ventilación natural, y otra que constituye el techo.

Las piezas construidas en hormigón ofrecen una resistencia característica de 300 kg/cm². Además, disponen de una armadura metálica, que permite la interconexión entre sí y al colector de tierras. Esta unión se realiza mediante latiguillos de cobre, dando lugar a una superficie equipotencial que envuelve completamente al centro. Las puertas y rejillas están aisladas eléctricamente, presentando una resistencia de 10 kOhm respecto de la tierra de la envolvente.

Las cubiertas están formadas por piezas de hormigón con inserciones en la parte superior para su manipulación.

En la parte inferior de las paredes frontal y posterior se sitúan los orificios de paso para los cables. Estos orificios están semiperforados, realizándose en obra la apertura de los que sean necesarios para cada aplicación. De igual forma, dispone de unos orificios semiperforados practicables para las salidas a las tierras exteriores.

5.3. Placa Piso.

Sobre la placa base y a una altura de unos 400 mm se sitúa la placa piso, que se sustenta en una serie de apoyos sobre en el interior de las paredes, permitiendo el paso de cables a los que se accede a través de unas troneras cubiertas con losetas.

5.4. Accesos.

En la pared frontal se sitúan la puerta de acceso de peatones (con apertura de 180º) y rejillas de ventilación. Todos estos materiales están fabricados en chapa de acero.

La puerta de acceso dispone de un dispositivo de cierre con objeto de garantizar la seguridad de funcionamiento para evitar aperturas intempestivas de las mismas del Centro de Seccionamiento. Para ello se utiliza una cerradura que anclan las puertas en dos puntos, uno en la parte superior y otro en la parte inferior.

5.5. Acabado.

El acabado de las superficies exteriores se efectúa con pintura acrílica rugosa de color blanco en las paredes y marrón en el perímetro de la cubierta o techo, puertas y rejillas de ventilación.

Las piezas metálicas expuestas al exterior están tratadas adecuadamente contra la corrosión.

5.6. Alumbrado.

El edificio está dotado de alumbrado conectado y gobernado desde el cuadro de BT, el cual dispone de un interruptor para realizar dicho cometido.

5.7. Cimentación.

Para la colocación del edificio en obra, es necesaria una excavación, cuyas dimensiones variarán en función de la solución adoptada para la red de tierras, sobre cuyo fondo se extiende una capa de arena compactada y nivelada de 100 mm de espesor.

5.8. Características detalladas.

ACCESOS	
Puertas de acceso peatón:	1
DIMENSIONES EXTERIORES	
Longitud:	4460 mm
Fondo:	2380 mm
Altura:	3250 mm
Altura vista:	2790 mm
Peso:	13465 kg
DIMENSIONES INTERIORES	
Longitud:	4280 mm
Fondo:	2200 mm
Altura:	2355 mm

5.9. Características de los cuadros de protección de B.T.

Los cuadros estarán fijados a la pared y guardando en todo momento las distancias de seguridad correspondientes.

El conjunto, tendrá las siguientes dimensiones:

DIMENSIONES CUADROS BT	
Longitud:	2275 mm
Altura:	2025 mm
Profundidad:	475 mm

Estará formado por los siguientes elementos:

- Red de tierras interiores.

- Alumbrado interior.
- Elementos de seguridad (guantes, banqueta y carteles de primeros auxilios).
- Extintor 89B (CO2).
- Cuadro de baja tensión de agrupación de inversores, compuesto por:
  - 1 × Interruptor automático ABB o similar, 3200A 3P Sin neutro. Con bloque para protección diferencial.
  - 20 × salidas fusibles
  - 60 × fusibles SIBA o similar, NH1 160A gG 800 VAC
  - 1 × descargador sobretensión tipo I + II
  - Embarrado 3200A.
- Transformador de SSAA trifásico, de aislamiento seco, 10 kVA, Dyn11
- Cuadro de servicios auxiliares del propio centro.
- Juego de puentes de cables de BT, para alimentación de transformador de 10 kVA.
- Puesta a tierra, para herrajes, incluyendo 3 picas de 2 m de longitud, cable de cobre desnudo, cable de cobre aislado de 0,6/1 kV y elementos de conexión.
- Puesta a tierra para neutro del transformador de 10kVA, incluyendo 1 pica de 2m de longitud, conductor de cobre desnudo, cable de cobre de 0,6/1 kV y elementos de conexión.

El CBT estará dotado de un transformador de servicios auxiliares de una potencia de 10 kVA, suficiente para la alimentación de la maniobra, alumbrado y monitorización.

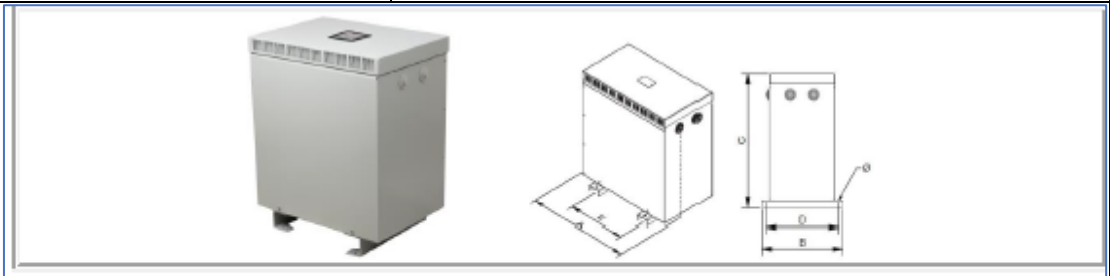
5.10. Transformador de servicios auxiliares.

Se instalará un transformados con salida en 400 V y 10 kVA de potencia para la alimentación a los distintos servicios auxiliares de las instalaciones.

Las características del transformador de servicios auxiliares son las siguientes:

Potencia	10kVA
Tensión de Entrada	800V

Tensión de Salida	400V+N
Frecuencia	50/60 Hz
Grupo de conexión	Dyn11
Envolvente	Envolvente metálica RAL 7035 (cat. C3 ISO 12994-2)
Grado de protección	IP-23/IK-08
Refrigeración	ANAN
Incremento de temperatura	Clase F
Aislantes	Clase F-155 °C
Bobinado	Clase HC - 200 °C
Po (sin carga)	Po= 120 W
Pee (plena carga)	Pcc= 155 W
Eficiencia (%)	95,7
Nivel de ruido (dB)	<45
Tensión de prueba	3 kV (1 min, 50 Hz)
Normas	IEC/EN/UNE-EN 61558, CE



Item	Referencia*	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	ø (mm)	Peso (kg)
2	TTS0319X0356	528	418	644	375	345	12Ø	89 kg

Observación: Las dimensiones mencionadas en esta oferta son aproximadas y pueden ser modificadas sin previo aviso.
No se admitirán devoluciones de productos especiales una vez servidos, ni anulaciones una vez fabricados.

5.11. Líneas de los servicios auxiliares del CBT.

Al ser una instalación estándar y normalizada de un fabricante de aparamenta e instalaciones prefabricadas se considera que las canalizaciones, cableado y protecciones de los distintos receptores incluidos en las casetas, como son iluminación, ventilación, monitorización, etc. Están convenientemente justificados por el fabricante. Por lo que se considera que no es necesario los cálculos de dichas instalaciones.

Estará compuesto por un CGP en el CBT y otro CGP en el CMT.

En el esquema unifilar se han indicado los elementos de protección incluidos en estos cuadros eléctricos, así como los diferentes circuitos a los que protegerán.

5.12. Puesta a tierra del Centro de Baja Tensión.

Todas las partes metálicas, tanto de la caseta como de los herrajes de los cuadros de baja tensión, serán puestos a tierra. Para ello se usará un conductor de al menos 25 mm^2 de sección en cobre, de acuerdo con la ITC-BT-18 en su tabla 1.

Tipo	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión*	Según apartado 3.4	16 mm^2 Cobre 16 mm^2 Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión	25 mm^2 Cobre 50 mm^2 Hierro	
* La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente		

Dado que no existe protección mecánica contra contactos indirectos, se conseguirá una resistencia a tierra inferior a 12 Ω.

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella, en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V por ser zona de alta humedad.

Para el cálculo de resistencia de puesta a tierra para un electrodo vertical, tenemos que hallar la resistencia de dicho electrodo, que puede ser determinada por la siguiente formula.

$$R_{electrodo} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln\left(\frac{4t}{d} - 1\right)\right.$$

Siendo:

ρ = Resistividad aparente del suelo Ω.m.

L = Longitud del electrodo en m.

d = Diámetro de la sección transversal del electrodo en m.

t = Profundidad a la que se instala el electrodo en m.

En nuestro caso, se usará un tipo de electrodo de 2 m de 5/8" (0,0159m).

A una profundidad de 0,3 m el valor de la resistencia del electrodo es:

$$R_{electrodo} = 29{,}2\ \Omega$$

Para determinar el número de electrodos adicionales, se procederá a instalar la toma de tierra y medir su resistencia. Si este valor excede del máximo de 12 Ω, se deberá multiplicar en forma separada su valor por cada uno de los siguientes factores 0,60, 0,44 y 0,36 hasta lograr una cifra igual o inferior a 12 Ω.

En nuestro caso, por tanto, se instalarán 3 picas de esas dimensiones a una distancia de 3 metros entre ellas.

No obstante lo anterior, y de acuerdo con el punto 12 de la ITC-BT-18, y dada la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por el Director de la Obra, o Empresa instaladora, en el momento de dar de alta la instalación para su puesta en marcha o en funcionamiento.

- **Cálculo de contactos indirectos.**

La resistencia de puesta a tierra es la que existe entre el electrodo y un punto lejano del terreno a potencial cero. Para determinar esta resistencia será preciso conocer la diferencia de potencial entre estos dos puntos (tensión de defecto) y al dividir esta tensión por la intensidad que disipa el electrodo, se obtendrá el correspondiente valor de la resistencia.

Picas en hilera unidas por un conductor horizontal.
Separación entre picas : 3 m
Longitud pica - 2 m.

Sección conductor - 50 mm^2.
Diámetro picas - 14 mm.

PROFUNDIDAD - 0'5 m.

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,201	0,0392	5/22
3	0,135	0,0252	5/32
4	0,104	0,0184	5/42
6	0,073	0,0120	5/62
8	0,0572	0,00345	5/82

Código de la configuración de Picas: **5/32**

VALORES

U	Tensión de servicio	0,8	kV
Id	Limitación intensidad a tierra	300	A
ρ	Resistencia a tierra terreno	150	ohm*m
ρ`o	Resistencia del hormigón	3000	ohm*m
Kr	Resistencia de Puesta a tierra	0,135	Ω·m
Kp	Tensión de paso máxima Kp	0,0134	Ω·m
Kc	Tensión de contacto exterior máx.	No aplica	Ω·m

Para el cálculo del electrodo, dada su complejidad, se han creado una serie de tablas en las que, para diferentes geometrías del electrodo, se especifican los siguientes parámetros

La resistencia total de puesta a tierra será:

$$Rt = Kr * \rho = 20,25\ \Omega$$

A continuación, se calcula la intensidad de defecto a partir de la siguiente expresión:

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3}\sqrt{(R_n + R'_t)^2 + {X_n}^2}}$$

Siendo:

X = Reactancia del neutro puesto a tierra (30 Ω).

Por lo tanto:

$$I'_d = 9{,}20\ A$$

A continuación, se calcula la tensión de paso en el exterior:

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = 18{,}50\ V$$

La tensión de defecto se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = 186{,}35\ V$$

La separación entre masas y neutro en el transformador de servicios auxiliares, es la siguiente:

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \pi} = 0{,}20\ m$$

Las tensiones máximas aplicables al cuerpo humano según la MIE-RAT-13

K=	78,5
n=	0,18
t=	1

- Tensión de contacto: $V_{ca} = \frac{K}{t^n} = 78{,}50\ V$
- Tensión de paso: $V_{pa} = 10 \cdot \frac{K}{t^n} = 785{,}00\ V$

Siendo:

V_{ca} = Tensión de contacto en V.

V_{pa} = Tensión de paso en V.

t = tiempo en segundos.

K y n = constantes en función del tiempo obtenidos de la siguiente tabla:

0,9 ≥ t	> 0,1s	⇒	K	= 72	n	=	1
3 ≥ t	> 0,9s	⇒	K	= 78,5	n	=	0,18
5 ≥ t	> 3s	⇒	V_{ca}	= 64 V	V_{pa}	=	640 V
t	> 5s	⇒	V_{ca}	= 50 V	V_{pa}	=	500 V

Hay que distinguir entre estos valores máximos aplicables al cuerpo humano V_p y V_c y l_{aa} tensiones de contacto V_c y V_p que pueden aparecer en el terreno.

Las tenciones V_{ca} y V_{pa} son las partes de V_c y V_p que resultan aplicadas al cuerpo humano y que no deben sobrepasar los valores máximos indicados.

Estas tensiones se calculan a partir de las siguientes fórmulas:

$$V_{pa} = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right) = 1.492\ V$$

$$V_{ca} = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1{,}5 \cdot \rho}{1000}\right) = 96{,}16\ V$$

Siendo:

ρ = la resistividad del terreno, expresada en Ω ·m.

Para evitar que la sobretensión que aparece al producirse un defecto en el aislamiento del circuito de alta tensión, deteriore los elementos de baja tensión del centro, el electrodo de puesta a tierra debe tener un efecto limitador, de forma que la tensión de defecto (Vd) sea inferior a la que soportan dichas instalaciones.

CONCEPTO	VALOR CALCULADO	CONDICIÓN	VALOR ADM.
Tensión de paso en el exterior	18,50	≤	1.492
Tensión de defecto	186,35	≤	8.000

Se puede observar por los resultados que se cumplen los criterios.

6. CENTRO DE MEDIA TENSIÓN (CMT).

La energía producida por la instalación fotovoltaica que se entrega a una tensión de 800 V será elevada a 25 kV para su transporte al punto de vertido, ubicado en la Estación de Bombeo de Herreros.

Para ello se instalará, un transformador de potencia de 4.000 kVA, 800V/25kV ubicado en el interior de un edificio prefabricado de hormigón, donde se dispondrá de todos los elementos necesarios para realizar la protección.

El Centro de Media Tensión (CMT), dispondrá de los siguientes elementos:

- Red de tierras interiores.
- Alumbrado interior.
- Elementos de seguridad (guantes, banqueta y carteles de primeros auxilios).
- Extintor 89B (CO2).
- Puente MT.
- Cuadro de SSAA para alimentar los servicios auxiliares del propio centro.
- Ud. Celda modular de línea de 36 kV, 400 A, 16 kA de corte y aislamiento integro en SF6 de 418mm de ancho por 1.745 mm de alto y 850 mm de fondo.

- 1 Ud. Celda de interruptor automático tripolar de corte en vacío, Vn = 36 kV, In = 400 A, Icc = 16 kA, mando manual con bobina de disparo y contactos auxiliares.
- 1 Ud. de Celda de medida de 36 kV, 400 A.
- 1 Ud. Transformador trifásico hermético de llenado integral en éster vegetal, tipo Organic, refrigeración natural, según norma IEC 60076. 4.000 kVA, Dy11, 800V/25kV.
- Servicio de configuración del relé de protección multifunción.
- Puesta a tierra exteriores código 80-40/5/82 (según UNESA), incluyendo 8 picas de 2,00 m de longitud, cable de cobre desnudo, cable de cobre aislado de 0,6/1kV y elementos de conexión.
- Cables MT 18/30 kV del tipo RH5Z1, unipolares, con conductores de sección y material 1x95 Al empleando 3 de 10 m de longitud, y terminaciones EUROMOLD de 36 kV del tipo enchufable acodada y modelo M400LR.
- Contador tarificador electrónico multifunción.

6.1. Características generales del centro de transformación.

El centro de transformación objeto de este proyecto tiene la misión de transformar la energía generada por la instalación fotovoltaica, la cual se recibe a 800 V, hasta 25 kV, para su transporte al punto de conexión.

6.2. Programa de necesidades y potencia instalada en kVA.

Se precisa el suministro de energía a una tensión de 25 kV, partiendo de una entrada a transformador de 800 V con una potencia máxima simultánea de 4.000 kW.

Para atender a las necesidades arriba indicadas, la potencia total instalada en este Centro de Transformación es de 4.000 kVA.

6.3. Descripción.

El CMT objeto de este proyecto consta de una única envolvente, en la que se encuentra toda la aparamenta eléctrica, máquinas y demás equipos.

Para el diseño de este centro se han tenido en cuenta todas las normativas anteriormente indicadas.

El edificio consta de una envolvente de hormigón, de estructura monobloque, en cuyo interior se incorporan todos los componentes eléctricos, desde la aparamenta de MT, hasta los cuadros y celdas, incluyendo los transformadores, dispositivos de control e interconexiones entre los diversos elementos.

La principal ventaja que presentan estos edificios prefabricados es que tanto la construcción como el montaje y equipamiento interior pueden ser realizados íntegramente en fábrica, garantizando con ello una calidad uniforme y reduciendo considerablemente los trabajos de obra civil y montaje en el punto de instalación.

6.4. Envolvente.

La envolvente del CMT es de hormigón armado vibrado. Se compone de dos partes: una que aglutina el fondo y las paredes, que incorpora las puertas y rejillas de ventilación natural, y otra que constituye el techo.

Las piezas construidas en hormigón ofrecen una resistencia característica de 300 kg/cm². Además, disponen de una armadura metálica, que permite la interconexión entre sí y al colector de tierras. Esta unión se realiza mediante latiguillos de cobre, dando lugar a una superficie equipotencial que envuelve completamente al centro. Las puertas y rejillas están aisladas eléctricamente, presentando una resistencia de 10 kOhm respecto de la tierra de la envolvente.

Las cubiertas están formadas por piezas de hormigón con inserciones en la parte superior para su manipulación.

En la parte inferior de las paredes frontal y posterior se sitúan los orificios de paso para los cables. Estos orificios están semiperforados, realizándose en obra la apertura de los que sean necesarios para cada aplicación. De igual forma, dispone de unos orificios semiperforados practicables para las salidas a las tierras exteriores.

El espacio para el transformador, diseñado para alojar el volumen de líquido refrigerante de un eventual derrame, dispone de dos perfiles en forma de "U", que se pueden deslizar en función de la distancia entre las ruedas del transformador.

6.5. Placa piso.

Sobre la placa base y a una altura de unos 400 mm se sitúa la placa piso, que se sustenta en una serie de apoyos en el interior de las paredes, permitiendo el paso de cables a los que se accede a través de unas troneras cubiertas con losetas.

6.6. Accesos.

En la pared frontal se sitúan la puerta de acceso de peatones, la puerta del transformador (ambas con apertura de 180º) y las rejillas de ventilación. Todos estos materiales están fabricados en chapa de acero.

Las puertas de acceso disponen de un sistema de cierre, con objeto de garantizar la seguridad de funcionamiento y para evitar aperturas intempestivas de las puertas del centro de transformación. Para ello, se utiliza una cerradura de diseño que anclan las puertas en dos puntos, uno en la parte superior y otro en la parte inferior.

6.7. Ventilación.

El CMT irá provisto de un sistema de ventilación forzada mediante extractor de un caudal suficiente para mantener una temperatura idónea para el funcionamiento correcto de la instalación.

Además, contará con las correspondientes rejillas para la conducción de la ventilación forzada con lamas en forma de "V" invertida, diseñadas para formar un laberinto que evita la entrada de agua de lluvia en el Centro de Transformación, y se complementa cada rejilla interiormente con una malla mosquitera.

6.8. Acabado.

El acabado de las superficies exteriores se efectúa con pintura acrílica rugosa de color blanco en las paredes y marrón en el perímetro de la cubierta o techo, puertas y rejillas de ventilación.

Las piezas metálicas expuestas al exterior están tratadas adecuadamente contra la corrosión.

6.9. Alumbrado.

El equipo va provisto de alumbrado conectado y gobernado desde el cuadro de BT, el cual dispone de un interruptor para realizar dicho cometido.

6.10. Varios.

Sobrecargas admisibles y condiciones ambientales de funcionamiento según normativa vigente.

6.11. Cimentación.

Para la ubicación del CMT es necesaria una excavación, cuyas dimensiones variarán en función de la solución adoptada para la red de tierras, sobre cuyo fondo se extiende una capa de arena compactada y nivelada de 100 mm de espesor.

6.12. Características detalladas.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	
Nº de transformadores:	1
ACCESOS	
Puertas de acceso peatón:	2 puerta de acceso
DIMENSIONES EXTERIORES	
Longitud:	8080 mm
Fondo:	2380 mm
Altura:	3250 mm
Altura vista:	2790 mm
Peso:	29090 kg
DIMENSIONES INTERIORES	
Longitud:	7870 mm
Fondo:	2200 mm
Altura:	2450 mm

6.13. Instalación eléctrica.

6.13.1. Características de la red de alimentación.

La red de la cual se alimenta el CMT es del tipo subterráneo, con una tensión de 25 kV, nivel de aislamiento según la MIE-RAT 12, y una frecuencia de 50 Hz.

La potencia de cortocircuito en el punto de acometida, según los datos suministrados por la compañía eléctrica, es de 500 MVA, lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 11,547 kA eficaces.

6.13.2. Características de la aparamenta de media tensión.

Se empleará un sistema de celdas modulares de reducidas dimensiones para MT, con aislamiento y corte en gas, cuyos embarrados se conectan utilizando elementos de unión, consiguiendo una conexión totalmente apantallada, e insensible a las condiciones externas (polución, salinidad, inundación, etc.).

Las partes que componen estas celdas son la que a continuación se describen:

6.13.3. Base y frente.

La base soporta todos los elementos que integran la celda. La rigidez mecánica de la chapa y su galvanizado garantizan la indeformabilidad y resistencia a la corrosión de esta base.

La parte frontal incluye en su parte superior la placa de características eléctricas, la mirilla para el manómetro, el esquema eléctrico de la celda y los accesos a los accionamientos del mecanismo de maniobra, así como el dispositivo de señalización de presencia de tensión y la alarma sonora de prevención de puesta a tierra. En la parte inferior se encuentra el panel de acceso a la acometida de cables de media tensión y fusibles. En su interior hay una pletina de cobre a lo largo de toda la celda, permitiendo la conexión a la misma del circuito de tierras y de las pantallas de los cables.

6.13.4. Cuba.

La cuba, fabricada en acero inoxidable de 2 mm de espesor, contiene el interruptor, el embarrado y los portafusibles, y el gas se encuentra en su interior a una presión absoluta de 1,3 bar (salvo para celdas especiales). El sellado de la cuba permite el mantenimiento de los requisitos de operación segura durante más de 30 años, sin necesidad de reposición de gas.

Esta cuba cuenta con un dispositivo de evacuación de gases que, en caso de arco interno, evita, con ayuda de la altura de las celdas, su incidencia sobre las personas o la aparamenta del Centro de Transformación.

En su interior se encuentran todas las partes activas de la celda (embarrados, interruptor-seccionador, puesta a tierra, tubos portafusibles.

6.13.5. Interruptor/Seccionador/Seccionador de puesta a tierra.

El interruptor disponible en el sistema modular tiene 3 posiciones: conectado, seccionado y puesto a tierra (salvo para el interruptor de la celda S).

La actuación de este interruptor se realiza mediante palanca de accionamiento sobre dos ejes distintos: uno para el interruptor (conmutación entre las posiciones de interruptor conectado e interruptor seccionado); y otro para el seccionador de puesta a tierra de los cables de acometida (que conmuta entre las posiciones de seccionado y puesto a tierra).

6.13.6. Mecanismo de maniobra.

Los mecanismos de maniobra son accesibles desde la parte frontal, pudiendo ser accionados de forma manual o motorizada.

6.13.7. Fusibles (Celda modulares).

En las celdas modulares, los fusibles se montan sobre unos carros que se introducen en los tubos portafusibles de resina aislante, que son perfectamente estancos respecto del gas y del exterior. El disparo se produce por fusión de uno de los fusibles o cuando la presión interior de los tubos portafusibles se eleva debido a un fallo en los fusibles

o al calentamiento excesivo de éstos. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida.

- Conexión de cables:

La conexión de cables se realiza desde la parte frontal mediante unos pasatapas estándar.

- Enclavamientos:

La función de los enclavamientos incluidos en todas las celdas CGM es que:

- No se pueda conectar el seccionador de puesta a tierra con el aparato principal cerrado, y recíprocamente, no se pueda cerrar el aparato principal si el seccionador de puesta a tierra está conectado.

- No se pueda quitar la tapa frontal si el seccionador de puesta a tierra está abierto, y a la inversa, no se pueda abrir el seccionador de puesta a tierra cuando la tapa frontal ha sido extraída.

- Características eléctricas:

Las características generales de las celdas CGM son las siguientes:

Tensión nominal			36 kV
Nivel de aislamiento			
	Frecuencia industrial (1 min)		
		a tierra y entre fases	70 kV
		a la distancia de seccionamiento	80 kV
	Impulso tipo rayo		
		a tierra y entre fases	170 kV
		a la distancia de seccionamiento	195 kV

En la descripción de cada celda se incluyen los valores propios correspondientes a las intensidades nominales, térmica y dinámica, etc.

6.13.8. Características descriptivas de la aparamenta MT y transformadores.

- Celda de línea.

Es una celda con envolvente metálica, formada por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de

cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y alarma sonora de prevención de puesta a tierra.

- Características eléctricas:

Tensión asignada			36 kV
Intensidad asignada:			400 A
Intensidad de corta duración (1 s), eficaz:			16 kA
Intensidad de corta duración (1 s), cresta:			40 kA
Nivel de aislamiento			
	Frecuencia industrial (1 min)		
		a tierra y entre fases:	70 kV
	Impulso tipo rayo		
		a tierra y entre fases (cresta):	170 kV
	Capacidad de cierre (cresta):		40 kA
	Capacidad de corte:		
	Corriente principalmente activa:		400 A
	Clasificación IAC:		AFL

- Características físicas:

Ancho:	418 mm
Fondo:	850 mm
Alto:	1745 mm
Peso	138 kg

- Otras características constructivas:

Mecanismo de maniobra interruptor:	Manual

- Interruptor automático.

La celda de interruptor automático de vacío está constituida por un módulo metálico con aislamiento en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un seccionador rotativo de tres posiciones, y en serie con él, un interruptor automático de corte en vacío, enclavado con el seccionador. La puesta a tierra de los cables de acometida se realiza a través del interruptor automático. La conexión de cables es inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos

para la detección de tensión en los cables de acometida y puede incorporar una alarma sonora de prevención de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

- Características eléctricas:

Tensión asignada			36 kV
Intensidad asignada			400 A
Nivel de aislamiento			
	Frecuencia industrial (1 min)		
		a tierra y entre fases	70 kV
	Impulso tipo rayo		
		a tierra y entre fases (cresta)	170 kV
	Capacidad de cierre (cresta)		40 kA
	Capacidad de corte en cortocircuito		16 kA
	Clasificación IAC		AFL

- Características físicas:

Ancho:	600 mm
Fondo:	850 mm
Alto:	1745 mm
Peso	240 kg

- Otras características constructivas:

Mando interruptor automático:	Manual tipo AV
Relé de protección	201A

- <u>Celda modular de medida:</u>

  Es una celda con envolvente metálica, formada por un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite la incorporación en su interior de los transformadores de tensión e intensidad que se utilizan para dar los valores correspondientes a los aparatos de medida, control y contadores de medida de energía.

Por su constitución, esta celda puede incorporar los transformadores de cada tipo (tensión e intensidad), normalizados en las distintas compañías suministradoras de electricidad.

La tapa de la celda cuenta con los dispositivos que evitan la posibilidad de contactos indirectos y permiten el sellado de la misma, para garantizar la no manipulación de las conexiones.

- Características eléctricas:

Tensión asignada	36 kV
Clasificación IAC	AFL

- Características físicas:

Ancho:	900 mm
Fondo:	1160 mm
Alto:	1950 mm
Peso	290 kg

- Otras características constructivas:

Transformadores de medida:	3TT y 3 TI

Serán de aislamiento seco, y construidos atendiendo a las correspondientes normas UNE y CEI, con las siguientes características:

* Transformadores de tensión:

Relación de transformación: $25000/\sqrt{3}$ - $110/\sqrt{3}$ V

Sobretensión admisible en permanencia: 1,2 Un en permanencia y 1,9 Un durante 8 horas

Medida

- Potencia: 25 VA
- Clase de precisión: 0,5

* Transformadores de intensidad:

- Relación de transformación: 100-200/5 A
- Intensidad térmica: 80 In (mín. 5 kA)
- Sobreint. admisible en permanencia: Fs <= 5

Medida

- Potencia: 10 VA
- Clase de precisión: 0,5s

6.14. Características del transformador de potencia.

El transformador proyectado es trifásico reductor de tensión, construido según las normas citadas anteriormente, sin neutro en el secundario, de potencia 4000 kVA y refrigeración natural éster biodegradable, de tensión primaria 25 kV y tensión secundaria 800 V en vacío (B2).

Es un éster natural biodegradable obtenido a partir de semillas vegetales (maíz, soja, colza…) y cuya formulación excluye aditivos antioxidantes, ya que debido al proceso de refinamiento al que es sometido conserva sus propios antioxidantes naturales.

Gracias a sus propiedades puede ser utilizado como líquido dieléctrico.

Presenta unos altos valores de rigidez dieléctrica debido a su punto de saturación de agua elevado.

Tiene una elevada resistencia al fuego.

Punto de inflamación >300 ºC.

Punto de combustión >350 ºC, por esto mismo está clasificado como líquido K según la norma IEC 61100.

A continuación, se muestra la ficha técnica del transformador.

FICHA TECNICA TRANSFORMADOR

TIPO: **4000/36/25 0,8 K-PE** **ECO TIER2**
NORMAS : CEI 60076
FRECUENCIA : 50 Hz
CARACTERISTICAS ELECTRICAS
TENSION MAS ELEVADA MATERIAL :
MEDIA TENSION : 36 KV
BAJA TENSION : 1,1 KV

POTENCIA (KVA)			**4000**			
TENSION (V) ASIGNADA (V)		PRIMARIA	25000			
		SECUDARIA EN VACIO	800			
REGULACION SIN TENSION (%)			± 2,5 ± 5 %			
GRUPO DE CONEXION			Dy11			
INTENSIDAD NOMINAL MT (A)			92,38			
INTENSIDAD NOMINAL BT (A)			2886,8			
PERDIDAS EN VACIO (W)			2900			+ 10%
PERDIDAS EN CARGA (W)			30200			+ 10%
PEI %			99,532			0%
IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO (%)			7			± 10%
INTENSIDAD DE VACIO AL 100 % DE Vn (%)			0,9			+ 30%
NIVEL DE RUIDO POTENCIA ACUSTICA Lw (A)(dB)			74			
CAIDA DE TENSION A PLENA CARGA %		cos f = 1	1,00			
		cos f = 0.8	4,91			
RENDIMIENTO (%)	CARGA 100%	cos f = 1	99,18			
		cos f = 0.8	98,98			
	CARGA 75%	cos f = 1	99,34			
		cos f = 0.8	99,18			
	CARGA 50%	cos f = 1	99,48			
		cos f = 0.8	99,35			
REFRIGERACION			KNAN			
NIVEL DE AISLAMIENTO:						
MT / BT A FRECUENCIA INDUSTRIAL (KV)			70/10			
MT / BT EN ONDA DE CHOQUE (KV)			170/20			
TENSION INDUCIDA (KV)			1,600			
CALENTAMIENTO :						
MEDIO ARROLLAMIENTOS (K) :			65			
MAXIMO LIQUIDO PARTE SUPERIOR (K):			60			
BOBINADOS BT/AT		**TIPO**	Aluminio / Aluminio			
		PESO (Kg)	840			
NÚCLEO MAGNÉTICO		**MATERIAL**	Acero magnético de grano orientado			
		PESO (Kg)	3136			
TANQUE			CUBA ELASTICA DE ALETAS TRANSFORMADOR HERMETICO DE LLENADO INTEGRAL			
DIMENSIONES		LARGO (mm)	2580		±	15mm
		ANCHO (mm)	1680		±	15mm
		ALTO CON RUEDAS (mm)	2260		±	15mm
LÍQUIDO DIELÉCTRICO		**TIPO**	Ester natural			
		LITROS / Kg	1833	1686	±	10%
PESO TOTAL		(Kgr)	8175		±	10%

- Interconexiones de MT:
  - Puentes MT Transformador: ***Cables MT 18/30 kV***
  - Cables MT 18/30 kV del tipo RH5Z1, unipolares, con conductores de sección y material 1x95 Al.
  - La terminación al transformador es de 36 kV del tipo enchufable acodada y modelo M400LR o similar.

- En el otro extremo, en la celda, es de 36 kV del tipo cono difusor.
- Puentes M.T. Transformador:

  Interconexión enchufable apantallada y no accesible de la función de protección de Media Tensión y de la función de transformador mediante conjuntos de unión unipolares de tensión nominal 36 kV.
- Puentes entre Celdas: ***Cables MT 18/30 kV***

  Cables MT 18/30 kV del tipo RH5Z1, unipolares, con conductores de sección y material 1x95 Al, y terminaciones de 36 kV del tipo atornillable y modelo M430TB o similar y del tipo cono difusor.

- Defensa de transformadores:
  - Defensa de Transformador: ***Protección física transformador***
  - Protección metálica para defensa del transformador.
  - Cerradura enclavada con la celda de protección correspondiente.

- Equipos de iluminación:
  - Iluminación Edificio de Transformación: ***Equipo de iluminación***
  - Equipo de alumbrado que permita la suficiente visibilidad para ejecutar las maniobras y revisiones necesarias en los centros.
  - Equipo autónomo de alumbrado de emergencia y señalización de la salida del local.

- Unidad de Protección:

  Unidad digital de protección desarrollada para su aplicación en la función de protección con interruptor automático. Es autoalimentado a partir de 5 A a través de transformadores de intensidad toroidales, comunicable y configurable por software con histórico de disparos.

  Características:
  - Sobreintensidad de fases temporizada (51) ×2
  - Sobreintensidad de fases instantánea (50)
  - Sobreintensidad fase-tierra temporizada (51N) ×2
  - Sobreintensidad fase-tierra instantánea (50N)

- Sobreintensidad direccional de fases (67)
- Secuencia inversa (46)
- Fase abierta (46BC)
- Sobrecarga térmica (49)
- Mínima tensión de fases (27)
- Máxima tensión de fases (59)
- Mínima frecuencia (81m)
- Máxima frecuencia (81M)

- Funciones de Control y Supervisión:

- Función de reenganche (79)
- Supervisión de circuitos de apertura/cierre (74TC/CC)
- Fallo interruptor (50BF)
- Bloqueo maestro (86)
- Bloqueo de 2º armónico
- Control de posición (52 – 89 – 89T)
- 10 Entradas digitales ED's y 4 Salidas digitales SD's
- Módulo de ampliación de10/4.
- 8 Leds indicación y 2 leds configurables
- Display de consulta local
- Registro de eventos (4000)
- Informe de faltas (10)
- Oscilografía (10)
- Automatismos y lógicas configurables por OMZ

- Funciones de Medida:

- Medida de intensidad de fases
- Medida de tensión de fases
- Medida de potencia activa, reactiva y aparente
- Medida de energía activa y reactiva
- Factor de potencia

- Medida de THD de corriente y tensión

- Configuración y Comunicaciones:
  - Configuración y ajuste mediante Servidor Web
  - Protocolos de comunicaciones serie e IP(1)
  - 6 puertos de comunicaciones:
    - Puertos frontales: 1xminiUSB y 1xRJ45 servidor web acceso local
    - Puertos traseros:
      - ❖ 2 x RS 485 □ Modelo bus
      - ❖ 1 x RS 485 □ Bus temperatura
      - ❖ 1 x ETH □ Modbus-TCP - servidor web acceso remoto

- Elementos:
  - Relé electrónico que dispone en su carátula frontal de teclas y display digital para realizar el ajuste y visualizar los parámetros de protección, medida y control. Para la comunicación dispone de un puerto frontal RS232 y en la parte trasera un puerto RS485 (5 kV).
  - Los sensores de intensidad son transformadores toroidales de relación 300 A / 1 A y 1000 A / 1 A dependiendo de los modelos y que van colocados desde fábrica en los pasatapas de las celdas.
  - Para la opción de protección homopolar ultrasensible se coloca un toroidal adicional que abarca las tres fases. En el caso de que el equipo sea autoalimentado (desde 5 A por fase) se debe colocar 1 sensor adicional por fase.
  - La tarjeta de alimentación acondiciona la señal de los transformadores de autoalimentación y la convierte en una señal de CC para alimentar el relé de forma segura. Dispone de una entrada de 230 Vca para alimentación auxiliar exterior.
  - El disparador biestable es un actuador electromecánico de bajo consumo integrado en el mecanismo de maniobra del interruptor.

- Otras características:

Ith/Idin	= 20 kA /50 kA
Temperatura	= -10 ºC a 60 ºC

Frecuencia = 50 Hz; 60 Hz ± 1 %

Ensayos:

- De aislamiento según 60255-5
- De compatibilidad electromagnética según CEI 60255-22-X, CEI 61000-4-X y EN 50081-2/55011
- Climáticos según CEI 60068-2-X
- Mecánicos según CEI 60255-21-X
- De potencia según CEI 60265 y CEI 60056

Así mismo este producto cumple con la directiva de la Unión Europea sobre compatibilidad electromagnética 89/336/EEC y con la CEI 60255. Esta conformidad es resultado de un ensayo realizado según el artículo 10 de la directiva, y recogido en el protocolo B131-01-69-EE acorde a las normas genéricas EN 50081 y EN 50082.

6.15. Sensores de intensidad.

En el compartimento de cables de la celda de interruptor automático, se instalarán tres (3) transformadores de intensidad tipo toroidal con propósito de protección asociados a los dispositivos de protección. Estos toroidales, de relación 300/1A, 0.2 VA y clase de precisión 5P20, se ubican alrededor de los pasatapas de la propia celda.

6.16. Sensores de Tensión.

Con objeto de realizar la medida de tensión, se conectarán 3 sensores de tensión capacitivos, los cuales se instalarán en el pasatapas de la celda de línea adyacente.

Resulta un sensor de tensión de tipo divisor capacitivo para celdas de aislamiento en gas, de funcionamiento autónomo y pasivo (sin alimentación auxiliar externa), con salida analógica de baja tensión y baja potencia aplicable directamente a los sistemas de medida sin acondicionamiento previo, para ser instalado en sistemas de Automatización y Supervisión de Media Tensión en redes de tensiones de hasta 36 kV.

6.17. Puesta a tierra.

6.17.1. Tierra de protección.

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en el CMT se unen a la tierra de protección: envolventes de las celdas y cuadros de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio (si éste es prefabricado). No se unirán, por contra, las rejillas y puertas metálicas del centro, si son accesibles desde el exterior.

6.17.2. Tierra de servicio.

Con objeto de evitar tensiones peligrosas en BT, debido a faltas en la red de MT, el neutro del sistema de BT se conecta a una toma de tierra independiente del sistema de MT, de tal forma que no exista influencia en la red general de tierra, para lo cual se emplea un cable de cobre aislado.

6.18. Instalaciones secundarias.

6.18.1. Alumbrado.

El interruptor se situará al lado de la puerta de entrada, de forma que su accionamiento no represente peligro por su proximidad a la MT.

El interruptor accionará los puntos de luz necesarios para la suficiente y uniforme iluminación de todo el recinto del centro.

6.18.2. Protección contra incendios.

Si va a existir personal itinerante de mantenimiento no se exige que en el Centro de Transformación haya un extintor. En caso contrario, se incluirá un extintor de eficacia 89B. Este extintor deberá colocarse siempre que sea posible en el exterior de la instalación para facilitar su accesibilidad y, en cualquier caso, a una distancia no superior a 15 metros de la misma.

Si existe un personal itinerante de mantenimiento con la misión de vigilancia y control de varias instalaciones que no dispongan de personal fijo, este personal itinerante

deberá llevar, como mínimo, en sus vehículos dos extintores de eficacia 89 B, no siendo preciso en este caso la existencia de extintores en los recintos que estén bajo su vigilancia y control.

6.18.3. Armario de primeros auxilios.

El Centro de Transformación cuenta con un armario de primeros auxilios.

6.18.4. Medidas de seguridad.

Para la protección del personal y equipos, se debe garantizar que:

1. No será posible acceder a las zonas normalmente en tensión, si éstas no han sido puestas a tierra. Por ello, el sistema de enclavamientos interno de las celdas debe afectar al mando del aparato principal, del seccionador de puesta a tierra y a las tapas de acceso a los cables.

2. Las celdas de entrada y salida serán con aislamiento integral y corte en gas, y las conexiones entre sus embarrados deberán ser apantalladas, consiguiendo con ello la insensibilidad a los agentes externos, y evitando de esta forma la pérdida del suministro en los Centros de Transformación interconectados con éste, incluso en el eventual caso de inundación del Centro de Transformación.

3. Las bornas de conexión de cables y fusibles serán fácilmente accesibles a los operarios de forma que, en las operaciones de mantenimiento, la posición de trabajo normal no carezca de visibilidad sobre estas zonas.

4. Los mandos de la aparamenta estarán situados frente al operario en el momento de realizar la operación, y el diseño de la aparamenta protegerá al operario de la salida de gases en caso de un eventual arco interno.

6.19. Limitación de campos magnéticos.

De acuerdo con la Normativa NZR104, en el diseño de las instalaciones de interior, como es el caso de los centros de transformación, se tendrán en cuenta las limitaciones establecidas en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, ITC-

RAT 14, punto 4.7, referente a los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.

Al objeto de limitar en el exterior de las instalaciones de alta tensión los campos magnéticos creados en el exterior por la circulación de corrientes de 50 Hz en los diferentes elementos de las instalaciones, se tomarán las siguientes medidas:

- Los conductores trifásicos se dispondrán lo más cerca posible uno del otro, preferentemente juntos y al tresbolillo.
- En el caso en el que las interconexiones de baja tensión del transformador se ejecuten con varios cables por fase, se agruparán las diferentes fases en grupos RSTN. No se llevarán por tanto conductores de la misma fase en paralelo.

Cuando los centros de transformación se encuentren ubicados en edificios habitables, o anexos a los mismos, se observarán las siguientes condiciones de diseño:

a) Las entradas y salidas al centro de transformación de la red de alta tensión se efectúan por el suelo y adoptan la disposición en triángulo y formando ternas.
b) La red de baja tensión se diseña igualmente con el criterio anterior.
c) Se procurará que las interconexiones sean lo más cortas posibles y se diseñarán evitando paredes y techos colindantes con viviendas.
d) No se ubicarán cuadros de baja tensión sobre paredes medianeras con locales habitables y se procurará que el lado de conexión de baja tensión del transformador quede lo más alejado lo más posible de estos locales

6.20. Nivel de Ruido.

Con objeto de limitar el ruido originado por las instalaciones de alta tensión, según la norma NRZ-104 y la ITC-RAT 14, apartado 4.8, dichas instalaciones se dimensionarán y diseñarán de forma que los índices de ruido medidos en el exterior de las instalaciones se ajusten a los niveles de calidad acústica establecidos en el *RD 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de septiembre, del Ruido,*

en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, así como a la legislación Local o Autonómica que en cada caso pudiera afectarle.

6.21. Requisitos del equipo de medida.

De acuerdo con el punto 9.1.2 de la Normativa NRZ-104, considerando el tipo de autoconsumo, y con carácter general, los sujetos acogidos a esta modalidad de autoconsumo con potencia superior a 450 kW, será el Operador del Sistema quien establecerá los requisitos de medida.

Se colocará un dispositivo que impida el vertido de energía a la red de distribución, se deberá acreditar y justificar el correcto funcionamiento del mismo. Para ello, se emitirá el correspondiente certificado en cumplimiento del informe UNE 217001 IN, emitido por una Entidad Certificadora Acreditada.

6.22. Cálculos.

6.22.1. Intensidad de media tensión.

La intensidad primaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ x\ Up}$$

Siendo:

P = potencia del transformador [kVA]

Up = tensión primaria [kV]

Ip = intensidad primaria [A]

En el caso que nos ocupa, la tensión primaria de alimentación es de 25 kV.

Para nuestro transformador, la potencia es de 4.000 kVA.

$$Ip = 92{,}38\ A$$

6.22.2. Intensidad de baja tensión.

La intensidad secundaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión, ya indicada anteriormente:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ x\ Up}$$

Siendo:

P = potencia del transformador [kVA]

Us = tensión en el secundario [kV]

Is = intensidad en el secundario [A]

Para nuestro transformador, la potencia es de 4.000 kVA, y la tensión secundaria es de 800 V en vacío.

$$I_S = 2.886{,}80 \text{ A}$$

6.22.3. Cortocircuitos.

6.22.3.1. Observaciones.

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito, se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red de MT, valor especificado por la compañía eléctrica.

6.22.3.2. Cálculo de las intensidades de cortocircuito

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito en la instalación, se utiliza la expresión:

$$I_{cc} = \frac{Scc}{\sqrt{3} \cdot U_p}$$

Siendo:

Scc = potencia de cortocircuito de la red [kVA]

U_p = tensión del primario [s]

$Iccp$ = corriente de cortocircuito [kA]

En nuestro caso, se tendrá:

$$I_{cc} = 11{,}55 \text{ kA}$$

6.22.3.3. Cortocircuito en el lado de la baja tensión.

Para los cortocircuitos secundarios, se va a considerar que la potencia de cortocircuito disponible es la teórica de los transformadores de MT-BT, siendo por ello más conservadores que en las consideraciones reales.

La corriente de cortocircuito del secundario de un transformador trifásico, viene dada por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Siendo:

P = potencia de transformador [kW]= 4.000 kVA

Ecc = tensión de cortocircuito del transformador [%] = 7%

Us = tensión en el secundario [V] = 800 V

$Iccs$ = corriente de cortocircuito [kA]

En nuestro caso, se tendrá:

$$I_{ccp} = 41{,}24\ kA$$

6.23. Dimensionado del embarrado de servicio

Las celdas prefabricadas han sido sometidas a ensayos por su fabricante para certificar los valores indicados en las placas de características, por lo que no es necesario realizar cálculos teóricos ni hipótesis de comportamiento de celdas.

6.23.1. Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor indicado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin superar la densidad

máxima posible para el material conductor. Esto, además de mediante cálculos teóricos, puede comprobarse realizando un ensayo de intensidad nominal, que, con objeto de disponer de suficiente margen de seguridad, se considerará que es la intensidad del bucle, que en este caso es de 400 A.

6.23.2. Comprobación por solicitación electrodinámica.

La intensidad dinámica de cortocircuito se valora en aproximadamente 2,5 veces la intensidad eficaz de cortocircuito calculada, por lo que:

$$I_{cc(din)} = 28{,}868\ kA$$

6.23.3. Comprobación por solicitación térmica.

La comprobación térmica tiene por objeto comprobar que no se producirá un calentamiento excesivo de la aparamenta por defecto de un cortocircuito. Esta comprobación se puede realizar mediante cálculos teóricos, pero preferentemente se debe realizar un ensayo según la normativa en vigor. En este caso, la intensidad considerada es la eficaz de cortocircuito, cuyo valor es:

$$I_{cc(ter)} = 11{,}547\ kA$$

6.23.4. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

El transformador está protegido tanto en MT como en BT. En MT la protección la efectúan las celdas asociadas a esos transformadores, mientras que en BT la protección se incorpora en los cuadros de las líneas de salida.

La protección de este transformador se realiza por medio de una celda de interruptor automático, que proporciona todas las protecciones al transformador, bien sea por sobrecargas, faltas a tierra o cortocircuitos, gracias a la presencia de un relé de protección. En caso contrario, se utilizan únicamente como elemento de maniobra de la red.

El interruptor automático posee capacidad de corte tanto para las corrientes nominales, como para los cortocircuitos antes calculados.

Los fusibles se seleccionan para:

- Permitir el funcionamiento continuado a la intensidad nominal, requerida para esta aplicación.
- No producir disparos durante el arranque en vacío de los transformadores, tiempo en el que la intensidad es muy superior a la nominal y de una duración intermedia.
- No producir disparos cuando se producen corrientes de entre 10 y 20 veces la nominal, siempre que su duración sea inferior a 0,1 s, evitando así que los fenómenos transitorios provoquen interrupciones del suministro.

Sin embargo, los fusibles no constituyen una protección suficiente contra las sobrecargas, que tendrán que ser evitadas incluyendo un relé de protección de transformador, o si no es posible, una protección térmica del transformador. La intensidad nominal de estos fusibles es de 4 A.

La celda de protección de este transformador incorporará un relé que permite que la celda, además de protección contra cortocircuitos, proteja contra sobreintensidades o sobrecargas y contra fugas a tierra. Se consigue así que la celda de protección con fusibles realice prácticamente las mismas funciones que un interruptor automático, pero con velocidad muy superior de los fusibles en el caso de cortocircuitos. De esta forma se limitan los efectos térmicos y dinámicos de las corrientes de cortocircuitos y se protege de una manera más efectiva la instalación.

La protección del centro se realiza en BT, siendo los fusibles de BT los que efectúan la protección ante eventuales cortocircuitos.

Estos fusibles realizan su función de protección de forma ultrarrápida (muy inferiores a los de los interruptores automáticos), ya que su fusión evita incluso el paso del máximo de las corrientes de cortocircuitos por toda la instalación.

6.23.5. Dimensionado de los puentes de MT.

Los cables que se utilizan en esta instalación, descritos en la memoria, deberán ser capaces de soportar los parámetros de la red.

La intensidad nominal demandada por este transformador es igual a 92,38 A, que es inferior al valor máximo admisible por el cable.

Este valor es de 235 A para un cable de sección de 95 mm^2 en aluminio, según el fabricante.

6.23.6. Dimensionado de los puentes de BT.

Para el cálculo de los puentes de tensión se tiene en cuenta la intensidad total admisible de la baja del transformador que, como ya se ha calculado, es de 2.886,80 A.

Se tendrá:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I}{\gamma \cdot S \cdot n}$$

Siendo:

ΔV = Caída de Tensión en V

L = Longitud de la línea en m

I = Intensidad admisible

γ = Resistividad del conductor

s = Sección del conductor

n = número de conductores por fase

Se ha optado por un instalar conductores de cobre de 8x300 mm^2, por lo que aplicando la fórmula tendremos:

$$\Delta V = 1{,}50\ V$$

Lo que corresponde a una caída de tensión del **0,115%.**

6.23.7. Dimensionado de la ventilación del Centro de Transformación.

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire en el edificio se utiliza la siguiente expresión:

$$S_r = \frac{W_{cu} + W_{fe}}{0{,}24 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T^3}}$$

Siendo:

W_{cu} = pérdidas en el cobre del transformador [kW]

W_{fe}= pérdidas en el hierro del transformador [kW]

K = coeficiente en función de la forma de las rejas de entrada [aproximadamente entre 0,35 y 0,40]

h = distancia vertical entre las rejillas de entrada y salida [m]

ΔT = aumento de temperatura del aire [ºC]

Sr = superficie mínima de las rejas de entrada [m2]

Como se van a instalar edificaciones prefabricadas, los sistemas de ventilación vienen ya realizados y dimensionados por el fabricante de éstas.

6.23.8. Dimensionado del pozo apagafuegos.

Al no haber transformadores de aceite como refrigerante, no es necesaria la existencia de pozos apagafuegos.

6.23.9. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

6.23.9.1. Investigación de las características del suelo.

El Reglamento de Alta Tensión indica que, para instalaciones de tercera categoría, y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA no será imprescindible realizar la citada investigación previa de la resistividad del suelo, bastando el examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad, siendo necesario medirla para corrientes superiores.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina la resistividad media en 150 Ω·m.

6.23.9.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.

En las instalaciones de MT de tercera categoría, los parámetros que determinan los cálculos de faltas a tierra son las siguientes:

De la red:

- Tipo de neutro. El neutro en este caso no existe por lo que se obvia este estudio.

- Tipo de protecciones. Cuando se produce un defecto, éste se eliminará mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un dispositivo relé de intensidad, que puede actuar en un tiempo fijo (tiempo fijo), o según una curva de tipo inverso (tiempo dependiente). Adicionalmente, pueden existir reenganches posteriores al primer disparo, que sólo influirán en los cálculos si se producen en un tiempo inferior a los 0,5 segundos.

No obstante, y dada la casuística existente dentro de las redes de cada compañía suministradora, en ocasiones se debe resolver este cálculo considerando la intensidad máxima empírica y un tiempo máximo de ruptura, valores que, como los otros, deben ser indicados por la compañía eléctrica.

6.23.9.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

El diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra se realiza basándose en las configuraciones tipo presentadas en el Anexo 2 del método de cálculo de instalaciones de puesta a tierra de UNESA, que esté de acuerdo con la forma y dimensiones del centro de media tensión, según el método de cálculo desarrollado por este organismo.

6.23.9.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.

- Características de la red de alimentación:

· Tensión de servicio Ur = 25 kV

· Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT Vbt = 10.000 V

- Características del terreno:

· Resistencia de tierra Ro = 150 Ω·m

· Resistencia del hormigón R'o = 3000 Ω·m

La resistencia máxima de la puesta a tierra de protección del edificio, y la intensidad del defecto salen de la siguiente expresión:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt}$$

Siendo:

I_d = intensidad de falta a tierra [A]

R_t = resistencia total de puesta a tierra [Ω]

V_{bt} = tensión de aislamiento en baja tensión [V]

La intensidad del defecto se calcula de la siguiente forma:

$$I_d = I_{dm}$$

Siendo:

I_{dm} = limitación de la intensidad de falta a tierra [A]

I_d = intensidad de falta a tierra [A]

Operando en este caso, el resultado preliminar obtenido es:

$$I_d = 360\ A$$

La resistencia total de puesta a tierra preliminar:

$$R_t = 27{,}8\ \Omega$$

Se selecciona el electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas, y de aplicación en este caso concreto, según las condiciones del sistema de tierras) que cumple el requisito de tener una Kr más cercana inferior o igual a la calculada para este caso y para este centro.

Valor unitario de resistencia de puesta a tierra del electrodo:

$$K_r \leq \frac{R_t}{R_0}$$

Siendo:

R_t = resistencia total de puesta a tierra [Ω]

R_o = resistividad del terreno en [Ω·m]

K_r = coeficiente del electrodo

Rectángulo de 8.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm^2.
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

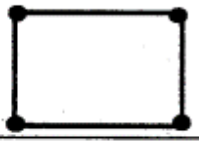
CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_{p(acc)}$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.088	0.0169	0.0508	80-40/5/00
4 picas 	2	0.072	0.0154	0.0338	80-40/5/42
	4	0.061	0.0127	0.0255	80-40/5/44
	6	0.053	0.0107	0.0204	80-40/5/46
	8	0.047	0.0093	0.0169	80-40/5/48
8 picas	2	0.065	0.0134	0.0284	80-40/5/82
	4	0.053	0.0103	0.0192	80-40/5/84
	6	0.045	0.0083	0.0141	80-40/5/86
	8	0.039	0.0069	0.0110	80-40/5/88

Tabla de configuraciones de electrodos del Anexo 2 de UNESA

Para nuestro caso particular, y según los valores antes indicados:

$$K_r = 0{,}065\ \Omega$$

La configuración adecuada para este caso tiene las siguientes propiedades:

- Configuración seleccionada: 80-40/5/82
- Geometría del sistema: Picas en rectángulo
- Distancia entre picas: 5 m
- Profundidad del electrodo horizontal: 0,5 m
- Número de picas: 8
- Longitud de las picas: 2 metros

Parámetros característicos del electrodo:

- De la resistencia Kr = 0,065
- De la tensión de paso Kp = 0,0134
- De la tensión de contacto Kc = 0,0284

- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto.

Para que no aparezcan tensiones de contacto exteriores ni interiores, se adaptan las siguientes medidas de seguridad:

Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior de los 2 edificios no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.

En el piso del Centro de Transformación se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm, conectado a la puesta a tierra del mismo, en el caso de que no sea una edificación prefabricada, ya que está viene preparada y conectada a la puesta a tierra.

En el caso de instalar las picas en hilera, se dispondrán alineadas con el frente del edificio.

El valor real de la resistencia de puesta a tierra del edificio será:

$$R'_t = K_r \cdot R_0$$

Siendo:

K_r = coeficiente del electrodo

R_o = resistividad del terreno en [Ω·m]

R'_t = resistencia total de puesta a tierra [Ω]

Por lo que para el centro de media tensión:

$$R_t = 9{,}75\ \Omega$$

y la intensidad de defecto real, tal y como indica la fórmula anterior:

$$I'_d = 363{,}54\ A$$

6.23.9.5. Cálculo de las tensiones de paso en el interior de la instalación.

La tensión de defecto vendrá dada por:

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d$$

Siendo:

R'_t = resistencia total de puesta a tierra [Ω]

I'_d = intensidad de defecto [A]

V'_d = tensión de defecto [V]

Por lo que en el centro de media tensión:

$$V'_d = 3.544\ V$$

La tensión de paso en el acceso será igual al valor de la tensión máxima de contacto siempre que se disponga de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra según la fórmula:

$$V_{p(acc)} = K_c \cdot R_0 \cdot I'_d = 730{,}72\ V$$

Donde:

K_c = coeficiente tensión de contacto

R_o = resistividad del terreno en [Ω·m]

I'_d = intensidad de defecto [A]

V'_{acc} = tensión de paso en el acceso [V]

En este caso, al estar las picas alineadas frente a los accesos al Centro de Transformación y paralelas a la fachada, la tensión de paso en el acceso va a ser prácticamente nula por lo que no la consideraremos.

$$V'_c = 1.534\ V$$

6.23.10. Cálculo de las tensiones de contacto y de paso aplicadas. Valores máximos reglamentarios.

Adoptando las medidas de seguridad adicionales, no es preciso calcular las tensiones de contacto en el exterior de la instalación, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Se calcularán las tensiones de paso en el exterior:

$$V'_p = K_p \cdot R_0 \cdot I'_d$$

Siendo:

K_p = coeficiente

R_o = resistividad del terreno en [Ω·m]

I'_d = intensidad de defecto [A]

V'_p = tensión de paso en el exterior [V]

Por lo que, para este caso, en el centro de transformación:

$$V`_p = 724\ V$$

6.23.11. Cálculo de las tensiones aplicadas.

La MIE-RAT 13 establece que la tensión máxima aplicable al cuerpo humano, entre mano y pies, que puede aceptarse, es la siguiente:

$$U_{ca} = \frac{K}{t^n}$$

Siendo:

Uca = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

En nuestro caso:

- K = 78.5
- n = 0,18
- t = Duración de la falta en segundos: 1 s

Y se obtiene el siguiente resultado:

$$Uca = 78{,}5\ V$$

- Tensiones de contacto.

El potencial en un punto determinado del terreno, que se produce como consecuencia del paso de una intensidad de defecto por un electrodo de puesta a tierra, es función de:

a) El valor de la resistividad del terreno.
b) El valor de la intensidad de defecto.
c) La geometría del electrodo y las características de sus elementos componentes.
d) La profundidad de enterramiento.
e) La situación del punto de que se trate, en relación con los elementos que constituyen el electrodo.

Se sabe que:

- Tensión de contacto = Potencial absoluto – Potencial del punto de situación de la persona.
- Potencial absoluto $= K_r \cdot R_0 \cdot I_d$

Por consiguiente, para que se cumplan las condiciones reglamentarias se habrá de cumplir que:

$$K_r \cdot R_0 \cdot K_c \ < U_{ca}\left(1 + \frac{1{,}5 \cdot R_{0s}}{1000}\right)$$

Desde el punto de vista práctico, se comprueba que es muy difícil mantener los valores de las tensiones de contacto aplicadas dentro de los límites reglamentarios establecidos, por lo que normalmente lo que se hace es prescindir del cálculo de las tensiones de contacto, aplicando medidas complementarias de acuerdo con lo previsto en el apartado 2.2. de la Instrucción RAT-13, colocando en el suelo del centro de transformación un pavimento aislante.

Con la utilización del pavimento aislante, la ecuación correspondiente a las tensiones de contacto, especificada más arriba, cumpliría las tensiones máximas permitidas.

- Tensiones de paso

En base a suponer que la tensión máxima aplicada al cuerpo humano, no supere el valor indicado para las tensiones de contacto (entre mano y pies), ni supere 10 veces dicho valor para las tensiones de paso, se debe de cumplir que:

$$K_p \cdot R_0 \cdot I_d \ < 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot R_0}{1000}\right)$$

En nuestro caso:

$$V_p = 1.492 \ V$$

En el caso de la tensión de paso, puede suceder que la resistividad superficial del terreno sea distinta para cada pie. Esta situación es habitual en el acceso a los centros de transformación, donde los pavimentos, interior y exterior, pueden ser de distinta composición. En estos casos la fórmula de la tensión máxima de paso admisible que puede aparecer en una instalación debe cumplir lo siguiente:

$$V_{acc} = K_c \cdot R_0 \cdot I'_d \ < \ 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_0 + 3 \cdot R'_0}{1000}\right) = 8.203 \ V$$

Siendo:

Uca = valor admisible de la tensión de contacto aplicada que es función de la duración de la corriente de falta

R_o = resistividad del terreno en [Ω·m]

R'_o = resistividad del hormigón en [Ω·m]

Por lo que, para nuestro caso:

$$V_{p(acc)} = 8.203\ V$$

Se comprobará ahora que los valores calculados para el caso de este Centro de Transformación son inferiores a los valores admisibles:

TENSIÓN DE PASO EN EL EXTERIOR Y DE PASO EN EL ACCESO

CONCEPTO	VALOR CALCULADO	CONDICIÓN	VALOR ADMISIBLE
Tensión de paso en el exterior	V´p = 730 V	≤	U_p= 1.492 V
Tensión de paso en el acceso	V´p(acc) = 1.548 V	≤	Up(acc) = 8.203 V

TENSIÓN DE DEFECTO

CONCEPTO	VALOR CALCULADO	CONDICIÓN	VALOR ADMISIBLE
Aumento del potencial de tierra	V´d = 3.544 V	≤	Ubt= 10.000 V

Por lo que, en todo caso cumple con las tensiones máximas admitidas.

6.23.12. Investigación de las tensiones transferibles al exterior.

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones al sistema de tierra de servicio, evitando así que afecten a los usuarios, debe establecerse una separación entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, siempre que la tensión de defecto supere los 1000 V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los 1.000 V indicados.

La distancia mínima entre los diferentes sistemas de tierras, viene dada por la expresión:

$$D = \frac{Ro \cdot I'd}{2000 \cdot \pi}$$

Donde:

D = Distancia mínima de separación (m)

Ro = Resistividad del terreno (Ohm·m)

I´d = Intensidad de defecto (A)

Para este caso:

D= 8,67 m

7. LÍNEA DE EVACUACIÓN SUBTERRANEA DE MEDIA TENSIÓN.

A partir del centro de media tensión, partirá una línea de media tensión (25 kV) subterránea, trifásica, constituida por tres conductores unipolares de aislamiento seco RH5Z1 18/30 kV de 1×240 mm^2 Al + H16 (3×1×240 mm^2 Al, 18/30 KV) en canalización subterránea y bajo tubo, hasta el centro de transformación de la Estación de Bombeo Herreros, donde se encuentran el conjunto de celdas que constituyen el centro de transformación interior de 25 kV, que actualmente da suministro eléctrico a la estación de bombeo, mediante una línea de media tensión procedente de la subestación SET “Valle Inferior”.

7.1. Conductor de la línea de media tensión.

Las líneas objeto del presente estudio, a efectos reglamentarios, se considerarán de tercera categoría.

En el trazado de las líneas subterráneas se cumplirán las distancias reglamentarías establecidas en la ITC-LAT 06, así como las que puedan establecer otros organismos y/o empresas de servicios afectadas por el trazado que se pueda proyectar.

Las líneas subterráneas de media tensión estarán integradas en redes trifásicas de hasta 30 kV y frecuencia nominal 50 Hz. La tensión nominal de la línea subterránea será en nuestro caso de 25 kV.

Para la definición de tensión más elevada y niveles de aislamiento del material a utilizar se establecen los parámetros de la siguiente tabla.

Tensión nominal de la red Un (kV)	Tensión nominal cables y accesorios U0/U (kV eficaces)	Tensión más elevada cable y accesorios Um (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a frecuencia industrial (kV eficaces)	Tensión de choque soportada nominal (tipo rayo) (kV de cresta)
20 < U ≤ 30	18/30	36	70	170

Siendo:

U = Tensión asignada eficaz a 50 Hz entre dos conductores cualesquiera para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

Un = Tensión nominal eficaz a 50 Hz de la red.

U0 = Tensión asignada eficaz a 50 Hz entre cada conductor y la pantalla de cable para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

Um= Tensión más elevada para el material a 50 Hz entre dos conductores cualesquiera.

7.1.1. Características del conductor.

Se ha elegido, como conductor para la red subterránea de media tensión un conductor unipolar de aluminio, con aislamiento seco termoestable, en concreto cable aislado con polietileno reticulado RH5Z1 18/30 kV de 1x240 mm^2 Al + H16, con pantalla semiconductora sobre conductor y sobre aislamiento y con pantalla metálica de aluminio.

Se ajustarán a lo indicado en las normas UNE-HD 620-10E, UNE 211620, ITC-LAT-06.

Para la elección de la tensión nominal del cable se utilizará la tabla siguiente, que está basada en la norma UNE 20435-2 y en la tabla 2 de la ITC- LAT 06.

El circuito de la línea subterránea de media tensión se compondrá de tres conductores unipolares y de las características que se indican en la tabla 2.

En la tabla siguiente, se reflejan las características del conductor elegido.

Sección Nominal	Características Físicas			Características Instalación			Características Eléctricas	
	Diámetro aislamiento	Diámetro Exterior	Peso Aproximado	Mínimo Radio De curvatura		Resistencia	Reactancia XL	Capacidad C
				Durante Instalación	Posición Final			
mm2	mm	mm	Kg/Km	Mm	Mm	Ohm/km	Ohm/Km	µF/Km
95	25,6	33.6	100	504	672	0,320	0,128	0,187
150	28,3	36,2	1330	543	724	0,206	0,119	0,216
240	32,4	40,3	1720	605	806	0,125	0,110	0,260

7.1.2. Terminaciones.

Las terminaciones serán en instalaciones con celdas de corte y aislamiento en SF6. Serán acordes a las normas UNE-HD629-1 y UNE-EN 61442. Se tomará como referencia la norma informativa GSCC006 12/20(24) kV and 18/30(36) kV.

7.1.3. Empalmes.

Los empalmes se utilizarán siempre empalmes contráctiles en frío, tomando como referencia las normas UNE: UNE211027, UNE-HD629-1 y UNE-EN 61442.

7.2. Canalización subterránea.

7.2.1. Descripción del trazado.

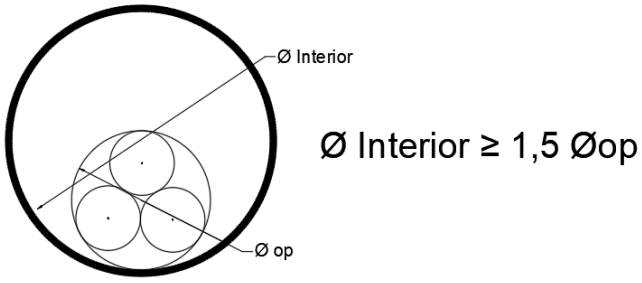
Las canalizaciones irán por terrenos de los que se tiene disponibilidad. El trazado será lo más rectilíneo posible.

Al marcar el trazado de las zanjas, se tendrán en cuenta los radios de curvatura mínimos, fijados por los fabricantes.

Tendrá 0,35 – 0,60 m de anchura media y profundidad mínima de 1,00 – 1,30 m, en terrizo.

Las líneas se enterrarán bajo tubo de 200 mm de diámetro exterior, a una profundidad mínima de 70 cm en tierra, medidos desde la parte superior del tubo al pavimento. Poseerán una resistencia suficiente a las solicitaciones a las que se han de someter durante su instalación tomando como referencia la norma informativa CNL002 Tubos Polietileno (Libres de halógenos) para canalizaciones subterráneas.

El diámetro interior del tubo no será inferior a 1,5 veces el diámetro aparente del haz de conductores, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Cuando existan impedimentos que no permitan conseguir las anteriores profundidades, éstas podrán reducirse si se añaden protecciones mecánicas suficientes, tal y como se especifica en la ITC-LAT-06.

Las zanjas se realizarán cumpliendo todas las medidas de seguridad personal y vial indicadas en las Ordenanzas Municipales, Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Código de la Circulación, etc.

Deberán disponerse las arquetas suficientes que faciliten la realización de los trabajos de tendido pudiendo ser arquetas ciegas o con tapas practicables. También podrán realizarse catas abiertas para facilitar los trabajos de tendido.

7.2.2. Arquetas

Las arquetas prefabricadas tomarán como referencia la norma informativa NNH001 Arquetas Prefabricadas para Canalizaciones Subterráneas. El montaje de las arquetas de material plástico se realizará tomando como referencia el documento informativo NMH00100 Guía de Montaje e Instalación de Arquetas Prefabricadas de Poliéster, Polietileno o Polipropileno para Canalizaciones Subterráneas.

Se pueden construir de ladrillo, sin fondo para favorecer la filtración de agua, siendo sus dimensiones las indicadas en los planos.

En la arqueta, los tubos quedarán como mínimo a 25 cm por encima del fondo para permitir la colocación de rodillos en las operaciones de tendido. Una vez tendido el cable, los tubos se sellarán con material expansible, yeso o mortero ignífugo de forma que el cable quede situado en la parte superior del tubo. La situación de los tubos en la arqueta será la que permita el máximo radio de curvatura.

En todos los casos, deberá estudiarse el número de arquetas y su distribución, en base a las características del cable y, sobre todo, al trazado, cruces, obstáculos, cambios de dirección, etc., que serán realmente los que determinarán las necesidades para hacer posible el adecuado tendido del cable.

7.2.3. Cruzamientos, proximidades y paralelismos

Los cables subterráneos deberán cumplir los requisitos señalados en el apartado 5 de la ITC-LAT 06 y las condiciones que pudieran imponer otros órganos competentes de la Administración o empresas de servicios, cuando sus instalaciones fueran afectadas por tendidos de cables subterráneos de MT.

Cuando no se puedan respetar aquellas distancias, deberán añadirse las protecciones mecánicas especificadas en el propio reglamento.

En el caso que nos ocupa, afecta a cruce de carretera y a cruce con canalizaciones de riegos.

7.2.4. Puesta a tierra

Las pantallas metálicas de los cables de Media Tensión se conectarán a tierra en cada uno de sus extremos.

7.2.5. Estudio de seguridad y salud. Plan de seguridad

Durante la construcción e instalación de la línea subterránea se deberán aplicar las prescripciones e instrucciones de seguridad descritas en la legislación vigente, así como los criterios de seguridad que se establezcan en el Estudio de Seguridad y Salud que la Dirección de Obra deberá formalizar para la obra.

El Plan definirá la evaluación de los riesgos existentes en cada fase del proyecto y los medios dispuestos para velar por la prevención de riesgos.

7.3. Cálculos Justificativos.

7.3.1. Introducción

Para la justificación de los cálculos en los que se basen los proyectos de las líneas subterráneas de media tensión se seguirán las prescripciones indicadas en la ITC-LAT-6 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las líneas eléctricas de alta tensión.

En este apartado se detalla y justifica el cálculo de los siguientes parámetros:

- Intensidades máximas admisibles para el cable.
  - En servicio permanente.
  - En cortocircuito durante un tiempo determinado.
- Pérdidas de potencia.

- Caída de tensión de la línea

7.3.2. Características eléctricas del conductor.

Para la realización de los cálculos justificativos se tendrán en cuenta las características del conductor que se detallan en la norma de referencia informativa DND001 Cables aislados para redes aéreas y subterráneas de Media Tensión hasta 30 kV.

Resistencia del conductor

La resistencia del conductor varía con la temperatura de funcionamiento de la línea. Se adopta como temperatura máxima del conductor en régimen permanente 90 ºC. El incremento de resistencia en función de la temperatura viene determinado por la expresión:

$$R = R20℃ \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20℃))$$

Siendo:

α = Coeficiente de temperatura del aluminio, α= 0,00403 °C-1,

θ = Temperatura máxima del conductor, se adopta el valor de 90°C.

R20ºC = Resistencia del conductor a 20 ºC.

Los valores de resistencia para los valores indicados a la temperatura estándar (20 ºC) y máxima (90 ºC) son los mostrados a continuación:

Conductor	Sección nominal (mm^2)	Resistencia máxima a 20 °C (Ω/km)	Resistencia máxima a 90 °C (Ω/km)
RH5Z1	150	0,206	0,264
	240	0,125	0,160
	400	0,078	0,100

Reactancia del cable

La reactancia depende de la geometría y diseño del conductor. Las reactancias de los cables especificados, con disposición de las tres fases por un mismo tubo y en triángulo, son los mostrados a continuación:

Conductor	Sección nominal (mm^2)	Reactancia cable 12/20 kV (Ω/km)	Reactancia cable 18/30 kV (Ω/km)
RH5Z1	150	0,119	0,129
	240	0,110	0,120
	400	0,102	0,106

7.3.3. Intensidades máximas admisibles para el cable.

7.3.3.1. Intensidad máxima admisible para el cable en servicio permanente.

Para cada instalación, dependiendo de sus características, configuración, condiciones de funcionamiento, tipo de aislamiento, etc., se justificará y calculará la intensidad máxima permanente del conductor, con el fin de no superar la temperatura máxima asignada del mismo.

Según se establece en la ITC-LAT-6, el aumento de temperatura provocado por la circulación de la intensidad calculada, no debe dar lugar a una temperatura en el conductor superior a la prescrita en la tabla siguiente:

Tipo de aislamiento seco	Servicio permanente θs	Cortocircuito θcc (t ≤ 5s)
Polietileno reticulado RH5Z1	90 ºC	250 ºC

Los valores de intensidad máxima admisible según la ITC-LAT-6 para las condiciones estándar que se describen a continuación son los indicados en la siguiente tabla.

- Temperatura máxima en el conductor: 90 ºC.
- Línea subterránea de media tensión en servicio permanente.
- 3 cables unipolares en trébol, dentro de un tubo.
- Profundidad de instalación: 1 m.
- Resistividad térmica del terreno: 1,5 K·m/W.
- Temperatura ambiente del terreno a la profundidad indicada: 25 ºC.
- Temperatura del aire ambiente: 40 ºC.

Sección nominal de los conductores mm²	Intensidad máxima admisible, I, en A (Cables unipolares en triángulo en contacto)
150	245
240	320
400	415

En el caso en que no se cumplan las condiciones descritas anteriormente, la intensidad admisible deberá corregirse teniendo en cuenta cada una de las magnitudes de la instalación real que difieran de aquellas.

Como el conductor que se usará será el de 240 mm^2, contaremos de partida con una intensidad máxima admisible de 309 A.

Las condiciones a considerar para la corrección del valor de la intensidad admisible son las siguientes:

- Temperatura del terreno.
- Agrupación de los circuitos.
- Resistividad térmica del terreno.
- Profundidad de la instalación.

Tras la aplicación de los diferentes factores correctores, debe cumplirse que el aumento de temperatura provocado por la circulación de la intensidad calculada no dé lugar a una temperatura, en el conductor, superior a la prescrita en la tabla 3.

Factor relativo a cables enterrados bajo tubo en terrenos cuya temperatura sea distinta de 25ºC (Fct)

En la siguiente tabla se indican los factores de corrección F, de la Intensidad admisible para temperaturas del terreno distintas de 25ºC, en función de la temperatura máxima asignada al conductor.

Temperatura ºC, en servicio permanente, θs	Temperatura del terreno, en ºC, Φt								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

El factor de corrección para otras temperaturas del terreno distintas de las tablas será:

$$F_{ct} = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}} = 0{,}97$$

Factor relativo a agrupación de circuitos (Fca):

En el caso de que la línea subterránea se componga de una agrupación de tubos, la intensidad admisible dependerá del tipo de agrupación empleado y variará para cada cable o terna según esté colocado en un tubo central o periférico. Cada caso deberá estudiarse individualmente por el proyectista. Además, se tendrán en cuenta los coeficientes aplicables en función de la temperatura y resistividad térmica del terreno y profundidad de la instalación.

Para ternas de cable enterradas en una zanja en el interior de tubos, se aplicarán los coeficientes que se indican a continuación:

Circuitos en tubulares soterrados (un circuito trifásico por tubo) Tubos dispuestos en plano horizontal			
Circuitos agrupados	Distancias entre tubos en mm		
	Contacto	200	400
2	0,8	0,83	0,87
3	0,7	0,75	0,8
4	0,64	0,7	0,77

En nuestro caso, y dado que solo hay un circuito el factor de agrupamiento es 1.

Factor relativo a Resistividad Térmica del terreno (Fcrt):

El coeficiente corrector para resistividad térmica del terreno distinta de 1,5 K·m/W, se obtiene de la siguiente tabla.

	Resistividad del terreno (K·m/W)						
Sección del conductor	**0.8**	**0.9**	**1**	**1.5**	**2**	**2.5**	**3**
150	1,14	1,12	1,1	1	0,93	0,87	0,82
240	1,15	1,12	1,1	1	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,1	1	0,92	0,86	0,81

La resistividad térmica del terreno en función de su naturaleza y humedad viene dada en la siguiente tabla.

Resistividad térmica del terreno (K m/W)	Naturaleza del terreno y grado de humedad
0,40	Inundado
0,50	Muy húmedo
0,70	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenoso muy seco
2,00	De piedra arenisca
2,50	De piedra caliza
3,00	De piedra granítica

En nuestro caso, el factor de resistividad por el terreno es 1.

Factor relativo a la Profundidad de la instalación (Fcp):

El coeficiente corrector para distintas profundidades de soterramiento se obtiene a partir de la siguiente tabla.

Profundidad (m)	En tubular con sección	
	<= 185 mm^2	> 185 mm^2
0,50	1,06	1,08
0,60	1,04	1,06

0,80	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96
1,75	0,96	0,95
2,00	0,95	0,94
2,50	0,93	0,92
3,00	0,92	0,91

En base a los factores expuestos, la intensidad admisible permanente del conductor se calculará por la siguiente expresión:

$$Iadm_real = Iadm \cdot Fct \cdot Fcrt \cdot Fca \cdot Fcp$$=299,73 A

Siendo:

$I_{admreal}$ = Intensidad máxima admisible en servicio permanente, en A.

Iadm = Intensidad del conductor sin coeficientes de corrección, en A.

Fct = Factor de corrección debido a la temperatura del terreno.

Fcrt = Factor de corrección debido a la resistividad del terreno.

Fca = Factor de corrección debido a la agrupación de circuitos.

Fcp = Factor de corrección debido a la profundidad de soterramiento.

7.3.4. Cálculo de la caída de tensión.

La caída de tensión se calculará en el punto final del tramo (L) proyectado mediante la siguiente expresión:

$$U_c = \frac{P \cdot L}{U} \cdot (R_{90} + X \cdot tan\varphi) = 26{,}16\ V$$

Siendo:

P = Potencia máxima de la instalación

L = Longitud de la Línea.

U = Tensión de servicio

R_{90} = Resistencia conductor a 90º.

X = Reactancia del conductor

tan φ = Tangente de φ

En valor absoluto:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100 = 0{,}105\%$$

7.3.5. Intensidad máxima admisible para el cable en cortocircuito.

La temperatura que puede de alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de un tiempo t) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable.

A estos efectos, se considera el proceso adiabático, es decir, que el calor desprendido durante el proceso es absorbido por los conductores.

Se tiene que cumplir que el valor de la integral de Joule durante el cortocircuito tiene que ser menor al valor máximo de la integral de Joule admisible en el conductor.

$$I_{cc}^2 \cdot t_{cc} \leq I_{cc\,Adm}^2 = (K \cdot S)^2$$

Con esta fórmula se calcula la Intensidad de cortocircuito trifásico admisible del conductor.

$$I_{cc} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{T_{cc}+\beta}{T_i+\beta}\right)}{\ln\left(\frac{T_{cc}+\beta}{T_s+\beta}\right)}}$$

Siendo:

I_{cc}. = Intensidad de cortocircuito trifásico calculada con hipótesis adiabática en el conductor, en amperios.

S = Sección del conductor, en mm2.

K = Coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y del tipo de aislamiento. Representa la densidad de corriente admisible para un cortocircuito de 1 segundo y para el caso del conductor de Al con aislamiento XLPE. K=94 suponiendo temperatura inicial antes del cortocircuito de 90 ºC y máxima durante el cortocircuito de 250 ºC.

tcc = Duración del cortocircuito, en segundos.

Tcc = Máxima temperatura del conductor en cortocircuito

Ti = Temperatura del conductor en régimen permanente.

Ts = Temperatura máxima del conductor en régimen permanente.

β = 235 para cobre y 228 para aluminio.

El cálculo de Ti dependerá de la temperaturas e intensidades en ambiente y máximas. Para ello se utilizará la siguiente expresión:

$$T_i = T_{amb} + (T_s - T_{amb}) \cdot \left({}^{I}/_{I_{máx}}\right)$$

En nuestro caso, Ti = 28,30 ºC

Y la intensidad de cortocircuito del conductor resulta ser de:

$$I_{cc} = 31{,}90\ kA$$

El tiempo máximo de duración del cortocircuito deberá ser proporcionado por la Distribuidora.

Los valores de cortocircuito máximo admisibles de los conductores especificados en el presente proyecto se detallan en la siguiente tabla.

Sección del conductor mm2	Duración del cortocircuito (s)									
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
150	44,6	31,5	25,7	19,9	18,2	14,1	11,5	10,0	8,9	8,1
240	71,3	50,4	41,2	31,9	29,1	22,6	18,4	16,0	14,3	13,0
400	118,9	84,1	68,6	53,2	48,5	37,6	30,7	26,6	23,8	21,7

El valor de la intensidad de cortocircuito para el cálculo de la línea subterránea será de 11,55 kA.

Se comprobará que la intensidad de cortocircuito para el cálculo de la red (16 kA) será inferior a la intensidad de cortocircuito admisible en los conductores, según la duración del mismo.

7.3.6. Intensidad máxima admisible para la pantalla en cortocircuito

La intensidad de cortocircuito admisible en la pantalla de aluminio se ha calculado siguiendo la guía de la norma UNE 211003 y el método descrito en la norma UNE 21192.

Se tiene en cuenta que la pantalla de Al es de 0,3 mm de espesor, con una temperatura inicial de 70 ºC y una temperatura final de la pantalla de 180 ºC.

En la siguiente tabla se indican las intensidades máximas de cortocircuito admisibles (kA) por la pantalla de los cables seleccionados, para diferentes tiempos de duración del cortocircuito.

Conductor	Sección mm²	Tiempo de cortocircuito en s							
		0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
18/30 kV	150	6,53	5,50	4,46	3,41	2,94	2,66	2,46	2,31
	240	7,51	6,32	5,13	3,93	3,38	3,06	2,83	2,66
	400	8,49	7,15	5,80	4,44	3,82	3,45	3,20	3,01

Se comprobará, que las intensidades de cortocircuito por la pantalla calculadas en el punto de cortocircuito (cortocircuito monofásico) quedan por debajo de los valores de intensidad de cortocircuito máxima admisibles.

7.3.7. Protecciones

Para la protección contra sobreintensidades, cortocircuitos y sobrecargas se cumplirá con lo indicado en la ITC-LAT-06 apartado 7.1. De igual forma para la protección contra sobretensiones lo indicado en el apartado 7.2 de la misma ITC.

7.3.8. Pérdidas de potencia

Las pérdidas de potencia de una línea vendrán dadas por la siguiente expresión:

En valor absoluto:

$$P_p = \frac{P^2 \cdot L \cdot R_{90}}{U^2 \cdot (\cos\varphi)^2} = 3{,}68\ kW$$

En valor porcentual:

$$P_p = 0{,}09\ \%:$$

P = Potencia a transportar, en kW.

L = Longitud de la línea, en km.

U = Tensión nominal de la línea, en kV.

cos φ = Factor de potencia de la instalación

Calculando la P a transportar con la siguiente expresión,

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Siendo:

P= Potencia a transportar por el cable en KW.

U = Tensión de línea en kV.

I = Intensidad de la línea en A.

cos φ = Factor de potencia de la instalación.

El resultado de cálculo para determinar y validar la sección del conductor de la línea de evacuación, se recoge a continuación.

TRAMO										CRITERIO						CRITERIO CAIDA TENSIÓN			CRITERIO CORTOCIRCUITO	
Tramo	L (m)	Método	I (A)	Coef	I cal. (A)	V (V)	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iadm (A)	Coef. Tª	Coef. Res.	Coef. Agr.	Iadm* (A)	¿CUMPLE?	ΔV (V)	ΔV (%)	ΔV acum. (%)	Icc add cond	Icc Instal.
CMT-EBH	666,18	D1	92,376	1,25	115,47	25.000,00	AL	240	1	309,00	0,97	1,00	1,00	299,73	CUMPLE	26,160	0,105	0,517	31,50	11,547

8. CONEXIÓN DE LA LÍNEA DE EVACUACIÓN.

La línea de evacuación, conectará el centro de media tensión con la estación de bombeo de Herreros.

En el conjunto de celdas existentes, se insertará lo siguiente:

- 1 ud. de celda de interruptor automático, 36 kV, 400 A, 16 kA, y dotada de relé de protección 50/51, 50N/51N (10).
- 1 ud. de celda de medida modular compuesta por:
  - 3 Ud de transformador de tensión con las siguientes características:
    - Relación de transformación 2750/110V
    - Clase: 0,5
    - Potencia de precisión: 10 VA
    - Medida
      - Potencia: 50 VA
      - Clase de protección 0,5
  - 3 Ud de transformador de intensidad con las siguientes características:
    - Relación de transformación 200-300/5 A
    - Intensidad térmica 80 In (min. 5 kA)
    - Sobreintensidad admisible en permanencia: Fs <= 5
    - Medida
      - Potencia: 15 VA

- Clase de protección 0,2

Quedando conectada la generación con las barras de 25 kV, la energía será consumida por la estación de bombeo de Herreros.

9. ALIMENTACIÓN GRUPOS DE BOMBEO EXISTENTES.

9.1. Antecedentes.

Con la intención de mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de la Comunidad de Regantes se instalarán variadores de frecuencia en algunos de los grupos de bombeo ubicados en las estaciones de bombeo. De esta manera, la energía eléctrica consumida se ajustará a la demanda real de los grupos de bombeo sobre los que se instale.

En la alimentación de aquellos grupos de bombeo, a los que se les acoplará un variador de frecuencia, deberán sustituirse los conductores existentes por otros de tipo apantallado, que no transmitan las interferencias generadas por los variadores de frecuencia.

Los grupos de bombeo, a los que se acoplará un variador de frecuencia, son los siguientes:

ESTACIÓN DE BOMBEO	SISTEMA	POTENCIA (kW)	UNIDADES
Herreros	Llenado balsa	560	1
Alamillo	Llenado balsa	400	1

9.2. Cálculo de sección por intensidad admisible.

La intensidad máxima admisible de las líneas de corriente alterna de salida de cada inversor se calculará teniendo en cuenta loa potencia de este y que la instalación es trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

9.3. Criterio de caída de tensión.

Para el criterio de caída de tensión se tendrá en cuenta la siguiente fórmula.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{S \cdot n}$$

Siendo:

ρ = Resistividad del conductor.

L = Longitud de la Línea.

I = Intensidad nominal de la corriente.

S = Sección elegida del conductor.

n = Número de conductores por fase.

Cos φ= Coseno de φ entre la tensión de fase e intensidad

En valor absoluto:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100$$

9.4. Criterio de intensidad de cortocircuito.

Por último, se comprueba el criterio de la intensidad de cortocircuito, que como se ha mencionado anteriormente, es muy superior a la intensidad que podría producirse en la instalación.

Recurrimos a la GUIA-BT-ANEXO 3 para la fórmula de cálculo aproximado.

Como generalmente se desconoce la impedancia del circuito de alimentación a la red, se admite que en caso de cortocircuito la tensión en el inicio de las instalaciones de los usuarios se puede considerar como 0,8 veces la tensión de suministro.

$$I_{cc} = \frac{0{,}8\ U}{Z_{máx}}$$

Siendo:

Icc = Intensidad de cortocircuito máxima en el punto considerado

U = Tensión de alimentación

$Z_{máx}$ = Resistencia del conductor

Se utilizará el valor de resistividad del cobre a 150 ºC y tomando la fórmula de la UNE 20003 (IEC 28), se tendrá:

$$Z_{máx} = \frac{\rho_{cu} \cdot L}{S}$$

9.5. Resultado del cálculo.

El resultado de cálculo para determinar y validar la sección del conductor para alimentación de los distintos grupos de bombeo, se recoge a continuación.

TRAMO											CRITERIO INT. MÁX. ADM						CRITERIO CAÍDA DE TENSIÓN	
Tramo	L (m)	cos (ϕ)	P (kW)	V (V)	In (A)	I cal. (A)	Método	CU/AL	S (mm²)	Cond./Fase	Iadm (A)	Coef.Tª	Coef. Res.	Coef. Agr.	Iadm* (A)	¿CUMPLE?	AV (V)	AV (%)
Herreros	49,00	0,80	560,00	690,00	585,72	732,15	D1	CU	240	3	336	0,96	1,00	0,90	290,30	CUMPLE	1,518	0,220
Alamillo	34,00	0,80	400,00	690,00	418,37	522,96	D1	CU	240	2	336	0,96	1,00	0,90	290,30	CUMPLE	1,128	0,164

9.6. Ventilación en sala de variadores.

La ventilación que se dispone en las salas de ubicación de los variadores proyectadas es mediante un equipo de aire acondicionado y un sistema extracción mecánica. Dicha ventilación se considera suficiente para los variadores proyectados.

10. SISTEMA ANTIVERTIDO.

La instalación fotovoltaica proyectada se trata de una instalación de autoconsumo sin vertido de excedentes.

De acuerdo con los criterios establecidos por el *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*, las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo sin

vertido de excedentes, deberán de disponer de un sistema antivertido que garantice que no se vierta energía a la red de distribución.

El sistema antivertido deberá de cumplir lo especificado en el citado Real Decreto, así como la *ITC-BT-40 Anexo I: Sistemas para evitar el vertido de energía a la red*.

El sistema antivertido deberá de tener capacidad técnica para que el sistema no vierta energía a la red siempre y cuando el consumo sea menor a la generación, con un tiempo de respuesta inferior a 2 segundos. Además, el sistema impedirá el vertido de energía a la red cuando se produzca un fallo en las comunicaciones, como salvaguarda de cumplimiento de la normativa.

El sistema estará compuesto de una unidad maestra para medir el balance generación/consumo en cabecera, mediante la conexión a los trafos de tensión e intensidad.

La unidad maestra irá conectada a una unidad esclava, mediante fibra óptica, la cual se encargará de transmitir las órdenes de regulación de carga a los inversores, a la vez que vigilará el funcionamiento de las comunicaciones en el sistema.

11. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.

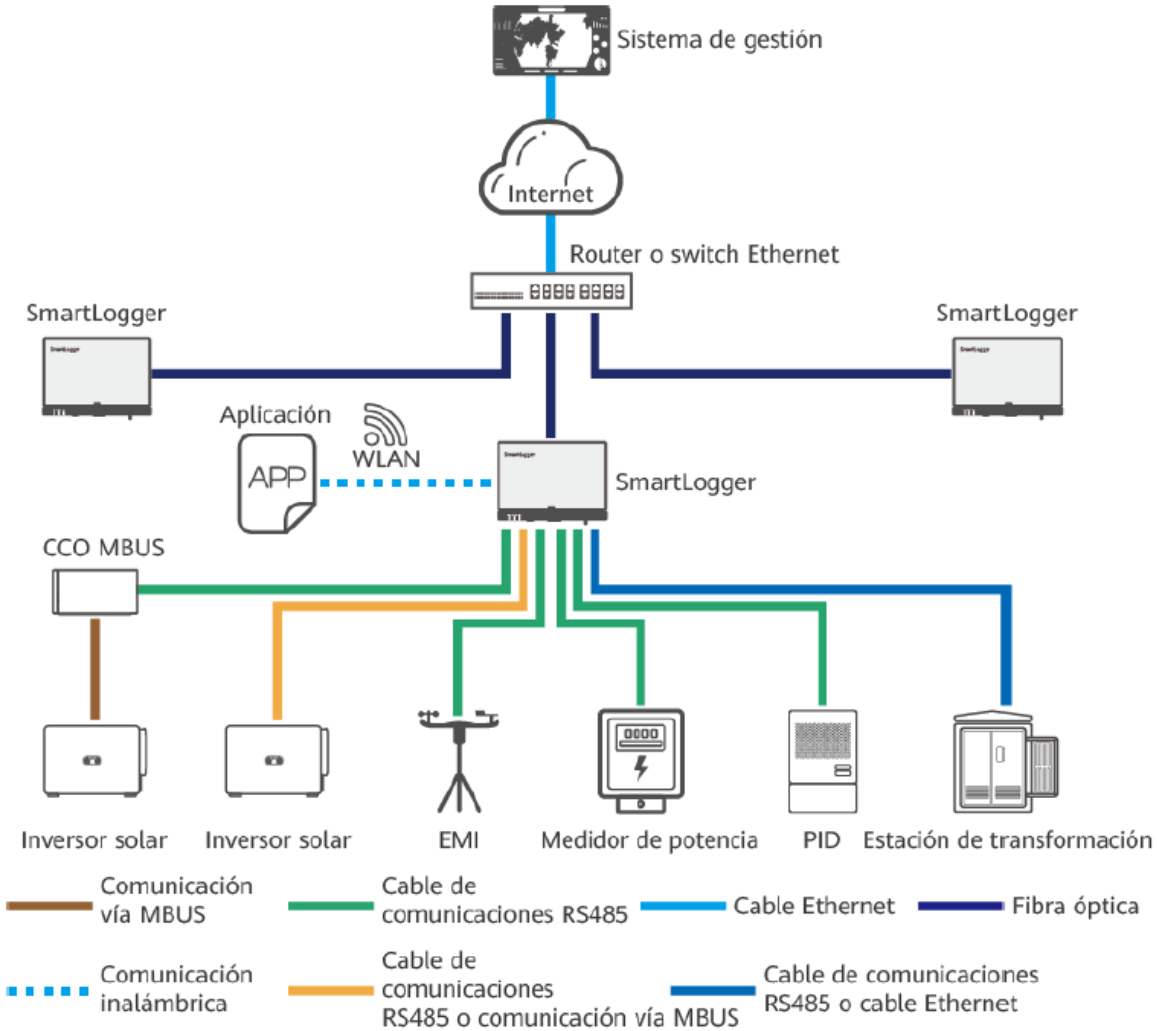
La instalación fotovoltaica proyectada incluirá un sistema de monitorización independiente, capaz de mostrar sinópticos con valores instantáneos, con gráficas de tendencia, históricos, registros y sistema de gestión de alarmas.

Para ello, a través de un Smartlogger, se realizará la convergencia de todos los puertos, la conversión de protocolos, la obtención y el almacenamiento de datos, y la monitorización y el mantenimiento centralizado de los dispositivos de los sistemas.

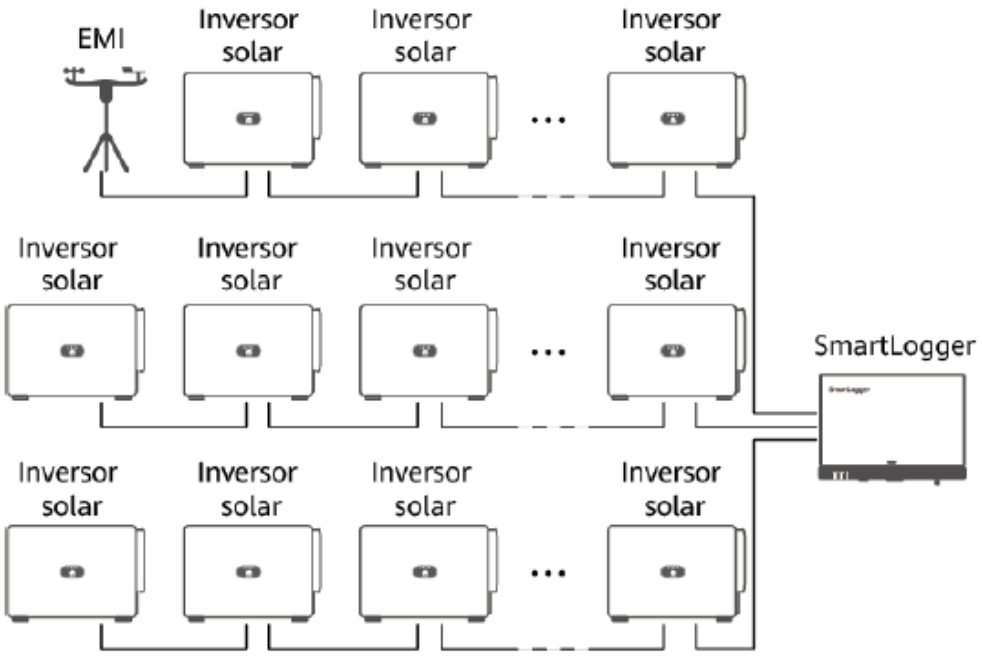
El Smartlogger admitirá las siguientes funciones:

- Operaciones locales usando la aplicación para teléfonos móviles a través de la WLAN integrada.
- Conexión en red RS485 de los siguientes dispositivos:
  - Inversores solares.
  - Instrumentos de monitorización del entorno (EMI).
  - Medidores de potencia.
- Red ethernet.
- Conexión a sistemas de gestión.

El esquema de conexión en red, de los equipos del sistema de monitorización, es en forma de estrella, según se recoge en la siguiente imagen:



Los inversores se conectarán al Smartlogger en cascada, tal y como se recoge en la siguiente imagen:



Las señales que se integrarán en el sistema de monitorización serán las siguientes:

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
INVERSORES	Tensión CC de entrada String
	Corriente CC de entrada String
	Tensión CA de salida entre fases
	Corriente CA de salida de cada fase
	Potencia activa
	Potencia reactiva
	Cos phi
	Energía suministrada en kWh
	Emisión reducida de CO_2
MEDIDOR DE POTENCIA	Energía total generada
	Energía total consumida
INSTRUMENTO DE MONITORIZACIÓN DEL ENTORNO	Radiación solar
	Temperatura de célula de referencia

Las señales gestionadas por el Smartlogger, podrán ser monitorizadas desde una aplicación móvil o desde una aplicación web.

Córdoba, agosto de 2.022.

EL INGENIERO AGRÓNOMO

Fdo.: Luís Fernando Hernández-Carrillo Pineda
Colegiado nº 1.737 por el COIAA

EL INGENIERO AGRÓNOMO

Fdo.: José Salvador Alabanda Parejo
Colegiado nº 1.941 por el COIAA

EL INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL

Fdo.: Alberto Serrano Sánchez
Colegiado nº 1.369 por el COPITICO