



**Universidad de Jaén**  
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**PROYECTO DE SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA ELEVADORA DE  
20/132 kV PARA EVACUACIÓN  
DE ENERGÍA.**

Alumno: Antonio Ángel Montoro García

Tutor: Manuel Gómez González  
Dpto.: Ingeniería Eléctrica

Septiembre, 2024



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES

TRABAJO FINAL DE GRADO  
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA  
DE 20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA.**

AUTOR:  
ANTONIO ÁNGEL MONTORO GARCÍA

TUTOR:  
MANUEL GÓMEZ GONZÁLEZ



## Índice de documentos.

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| DOCUMENTO 1 ..... | MEMORIA DESCRIPTIVA                 |
| ANEXO I .....     | CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS             |
| ANEXO II .....    | ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD |
| DOCUMENTO 2 ..... | PLANOS                              |
| DOCUMENTO 3 ..... | PLIEGO DE CONDICIONES               |
| DOCUMENTO 4 ..... | PRESUPUESTO                         |



## Resumen.

Este proyecto recoge el diseño básico de una subestación eléctrica elevadora para la evacuación de la energía producida por 2 plantas solares fotovoltaicas con una potencia de evacuación de 25MVA cada una, centrándose principalmente en la descripción y cálculo de los sistemas más importantes que componen una subestación eléctrica.

La presente subestación elevadora tiene como fin elevar la tensión de 20 kV al nivel de 132 kV presente en la red de distribución a la que ésta se conectará mediante una entrada/salida propiedad de Endesa Distribución Eléctrica (EDE), por consiguiente, la instalación presenta dos zonas delimitadas, una perteneciente única y exclusivamente a EDE, la cual albergará las posiciones de línea, barra y seccionamiento. La otra perteneciente a los promotores albergándose en esta el edificio de control y las posiciones de transformación para la evacuación de los 25+25 MVA de las plantas solares.

A lo largo de este proyecto se procederá a la descripción de los diferentes elementos con los que cuenta una subestación de este tipo en la actualidad, así como al cálculo y su correcta definición para su posterior ejecución y puesta en marcha.

El proyecto queda definido por los diferentes documentos, la memoria y sus anexos, los planos, el pliego de condiciones y por último el presupuesto.

Antonio Ángel Montoro García



## Índice

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| Índice de figuras. ....                                           | 11        |
| Índice de tablas. ....                                            | 12        |
| <b>1 MEMORIA DESCRIPTIVA. ....</b>                                | <b>13</b> |
| 1.1. Antecedentes. ....                                           | 13        |
| 1.2. Objeto y alcance. ....                                       | 13        |
| 1.3. Ubicación y emplazamiento. ....                              | 13        |
| 1.4. Normativa y reglamentación aplicable. ....                   | 14        |
| 1.5. Descripción general de la instalación. ....                  | 15        |
| 1.5.1. Conexión a red. ....                                       | 15        |
| 1.5.2. Parámetros básicos de diseño. ....                         | 16        |
| 1.5.2.1. Aislamiento. ....                                        | 16        |
| 1.5.2.2. Distancias mínimas. ....                                 | 17        |
| 1.5.3. Configuración de la subestación. ....                      | 17        |
| 1.6. Sistema de 132 kV. ....                                      | 18        |
| 1.6.1. Posición de línea. ....                                    | 18        |
| 1.6.2. Posición de barra. ....                                    | 18        |
| 1.6.3. Posición de seccionamiento. ....                           | 18        |
| 1.6.4. Posición de transformación. ....                           | 19        |
| 1.6.5. Características de los equipos principales. ....           | 19        |
| 1.6.5.1. Módulos híbridos. ....                                   | 19        |
| 1.6.5.2. Interruptor automático. ....                             | 20        |
| 1.6.5.3. Seccionador. ....                                        | 20        |
| 1.6.5.4. Transformador de intensidad. ....                        | 21        |
| 1.6.5.5. Transformador de tensión inductivo. ....                 | 21        |
| 1.6.5.6. Transformador de potencia. ....                          | 21        |
| 1.6.5.7. Autoválvulas. ....                                       | 22        |
| 1.6.5.8. Resistencia de puesta a tierra. ....                     | 22        |
| 1.6.5.9. Conductor de 132 kV. ....                                | 23        |
| 1.6.5.10. Embarrado. ....                                         | 23        |
| 1.7. Sistema de 20kV. ....                                        | 24        |
| 1.7.1. Posición de salida de línea de 20 kV. ....                 | 24        |
| 1.7.2. Posición de protección del transformador de potencia. .... | 24        |
| 1.7.3. Posición de servicios auxiliares. ....                     | 25        |
| 1.7.4. Batería de condensadores. ....                             | 25        |
| 1.7.5. Características de los equipos principales. ....           | 25        |
| 1.7.5.1. Batería de condensadores. ....                           | 25        |
| 1.7.5.2. Transformador de SSAA. ....                              | 26        |



|           |                                                                |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.5.3.  | Conductor aislado de 20 kV. ....                               | 26 |
| 1.8.      | Sistema de servicios auxiliares. ....                          | 28 |
| 1.8.1.    | SSAA de corriente alterna. ....                                | 28 |
| 1.8.2.    | SSAA de corriente continua. ....                               | 29 |
| 1.9.      | Sistema de medida para facturación ....                        | 30 |
| 1.9.1.    | Equipos de medida oficial. ....                                | 30 |
| 1.9.2.    | Condiciones de instalación de los equipos. ....                | 31 |
| 1.10.     | Sistema integrado de control y protección. ....                | 32 |
| 1.10.1.   | Nivel de instalación. ....                                     | 32 |
| 1.10.1.1. | La Unidad de Control de la Subestación (UCS). ....             | 32 |
| 1.10.1.2. | El terminal de operación local. ....                           | 32 |
| 1.10.1.3. | El terminal de teleacceso. ....                                | 32 |
| 1.10.2.   | Nivel de posición. ....                                        | 32 |
| 1.10.2.1. | Unidades de control de posición. ....                          | 33 |
| 1.10.3.   | Disposición constructiva del SIPC. ....                        | 33 |
| 1.10.4.   | Funciones de protección. ....                                  | 33 |
| 1.11.     | Sistema de telecomunicaciones. ....                            | 33 |
| 1.12.     | Sistema de puesta a tierra. ....                               | 34 |
| 1.12.1.   | Red de tierra Inferior. ....                                   | 34 |
| 1.12.1.1. | Características del sistema. ....                              | 34 |
| 1.12.1.2. | Instrucciones generales de puesta a tierra. ....               | 35 |
| 1.12.1.3. | Tensiones de paso y contacto presentes en la instalación. .... | 36 |
| 1.12.2.   | Red de tierra superior. ....                                   | 37 |
| 1.13.     | Sistemas complementarios. ....                                 | 38 |
| 1.13.1.   | Sistema de alumbrado y fuerza ....                             | 38 |
| 1.13.1.1. | Alumbrado general. ....                                        | 38 |
| 1.13.1.2. | Alumbrado de emergencia. ....                                  | 38 |
| 1.13.1.3. | Sistema de fuerza. ....                                        | 38 |
| 1.13.2.   | Sistemas de seguridad. ....                                    | 38 |
| 1.13.2.1. | Sistema contra incendios. ....                                 | 38 |
| 1.13.2.2. | Sistema de anti-intrusismo. ....                               | 39 |
| 1.13.3.   | Sistema de ventilación, y climatización. ....                  | 39 |
| 1.13.4.   | Sistema para la captación de agua. ....                        | 40 |
| 1.13.5.   | Sistema de saneamiento. ....                                   | 40 |
| 1.13.6.   | Sistema de suministro eléctrico de emergencia. ....            | 40 |
| 1.14.     | Justificación acústica. ....                                   | 40 |
| 1.15.     | Limitación de campos magnéticos. ....                          | 40 |
| 1.16.     | Obra civil. ....                                               | 41 |
| 1.16.1.   | Explanación y adecuación del terreno. ....                     | 41 |



|          |                                                                                        |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.16.2.  | Cerramiento perimetral.....                                                            | 41 |
| 1.16.3.  | Accesos y viales.....                                                                  | 41 |
| 1.16.4.  | Edificio. ....                                                                         | 41 |
| 1.16.5.  | Bancada del transformador .....                                                        | 42 |
| 1.16.6.  | Muro cortafuegos .....                                                                 | 42 |
| 1.16.7.  | Cimentaciones y estructura metálica. ....                                              | 42 |
| 1.16.8.  | Canalizaciones. ....                                                                   | 42 |
| 1.16.9.  | Drenajes.....                                                                          | 42 |
| 1.17.    | Conclusiones.....                                                                      | 43 |
| 1.18.    | Bibliografía. ....                                                                     | 43 |
| 2        | ANEXO I: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....                                                  | 45 |
| 2.1.     | Cálculo de distancias de seguridad.....                                                | 45 |
| 2.1.1.   | Niveles de aislamiento.....                                                            | 45 |
| 2.1.2.   | Distancias mínimas en aire.....                                                        | 45 |
| 2.1.3.   | Distancias a elementos en tensión. ....                                                | 47 |
| 2.1.3.1. | Pasillos. ....                                                                         | 47 |
| 2.1.3.2. | Protección contra contactos accidentales en interior del recinto. ....                 | 48 |
| 2.1.3.3. | Protección contra contactos accidentales en el exterior del recinto. ....              | 48 |
| 2.2.     | Cálculo eléctrico de conductores. ....                                                 | 49 |
| 2.2.1.   | Conductores desnudos de 132 kV.....                                                    | 49 |
| 2.2.1.1. | Densidad de Corriente máxima admisible .....                                           | 49 |
| 2.2.1.2. | Intensidad máxima admisible por cortocircuito.....                                     | 50 |
| 2.2.1.3. | Cálculo del efecto corona.....                                                         | 51 |
| 2.2.2.   | Conductores aislados de 20 kV .....                                                    | 53 |
| 2.2.2.1. | Conductores de Potencia.....                                                           | 53 |
| 2.2.2.2. | Conductores de SSAA. ....                                                              | 56 |
| 2.3.     | Cálculo del embarrado de 132 kV. ....                                                  | 59 |
| 2.3.1.   | Cálculo eléctrico del embarrado .....                                                  | 60 |
| 2.3.1.1. | Densidad de Corriente máxima admisible.....                                            | 60 |
| 2.3.1.2. | Intensidad máxima admisible por cortocircuito.....                                     | 61 |
| 2.3.1.3. | Cálculo del efecto corona.....                                                         | 62 |
| 2.3.2.   | Cálculo de los esfuerzos mecánicos sobre los conductores del embarrado. ....           | 63 |
| 2.3.2.1. | Cálculo de fuerza máxima entre los conductores durante un cortocircuito trifásico..... | 63 |
| 2.3.2.2. | Cálculo del esfuerzo mecánico debido al cortocircuito trifásico. ....                  | 64 |
| 2.3.2.3. | Cálculo de los esfuerzos mecánicos debidos a sobrecargas externas. ....                | 65 |
| 2.3.2.4. | Cálculo de la fuerza resultante.....                                                   | 66 |
| 2.3.2.5. | Tensión mecánica máxima admisible en un conductor. ....                                | 66 |



|           |                                                                                                           |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3.    | Cálculo de los esfuerzos sobre los aisladores. ....                                                       | 67 |
| 2.4.      | Cálculo de las protecciones frente a sobretensiones. ....                                                 | 69 |
| 2.4.1.    | Cálculo de la tensión de servicio continuo (Uc). ....                                                     | 69 |
| 2.4.2.    | Cálculo de la tensión asignada (Ur), y las sobretensiones temporales. ....                                | 69 |
| 2.4.3.    | Selección de la intensidad nominal y la clase de descarga. ....                                           | 72 |
| 2.4.4.    | Selección la línea de fuga. ....                                                                          | 73 |
| 2.4.5.    | Tensión residual y niveles de protección. ....                                                            | 74 |
| 2.4.6.    | Resumen del cálculo de las autoválvulas. ....                                                             | 76 |
| 2.5.      | Cálculo de la Red de Tierras. ....                                                                        | 77 |
| 2.5.1.    | Red de Tierra inferior. ....                                                                              | 77 |
| 2.5.1.1.  | Procedimiento de diseño de la instalación de puesta a tierra. ....                                        | 78 |
| 2.5.1.2.  | Investigación de las características del suelo. ....                                                      | 78 |
| 2.5.1.3.  | Cálculo de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto. .... | 79 |
| 2.5.1.4.  | Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles en la instalación. ....                    | 79 |
| 2.5.1.5.  | Diseño preliminar de la red de tierras. ....                                                              | 80 |
| 2.5.1.6.  | Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra. ....                                            | 81 |
| 2.5.1.7.  | Cálculo de la sección del conductor de puesta a tierra ....                                               | 81 |
| 2.5.1.8.  | Cálculo de las tensiones de paso y contacto presentes en la instalación. ....                             | 82 |
| 2.5.1.9.  | Comprobación de las tensiones de paso y contacto. ....                                                    | 84 |
| 2.5.1.10. | Investigación de las tensiones transferibles al exterior. ....                                            | 84 |
| 2.5.1.11. | Validez del diseño y medidas adicionales. ....                                                            | 84 |
| 2.5.2.    | Red de Tierra Superior ....                                                                               | 86 |
| 2.6.      | Cálculo de la corriente de cortocircuito en el sistema de media tensión. ....                             | 89 |
| 3         | ANEXO II: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD. ....                                                       | 91 |
| 3.1.      | Objeto. ....                                                                                              | 91 |
| 3.2.      | Normativa aplicada. ....                                                                                  | 91 |
| 3.3.      | Datos generales. ....                                                                                     | 91 |
| 3.3.1.    | Tipo de trabajo. ....                                                                                     | 91 |
| 3.3.2.    | Actividades principales. ....                                                                             | 92 |
| 3.3.3.    | Situación y cronología. ....                                                                              | 92 |
| 3.3.4.    | Plazo de ejecución. ....                                                                                  | 92 |
| 3.3.5.    | Número de operarios previstos. ....                                                                       | 92 |
| 3.3.6.    | Oficios. ....                                                                                             | 92 |
| 3.3.7.    | Maquinaria y medios auxiliares. ....                                                                      | 92 |
| 3.3.8.    | Instalaciones eléctricas provisionales. ....                                                              | 93 |
| 3.4.      | Análisis de riesgos. ....                                                                                 | 93 |
| 3.4.1.    | Riesgos generales. ....                                                                                   | 93 |



|          |                                                                                 |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2.   | Riesgos específicos. ....                                                       | 94  |
| 3.4.2.1. | Movimiento de tierras.....                                                      | 94  |
| 3.4.2.2. | Trabajos con hormigón. ....                                                     | 94  |
| 3.4.2.3. | Trabajos de encofrado y desencofrado. ....                                      | 94  |
| 3.4.2.4. | Transporte de materiales y equipos dentro de la obra. ....                      | 95  |
| 3.4.2.5. | Maniobras de izado, situación en obra y montaje de equipos y materiales. ....   | 95  |
| 3.4.2.6. | Trabajos con ferralla. ....                                                     | 95  |
| 3.4.2.7. | Montaje de estructuras prefabricadas y cerramientos .....                       | 95  |
| 3.4.2.8. | Montaje de instalaciones. Albañilería y pintura. ....                           | 96  |
| 3.4.3.   | Maquinaria y medios auxiliares .....                                            | 96  |
| 3.4.3.1. | Máquinas fijas y herramientas eléctricas.....                                   | 96  |
| 3.4.3.2. | Medios de elevación. ....                                                       | 96  |
| 3.4.3.3. | Andamios, plataformas y escaleras. ....                                         | 97  |
| 3.4.3.4. | Equipos de soldadura eléctrica y oxiacetilénica. ....                           | 97  |
| 3.5.     | Medidas preventivas. ....                                                       | 97  |
| 3.5.1.   | Protecciones colectivas.....                                                    | 97  |
| 3.5.1.1. | Riesgos generales. ....                                                         | 98  |
| 3.5.1.2. | Riesgos específicos.....                                                        | 99  |
| 3.5.2.   | Protecciones personales. ....                                                   | 103 |
| 3.5.3.   | Controles y revisiones técnicas de seguridad.....                               | 103 |
| 3.6.     | Instalaciones eléctricas provisionales. ....                                    | 103 |
| 3.7.     | Medidas de protección contra incendios. ....                                    | 103 |
| 3.8.     | Almacenamiento y uso de gases. ....                                             | 104 |
| 3.8.1.   | Almacenamiento.....                                                             | 104 |
| 3.8.2.   | Uso de botellas en los trabajos.....                                            | 104 |
| 3.9.     | Formación del personal.....                                                     | 104 |
| 3.9.1.   | Charla de seguridad y primeros auxilios para personal de ingreso en obra. ....  | 104 |
| 3.9.2.   | Charlas sobre riesgos específicos. ....                                         | 105 |
| 3.10.    | Medicina asistencial. ....                                                      | 105 |
| 3.10.1.  | Control médico. ....                                                            | 105 |
| 3.10.2.  | Medios de actuación y primeros auxilios. ....                                   | 105 |
| 3.10.3.  | Medicina asistencial en incapacidades laborales transitorias o permanentes..... | 105 |
| 3.11.    | Vestuarios y aseos. ....                                                        | 106 |
| 4        | PLANOS.....                                                                     | 107 |
| 5        | PLIEGO DE CONDICIONES.....                                                      | 115 |
| 5.1.     | Objeto.....                                                                     | 115 |
| 5.2.     | Condiciones generales.....                                                      | 115 |



|           |                                                                                                |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.1.    | Seguridad en el trabajo. ....                                                                  | 115 |
| 5.2.2.    | Gestión ambiental. ....                                                                        | 115 |
| 5.2.3.    | Reglamentación aplicable. ....                                                                 | 115 |
| 5.2.4.    | Condiciones para la ejecución por contrata. ....                                               | 116 |
| 5.3.      | Condiciones de organización en los trabajos. ....                                              | 116 |
| 5.3.1.    | Datos de la obra. ....                                                                         | 116 |
| 5.3.2.    | Replanteo de la obra. ....                                                                     | 116 |
| 5.3.3.    | Variaciones o mejoras en el proyecto. ....                                                     | 117 |
| 5.4.      | Condiciones generales para la ejecución de las obras. ....                                     | 117 |
| 5.4.1.    | Movimiento de tierras. ....                                                                    | 117 |
| 5.4.1.1.  | Desbroce y limpieza del terreno. ....                                                          | 117 |
| 5.4.1.2.  | Demoliciones. ....                                                                             | 117 |
| 5.4.1.3.  | Escarificación y compactación. ....                                                            | 117 |
| 5.4.1.4.  | Excavaciones, rellenos y redes de drenaje. ....                                                | 117 |
| 5.4.2.    | Hormigonado. ....                                                                              | 117 |
| 5.4.3.    | Pavimentación. ....                                                                            | 118 |
| 5.4.4.    | Armaduras. ....                                                                                | 118 |
| 5.4.5.    | Laminados. ....                                                                                | 118 |
| 5.4.6.    | Encofrados. ....                                                                               | 118 |
| 5.4.7.    | Estructuras prefabricadas de hormigón. ....                                                    | 118 |
| 5.4.8.    | Estructura metálica. ....                                                                      | 118 |
| 5.4.9.    | Embarrado y conexiones. ....                                                                   | 119 |
| 5.4.10.   | Aparellaje. ....                                                                               | 119 |
| 5.4.10.1. | Seccionadores. ....                                                                            | 119 |
| 5.4.10.2. | Interruptores. ....                                                                            | 119 |
| 5.4.10.3. | Resto de aparellaje. ....                                                                      | 119 |
| 5.4.11.   | Transformadores. ....                                                                          | 119 |
| 5.4.12.   | Celdas de media tensión. ....                                                                  | 119 |
| 5.4.13.   | Conductores de potencia. ....                                                                  | 119 |
| 5.4.14.   | Cables de control y fuerza. ....                                                               | 120 |
| 5.4.15.   | Puesta a tierra. ....                                                                          | 120 |
| 5.4.16.   | Alumbrado y fuerza en edificios. ....                                                          | 120 |
| 5.5.      | Plan de control de calidad. ....                                                               | 120 |
| 5.6.      | Recepción de las obras. ....                                                                   | 120 |
| 5.6.1.    | Pruebas y ensayos. ....                                                                        | 121 |
| 5.7.      | Puesta en marcha y servicio. ....                                                              | 121 |
| 5.7.1.    | Secuencia a seguir antes de la puesta en marcha. ....                                          | 121 |
| 5.7.1.1.  | Verificaciones previas a la energización en A.T. ....                                          | 121 |
| 5.7.1.2.  | Verificaciones previas a la energización en armarios y circuitos de control y protección. .... | 122 |

|          |                                                                                     |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.2.   | Secuencia a seguir para la puesta en marcha del circuito control y protección. .... | 122 |
| 5.7.2.1. | Generales. ....                                                                     | 122 |
| 5.7.2.2. | Para cada Posición. ....                                                            | 122 |
| 5.7.2.3. | Por cada celda unión de barras. ....                                                | 122 |
| 5.7.2.4. | Otras pruebas. ....                                                                 | 123 |
| 5.8.     | Documentación a entregar por el contratista. ....                                   | 123 |
| 5.8.1.   | Documentación As-Built. ....                                                        | 123 |
| 5.8.2.   | Calidad y garantías. ....                                                           | 123 |
| 6        | PRESUPUESTO. ....                                                                   | 124 |
| 6.1.     | Introducción. ....                                                                  | 124 |
| 6.2.     | Presupuesto de ejecución material. ....                                             | 124 |
| 6.2.1.   | Capítulo I: Instalación y montaje de los elementos y equipos. ....                  | 124 |
| 6.2.2.   | Capítulo II: Obra civil y estructuras. ....                                         | 124 |
| 6.2.3.   | Capítulo III: Equipos eléctricos. ....                                              | 125 |
| 6.2.4.   | Capítulo IV: Seguridad y salud. ....                                                | 125 |
| 6.2.5.   | Total presupuesto de ejecución material. ....                                       | 126 |
| 6.3.     | Presupuesto general. ....                                                           | 126 |
| 6.4.     | Presupuesto total. ....                                                             | 127 |

## Índice de figuras.

|            |                                                                          |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.  | Entrada/salida sobre línea AT existente. ....                            | 15 |
| Figura 2.  | Configuración de la batería de condensadores. ....                       | 26 |
| Figura 3.  | Configuración de los SSAA de CA. ....                                    | 28 |
| Figura 4.  | Configuración de los SSAA de CC. ....                                    | 29 |
| Figura 5.  | Elección de la distancia mínima según tensión soportada para 20 kV. .... | 45 |
| Figura 6.  | Elección de la distancia mínima según tensión soportada para 20 kV. .... | 46 |
| Figura 7.  | Sistema de puesta a tierra según EDE. ....                               | 71 |
| Figura 8.  | Clasificación de pararrayos según su tensión e intensidad nominal. ....  | 72 |
| Figura 9.  | Línea de fuga en función del nivel de contaminación. ....                | 73 |
| Figura 10. | Características autoválvulas de 132 kV. ....                             | 75 |
| Figura 11. | Línea de fuga del aislador de 132 kV. ....                               | 75 |
| Figura 12. | Características autoválvulas de 20 kV. ....                              | 75 |
| Figura 13. | Línea de fuga del aislador de 20 kV. ....                                | 75 |
| Figura 14. | Tensiones de paso y contacto en la instalación. ....                     | 77 |
| Figura 15. | Tensión de paso y contacto máximas en el electrodo. ....                 | 78 |
| Figura 16. | Detalle del área de protección de las puntas franklin. ....              | 86 |
| Figura 17. | Esquema del cortocircuito en MT. ....                                    | 89 |

## Índice de tablas.

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Características generales de la instalación.....                                           | 15  |
| Tabla 2. Datos de conexión a red.....                                                               | 16  |
| Tabla 3. Parámetros básicos de diseño. ....                                                         | 16  |
| Tabla 4. Niveles de aislamiento de la instalación. ....                                             | 16  |
| Tabla 5. Distancias mínimas de la instalación. ....                                                 | 17  |
| Tabla 6. Características de los módulos híbridos SINGLE BAY de línea.....                           | 19  |
| Tabla 7. Características de los interruptores empleados.....                                        | 20  |
| Tabla 8. Características de los seccionadores empleados. ....                                       | 20  |
| Tabla 9. Características de los transformadores de intensidad. ....                                 | 21  |
| Tabla 10. Características de los transformadores de tensión. ....                                   | 21  |
| Tabla 11. Características del Trafo de Potencia. ....                                               | 22  |
| Tabla 12. Características de las autoválvulas. ....                                                 | 22  |
| Tabla 13. Características del conductor desnudo.....                                                | 23  |
| Tabla 14. Características del conductor del embarrado. ....                                         | 23  |
| Tabla 15. Características de los aisladores de soporte. ....                                        | 23  |
| Tabla 16. Características principales de los equipos.....                                           | 25  |
| Tabla 17. Características trafo SSAA.....                                                           | 26  |
| Tabla 18. Características conductor aislado de potencia.....                                        | 26  |
| Tabla 19. Características conductor SSAA. ....                                                      | 27  |
| Tabla 20. Tensiones de paso y contacto en el interior.....                                          | 36  |
| Tabla 21. Tensiones de paso y contacto en el exterior.....                                          | 36  |
| Tabla 22. Características del grupo electrógeno. ....                                               | 40  |
| Tabla 23. Niveles de Aislamiento en 132kV y 20kV.....                                               | 45  |
| Tabla 24. Distancia mínima entre fases y fase-tierra en aire. ....                                  | 46  |
| Tabla 25. Distancias a elementos en tensión escogidas. ....                                         | 46  |
| Tabla 26. Distancias mínimas de elementos en tensión al suelo.....                                  | 47  |
| Tabla 27. Distancias mínimas sobre el suelo a elementos en tensión sobre pasillos<br>escogidas..... | 47  |
| Tabla 28. Distancias contra contactos accidentales en el interior de la subestación. ....           | 48  |
| Tabla 29. Distancias contra contactos accidentales en el exterior de la subestación. ...            | 48  |
| Tabla 30. Características del conductor desnudo.....                                                | 49  |
| Tabla 31. Condiciones instalación para conductores de 20 kV.....                                    | 53  |
| Tabla 32. Condiciones instalación para conductores de 20 kV.....                                    | 56  |
| Tabla 33. Consideraciones iniciales del embarrado. ....                                             | 59  |
| Tabla 34. Características generales del tubo empleado.....                                          | 59  |
| Tabla 35. Características técnicas del conductor del embarrado.....                                 | 59  |
| Tabla 36. Características de los aisladores de soporte. ....                                        | 60  |
| Tabla 37. Niveles de Aislamiento en 132 kV y 20 kV.....                                             | 69  |
| Tabla 38. Tensión de servicio continuo ....                                                         | 69  |
| Tabla 39. Valores del factor de defecto o falta a tierra. ....                                      | 70  |
| Tabla 40. Determinación de la tensión equivalente. ....                                             | 72  |
| Tabla 41. Tensión Asignada de los pararrayos. ....                                                  | 72  |
| Tabla 42. Intensidad nominal y clase de descarga de las autoválvulas.....                           | 73  |
| Tabla 43. Línea de fuga mínima de las autoválvulas.....                                             | 74  |
| Tabla 44. Resumen de las características de las autoválvulas.....                                   | 76  |
| Tabla 45. Cálculo de la resistividad superficial. ....                                              | 80  |
| Tabla 46. Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles. ....                      | 80  |
| Tabla 47. Comparativa de las tensiones de paso y contacto.....                                      | 84  |
| Tabla 48. Resistividad superficial de la grava en terreno exterior.....                             | 84  |
| Tabla 49. Comprobación del cumplimiento de la medida adicional. ....                                | 85  |
| Tabla 50. Maquinaria y medios auxiliares. ....                                                      | 93  |
| Tabla 51. Protecciones que deberá llevar el personal. ....                                          | 103 |



## 1 MEMORIA DESCRIPTIVA.

### 1.1. Antecedentes.

Con el auge de la construcción de nuevos huertos solares de gran potencia, producto del abaratamiento de los costes asociados a éstos, por lo que se hace un producto de gran interés para la inversión en este tipo de proyectos. Por lo tanto, para la evacuación de toda esa energía generada se hace necesario la implantación de nuevos sistemas e instalaciones de alta tensión que permitan la correcta conexión de dichas plantas fotovoltaicas con los sistemas de transporte y distribución eléctrica.

Red Eléctrica Española (REE), y Endesa Distribución Eléctrica (EDE), imponen una serie de limitaciones de potencia y requisitos técnicos para la conexión en sus redes de transporte y distribución, que han de tenerse en cuenta cuando se diseñan este tipo de instalaciones de conexión a red.

Por lo tanto, es importante una correcta planificación según la capacidad de potencia admisible en el punto de conexión, puesto que si la capacidad de evacuación es menor a la potencia generada se produciría un cuello de botella, produciendo pérdidas de producción.

La instalación objeto del presente proyecto básico forma parte de un proyecto global de evacuación hacia la red de distribución de la energía producida por un conjunto de instalaciones fotovoltaicas de dos promotores.

### 1.2. Objeto y alcance.

El objetivo del presente proyecto, es la definición técnica de una nueva Subestación Elevadora 20/132kV para evacuar energía eléctrica procedente de dos instalaciones solares de 25 MVA, especificando las condiciones técnicas de cálculo que éstas.

El alcance de este proyecto queda limitado a la exposición de las instalaciones a ejecutar, definición y justificación de los elementos necesarios para su construcción y correcto funcionamiento.

### 1.3. Ubicación y emplazamiento.

La subestación eléctrica estará ubicada en el término municipal de Ibros, en la provincia de Jaén, más concretamente en el paraje denominado "LA SALOBREJA" en el polígono 12, parcela 35, según la referencia catastral 23046A012000350000JQ cuyo acceso se realiza a través de la carretera A-6101, y sus coordenadas son X:451301.84, Y: 4212013.36, situado a una altitud de 410 metros sobre el nivel del mar.

Se ha elegido este polígono por la proximidad a la línea aérea de 132 kV existente que une la SE de Úbeda, con la SE Tradema de la Estación Linares-Baeza, con el fin de evitar al mínimo el coste por la construcción de una línea de estas características.

La situación geográfica se indica en los planos 01 y 02, de situación y emplazamiento, respectivamente.

#### **1.4. Normativa y reglamentación aplicable.**

El presente proyecto se ha realizado acorde lo establecido en las siguientes normativas y reglamentos cómo:

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC - RAT 01 a 23.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, así como las ampliaciones y Modificaciones de sus Instrucciones Complementarias, última modificación 23 de marzo de 2023.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 1110/2007 de 24 de agosto por el que se aprueba el reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- IEEE Std. 80-2012. IEEE Guide for safety in AC substation grounding.
- IEEE Std 998-2013. IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations.
- UNE-EN 60865-1:2013. Corrientes de cortocircuito. Cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- UNE-EN 60909-0:2016. Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.
- UNE-EN 6205 Protección contra el rayo.
- UNE-EN IEC 60099-5:2018. Pararrayos, recomendaciones para la selección y utilización.
- Normativa de e-distribución, especificaciones particulares y proyectos tipo de subestaciones de EDE publicados en ministerio.
  - Guía de Interpretación NRZ104 (4º Edición 06/2022). Instalaciones privadas conectadas a la red de distribución Generadores en Alta y Media Tensión.
  - Guía de Interpretación SRZ001 (1º Edición 05/2022). Especificaciones técnicas particulares de subestaciones AT/MT de e-distribución.
  - SYZH01 (1º Edición 04/2020). Proyecto tipo Subestaciones AT/MT exterior híbrida.
  - GSCH002 Módulos Híbridos.
  - Listado de materiales homologados para la red de distribución de alta tensión.
- Real Decreto 2267/2004: Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctrica.
- Real Decreto 1367/2007: Real Decreto por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1890/2008: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Reglamento (UE) 2024/573, sobre los gases fluorados de efecto invernadero.

### 1.5. Descripción general de la instalación.

La subestación de evacuación a proyectar, cuyas dimensiones de son 78x42 metros ascendiendo a un área 3276 m<sup>2</sup>, se explotará de manera conjunta entre los promotores y EDE, constituyendo dos instalaciones diferenciadas.

La primera instalación será la encargada de realizar la transformación del nivel de tensión de la red de las plantas solares fotovoltaicas, 20 kV, al nivel de tensión en el que se producirá la evacuación de la energía generada, 132 kV, consiguiendo la evacuación de dos líneas de 25 MVA.

La segunda de ellas se encargará del seccionamiento, mediante una entrada y salida de la línea eléctrica que une las subestaciones de Úbeda y de la Estación Linares-Baeza cuya tensión es de 132 kV, y su propiedad corresponde a Endesa, por lo que esta instalación se ha diseñado conforme a lo establecido en sus especificaciones particulares.

|                                            |              |
|--------------------------------------------|--------------|
| Altitud [m]                                | 410          |
| Tipo de zona                               | Zona A       |
| Categoría                                  | 1ª Categoría |
| Velocidad del viento considerada [km/h]    | 140          |
| Temperatura máx./mín. [°C]                 | 45/-5        |
| Intensidad nominal por línea de 132 kV [A] | 109.35       |
| Intensidad nominal por línea de 20 kV [A]  | 721.69       |

Tabla 1. Características generales de la instalación.

#### 1.5.1. Conexión a red.

La subestación se conectará a la red de distribución a través de un tramo de línea aérea sin tense, desde el apoyo de la línea de 132 kV existente propiedad de EDE, el cual presenta cadenas de amarre, hasta un apoyo de doble circuito enfrentado a la subestación, para albergar la conexión de entrada y salida hasta el pórtico de la subestación. Cabe recalcar que el cálculo y diseño de dicha línea de entronque no se ha considerado como objeto del proyecto.

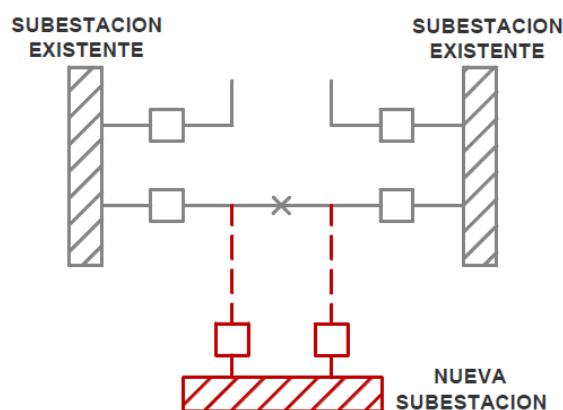


Figura 1. Entrada/salida sobre línea AT existente.

Dicha línea de distribución dispone de cable OPGW, que es un cable de tierra que contiene un cable de fibra óptica, por tanto, las telecomunicaciones de la subestación se realizarán por dicho método, prescindiendo de un sistema de filtrado de señales de alta frecuencia.

Los datos de cortocircuito en el punto de conexión facilitados por EDE son los siguientes:

|                                                                           |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|
| Potencia de cortocircuito                                                 | 2250 MVA |
| Intensidad de cortocircuito trifásico                                     | 19.7 kA  |
| Intensidad de cortocircuito a tierra (Intensidad a tierra $3 \cdot I_0$ ) | 20.6 kA  |
| Intensidad de cortocircuito a tierra (Intensidad por fase)                | 18.4 kA  |
| Intensidad de cortocircuito en media tensión calculado (ap. 2.6.)         | 7.867 kA |

Tabla 2. Datos de conexión a red.

Y éstos resultaran de utilidad a la hora de dimensionar dicha subestación.

### 1.5.2. Parámetros básicos de diseño.

Los parámetros básicos de diseño que han de tenerse en cuenta para el diseño de la subestación son:

| Parámetro                                   | Posición 132 kV | Posición 20 kV                                  |
|---------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| Tensión nominal [kV]                        | 132             | 20                                              |
| Frecuencia nominal [Hz]                     | 50              | 50                                              |
| Conexión del neutro del trafo de potencia   | Rígido a tierra | Resistencia limitadora de 42.3 $\Omega$ (300 A) |
| Nivel de polución                           | Fuerte (III)    | Fuerte (III)                                    |
| Línea de fuga mínima del aislador [mm]      | 3625            | 600                                             |
| Intensidad máxima de defecto trifásico [kA] | 31.5            | 25                                              |
| Duración del defecto [s]                    | 1               | 1                                               |

Tabla 3. Parámetros básicos de diseño.

#### 1.5.2.1. Aislamiento.

Los niveles de aislamiento se han escogido acorde a lo expuesto en las instrucciones técnicas complementarias 04 y 12 del RD 337/2014.

Los valores establecidos se presentan en la siguiente tabla:

| Nivel de Tensión                                    | 132 kV | 20 kV |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|
| Tensión nominal [ $U_n$ ] (kV ef.)                  | 132    | 20    |
| Tensión más elevada de la red [ $U_s$ ] (kV ef.)    | 145    | 24    |
| Tensión más elevada del material [ $U_m$ ] (kV ef.) | 145    | 24    |
| Tensión soportada a frecuencia industrial (kV ef.)  | 275    | 50    |
| Tensión soportada a impulsos tipo rayo (kV cr.)     | 650    | 145   |

Tabla 4. Niveles de aislamiento de la instalación.

### 1.5.2.2. Distancias mínimas.

Las distancias mínimas vienen calculadas en el [ap. 2.1: "Cálculo de distancias de seguridad"](#), siguiendo lo establecido en la ITC-RAT 15.

| Distancia                        | 132 kV | 20 kV |
|----------------------------------|--------|-------|
| Fase - Fase [cm]                 | 150    | 40    |
| Fase - Tierra [cm]               | 250    | 70    |
| Altura al eje del embarrado [cm] | 450    | 310   |

*Tabla 5. Distancias mínimas de la instalación.*

En el apartado de cálculo de distancias, además vienen las distancias a elementos en tensión que hay que tener en cuenta tanto en el interior como en el exterior de la subestación.

### 1.5.3. Configuración de la subestación.

La configuración será de simple barra compuestas por un parque de 132 kV de instalación en intemperie, y parque de 20 kV de instalación interior con aislamiento en aire.

Además, la subestación contará con los siguientes sistemas que se describirán más adelante, y seguirán los criterios según lo establecido en Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, y el RD 1955/2000 estableciendo que las subestaciones deberán tener los equipos y elementos necesarios para su correcta fiabilidad y explotación, permitiendo realizar los debidos trabajos de operación y mantenimiento con las correspondientes garantías técnicas y de seguridad para el personal que interviene.

- Sistema de alta tensión (132kV).
- Sistema de media tensión (20kV).
- Sistema de servicios auxiliares (SSAA).
- Sistema de medida para la facturación.
- Sistema de control y protección.
- Sistema de telecomunicaciones.
- Sistema de puesta a tierra.
- Sistemas complementarios.

### **1.6. Sistema de 132 kV.**

El sistema de 132 kV es de tipo exterior convencional-híbrido blindado en gas SF<sub>6</sub>, siguiendo un esquema simple barra, compuesto por dos posiciones de línea, una posición de barra, dos posiciones de seccionamiento y dos posiciones de transformación.

Los elementos principales que componen el sistema son, los módulos híbridos, el embarrado de 132 kV, los interruptores automáticos, los seccionadores, los transformadores de tensión e intensidad, los transformadores de potencia y las autoválvulas.

La selección de estos elementos se ha realizado acorde a las características propias de la instalación, con el fin de obtener una correcta operación tanto en condiciones normales, como anormales de funcionamiento.

La disposición de los elementos se ha realizado acorde a la reglamentación vigente, para facilitar las operaciones que deban tener lugar tanto en el montaje como en la operación o el mantenimiento.

#### **1.6.1. Posición de línea.**

Se instalarán dos posiciones de línea correspondiente a la entrada y salida del entronque con la línea existente. Puesto que esta parte pertenece a EDE, se instalarán dos módulos híbridos “single bay”, y 3 trafos de tensión inductivos y 3 autoválvulas.

Siguiendo la norma GSCH002 de módulos híbridos de ENEL el módulo híbrido para esta posición consta de los siguientes elementos:

- 1 Interruptor automático tripolar con mando eléctrico de 145 kV, 2000 A, 31.5 kA.
- 2 Seccionadores tripolares con mando motorizado de 145 kV, 1250 A.
- 1 Seccionador de puesta a tierra tripolar con mando motorizado de 145 kV, 1250 A.
- 3 Trafos de intensidad toroidales con una relación de transformación de 600/5-5 A

#### **1.6.2. Posición de barra.**

Formado por 3 tubos de aluminio 6063-T6 y 3 trafos de tensión inductivos, para obtener los valores de tensión de las barras correspondientes a cada fase. El cálculo del embarrado se muestra en el [ap. 2.3. “Cálculo de embarrado de 132 kV”](#).

#### **1.6.3. Posición de seccionamiento.**

Se instalarán 2 posiciones de seccionamiento correspondientes a cada cliente, y se realizará a partir de módulos híbridos “single bay” con aislamiento al igual que en la posición de línea. Como en el caso anterior el módulo híbrido está compuesto por los siguientes elementos:

- 1 Interruptor automático tripolar con mando eléctrico de 145 kV, 2000 A, 31.5 kA.
- 2 Seccionadores tripolares con mando motorizado de 145 kV, 1250 A.
- 1 Seccionador de puesta a tierra tripolar con mando motorizado de 145 kV, 1250 A.
- 3 Trafos de intensidad toroidales con una relación de transformación de 600/5-5 A

#### 1.6.4. Posición de transformación.

Esta posición es propiedad de cada cliente, las dos líneas de transformación se han diseñado exactamente igual, por lo que cada una constará de los siguientes elementos:

- 1 Interruptor automático tripolar de 145 kV, 2000 A, 31.5 kA.
- 1 Seccionador tripolar con puesta a tierra de accionamiento eléctrico y manual de 145 kV, 1250 A.
- 3 Trafos de tensión inductivos.
- 3 Trafos de intensidad toroidales.
- 3 Autoválvulas de 132 Kv en el lado del AT del trafo de potencia.
- 3 Autoválvulas de 20 Kv en el lado del MT del trafo de potencia.
- Transformador de potencia con relación de transformación 20/132 kV de 25 MVA.
- 1 Resistencia de puesta a tierra de 42.3  $\Omega$ , para la conexión del neutro de MT.

#### 1.6.5. Características de los equipos principales.

##### 1.6.5.1. Módulos híbridos.

Las características de los módulos híbridos vienen descritas en la norma GSCH002 de EDE, y éstos presentan aisladores para tapas de gas SF<sub>6</sub>/aire para la conexión con los conductores.

| Módulo híbrido SINGLE BAY                                        |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| Tensión nominal de la red [kV]                                   | 132  |
| Tensión más elevada [kV]                                         | 145  |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] | 275  |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       | 650  |
| Frecuencia asignada [Hz]                                         | 50   |
| Corriente admisible de corta duración (1s) [kA]                  | 31.5 |
| Corriente nominal [A]                                            | 2000 |

Tabla 6. Características de los módulos híbridos SINGLE BAY de línea.

### 1.6.5.2. Interruptor automático.

Se dispondrá de un interruptor en cada posición de transformación. El empleado es de tipo tanque vivo, con corte tripolar en SF6, modelo [LTB 145D1/B](#) de ABB. Sus características son:

|                                                                  |                                                                              |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Tensión nominal de la red [kV]                                   | 132                                                                          |
| Tensión más elevada [kV]                                         | 145                                                                          |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] | 275                                                                          |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       | 650                                                                          |
| Corriente nominal de servicio [A]                                | 3150                                                                         |
| Corriente de cortocircuito asignada [kA]                         | 31,5                                                                         |
| Tiempo de apertura [ms]                                          | 22                                                                           |
| Tiempo de cierre [ms]                                            | <40                                                                          |
| Medio de extinción                                               | SF6                                                                          |
| Secuencia de operación                                           | O-0,3s-CO-3min -CO<br>(Open - 0,3s - Close - Open - 3 min -<br>Close - Open) |
| Mando                                                            | Tripolar 125 Vcc                                                             |

Tabla 7. Características de los interruptores empleados.

### 1.6.5.3. Seccionador.

Se dispondrá de seccionadores tripolares y el seccionador de los promotores será de apertura central con doble columna giratoria central, equipado además con cuchillas de puesta a tierra. Siendo sus características las siguientes:

|                                                                  |                   |      |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|------|
| Tensión asignada [kV]                                            |                   | 145  |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] | fase-tierra       | 275  |
|                                                                  | en seccionamiento | 315  |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       | fase-tierra       | 650  |
|                                                                  | en seccionamiento | 750  |
| Intensidad nominal [A]                                           |                   | 1250 |
| Intensidad admisible de corta duración (1 s) [kA]                |                   | 31.5 |
| Intensidad de cresta admisible [kA]                              |                   | 80   |

Tabla 8. Características de los seccionadores empleados.



#### 1.6.5.4. Transformador de intensidad.

La instalación dispondrá de 3 transformadores de intensidad, en cada posición de transformación, uno para cada fase, y además éstos deberán cumplir los requisitos establecidos en las normas UNE-EN 61869-1 y UNE-EN 61869-2.

|                                                                  |                          |                |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|
| Tensión nominal de la red [kV]                                   |                          | 132            |
| Tensión más elevada [kV]                                         |                          | 145            |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] |                          | 275            |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       |                          | 650            |
| Frecuencia [Hz]                                                  |                          | 50             |
| Relación de transformación                                       |                          | 600/5-5-5-5 A  |
| Potencia y clase de precisión                                    | Devanado 1 – Facturación | 20 VA cl. 0.2S |
|                                                                  | Devanado 2 – Medida      | 20 VA cl. 0.5  |
|                                                                  | Devanado 3 – Protección  | 50 VA cl. 5P20 |
|                                                                  | Devanado 4 – Protección  | 50 VA cl. 5P20 |

Tabla 9. Características de los transformadores de intensidad.

#### 1.6.5.5. Transformador de tensión inductivo.

La instalación dispondrá de 3 transformadores de tensión, en cada posición de transformación, uno para cada fase, y además deberán cumplir los requisitos establecidos en las normas UNE-EN 61869-1, UNE-EN 61869-3 y UNE-EN 61869-5. Los transformadores de tensión serán inductivos del fabricante ABB con las siguientes características:

|                                                                  |                         |  |                                                             |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------|--|-------------------------------------------------------------|
| Tensión nominal de la red [kV]                                   |                         |  | 132                                                         |
| Tensión más elevada [kV]                                         |                         |  | 145                                                         |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] |                         |  | 275                                                         |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       |                         |  | 650                                                         |
| Frecuencia [Hz]                                                  |                         |  | 50                                                          |
| Relación de transformación                                       |                         |  | $132:\sqrt{3}/0.11:\sqrt{3}-0.11:\sqrt{3}-0.11:\sqrt{3}$ kV |
| Potencia y clases de precisión                                   | Devanada 1 – Medida     |  | 25 VA cl. 0.2                                               |
|                                                                  | Devanada 2 – Protección |  | 25 VA cl. 0.5 - 3P                                          |
|                                                                  | Devanada 3 – Protección |  | 25 VA cl. 0.5 - 3P                                          |
| Aislamiento                                                      |                         |  | papel de aceite                                             |

Tabla 10. Características de los transformadores de tensión.

#### 1.6.5.6. Transformador de potencia.

Los transformadores para la elevación de la tensión de 20/132, serán trifásicos con una potencia de 25 MVA cada uno, y su instalación será en intemperie.

Para la conexión del neutro se ha seguido lo expuesto en la norma de EDE, dónde el neutro de la posición de 132 kV se conectará a rígido a tierra, y el neutro de la posición de 20 kV se conectará a tierra a partir de una resistencia limitadora con un valor de 42.3  $\Omega$ .

El sistema de refrigeración que se empleará en el transformador es en baño de aceite y con ventilación forzada (ONAF), además éste dispondrá de una regulación automática de tensión en AT y radiadores adosados a la cuba de aceite. Las características del mismo son:

| Transformador de potencia IMEFY (CODIGO TAM: 110048) |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| Potencia nominal [MVA]                               | 25        |
| Tipo de servicio                                     | Continuo  |
| Refrigeración                                        | ONAN/ONAF |
| Relación de transformación                           | 132/22    |
| Grupo de conexión AT/MT                              | YNyn0     |
| Impedancia de cortocircuito [%]                      | 10        |

Tabla 11. Características del Trafo de Potencia.

#### 1.6.5.7. Autoválvulas.

Las autoválvulas cumplirán lo indicado en la norma verificando que cumplen con la norma UNE-EN 60099-4:2016.

Las autoválvulas escogidas son del fabricante ABB y sus características de las autoválvulas se pueden observar en la siguiente gráfica.

| Características                        | 132 kV       | 20 kV        |
|----------------------------------------|--------------|--------------|
| Modelo                                 | ABB PEXLIM Q | ABB PEXLIM R |
| Corriente nominal [kA]                 | 10           | 10           |
| Clase de descarga                      | 3            | 2            |
| Tensión asignada (Ur) [kV]             | 132          | 27           |
| Tensión de servicio continuo (Uc) [kV] | 92           | 21.6         |
| TOV (10s)                              | 145          | 29.7         |
| Línea de fuga [mm]                     | 4540         | 1863         |

Tabla 12. Características de las autoválvulas.

En el [ap. 2.4. "Cálculo de protección frente a sobretensiones"](#), se muestra el procedimiento seguido para su cálculo y elección.

#### 1.6.5.8. Resistencia de puesta a tierra.

Cómo ya se ha mencionado para la conexión del neutro de MT del trafo de potencia se instalará una resistencia de puesta a tierra, con el objetivo de limitar la corriente de defecto. Para la selección del valor de la resistencia de puesta a tierra, se ha seguido lo descrito en el ap. 7.2.2 de la norma SRZ001, y se ha escogido un valor de  $42.3 \Omega$ , con el que se podrá limitar la corriente de defecto a 300 A. Además, se conectará junto a esta un trafo de intensidad con relación 300/5.

#### 1.6.5.9. Conductor de 132 kV.

El conductor empleado para la conexión de los diferentes equipos es el 337-AL1/44-ST1A, cuyo cálculo se encuentra en el [ap. 2.2.1 “Cálculo de conductores desnudos de 132 kV”](#), y sus características son:

| Características                             |                   | 337-AL1/44-ST1A |
|---------------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Sección acero (ST1A) [mm <sup>2</sup> ]     |                   | 43.7            |
| Sección aluminio (AL1) [mm <sup>2</sup> ]   |                   | 337.3           |
| Sección total (AL1/ST1A) [mm <sup>2</sup> ] |                   | 381             |
| Diámetro (Total) [mm]                       |                   | 25.38           |
| Intensidad Admisible (A)                    |                   | 720             |
| Composición del conductor.                  | Alambres aluminio | 54              |
|                                             | Alambres acero    | 7               |
| Intensidad Admisible (A)                    |                   | 720             |

Tabla 13. Características del conductor desnudo.

#### 1.6.5.10. Embarrado.

Los elementos que componen el embarrado presentan las siguientes características y el cálculo se detalla en el [ap. 2.3. “Cálculo de embarrado de 132 kV”](#).

| Tubo de Aluminio 6063-T6                        |         |
|-------------------------------------------------|---------|
| Ø <sub>ext</sub> / Ø <sub>int</sub> [mm]        | 120/106 |
| Sección [mm <sup>2</sup> ]                      | 2485    |
| Peso [kg/m]                                     | 6.71    |
| Espesor [mm]                                    | 7       |
| Intensidad Admisible [A]                        | 3100    |
| Momento de Inercia [cm <sup>4</sup> ]           | 398.16  |
| Momento Resistente [cm <sup>3</sup> ]           | 52.71   |
| Módulo de Young, E [N/mm <sup>2</sup> ]         | 69000   |
| Límite de fluencia mínimo [kg/cm <sup>2</sup> ] | 1600    |

Tabla 14. Características del conductor del embarrado.

| Aislador Poinso C8-650                    |      |
|-------------------------------------------|------|
| Tensión nominal [kV]                      | 132  |
| Tensión máxima [kV]                       | 145  |
| Tensión soportada impulsos tipo rayo [kV] | 650  |
| Tensión soportada bajo lluvia [kV]        | 275  |
| Línea de fuga [mm]                        | 3625 |
| Altura del aislador, H [mm]               | 1500 |
| Diámetro máximo (parte aislante), D [mm]  | 400  |
| Mínima carga de rotura a flexión [N]      | 8000 |
| Mínima carga de rotura a torsión [N]      | 4000 |

Tabla 15. Características de los aisladores de soporte.

### **1.7. Sistema de 20kV.**

Todo el sistema de media tensión de 20 kV será de tipo interior bajo envolvente metálica, con elemento aislante aire puesto que, con el nuevo reglamento de la UE que entró en vigor el 11 de marzo de 2024, prohíbe la puesta en marcha de aparataje con gases fluorados, y busca una reducir gradualmente el uso de SF6 hasta el año 2031. por lo que el uso de ya no es una opción.

Para este sistema se opta por las nuevas celdas de [SM AirSeT de Schneider](#), presentando vacío como forma de extinción del arco, dichas celdas estarán alojadas en el edificio de control, el cual tendrá una sala especial habilitada para estas.

Las entradas de los circuitos de media tensión (20kV) a la subestación, procedentes de las plantas de generación se realizarán de manera subterránea para evitar al máximo el impacto ambiental y visual.

El esquema utilizado será de simple barra en 20 kV, compuesto por dos posiciones de barra independientes para cada planta FV, conteniendo individualmente cada una de dos posiciones de salida de línea, una posición de protección del secundario del trafo de potencia, y una posición para servicios auxiliares, dispuestas de forma contigua en dos filas enfrentadas.

Se instalará una celda auxiliar para el acople entre ambos parques de media tensión, destinada a maniobras especiales.

La protección y distribución en 20 kV estará compuesta individualmente por:

- 2 celdas para protección de las líneas de generación.
- 1 celda para protección del transformador de potencia.
- 1 celda para protección del transformador de servicios auxiliares.
- 1 celda de medida en barras.
- 1 celda para batería de condensadores.

#### **1.7.1. Posición de salida de línea de 20 kV.**

Las celdas de la protección de las líneas de generación en 20 kV, estarán compuestas principalmente por:

- 1 tramo tripolar de barras.
- 1 interruptor automático tripolar.
- 1 seccionador tripolar de 3 posiciones con conexión, desconexión y puesta a tierra.
- 3 transformadores de intensidad.
- 3 detectores de tensión monofásicos con indicadores luminosos.

#### **1.7.2. Posición de protección del transformador de potencia.**

La celda de protección del secundario del transformador de potencia estará compuesta principalmente por:

- 1 tramo tripolar de barras.
- 1 interruptor automático tripolar.
- 1 seccionador tripolar de 3 posiciones con conexión, desconexión y puesta a tierra.
- 3 detectores de tensión monofásicos con indicadores luminosos.
- 3 transformadores de tensión (2 secundarios: medida-protección y protección).
- 3 transformadores de intensidad (3 secundarios: 1 de medida, y 2 de protección)

### 1.7.3. Posición de servicios auxiliares.

La celda de protección del trafo de los SSAA, estará compuesta por:

- 1 tramo tripolar de barras.
- 1 interruptor-seccionador de apertura en carga con fusibles.
- 3 transformadores de tensión (2 secundarios: medida-protección y protección).

### 1.7.4. Batería de condensadores.

La celda que aloja la batería de condensadores estará constituida por:

- 1 tramo tripolar de barras.
- 1 interruptor automático tripolar.
- 1 seccionador tripolar de 3 posiciones con conexión, desconexión y puesta a tierra.
- 3 transformadores de intensidad.
- 3 detectores de tensión monofásicos con indicadores luminosos.

### 1.7.5. Características de los equipos principales.

Las características de los equipos se describirán en este apartado serán las mostradas en la siguiente tabla:

|                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tensión nominal de la red [kV]                                   | 20           |
| Tensión más elevada [kV]                                         | 24           |
| Esquema                                                          | Simple barra |
| Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial [kV] | 50           |
| Tensión soportada a impulso tipo rayo [kV]                       | 145          |
| Intensidad asignada del embarrado [A]                            | 1250         |
| Corriente máxima de defecto trifásico [kA]                       | 25           |
| Extinción del arco                                               | Vacío        |
| Rango de temperaturas ambiente [°C]                              | -25/+40      |
| Instalación                                                      | Interior     |

Tabla 16. Características principales de los equipos.

#### 1.7.5.1. Batería de condensadores.

Se instalará con el objetivo de mejorar los niveles de tensión en la red de MT, para permitir reducir el flujo de potencia reactiva, las pérdidas técnicas y la carga en las líneas y transformadores.

La batería de condensadores tendrá una tensión máxima de 24 kV, con una potencia reactiva máxima de 5 MVar, la conexión de los condensadores se realizará en doble estrella. El fabricante en este caso es [Legrand](#) y además se dispondrá de transformadores de intensidad para las fases y para el desequilibrio.

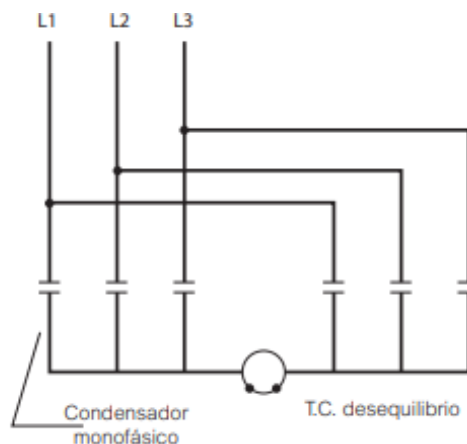


Figura 2. Configuración de la batería de condensadores.

La conexión y desconexión de la batería de condensadores vendrá gobernada por el SCADA de control del Huerto Solar Fotovoltaico, y éste será el encargado de maniobrar en función del flujo de potencia reactiva, con la finalidad de conseguir en todo momento el factor de potencia más adecuado.

#### 1.7.5.2. Transformador de SSAA.

El [transformador de SSAA](#), destinado a dar suministro a los sistemas en baja tensión de la subestación, el fabricante es GEDELSA S.A., cuyas características son:

|                                                   |                 |
|---------------------------------------------------|-----------------|
| Potencia nominal [kVA]                            | 50              |
| Relación de transformación [V]                    | 20000/400       |
| Grupo de conexión                                 | Dyn11           |
| Conexión del neutro                               | Rígido a tierra |
| Servicio                                          | Continuo        |
| Refrigerante                                      | Natural, ONAN   |
| Instalación                                       | Interior        |
| Pérdidas en vacío [W]                             | 90              |
| Pérdidas en carga [W]                             | 1100            |
| Rendimiento al 100% de carga $\text{fdp}=0,8$ [%] | 97.11           |
| Tensión de cortocircuito [%]                      | 4               |

Tabla 17. Características trafo SSAA.

#### 1.7.5.3. Conductor aislado de 20 kV.

El cable que se ha empleado para la conexión de los diferentes equipos es el 337-AL1/44-ST1A, cuyo cálculo se encuentra en el [ap. 2.2.2 "Cálculo de conductores aislados de 20 kV"](#), y sus características son:

| Características                | Conductor de Potencia |
|--------------------------------|-----------------------|
| Conductor                      | Cobre                 |
| Aislamiento                    | XLPE                  |
| Sección [mm <sup>2</sup> ]     | 240                   |
| Tensión asignada $U_0/U$ [kV]  | 18/30                 |
| Tipo de instalación            | Al aire               |
| Intensidad admisible [A]       | 739.86                |
| Número De conductores por fase | 2                     |

Tabla 18. Características conductor aislado de potencia.



| Características                 | Conductor de SSAA |
|---------------------------------|-------------------|
| Conductor                       | Aluminio          |
| Aislamiento                     | XLPE              |
| Sección [mm <sup>2</sup> ]      | 95                |
| Tensión asignada $U_0/U$ [kV]   | 18/30             |
| Tipo de instalación             | Al aire           |
| Intensidad máxima admisible [A] | 176.84            |

*Tabla 19. Características conductor SSAA.*

## 1.8. Sistema de servicios auxiliares.

Con el propósito de dar servicio a los diferentes sistemas necesarios tanto de corriente continua, como de corriente alterna.

### 1.8.1. SSAA de corriente alterna.

Este subsistema está diseñado para alimentar a los elementos que funcionan con corriente alterna en baja tensión.

Su alimentación se realizará a través de las barras de media tensión (MT), por lo que cada [trafo de SSAA](#) debe soportar todas las cargas previstas de la instalación.

Las salidas de 400 V de cada uno de los transformadores se conectarán a un armario de Transformación de Servicios Auxiliares (TSA), éste será sin bastidor y con puerta ciega, e irá equipado con un interruptor motorizado y contadores de energía, instalados por EDE, para consumos propios. Cada armario TSA correspondiente a cada promotor deberá conectarse al cuadro de distribución de C.A., el cual estará formado por un único armario, con dos entradas y barra única. Correspondiendo al siguiente esquema:

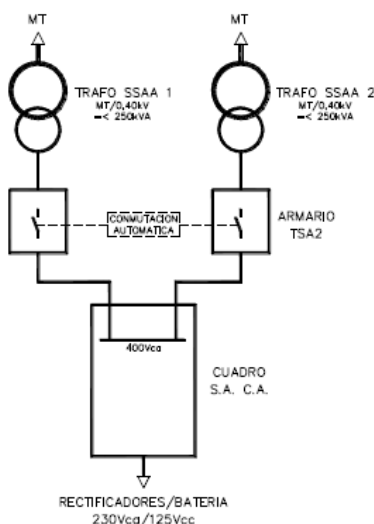


Figura 3. Configuración de los SSAA de CA.

El cálculo de las instalaciones de baja tensión (BT) no se ha contemplado en este proyecto, pero los márgenes de empleo serán del -10% y +10% de 400V se deberán tener en cuenta las siguientes instalaciones:

- Alumbrado interior y exterior.
- Tomas de fuerza y climatización.
- Accionamiento y refrigeración de regulación de los transformadores.
- Rectificadores para la carga de las baterías de 125 Vcc.
- Sistema de comunicaciones con convertidor 125/48 Vcc.
- Calefacción de la aparamenta.
- Extracción de aire y bombas.
- Motobombas TRs OFAF.
- Sistemas de extinción automática.
- Ventilación de las salas.
- Sistemas complementarios (anti-incendios, anti-intrusismo, etc.).

En caso de fallo, o emergencia se dispondrá de un grupo electrógeno para alimentar los servicios auxiliares descrito en el [ap.1.13.6](#).



### 1.8.2. SSAA de corriente continua.

Este subsistema está diseñado para alimentar a los elementos que funcionan con corriente continua.

Las baterías se alimentarán mediante rectificadores de onda que se encuentran en los mismos armarios de éstas. La capacidad de cada módulo de batería será de 100 Ah, la tecnología de las baterías es Ni-Cd, y se instalarán 2 módulos, con tensión nominal de 125 Vcc con un margen de empleo de +10% y -15%, garantizando un tiempo de emergencia mínimo de 14 horas.

Además, se instalará un cuadro de distribución de corriente continua con su correspondiente embarrado e interruptores de protección, formado por un armario alimentado la batería 1 que está implementada por 2 módulos de rectificador-batería, y la batería 2 constituida por un módulo 1 módulo. Siguiendo el siguiente esquema:

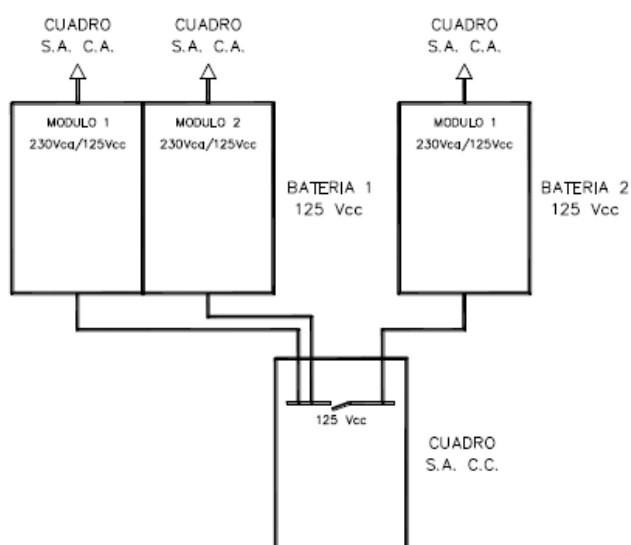


Figura 4. Configuración de los SSAA de CC.

Las cargas que se conectarán al sistema de la batería 1 serán:

- Los circuitos de control y del primer sistema de protección.
- Los circuitos del tercer sistema de protección, englobando el equipo multifunción de barras.
- Los circuitos de control auxiliares.
- La unidad de control de la subestación (UCS) y sistema de telecontrol.
- El sistema de medida para facturación.

Las cargas que se conectarán al sistema de batería 2 serán:

- Los circuitos del segundo sistema de protección.
- Los circuitos del cuarto sistema de protección, englobando las protecciones propias de transformador.
- Los circuitos de energía para los motores de los accionamientos eléctricos de la aparamenta.

### **1.9. Sistema de medida para facturación**

La medida para su posterior facturación se realizará a través de la posición de 132 kV de cada transformador de potencia, y se cumplirán los criterios establecidos según el Real Decreto 1110/2007 por el que se establece el Reglamento de Puntos de Medida (RPM).

Según el Artículo 7 del capítulo I del Reglamento, las instalaciones generadoras se consideran puntos de medida tipo 1 puesto que la potencia generada es superior a 12 MVA.

La Facturación se realizará en el punto de entrega con la red de distribución, por lo tanto, deberá de instalarse un bastidor para cada generador, en el lado de la subestación correspondiente a EDE.

#### **1.9.1. Equipos de medida oficial.**

Este sistema estará formado por el equipamiento necesario para la correcta tarificación, teniendo en cuenta que los valores normalizados del secundario de los transformadores TT y TI son  $110/\sqrt{3}$  V y 5 A respectivamente.

- 2 contadores de energía activa, para medida principal y redundante, contando con una clase de precisión  $\leq 0.2S$  para 4 hilos, realizando el registro en los 4 cuadrantes, es decir, permitiendo contabilizar tanto la generación como el consumo.
- 2 contadores de energía reactiva, para medida principal y redundante, contando con una clase de precisión  $\leq 0.5$  para 4 hilos, realizando el registro en los 4 cuadrantes, es decir, permitiendo contabilizar tanto la generación como el consumo.
- 1 registro de medida, destinado al correcto almacenamiento de las medidas de los contadores, con el fin de dar apoyo a la teletransmisión, implementando un periodo de integración de 15 minutos, para tener función de medida y acumulación de curvas de carga, aunque pudiendo parametrizar valores inferiores.
- 1 regleta de verificación, por la cual se permitirá realizar mediciones voltimétricas y amperimétricas, proporcionando una alimentación auxiliar para calibración, y facilitando su sustitución y/o conexionado de equipos auxiliares, permitiendo realizar las operaciones de verificación sin corte del suministro y con una total seguridad para el operador o instalador.
- 1 módem para obtener una red telefónica conmutada, que deberá ser compatible con el puesto central de telemedida del centro de operación del promotor para posteriormente transmitir a la Compañía Eléctrica.

Para cumplir con los requisitos del reglamento, se instalarán cajas de formación independientes para intensidades y tensiones, además todos los borneros de conexión deberán ser precintables y los circuitos de tensión estarán protegidos por fusibles. Se instalarán también resistencias de carga con el fin de asegurar al menos el 50% de la suma de potencias de todos los secundarios de los transformadores de tensión.

### 1.9.2. Condiciones de instalación de los equipos.

El armario instalado albergará los equipos de medida, éste podrá estar ubicado en un recinto cerrado, o bien a la intemperie, siendo en este último caso de doble aislamiento. Dicho armario metálico debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Normas Técnicas de la Compañía Eléctrica.
- Deben de instalarse regletas de comprobación con separadores y señalización.
- El soporte de instalación de los contadores y tarificadores será fijo.
- La lectura de los contadores y tarificadores registradores se realizará de forma fácil y sin que haya ningún tipo de manipulación de hilos ni de los precintos.
- Para la transmisión de datos se utilizará cable apantallado desde los contadores al tarificador.
- Para el cableado exterior también se empleará cable apantallado, flexible, con una sección mínima de 6 mm<sup>2</sup> y este estará entubado en todo su recorrido.
- En caso necesario, se instalará un sistema de aireación y/o calefacción, con el fin de mantener la temperatura dentro de los límites de funcionamiento de los equipos y evitar la condensación.

Además, el cable instalado será continuo, sin puntos de corte entre los transformadores y las regletas de comprobación, y tampoco presentará magnetotérmicos de protección. Los equipos dispondrán de detección de falta en los circuitos de medida.

Los hilos deberán estar señalizados de forma indeleble con el objetivo de que sean fácilmente identificables. Tanto el cable instalado en el exterior como en el interior del armario, cumplirán debidamente con las condiciones de aislamiento, la no propagación de la llama, y deberán estar libres de halógenos.

La sección apropiada se determinará teniendo en cuenta la distancia de separación entre los contadores y los transformadores de medida, para que la carga conjunta del cable y de los equipos no superen los 20 VA en el circuito de intensidad y 25 VA en el de tensión, debiendo ser la caída de tensión inferior al 0.1%.

### **1.10. Sistema integrado de control y protección.**

La subestación, contará con un sistema integrado de control y protección por sus siglas SICP, basado en tecnología digital incorporando las funciones telecontrol, protección, control local y medida de las posiciones de la subestación eléctrica elevadora para la evacuación de la energía eléctrica.

Este sistema constará de dos niveles, y entre estos deberán de existir dos redes de comunicación, una para la comunicación entre UCS y la UCP, y otra comunicación entre UCPs y el terminal de teleacceso, a continuación, se describirán éstos.

Cabe recalcar, que el dimensionado de los circuitos de este sistema no se ha considerado en este proyecto, puesto que establecer para establecer una funcionalidad plena de este sistema se debe tener en cuenta las subestaciones intercomunicadas para establecer los correctos sistemas protectivos para ésta.

#### **1.10.1. Nivel de instalación.**

El nivel de instalación, está compuesto por el equipamiento imprescindible para poder realizar las funciones que afectan a toda la subestación, cómo pueden ser la unidad de control de la subestación, por sus siglas UCS, el terminal de operación local t el terminal de teleacceso.

##### **1.10.1.1. La Unidad de Control de la Subestación (UCS).**

La unidad de control de la subestación se conformará cómo el elemento central para el control de toda la instalación de un modo unificado y éste servirá cómo unidad elemental para la gestión y el control de la transferencia de información y de las comunicaciones tanto con los centros de control cómo en los terminales de operación loca y teleacceso.

##### **1.10.1.2. El terminal de operación local.**

A partir de éste se podrá establecer una supervisión de toda la subestación a nivel de alarmas, medidas y topología, además de ser capaz de operar los automatismos y los mandos locales de los elementos de maniobra motorizados.

##### **1.10.1.3. El terminal de teleacceso.**

Este terminal, es capaz de hacer de nexo entre las unidades UCP que se encuentran en los armarios de protección, con el sistema central de telemantenimiento y de análisis de incidentes.

#### **1.10.2. Nivel de posición.**

El nivel de posición, está compuesto por el equipamiento imprescindible con el que poder realizar las funciones mando local, medida, control, y protección de una posición de la subestación, recibiendo el nombre de unidades de control de posición, por sus siglas UCP, y dichas unidades se conectará a través de un protocolo de comunicaciones con la UCS.

#### **1.10.2.1. Unidades de control de posición.**

Estas unidades se pueden clasificar en UCP de protección, UCP de medida, y UCP de control, pero en la mayoría de los casos estos se integran en una misma unidad de control de posición, pasando a denominarse equipos multifunción.

#### **1.10.3. Disposición constructiva del SIPC.**

Los diferentes elementos que integran este sistema se dispondrán en la sala de control de la siguiente manera.

- Se instalarán en un armario el equipamiento asociado al nivel de instalación, excepto el terminal de teleacceso que se instalará en un armario aparte.
- Las diferentes UCP de las posiciones de alta tensión y de los transformadores estarán instaladas en armarios metálicos.
- Las diferentes UCP de las posiciones de media tensión se instalarán en los cajones de control de la propia celda de posición.
- La red de comunicaciones antes mencionada deberá de instalarse cable de fibra óptica del tipo 62.5/125  $\mu\text{m}$  protegida frente a roedores y dispuesta en las conducciones de los conductores de la subestación.

#### **1.10.4. Funciones de protección.**

Las funciones protectivas se llevarán a cabo por relés multifunción tomando como referencia las normas:

- SNC002 para la aplicación de relés multifunción en posiciones de media tensión.
- SNC018 para la aplicación de relés multifunción en barras de alta tensión.
- SNC019 para la aplicación de relés multifunción en transformadores.
- SNC020 para la aplicación de relés multifunción en circuitos de alta tensión.

Cómo ya se ha mencionado antes, en este proyecto no se ha procedido al diseño de las diferentes funciones protectivas que deben de presentar los elementos de la subestación. Aun así, a la hora del diseño de estas funciones se deberá tener en cuenta lo especificado en el apartado 7.6.5. de la norma particular SRZ001 de EDE.

#### **1.11. Sistema de telecomunicaciones.**

Este sistema debe permitir la monitorización y el mando de forma remota, además de realizar las tareas de telemando, telemida y telegestión desde el centro de control de EDE. La telecomunicación se realizará a través del cable de fibra óptica instalado en los hilos de guarda tipo OPGW.

### **1.12. Sistema de puesta a tierra.**

La instalación de puesta a tierra a su vez se subdivide en dos, teniendo en cuenta que se dispondrá de una malla de conductores de cobre enterrados en el terreno, llamada red de tierra inferior y, además, se dispondrá de un sistema de apantallamiento con puntas franklin, llamado red de tierras superior.

Los cálculos para la definir estos sistemas se encuentran en el [ap.2.5. “Cálculo de la red de tierras”](#).

#### **1.12.1. Red de tierra Inferior.**

Este sistema se ha diseñado acorde a lo expuesto en la ITC-RAT 13, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, el estándar IEEE Std. 80-2012 “Guide for safety in AC substation grounding”, garantizando que las tensiones de paso y contacto presentes en la tanto en el exterior como en el interior están dentro de los límites recogidos en el reglamento.

El diseño de este sistema debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Permitir un camino a tierra a las corrientes y las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas o por maniobras de los equipos.
- Suministrar una trayectoria de baja impedancia para el posterior regreso de las corrientes de falla, permitiendo que los dispositivos de protección de sobreintensidad puedan actuar rápidamente sobre el defecto del circuito.
- Proteger los equipos y al personal en todas las condiciones de operación de tensiones peligrosas como los de contacto, de paso y de transferencia.
- Establecer una referencia de tensión a tierra para todos los equipos y sistemas que lo precisen, con el fin de descargar rápidamente las sobretensiones y/o conducir las corrientes de cortocircuito que se produzcan por cualquier causa.

##### **1.12.1.1. Características del sistema.**

La red de tierra inferior estará constituida por una malla de conductores desnudos de 150 mm<sup>2</sup> de sección de cobre enterrado a 0.8 metros de profundidad según se establece en la guía SRZ001 consiguiendo una superficie equipotencial, en la que aseguraremos que no aparecerán elevados gradientes de potencial eléctrico en caso de defectos a tierra.

La malla estará formada por retículas de 4 metros de largo por 4 metros de ancho, y los conductores estarán unidos mediante soldadura aluminotérmica, puesto que ésta presenta alta resistencia a la corrosión galvánica.

Las conexiones de los diferentes elementos a la red de tierras se fijarán a la estructura mediante tornillo y/o grapas especiales de aleación de bronce, con el fin de no superar una temperatura mayor a 200 °C en las uniones y asegurar la permanencia de la unión.

El terreno dónde irá situada la instalación es de naturaleza de margas y arcillas compactas con una resistividad de 200  $\Omega \cdot m$ , pero con el fin de que la resistencia de puesta a tierra se lo menor posible, el terreno se someterá a una excavación para posteriormente rellenarla con tierra vegetal con una resistividad de 50  $\Omega \cdot m$ , adoptando este valor como el medio de resistividad para el cálculo.

Además, en la instalación para no aumentar la resistencia de contacto de los pies con el suelo, el terreno estará cubierto por una capa de grava de 10 cm de espesor, en las

zonas dónde no existan viales ni acerado. Puesto que la tensión de contacto desde el exterior es mayor que la máxima reglamentaria se implantará una capa de grava de 1.2 metros desde el vallado perimetral, con un espesor de 10 cm como medida adicional para el correcto diseño del electrodo de puesta a tierra.

#### 1.12.1.2. Instrucciones generales de puesta a tierra.

Se conectarán a esta malla todos los elementos metálicos no sometidos normalmente a tensión y que puedan estarlo en caso de accidentes, averías, tensiones inducidas o sobretensiones por descargas atmosféricas. Así como los cables de guarda de las líneas de entrada y salida, para obtener también una interconexión de tierras.

Según el ap.6 de la ITC-RAT 13, las tierras de protección y servicio deberán conectarse entre sí, obteniendo una red de tierra general. Sin embargo, para la puesta a tierra de masa de utilización en instalaciones de baja tensión se seguirán los criterios establecidos en la ITC-BT 18, del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

- **Elementos a conectar a tierra por motivos de protección.**
  - Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
  - Los envoltentes de los conjuntos de armarios metálicos.
  - Las puertas metálicas de los locales.
  - Las vallas y cercas metálicas.
  - Las columnas, soportes, pórticos, etc.
  - Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión.
  - Las armaduras metálicas de los cables.
  - Las tuberías y conductos metálicos.
  - Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.
  - Hilos de guarda o cables de puesta a tierra de las líneas aéreas.
  - Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.
  - Pantalla de separación de los circuitos primario y secundario de los transformadores de medida o protección.
- **Elementos a conectar a tierra por motivos de servicio.**
  - Los neutros de los transformadores, que lo precisen, en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas limitadoras.
  - El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen.
  - Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida o protección, salvo que existan pantallas metálicas de separación conectadas a tierra entre los circuitos de alta y baja tensión de los transformadores.
  - Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.

Por lo que todos los elementos destinados a la conectarse a tierra mencionados, se conectarán a una red de tierra, constituyéndose de este modo una red general, y para facilitar la medida y revisión de la instalación de puesta a tierra se instalarán cajas de registro.

### 1.12.1.3. Tensiones de paso y contacto presentes en la instalación.

En este apartado se presentan las tensiones de paso y contacto calculadas, cabe recalcar que estas tensiones deben ser comprobadas tras la finalización de las obras, por un organismo de control autorizado (OCA), verificando que el sistema cumple con las limitaciones establecidas.

El cálculo completo se encuentra en el [ap. 2.5.1. "Red de tierra inferior"](#).

- En el interior de la subestación se obtienen los siguientes valores de tensiones de paso y contacto:

| Acabados superficiales     | Tensión de contacto máxima admisible $U_c$ [V] | Tensión de contacto $U'_c$ [V] | Tensión de paso máxima admisible $U_p$ [V] | Tensión de paso $U'_p$ [V] |
|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Interior de la Instalación |                                                |                                |                                            |                            |
| <b>Grava</b>               | 1013.300                                       | 955.487                        | 34412                                      | 724.154                    |
| <b>Acerado</b>             | 1015.948                                       | 955.487                        | 34517.929                                  | 724.154                    |
| <b>Vial</b>                | 1158.591                                       | 955.487                        | 40223.650                                  | 724.154                    |

Tabla 20. Tensiones de paso y contacto en el interior.

Como se puede comprobar los valores presentes en la instalación, son inferiores a los máximos reglamentarios.

- En el exterior de la subestación se obtienen los siguientes valores de tensiones de paso y contacto:

| Acabados superficiales     | Tensión de contacto máxima admisible $U_c$ [V] | Tensión de contacto $U'_c$ [V] | Tensión de paso máxima admisible $U_p$ [V] | Tensión de paso $U'_p$ [V] |
|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Exterior de la Instalación |                                                |                                |                                            |                            |
| <b>Grava</b>               | 1029.200                                       | 955.487                        | 35048                                      | 724.154                    |
| <b>Terreno</b>             | 469.200                                        | 955.487                        | 12648                                      | 724.154                    |

Tabla 21. Tensiones de paso y contacto en el exterior.

Como se puede observar en el exterior la tensión de contacto es mayor la máxima, para corregir que desde el exterior no se pueda acceder a ningún elemento en tensión se dispondrá de una capa de grava de 10 cm de espesor de 1.2 metros desde el vallado perimetral como medida adicional

Por lo tanto, a partir de esta medida adicional, [calculada en el ap. 2.5.1.11.](#), se satisface la protección en el exterior del recinto, siendo la tensión de contacto presente en la instalación menor que la máxima admisible.

Asegurando que desde el exterior no se puede acceder a ningún elemento en tensión.





### **1.12.2. Red de tierra superior.**

La red de tierra superior, está constituida por un sistema de apantallamiento con puntas franklin, con el fin de proteger los equipos ante descargas atmosféricas.

Se instalarán puntas 8 puntas franklin con una altura de 12 metros, distribuidas a lo largo del parque intemperie de la subestación, separadas entre sí 15 metros.

El cálculo de este sistema proyectivo se encuentra en el [ap. 2.5.2. "Red de tierra superior"](#).

### **1.13. Sistemas complementarios.**

En este apartado se describirán los diferentes sistemas que deben formar parte de la subestación.

#### **1.13.1. Sistema de alumbrado y fuerza**

Esta instalación deberá de cumplir con él, “Reglamento de eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07”, establecido por el RD 1890/2008, así como con la legislación autonómica aplicable sobre la contaminación lumínica y la protección del ambiente nocturno.

##### **1.13.1.1. Alumbrado general.**

Este alumbrado estará alimentado a partir de la red general del cuadro de distribución de SSAA, y será distribuido en dos:

- **Alumbrado interior**, el cual se instalará en cada uno de los edificios de la instalación, en las salas de control y en la sala de celdas de media tensión, y las luminarias serán de tipo LED alojadas en el falso techo de dichos edificios, de manera uniforme evitando zonas de baja luminosidad que puedan dificultar las operaciones realizadas.
- **Alumbrado exterior**, se instalará en el parque exterior, englobando el perímetro del vallado y los accesos, siendo las luminarias instaladas lámparas de vapor de sodio de alta presión de 250W de potencia.

##### **1.13.1.2. Alumbrado de emergencia.**

Este alumbrado solamente deberá estar instalado en el interior de los edificios, entrará en funcionamiento al producirse un fallo en el alumbrado general, o cuando la tensión del mismo disminuya un 30%. Estará compuesto por luminarias con fuentes propias de energía, con una iluminación mínima de 1 lux en régimen de señalización, y 10 lux en régimen de emergencia.

##### **1.13.1.3. Sistema de fuerza.**

Para alimentar eléctricamente a los diferentes receptores, cuya finalidad es la conversión en trabajo útil, se instalarán tomas de fuerza monofásicas y trifásicas para dichos elementos.

#### **1.13.2. Sistemas de seguridad.**

##### **1.13.2.1. Sistema contraincendios.**

Este sistema se instalará con el fin de detectar de forma rápida y automática posibles incendios en la instalación, siguiendo lo establecido en la ITC-RAT 14 para el parque de AT, y también lo expuesto tanto en la ITC-RAT 15 cómo en el CTE-DB-SI para los edificios y el parque de MT. Cabe recalcar que para este proyecto no se instalarán sistema que usen gases fluorados de efecto invernadero según RD 517/2014.

Para el correcto dimensionado del sistema éste deberá de contar con:

- **Sistemas de detección**, que utilizarán diferentes detectores, ya sean de humos, ópticos, térmicos, con actuación automática en todo el edificio, además de contar con pilotos indicadores, sirenas de alarmas interiores y exteriores. Además, se instalará un alumbrado de emergencia mediante la utilización de equipos autónomos compuestos de batería con una hora de autonomía.
- **Sistemas de protección pasiva**, instalados para disminuir el riesgo de incendio, o en caso de que se produjese uno reducir sus efectos. Se dispondrá de un muro cortafuegos entre los dos transformadores de potencia, con nivel de estabilidad al fuego de EI-120, y presentará una altura superior de 1 metro desde el depósito de aceite del trafo. Además, los pasos de cables se tratarán con pintura intumescente y se sellarán los huecos.
- **Sistemas de protección activa**, para este sistema, en el interior del edificio se instalarán extintores móviles de CO<sub>2</sub> de 3.5 kg de capacidad en la sala de control y de 5 kg en la sala las celdas, disponiendo de uno por cada 15m de recorrido desde los orígenes de la evacuación, y cerca de los trafos se instalará un extintor móvil de polvo polivalente de 25 kg.

#### 1.13.2.2. Sistema de anti-intrusismo.

La función principal de este sistema es el detectar, discriminar y transmitir sobre la presencia de persona no autorizadas que se encuentren en la instalación, avisando al centro de control. Las características de este sistema serán definidas de acuerdo con EDE en función del diseño, alcance y tecnología de la instalación.

Estos sistemas de detección y prevención de intrusismo, estará formados por:

- Sistemas para la detección de intrusiones perimetrales en el exterior, formado por barreras de infrarrojos, barreras de microondas o detectores volumétricos de exterior.
- Sistemas para la detección de presencia o intrusión en el interior, formados por contactos magnéticos colocados en las puertas de acceso a los recintos cerrados y detectores de presencia de interior.
- Sistema centralizado de alarmas.
- Sistema para la videovigilancia formado por cámaras domo, equipos de videograbación, sistemas de transmisión y recepción de vídeo por fibra óptica.

En cuanto a la seguridad y al acceso al recinto de la subestación se deberá tener en cuenta que se deberá tener un vallado perimetral exterior completo y homogéneo con una puerta automatizada, presentando un nivel adecuado contra sierras, hachas martillos, etc.

Además, se deberán de instalar contactos magnéticos en la entrada y salida de los edificios y del perímetro exterior. Finalmente, se dispondrá de un sistema de control de accesos para la apertura de puertas, con el fin de discriminar el acceso.

#### 1.13.3. Sistema de ventilación, y climatización.

Se instalarán sistemas de climatización en los edificios, a partir de bombas de calor, con el fin de preservar una temperatura idónea en las salas de control, celdas y comunicaciones.

Para la sala de celdas, se dispondrá de un sistema de ventilación con extractor.

#### 1.13.4. Sistema para la captación de agua.

Este sistema de captación y almacenamiento, estará compuesto por un sistema de depuración y cloración, con el fin de que exista agua en la instalación, disponiendo de una capacidad mínima de dos mil litros. Con este sistema se podrá aprovechar el agua de lluvia para su uso en la instalación, puesto que la red de abastecimiento de agua no llega hasta la localización de la subestación.

#### 1.13.5. Sistema de saneamiento.

Se instalará una fosa séptica constituida por un depósito estanco y hermético con una capacidad mínima de cinco mil litros.

#### 1.13.6. Sistema de suministro eléctrico de emergencia.

Este sistema estará constituido por un grupo electrógeno, que entrará en funcionamiento ante alguna emergencia alimentando el cuadro de servicios auxiliares. Las características del generador son:

| Grupo electrógeno      |         |
|------------------------|---------|
| Tensión nominal [V]    | 400/230 |
| Factor de potencia     | 0.8     |
| Potencia nominal [kVA] | 100     |
| Frecuencia [Hz]        | 50      |
| Revoluciones [rpm]     | 1500    |
| Combustible            | Diésel  |

Tabla 22. Características del grupo electrógeno.

#### 1.14. Justificación acústica.

La instalación se ha diseñado acorde al ap. 4.8. de la ITC-RAT 14, estableciendo las que la instalación no sobrepasa los niveles de ruido en el exterior descritos en el RD 1367/2007, y la legislación local.

#### 1.15. Limitación de campos magnéticos

En el diseño de esta instalación se han adoptado las medidas necesarias para minimizar los campos magnéticos presentes en el exterior debidos a la circulación de corriente a 50 Hz por los elementos de la instalación.

Por lo tanto, según el RD 1066/2001, se deberá comprobar que no se supera el valor de 100 $\mu$ T de campo magnético emitido por la instalación.

Se debería presentar un cálculo con el fin de avalar el cumplimiento del reglamento en su ITC-RAT 14, sin embargo, en este proyecto no se ha considerado puesto que no se disponen de las herramientas pertinentes para su justificación.

### **1.16. Obra civil.**

En este apartado se procederá a la descripción básica de la obra civil para su construcción.

#### **1.16.1. Explanación y adecuación del terreno.**

Puesto que el terreno dónde se implantará la subestación es de dudosa consistencia y con una resistividad alta, como ya se ha mencionado en el [ap.1.12.1.1.](#), se procederá a hacer una excavación con las dimensiones de la malla de puesta a tierra, la cual presenta unas dimensiones de 80x44 metros, y posteriormente a un llenado con tierra vegetal que presenta una resistividad menor, y se asegura la homogeneidad y la obtención de una plataforma de cota constante en todo el terreno dónde irá implantada la subestación.

#### **1.16.2. Cerramiento perimetral.**

El vallado perimetral instalado para delimitar el terreno dónde irán alojados los edificios y la aparamenta de alta tensión tendrá unas dimensiones de 78x40 metros, y estará formado por una malla galvanizada y electrosoldada con una altura de 2.5 metros, se conectará a tierra en tramos regulares. Además, se instalarán postes de sujeción de 48 mm de diámetro cada 2.5 metros, y la sujeción del cerramiento se realizará a partir de un murete de hormigón armado.

#### **1.16.3. Accesos y viales.**

El acceso a la instalación se ha proyectado a partir de la carretera A 6101 la cual es de dominio público.

En el interior se construirán los viales asfaltados y de ancho variable necesarios para permitir el acceso y la maniobrabilidad en el terreno, cumpliendo lo establecido en las *"Prestaciones generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)"*.

Además, se dispondrá de una capa de grava de 10 cm de espesor en las zonas dónde no existan viales ni aceras con el objetivo de aumentar la resistividad de contacto con los pies, así como hasta 1.2 metros desde el vallado perimetral.

#### **1.16.4. Edificio.**

El edificio será prefabricado de hormigón armado con pilares como sistema estructural, dichos módulos prefabricados contarán con los cajetines y los huecos previstos para la instalación de puertas, rejillas y extractores. La cimentación se realizará a partir de losa de hormigón armado.

El edificio construido constará de:

- La sala de celdas de 20 kV, está destinada a albergar las celdas de línea, del transformador de potencia y de los SSAA, y contará con un foso para la accesibilidad de los conductores.
- Las dos salas de los trafos de SSAA, las cuales se encontrarán anexas a la sala de las celdas, su acceso se realizará desde el exterior, contarán con un pequeño depósito de recogida de aceite bajo cada trazo, y se instalará una barrera metálica para impedir contactos accidentales con las partes en tensión.
- La sala de control y de equipos, en la que se ubicarán los paneles de control, protección y comunicaciones, los cuadros de SSAA, los armarios de control y

protecciones, demás equipamiento de la subestación. Estará situada junto a las salas de los trafos de SSAA, y los cables de control discurrirán por un falso suelo sobre solera.

- Las dos salas para los promotores, destinadas al control y medida de sus respectivas instalaciones de generación.

El edificio contará con los sistemas de alumbrado, de seguridad, climatización descritos en el [ap. 1.13.](#)

#### **1.16.5. Bancada del transformador**

La bancada para cada trazo de potencia estará diseñada como una viga sometida a una carga uniforme, éstas realizarán la función de recuperación de aceite en caso de una fuga en la cuba del trazo. Se implementará un depósito de aceite conectado con dichas bancadas, con el fin de almacenar las fugas de aceite que se puedan producir.

El depósito de aceite subterráneo será de composición plástica termoestable reforzado con fibra de vidrio, siendo su capacidad correspondiente al volumen de dieléctrico del transformador, mayorado en un 30% en previsión por entrada de agua.

La bancada y el depósito estarán unidas mediante tuberías de fibrocemento.

#### **1.16.6. Muro cortafuegos**

Como ya se ha mencionado anteriormente, se deberá de instalar un muro cortafuegos entre ambos transformadores, presentando una resistencia a al fuego mínima de 60 minutos.

#### **1.16.7. Cimentaciones y estructura metálica.**

Para la correcta disposición de los elementos de la subestación se realizarán las cimentaciones necesarias, debiendo de tener en cuenta los esfuerzos sobre el aparellaje, con el fin de asegurar la estabilidad.

Las estructuras metálicas, para el amarre o el soporte de líneas, serán normalizadas con una superficie galvanizada, y estarán diseñados para no sobrepasar un esfuerzo de 2600 kg/cm<sup>2</sup>.

Los cálculos sobre las cimentaciones y la estructura metálica no se han considerado en este proyecto, puesto que se adoptarán diseños normalizados, tanto para el edificio de control, los pórticos y los soportes del aparellaje.

#### **1.16.8. Canalizaciones.**

Se instalarán canalizaciones para los conductores de potencia y control, con el fin de su protección y fácil acceso.

#### **1.16.9. Drenajes.**

Para evitar la acumulación de agua, durante la explanación se preverán ligeras pendientes, no superiores al 0.5%, y se deberá diseñar una red de drenajes a partir de tubos perforados, dispuestos en el fondo de zanjas de grava y rodeados de material geotextil, que es un material filtrante. El agua evacuada se procederá a recoger mediante el sistema de captación de agua anteriormente descrito.

### **1.17. Conclusiones.**

El desarrollo del presente proyecto ha sido una tarea ardua y tediosa, puesto que existe una gran escasez y dificultad a la hora de la búsqueda de información sobre este tipo de instalaciones debido al secretismo por parte de las compañías distribuidoras.

Este trabajo ha servido para desarrollar mis habilidades sobre la contrastación y la búsqueda de información, además de obtener la capacidad de aplicar las diferentes normas y reglamentos vigentes.

Este proyecto tiene aún así margen de mejora, en cuanto a la implementación de diferentes cálculos no definidos en éste, así como la implementación del proyecto de conexión con la red de distribución.

Se debe mencionar que el diseño de una subestación es una tarea multidisciplinar, por lo que se hace necesario el conocimiento específico de diferentes áreas de trabajo, y por ello ha habido partes del mismo en las que no se ha entrado en detalle, ya que para éstos deberían estar definidos por personas altamente especializadas.

### **1.18. Bibliografía.**

Para la realización de este trabajo final de carrera, se han empleado diferentes proyectos de subestaciones eléctricas, además de seguir lo establecido en los diferentes reglamentos, con el fin de darle el mayor enriquecimiento, debido a la ausencia de información acerca de este tipo de instalaciones.

A parte de los Reales Decretos, Leyes, Normas UNE-EN, y Reglamentos, para la confección de este proyecto se ha empleado información de los siguientes libros y proyectos citados a continuación.

- [1] Garnacho Vecino, F., Simón Comín, P., Moreno Mohíno, J., & González Sanz, A. (2014). *Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y sus fundamentos técnicos* (1ª Edición).
- [2] Moreno Mohíno, J., Simón Comín, P., Asensio Madrid, G., Denche Castejón, G., Faleiro Usanos, E., García Puertas, D., Navarro Martínez, P., & Pazos Filgueira, F. J. (2015). *Sistemas de Puestas a Tierra en Instalaciones de Alta Tensión. Diseño, cálculo y verificación*.
- [3] Picón Robles, J. M. (s. f.). *PROYECTO DE MEJORA DE LA RED DE TIERRA*. <http://www.copitima.com/verificador/>
- [4] Blázquez García, M. I. (2021). *SUBESTACIÓN 132/30 kV DUQUESA SOLAR*. [https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Castellon/ATALFE\\_2020\\_131\\_CENTRAL%20FOTO\\_DUQUESA%20SOLAR/01%20Proyectos/01%20Proyecto%20Subestacion%20SE%20132-30%20kV%20Duquesa%20Solar.pdf](https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Castellon/ATALFE_2020_131_CENTRAL%20FOTO_DUQUESA%20SOLAR/01%20Proyectos/01%20Proyecto%20Subestacion%20SE%20132-30%20kV%20Duquesa%20Solar.pdf)
- [5] Butler Monterde, G. (2021). *Proyecto de Ejecución Subestación Colectora Valle 132/30 kV*. [https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Alicante/ATALFE\\_2020\\_22/Proyecto%20SE%20Valle%2030\\_132%20kV\\_1.pdf](https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Alicante/ATALFE_2020_22/Proyecto%20SE%20Valle%2030_132%20kV_1.pdf)

- [6] Cabrera Castro, D., Navarro González, E., & Roldán Fernández, J. M. (2019). *Subestación elevadora de evacuación 2x40MVA 30/132 kV de planta fotovoltaica*. <https://core.ac.uk/download/pdf/286563953.pdf>
- [7] Cantín Jorge, M., & Montañés Espinosa, A. (2015). *Diseño de la parte de potencia de una subestación 132/15 kV*. <https://zaquan.unizar.es/record/37199/files/TAZ-PFC-2015-120.pdf>
- [8] García Capitán, J. P. (2018). *Proyecto de ejecución de parque eólico “El Marquesado” de potencia total 24 MW, en T.M. de Puerto Real y Chiclana de la Frontera (Cádiz)*. [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-11/Proyecto%20AT7275\\_04%20CA.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-11/Proyecto%20AT7275_04%20CA.pdf)
- [9] Larios Martinez, M. (2018). *PROYECTO DE EJECUCION PARQUE EOLICO EXPERIMENTAL “GUADIX” DE 3,4 MW*. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/tramite\\_informacion\\_publica/19/07/PROYECTO%20EJECUCI%C3%93N%20PEE%20GUADIX.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/tramite_informacion_publica/19/07/PROYECTO%20EJECUCI%C3%93N%20PEE%20GUADIX.pdf)
- [10] Montero Zamora, J. (2019). *Proyecto básico Subestación Valle II (30/132 kV) T.M San José del Valle (Cádiz)*. <https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-10/Proyecto%20b%C3%A1sico%20Subestaci%C3%B3n%20Valle%20II%20%2830-132%20kV%29.pdf>
- [11] *PROYECTO SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 30/132 kV PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA ARJONA I*. (2020). <https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-07/GRG001-TRA-0002-EST-GEN-0001%20Subestacion%20Electrica.%20Rev02.pdf>
- [12] Ramos Barrero, A. (2017). *Proyecto Subestación de Distribución 132/20 kV*. [https://oa.upm.es/47701/1/FG\\_ALEJANDRO\\_RAMOS\\_BARRERO.pdf](https://oa.upm.es/47701/1/FG_ALEJANDRO_RAMOS_BARRERO.pdf)
- [13] Ródenas González, Á. (2018). *DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE 110/25 kV*. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/170218/TFG\\_SUBESTACI%C3%93N\\_Memoria.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/170218/TFG_SUBESTACI%C3%93N_Memoria.pdf)
- [14] Romero Sendino, E. (2020). *Proyecto de Ejecución Subestación Puebla 66/30 kV*. <http://industriaextremadura.juntaex.es/kamino/attachments/article/14017/SOIE2008801ASPF000104ProyectoEjecuci%C3%B3nSubestaci%C3%B3nPuebla6630kV%20Visado.pdf>
- [15] Subías Sin, P. (2018). *DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA PARA ABASTECER BARBASTRO Y ALREDEDORES*. <https://zaquan.unizar.es/record/77901/files/TAZ-TFG-2018-2022.pdf>



## 2 ANEXO I: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

En este anexo se detallarán los cálculos y el procedimiento seguido para la correcta definición de la subestación eléctrica.

### 2.1. Cálculo de distancias de seguridad.

Las distancias mínimas de seguridad que se deben cumplir para los diferentes elementos en tensión, se basarán en lo establecido en las ITC-RAT 12 del Reglamento de Instalaciones en Alta Tensión, estas distancias variarán en función de la tensión más elevada para material y de la disposición de la propia subestación.

Con el fin de que se garanticen las distancias mínimas, se aplicará un factor de seguridad del 10%.

#### 2.1.1. Niveles de aislamiento.

La siguiente tabla reúne los niveles de aislamiento que puede proporcionar la subestación y servirá como base para calcular las distancias mínimas:

| Nivel de Tensión                                    | 132 kV | 20 kV |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|
| Tensión nominal [ $U_n$ ] (kV ef.)                  | 132    | 20    |
| Tensión más elevada de la red [ $U_s$ ] (kV ef.)    | 145    | 24    |
| Tensión más elevada del material [ $U_m$ ] (kV ef.) | 145    | 24    |
| Tensión soportada a frecuencia industrial (kV ef.)  | 275    | 50    |
| Tensión soportada a impulsos tipo rayo (kV cr.)     | 650    | 145   |

Tabla 23. Niveles de Aislamiento en 132kV y 20kV.

#### 2.1.2. Distancias mínimas en aire.

Echando un vistazo a las tablas 1 y 2 de la ITC-RAT 12, podemos establecer la distancia mínima en función de la tensión soportada a impulsos tipo rayo y con una altitud inferior a 1000 metros, por lo tanto, obtenemos:

| TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL ( $U_m$ ) (kV eficaces) | TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces) | TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV cresta) |         | Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm) |                         |                         |                         |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                              |                                                                 | Lista 1                                                        | Lista 2 | Lista 1                                                                  |                         | Lista 2                 |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                |         | Instalación en interior                                                  | Instalación en exterior | Instalación en interior | Instalación en exterior |
| 3,6                                                          | 10                                                              | 20                                                             |         | 60                                                                       | 120                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 40      |                                                                          |                         | 60                      | 120                     |
| 7,2                                                          | 20                                                              | 40                                                             |         | 60                                                                       | 120                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 60      |                                                                          |                         | 90                      | 120                     |
| 12                                                           | 28                                                              | 60                                                             |         | 90                                                                       | 150                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 75      |                                                                          |                         | 120                     | 150                     |
| 17,5                                                         | 38                                                              | 75                                                             |         | 120                                                                      | 160                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 95      |                                                                          |                         | 160                     | 160                     |
| 24                                                           | 50                                                              | 95                                                             |         | 160                                                                      | 160                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 125     |                                                                          |                         | 220                     | 220                     |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 145     |                                                                          |                         | 270                     | 270                     |
| 36                                                           | 70                                                              | 145                                                            |         | 270                                                                      | 270                     |                         |                         |
|                                                              |                                                                 |                                                                | 170     |                                                                          |                         | 320                     | 320                     |

Figura 5. Elección de la distancia mínima según tensión soportada para 20 kV.

El grado de exposición a sobretensiones causadas por maniobras o descargas atmosféricas, las características de la puesta a tierra de la instalación y el tipo de dispositivo de protección contra sobretensiones determinan la selección entre la lista 1 y la lista 2.

| TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces) | TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces) | TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta) | Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm) |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 52                                                      | 95                                                              | 250                                                               | 480                                                                      |
| 72,5                                                    | 140                                                             | 325                                                               | 630                                                                      |
| 123                                                     | 185                                                             | 450                                                               | 900                                                                      |
|                                                         | 230                                                             | 550                                                               | 1100                                                                     |
| 145                                                     | 185                                                             | 450                                                               | 900                                                                      |
|                                                         | 230                                                             | 550                                                               | 1100                                                                     |
|                                                         | 275                                                             | 650                                                               | 1300                                                                     |
| 170                                                     | 230                                                             | 550                                                               | 1100                                                                     |
|                                                         | 275                                                             | 650                                                               | 1300                                                                     |
|                                                         | 325                                                             | 750                                                               | 1500                                                                     |
| 245                                                     | 325                                                             | 750                                                               | 1500                                                                     |
|                                                         | 360                                                             | 850                                                               | 1700                                                                     |
|                                                         | 395                                                             | 950                                                               | 1900                                                                     |
|                                                         | 460                                                             | 1050                                                              | 2100                                                                     |

Figura 6. Elección de la distancia mínima según tensión soportada para 20 kV.

En este caso, se ha optado por los máximos valores con el fin de preservar la mayor seguridad en la instalación. Los parámetros se muestran recogidos en la siguiente tabla, dónde los valores de distancia mínima son tanto para la separación entre fases cómo para la separación entre fase y tierra.

| Tensión más elevada del material [kV] | Tensión soportada a frecuencia industrial [kV ef.] | Tensión soportada a impulsos tipo rayo [kV cr.] | Distancia Mínima [mm] | Distancia mínima ( $C_s = 1.1$ ) |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 145                                   | 275                                                | 650                                             | <b>1300</b>           | <b>1430</b>                      |
| 24                                    | 50                                                 | 145                                             | <b>270</b>            | <b>297</b>                       |

Tabla 24. Distancia mínima entre fases y fase-tierra en aire.

Con el objetivo de que se garanticen las medidas mínimas de seguridad de las personas se adoptan las siguientes distancias.

| Distancia Mínima  | 20 Kv      | 132 kV     |
|-------------------|------------|------------|
| Fase - Fase [m]   | <b>0.4</b> | <b>1.5</b> |
| Fase - Tierra [m] | <b>0.7</b> | <b>2.5</b> |

Tabla 25. Distancias a elementos en tensión escogidas.

### 2.1.3. Distancias a elementos en tensión.

#### 2.1.3.1. Pasillos.

Para las distancias presentes en los pasillos se ha seguido lo expuesto en el apartado 4 de la ITC-RAT 15 en el que muestran las distancias en instalaciones de exterior, por lo tanto, los elementos en tensión no protegidos que transiten por pasillos deben estar a una altura mínima sobre el suelo (H).

$$H = 250 + d$$

Dónde:

d: es la distancia mínima de aislamiento de las tablas 1, 2, y 3 de la ITC-RAT 12, expresada en centímetros, y estas vienen dadas según la tensión nominal soportada a impulsos tipo rayo utilizados por la instalación.

| Tensión Asignada | d [cm] | H [cm] |
|------------------|--------|--------|
| 20 kV            | 27     | 277    |
| 132 kV           | 130    | 380    |

Tabla 26. Distancias mínimas de elementos en tensión al suelo.

En este proyecto se fijan los valores de forma que se aseguren las distancias mínimas.

| Distancia Mínima                 | 20 Kv | 132 kV |
|----------------------------------|-------|--------|
| Altura al eje del embarrado [cm] | 310   | 450    |

Tabla 27. Distancias mínimas sobre el suelo a elementos en tensión sobre pasillos escogidas.

En áreas accesibles, el elemento aislante más bajo se colocará a una altura mínima de 230 cm sobre el suelo. Tal como se indica en el apartado 4.2 de dicha ITC, se requerirán sistemas de protección adicionales en el caso de que dicha altura sea menor.

Para la anchura de los pasillos de servicio se adoptarán como mínimos los valores aportados en la ITC-RAT 15, la cual hace referencia al ap. 6.1.1 de la ITC-RAT 14 estableciendo:

Los valores proporcionados en la ITC-RAT 15, haciendo esta referencia al ap. 6.1.1 de la ITC-RAT 14, se aplicarán como mínimo para la anchura de los pasillos de servicio siendo éstos:

- 1 metro para pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a un solo lado.
- 1 metro para pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a ambos lados.
- 0.8 metros para pasillos de inspección con elementos en alta tensión a un solo lado.
- 1 metro para pasillos de inspección con elementos en alta tensión a ambos lados.

### 2.1.3.2. Protección contra contactos accidentales en interior del recinto.

Siguiendo lo expuesto en el ap. 4.2 de la ITC-RAT 15, estableciéndose en este que los sistemas de protección deben mantener una distancia horizontal a los elementos en tensión de 200 cm, y por lo cual según el sistema de protección elegido se deberán adoptar:

1. Distancia de los elementos en tensión a paredes macizas con altura mínima de 180 cm:

$$B = d + 3$$

2. Distancia de los elementos en tensión a enrejados con altura mínima de 180 cm:

$$C = d + 10$$

3. Distancia de los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo (paredes macizas, enrejados, barreras, etc.) con una altura que en ningún caso podrá ser inferior a 100 cm:

$$E = d + 30, \text{ considerando un mínimo de 125 cm}$$

4. Distancias para barreras no rígidas y enrejados los valores en aire deben incrementarse para tener en cuenta un posible desplazamiento de la barrera o enrejado, siendo la cuadrícula del enrejado como máxima de 50 x 50 milímetros.

El valor “d” en el mismo valor que el expresado al inicio de este apartado, el cual representa la distancia mínima de aislamiento en cm.

| Tensión Asignada | d [cm] | B [cm] | C [cm] | E [cm] |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| 20 kV            | 27     | 30     | 37     | 125    |
| 132 kV           | 130    | 133    | 140    | 160    |

Tabla 28. Distancias contra contactos accidentales en el interior de la subestación.

### 2.1.3.3. Protección contra contactos accidentales en el exterior del recinto.

Finalmente, siguiendo lo establecido en el ap. 4.3 de la ITC-RAT 15, se especifica que, deberán existir entre los elementos del exterior del recinto con los elementos en tensión una distancia G medida en horizontal, con el fin de evitar contactos accidentales.

$$G = d + 150$$

| Tensión Asignada | d [cm] | G [cm] |
|------------------|--------|--------|
| 20 kV            | 27     | 177    |
| 132 kV           | 130    | 280    |

Tabla 29. Distancias contra contactos accidentales en el exterior de la subestación.

## 2.2. Cálculo eléctrico de conductores.

En esta sección se realizará el cálculo de los conductores de alta y media tensión, asegurándonos de que cumplan con las especificaciones actuales.

### 2.2.1. Conductores desnudos de 132 kV

Los conductores que unen los elementos del parque de 132kV, comúnmente se suelen emplear la misma sección que los conductores de las líneas de entrada y salida a la subestación. Sin embargo, al no disponer de dicha información se opta por dimensionarlos de acuerdo a la corriente máxima que discurre por el lado de 132kV en condiciones de servicio, según el RLAT, en la ITC-LAT-07.

La intensidad que circularía por esta parte de la instalación sería:

$$I_{n132kV} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 109.35 \text{ A}$$

El conductor desnudo seleccionado para la conexión de la apartamenta está compuesto de aluminio con alma de acero y denominación es 337-AL1/44ST1A (antiguo LA 380), según establece Endesa, en el apartado 7.1 de la norma SRZ001, y cuyas características se resumen a continuación:

| Características                             |                   | 337-AL1/44-ST1A |
|---------------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Sección aluminio (AL1) [mm <sup>2</sup> ]   |                   | 337.3           |
| Sección acero (ST1A) [mm <sup>2</sup> ]     |                   | 43.7            |
| Diámetro (Total) [mm]                       |                   | 25.38           |
| Sección total (AL1/ST1A) [mm <sup>2</sup> ] |                   | 381             |
| Composición                                 | Alambres aluminio | 54              |
|                                             | Alambres acero    | 7               |
| Intensidad Admisible (A)                    |                   | 720             |

Tabla 30. Características del conductor desnudo.

Para comprobar que el conductor escogido es idóneo para su uso se seguirán 3 criterios:

#### 2.2.1.1. Densidad de Corriente máxima admisible

La densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente, viene establecida en la tabla 11 del ap.4.2.1 de la ITC-LAT-07, por lo que interpolando la sección de nuestro conductor se obtiene:

$$\begin{aligned}
 J_{300} &= 2.15 \text{ A/mm}^2 \\
 J_{400} &= 1.95 \text{ A/mm}^2 \\
 \frac{J_{381} - J_{300}}{J_{400} - J_{300}} &= \frac{381 - 300}{400 - 300} \\
 J_{381} &= (J_{400} - J_{300}) \cdot \frac{381 - 300}{400 - 300} + J_{300} = 1.988 \text{ A/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dado que el conductor está constituido hay que aplicar un factor corrector en función de la composición, para este caso la composición es de 54+7, por lo que el factor corrector es  $f_1 = 0.95$ .

Por lo tanto, la corriente máxima admisible por densidad de corriente será:

$$I_{Jmax} = J_{381} \cdot f_1 \cdot S = 1.988 \cdot 0.95 \cdot 381 = \mathbf{719.556 \text{ A}}$$

Y se debe cumplir que la intensidad nominal es inferior a esta calculada, comprobando:

$$I_{Jmax} = \mathbf{719.556 \text{ A}} > I_{n132kV} = \mathbf{109.35 \text{ A}}$$

Por tanto, el conductor escogido cumple por este criterio presentando un valor inferior al máximo.

#### 2.2.1.2. Intensidad máxima admisible por cortocircuito

Para este procedimiento de cálculo se hará uso de lo establecido en el ap. 7, de la norma UNE-EN 60865-1:2013, en la que se detalla el cálculo de los efectos térmicos para conductores desnudos.

Esta norma establece que, debido a las corrientes de cortocircuito, los conductores se calientan implicando varios fenómenos de carácter no lineal, y otros factores que se han establecido o despreciado con la finalidad de permitir un enfoque matemático, y por lo tanto, para este cálculo se han adoptado las siguientes hipótesis:

- El calentamiento del conductor se considera adiabático y el calor específico se considera constante.
- Se desprecia el efecto pelicular, el cual es la influencia magnética de un conductor sobre sí mismo, y el efecto proximidad, siendo éste la influencia magnética entre conductores paralelos próximos.
- Se considera una relación lineal entre la resistencia y la temperatura.

Según la norma, en la tabla 6 del ap. 7, la temperatura más elevada, recomendada durante un cortocircuito para conductores desnudos, macizos o trenzados, de cobre aluminio o de aleación de aluminio es de 200°C.

En las condiciones en las que se produce un cortocircuito se debe cumplir que:

$$S_{th} \leq S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

Dónde,

$S_{th}$ , es la densidad de corriente térmica equivalente de cortocircuito en función de  $T_k$

$S_{thr}$ , es la densidad de corriente soportada de corta duración para un tiempo  $T_{kr}$

El valor asignado de  $S_{thr}$  se indica en la figura 13 para  $T_{kr} = 1 \text{ s}$ . Sin embargo, a modo de obtener valores más precisos en el anexo A.11, se facilita la fórmula de dicha gráfica.

Debido al efecto skin, el alma de acero del conductor de aluminio-acero no debe tenerse en cuenta a la hora de calcular la densidad de corriente del mismo.

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \cdot \sqrt{\frac{k_{20} \cdot c \cdot \rho}{\alpha_{20}} \cdot \ln \left( \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_e - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_b - 20)} \right)}$$

Dónde,

$k_{20}$ , es la conductividad del material en  $1/(\Omega \cdot m)$

$c$ , es el calor específico en  $J/(kg \cdot K)$

$\rho$ , es la densidad del material en  $Kg/m^3$

$\alpha_{20}$ , es el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura en  $1/K$

$\vartheta_e$ , es la temperatura final del cortocircuito en  $^{\circ}C$

$\vartheta_b$ , es la temperatura al principio del cortocircuito en  $^{\circ}C$ . Considerando una temperatura de  $85^{\circ}C$ , que es la temperatura máxima en régimen permanente que se establece en la ITC-RAT 05 (ap.6).

Para los conductores desnudos de la instalación se tiene entonces que:

$$\begin{aligned} k_{20}^{Al} &= 34.8 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega \cdot m} & c_{20}^{Al} &= 910 \frac{J}{kg \cdot m} & \rho^{Al} &= 2700 \frac{kg}{m^3} \\ \alpha_{20}^{Al} &= 0.004 \frac{1}{K} \\ \vartheta_e &= 200^{\circ}C & \vartheta_b &= 85^{\circ}C & T_{kr} &= 0.5 s \end{aligned}$$

Por lo que sustituyendo;

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{0.5}} \cdot \sqrt{\frac{34.8 \cdot 10^6 \cdot 910 \cdot 2700}{0.004} \cdot \ln \left( \frac{1 + 0.004 \cdot (200 - 20)}{1 + 0.004 \cdot (85 - 20)} \right)}$$

$$S_{thr} = 115.3468 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2} = \mathbf{115.347 A/mm^2}$$

$$S_{th} = \frac{I_{cc}^{3F}}{S_{Al}} = \frac{19.7 \cdot 10^3}{337.3} = \mathbf{58.4 A/mm^2}$$

Por lo que se verifica que;

$$S_{th} = 58.4 \frac{A}{mm^2} < S_{thr} = 115.347 \frac{A}{mm^2}$$

Por lo que el conductor es capaz de soportar térmicamente el cortocircuito trifásico producido.

#### 2.2.1.3. Cálculo del efecto corona.

Según el ap. 4.3 de la ITC-LAT 07, para tensiones superiores a 66kV es necesario estudiar si se produce efecto corona en los conductores.

El efecto corona es un fenómeno debido a la ionización del fluido que baña al conductor, en este caso aire y se produce cuando se alcanza cuando la tensión más elevada de la red  $[U_S]$  es mayor a la tensión crítica disruptiva  $[U_{Cd}]$ , es decir para que no se produzca efecto corona se debe verificar que:

$$U_S < U_{Cd}$$

Para el cálculo de la tensión crítica disruptiva, se emplea la fórmula de Peek.

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot m_c \cdot \delta \cdot m_t \cdot r \cdot n \cdot \ln \left( \frac{DMG}{RMG} \right)$$

Siendo:

$U_{cd}$ , Tensión crítica disruptiva expresada en kV

$m_c$ , Coeficiente de rugosidad del conductor con un valor entre 0.83 y 0.87

$m_t$ , Coeficiente ambiental (0.8 para tiempo húmedo y 1 para tiempo seco)

$r$ : Radio individual del conductor [cm]

$n$ : número de conductores por fase.

$DMG$ : Distancia media geométrica entre fases [cm],  $DMG = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}$

$RMG$ : Radio medio geométrico[cm]

$\delta$ , Factor de corrección de la densidad del aire,  $\delta = \frac{273+25}{273+\theta} \cdot e^{-\frac{h}{8150}}$

$h$ , es la altitud

$$r = \frac{25.38mm}{2} = 1.269 \text{ cm}$$

La instalación se encuentra a una altitud de 410 m. y la distancia entre conductores es de 1.5 metros.

Se calculará el efecto corona tanto para tiempo seco con una temperatura de 40°C y tiempo húmedo con una temperatura de 6°C.

Por lo tanto, para la instalación se tiene:

$$DMG = \sqrt[3]{150 \cdot 150 \cdot 300} = 189 \text{ cm} \quad RMG = 1.269 \text{ cm} \quad h = 410 \text{ m} \quad m_c = 0.85$$

- Para tiempo seco,  $\theta = 45^\circ \text{C}$  y  $m_t = 1$

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + 45} \cdot e^{-\frac{410}{8150}} = 0.891$$

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot 0.85 \cdot 0.891 \cdot 1 \cdot 1.269 \cdot 1 \cdot \ln \left( \frac{189}{1.269} \right) = \mathbf{168.42 \text{ kV}}$$

- Para tiempo húmedo  $\theta = 6^\circ \text{C}$  y  $m_t = 0.8$

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + 6} \cdot e^{-\frac{410}{8150}} = 1.0157$$

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot 0.85 \cdot 1.0157 \cdot 0.8 \cdot 1.269 \cdot 1 \cdot \ln \left( \frac{189}{1.269} \right) = \mathbf{151.899 \text{ kV}}$$

Como se puede ver, para ambas situaciones, la tensión crítica disruptiva es mayor que la tensión más elevada de la red para 132kV, que en este caso es de 145 kV, por lo tanto, con el conductor empleado no se produce efecto corona.



## 2.2.2. Conductores aislados de 20 kV

Se utiliza el ITC-LAT 06, en la que se describen las líneas subterráneas con cables aislados para el cálculo conductores aislados de 20 kV.

El aislamiento del conductor será XLPE y la tensión asignada al cable será de  $U_0/U = 18/30 \text{ kV}$ , superior a la mínima establecida por la tabla 2 de la ITC-LAT06 (12/20 kV).

### 2.2.2.1. Conductores de Potencia.

Puesto que la conexión del transformador en el lado de media tensión presenta neutro no será necesario la realización de un neutro ficticio para la conexión de la resistencia de puesta a tierra.

El método considerado para el cálculo será la instalación al aire, puesto que los conductores de media tensión irán dispuestos en una canalización hasta la sala de celdas.

Se seleccionará como intensidad de diseño, la corriente del transformador secundario según su potencia nominal y se verificará que la sección sea adecuada para la conexión del neutro.

$$I_{n20kV} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 721.69 \text{ A}$$

- **Intensidad máxima admisible**

Como ya se ha mencionado el cálculo de los conductores aislados se realizará teniendo en cuenta que la instalación de los mismos se realiza en canales o galerías aislados al aire, por lo que a partir del ap. 6.1.3 en el que se establecen las condiciones de instalación al aire, y se procederá al cálculo de la intensidad máxima admisible.

Con el fin de evitar secciones demasiado elevadas que dificultarían el montaje la hora de la ejecución del proyecto, se opta por la instalación de conductor de cobre garantizando que las secciones no sean superiores a  $240 \text{ mm}^2$ .

Las condiciones para la instalación de los conductores son, los valores de han sacado de la tabla 5 de dicha ITC.

|                                                                  |                              |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Conductor                                                        | Cobre                        |
| Tipo de Aislamiento                                              | XLPE, Polietileno Reticulado |
| Temperatura de servicio permanente $\theta_s$ , [°C]             | 90                           |
| Temperatura de Cortocircuito ( $t \leq 5s$ ), $\theta_{cc}$ [°C] | 250                          |

Tabla 31. Condiciones instalación para conductores de 20 kV.

A partir de la tabla 13 (ap.6.1.3.1.), y realizando un prediseño escogiendo una sección de  $240 \text{ mm}^2$ , y 3 conductores por fase, 2 para la conexión con las celdas de media tensión, y el restante para la realización del circuito del neutro.

Según dicha tabla, la intensidad admisible por un conductor de cobre de  $240 \text{ mm}^2$  de sección, es de 590 A.

Sin embargo, ha de tenerse en cuenta unos factores reductores de la misma que depende de las condiciones de la instalación, y los cuales son:

- Por la temperatura del ambiente:

Se considerará una temperatura del aire de 45 °C y según la tabla 14 del ap. 6.1.3.2.1 se deberá de aplicar un factor de corrección de:

$$F_{C1} = 0.95$$

- Por la agrupación de los conductores:

Puesto que los cables están dispuestos en la canalización, el calor disipado no es capaz de difundirse libremente, provocando un aumento de la temperatura del aire. Los conductores estarán en contacto entre sí, de modo que según la tabla 19 del ap. 6.1.3.2.3, se deberá de aplicar un factor de corrección de:

$$F_{C2} = 0.68$$

Por lo que la intensidad corregida para un solo conductor será:

$$I_Z = F_{C1} \cdot F_{C2} \cdot I_{tabla13} = 0.95 \cdot 0.68 \cdot 590 = \mathbf{369.93 \text{ A}}$$

Para el caso del conductor del circuito del neutro, según la norma de Endesa la resistencia limitadora de puesta a tierra, establece una corriente máxima de 300 A, por lo que se cumple que:

$$I_{ZN_{MAX}} = \mathbf{369.93 \text{ A}} > I_{neutro} = \mathbf{300 \text{ A}}$$

Par el caso de diseño de los conductores que van hasta las celdas de 20 kV, se tiene que la intensidad máxima es la siguiente puesto que se tienen dos conductores por fase.

$$I_{Z_{MAX}} = 369.93 \cdot 2 = \mathbf{739.86 \text{ A}}$$

Y por lo tanto se verifica que:

$$I_{Z_{MAX}} = \mathbf{739.86 \text{ A}} > I_{n20kV} = \mathbf{721.69 \text{ A}}$$

- **Capacidad de soportar térmicamente el cortocircuito.**

Para este cálculo se seguirá lo expuesto en el apartado 6.2 de la ITC-LAT 06.

La densidad de corriente se calcula de acuerdo con las temperaturas especificadas en la tabla 5 recogidas anteriormente, en condiciones de servicio permanente  $\theta_s$  y en cortocircuitos de duración inferior a 5 segundos  $\theta_{cc}$ .

En el cálculo se considerará que durante el proceso los conductores absorben el calor desprendido, puesto que su masa es muy grande en comparación con la superficie de disipación de calor. Además ya que es un proceso adiabático, la duración es relativamente corta.

$$\frac{I_{cc}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{\theta_{cc} + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{\theta_{cc} + \beta}{\theta_s + \beta}\right)}}$$

Dónde,

K coincide con el valor de densidad de corriente tabulado para  $t_{cc} = 1$  s, en función de las características del conductor, (143)

$t_{cc}$ , es el tiempo de duración del cortocircuito establecido en 1 [s]

$I_{cc}$ , intensidad de cortocircuito [A]

S, sección del conductor [mm<sup>2</sup>]

$\theta_{cc}$ , es la temperatura máxima admisible en cortocircuito [°C].

$\theta_i$  en la temperatura inicial del conductor que dependerá de la carga [°C].

$\theta_s$ , es la temperatura máxima admisible del conductor en régimen permanente [°C]

$\beta$ , dicho valor se indica en el reglamento y se establece un valor de 235 para cobre, y 228 para aluminio.

$$\theta_i = \theta_a + (\theta_s - \theta_a) \cdot \left(\frac{I_n}{I_z}\right)^2 = 25 + (90 - 25) \left(\frac{721.69}{766.646}\right)^2 = 80.89^\circ\text{C}$$

A partir de las tablas 25 y 26 se puede conocer el valor de densidad máxima de corriente de cortocircuito en función del tipo de aislamiento, tipo de conductor y duración del cortocircuito.

La densidad máxima permitida por intensidad de cortocircuito para un conductor de cobre aislado XLPE con una duración de cortocircuito de 1 segundo es:

$$J_{cc\text{máx}} = \frac{I_{cc}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{\theta_{cc} + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{\theta_{cc} + \beta}{\theta_s + \beta}\right)}} = \frac{143}{\sqrt{1}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{250 + 235}{80.92 + 235}\right)}{\ln\left(\frac{250 + 235}{90 + 235}\right)}} = 147.97 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Se debe cumplir que la densidad de corriente por cortocircuito sea inferior a la máxima calculada, por lo que considerando una corriente de cortocircuito permanente de 25 kA.

$$J_{cc\text{diseño}} = \frac{I_{cc}^F}{S} = \frac{25 \cdot 10^3}{240} = 104.67 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Por lo que el conductor escogido cumple por este criterio ya que:

$$J_{cc\text{diseño}} = 104.67 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} < J_{cc\text{máx}} = 209.27 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

#### 2.2.2.2. Conductores de SSAA.

El sistema de servicios auxiliares presenta una potencia prevista de 50 kVA, por lo que en este caso el conductor empleado será de aluminio ya que la potencia a soportar es muchísimo menor.

Para los conductores que parten del embarrado de media tensión hasta el transformador de SSAA se seguirá el mismo procedimiento que en el apartado anterior.

$$I_{n_{SSAA}} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 1.443 \text{ A}$$

|                                                                  |                              |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Conductor                                                        | Aluminio                     |
| Tipo de Aislamiento                                              | XLPE, Polietileno Reticulado |
| Temperatura de servicio permanente $\theta_s$ , [°C]             | 90                           |
| Temperatura de Cortocircuito ( $t \leq 5s$ ), $\theta_{cc}$ [°C] | 250                          |

Tabla 32. Condiciones instalación para conductores de 20 kV.

- **Intensidad máxima admisible**

A partir de la tabla 13 (ap.6.1.3.1.), y realizando un prediseño escogiendo un conductor con una sección de 25 mm<sup>2</sup>.

Según dicha tabla, la intensidad admisible por un conductor de aluminio de 25 mm<sup>2</sup> de sección, es de 120 A.

También, ha de tenerse en cuenta los factores reductores de la intensidad que depende de las condiciones de la instalación, y los cuales son:

- Por la temperatura del ambiente:

Se considerará una temperatura del aire de 45 °C y según la tabla 14 del ap. 6.1.3.2.1 se deberá de aplicar un factor de corrección de:

$$F_{C1} = 0.95$$

- Por la agrupación de los conductores:

Puesto que los cables están dispuestos en la canalización, el calor disipado no es capaz de difundirse libremente, provocando un aumento de la temperatura del aire. Los conductores estarán en contacto entre sí, de modo que según la tabla 19 del ap. 6.1.3.2.3, se deberá de aplicar un factor de corrección de:

$$F_{C2} = 0.73$$

Por lo que la intensidad corregida para un solo conductor será:

$$I_Z = F_{C1} \cdot F_{C2} \cdot I_{tabla13} = 0.95 \cdot 0.73 \cdot 120 = \mathbf{83.82 \text{ A}}$$

Y por lo tanto se verifica que:

$$I_{Z_{MAX}} = \mathbf{83.22 \text{ A}} > I_{n_{SSAA}} = \mathbf{0.7217 \text{ A}}$$

- **Capacidad de soportar térmicamente el cortocircuito.**

Siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado anterior,

$$\frac{I_{CC}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{\theta_{CC} + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{\theta_{CC} + \beta}{\theta_s + \beta}\right)}}$$

Dónde,

K coincide con el valor de densidad de corriente tabulado para  $t_{cc} = 1$  s, en función de las características del conductor, (94)

$t_{cc}$ , es el tiempo de duración del cortocircuito establecido en 1 [s]

$I_{CC}$ , intensidad de cortocircuito [A]

S, sección del conductor [mm<sup>2</sup>]

$\theta_{CC}$ , es la temperatura máxima admisible en cortocircuito [°C].

$\theta_i$  en la temperatura inicial del conductor que dependerá de la carga [°C].

$\theta_s$ , es la temperatura máxima admisible del conductor en régimen permanente [°C]

$\beta$ , cuyo valor se indica en el reglamento y se establece un valor de 235 para cobre, y 228 para aluminio.

$$\theta_i = \theta_a + (\theta_s - \theta_a) \cdot \left(\frac{I_n}{I_z}\right)^2 = 25 + (90 - 25) \cdot \left(\frac{0.7217}{86.64}\right)^2 = 25^\circ\text{C}$$

En este caso, a partir de la tabla 26 para conductor de aluminio con aislamiento XLPE y una duración del cortocircuito de 1 segundo, se tiene que la densidad máxima admisible por intensidad de cortocircuito es:

$$J_{CC_{\max}} = \frac{I_{CC}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{\theta_{CC} + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{\theta_{CC} + \beta}{\theta_s + \beta}\right)}} = \frac{94}{\sqrt{1}} \cdot \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{250 + 228}{25 + 228}\right)}{\ln\left(\frac{250 + 228}{90 + 228}\right)}} = 117.45 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Se debe cumplir que la densidad de corriente por cortocircuito sea inferior a la máxima calculada, considerando una corriente de cortocircuito de diseño de 10 kA.

$$J_{CC_{SAAA}} = \frac{I_{CC}^{3F}}{S} = \frac{10 \cdot 10^3}{25} = 400 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Comprobando, se puede observar que la densidad de corriente que se presenta es muy superior a la máxima, por lo que se debe escoger una sección superior de conductor.

Por lo que el conductor escogido será de 95 mm<sup>2</sup>, obteniendo una densidad de corriente:

$$J_{CC_{SSAA}} = \frac{I_{CC}^{3F}}{S} = \frac{10 \cdot 10^3}{95} = 105.26 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$J_{cc_{SSAA}} = 105.26 \frac{A}{mm^2} < J_{cc_{m\acute{a}x}} = 117.45 \frac{A}{mm^2}$$

Y puesto que con el conductor de 25 mm<sup>2</sup> cumplíamos por intensidad máxima admisible, con la nueva sección de 95 mm<sup>2</sup> también se cumple dicho criterio.

Siendo la intensidad admisible del conductor:

$$I_Z = F_{C1} \cdot F_{C2} \cdot I_{tabla13} = 0.95 \cdot 0.73 \cdot 255 = 176.84 A$$

Puesto que se ha calculado la intensidad de cortocircuito en el [ap.2.6. "Cálculo de la corriente de cortocircuito en el sistema de media tensión."](#), se obtiene una intensidad de cortocircuito de 7.867 kA, siendo menor que la establecida en el diseño de la considerada de 10 kA, por lo que el diseño de este conductor es válido.

### 2.3. Cálculo del embarrado de 132 kV.

En este apartado se procederá al cálculo justificativo del embarrado rígido de 132 kV, así como el cálculo que justifica la elección de los aisladores de soporte.

|                                             |      |
|---------------------------------------------|------|
| Tensión nominal [kV]                        | 132  |
| Intensidad nominal [A]                      | 1250 |
| Intensidad permanente de cortocircuito [kA] | 31.5 |
| Duración del cortocircuito [s]              | 1    |
| Distancia entre fases [m]                   | 2.5  |
| Distancia entre apoyos [m]                  | 10   |
| Número de apoyos                            | 3    |
| Altura al eje del embarrado [m]             | 4.5  |
| Altura del embarrado [m]                    | 6    |

Tabla 33. Consideraciones iniciales del embarrado.

Los conductores pueden soportarse de diferentes maneras ya sea por soportes fijos, simples o una combinación de ambos. En función del tipo y del número de soportes, las fuerzas y las tensiones mecánicas en los conductores sobre los soportes serán diferentes para una misma corriente de cortocircuito.

El embarrado se llevará a cabo a través de un tubo de aluminio con las siguientes características.

| Conductor               | Diámetro interior / exterior (mm) | Límite fluencia min./max. (kg/cm <sup>2</sup> ) | Intensidad admisible (A) | Dimensionamiento |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|------------------|
| <b>Tubo de Aluminio</b> | 106/120                           | 1600/2400                                       | 2985                     | s/ CEI 865/199   |

Tabla 34. Características generales del tubo empleado.

Por lo que considerando un tubo de aluminio 6063-T6 y cuyas características según el fabricante [Valgañón Metal Cable S.L.](#) son las siguientes:

| Tubo de Aluminio 6063-T6                                   |         |
|------------------------------------------------------------|---------|
| $\varnothing_{\text{ext}} / \varnothing_{\text{int}}$ [mm] | 120/106 |
| Sección [mm <sup>2</sup> ]                                 | 2485    |
| Peso [kg/m]                                                | 6.71    |
| Espesor [mm]                                               | 7       |
| Intensidad Admisible [A]                                   | 3100    |
| Momento de inercia [cm <sup>4</sup> ]                      | 398.16  |
| Momento resistente [cm <sup>3</sup> ]                      | 52.71   |
| Módulo de young, E [N/mm <sup>2</sup> ]                    | 69000   |
| Límite de fluencia mínimo [kg/cm <sup>2</sup> ]            | 1600    |

Tabla 35. Características técnicas del conductor del embarrado.

Los parámetros de los aisladores escogidos del fabricante [POINSA](#) se encuentra a continuación:

| Aislador Poinsa C8-650                    |      |
|-------------------------------------------|------|
| Tensión nominal [kV]                      | 132  |
| Tensión máxima [kV]                       | 145  |
| Tensión soportada impulsos tipo rayo [kV] | 650  |
| Tensión soportada bajo lluvia [kV]        | 275  |
| Línea de fuga [mm]                        | 3625 |
| Altura del aislador, H [mm]               | 1500 |
| Diámetro máximo (parte aislante), D [mm]  | 400  |
| Carga mínima de rotura a flexión [N]      | 8000 |
| Carga mínima de rotura a torsión [N]      | 4000 |

Tabla 36. Características de los aisladores de soporte.

### 2.3.1. Cálculo eléctrico del embarrado

El proceso que se seguirá para este cálculo será similar al realizado para los conductores de 132kV.

#### 2.3.1.1. Densidad de Corriente máxima admisible.

La densidad de corriente máxima del conductor rígido se puede obtener a partir de los valores proporcionados por el fabricante.

$$J_{max} = \frac{I_{max}}{S} = \frac{3100 \text{ A}}{2485 \text{ mm}^2} = 1.248 \text{ A/mm}^2$$

La intensidad prevista sobre el embarrado será la nominal máxima calculada del sistema:

$$I_{N_{EMBARRADO}} = \frac{(25 + 25) \cdot 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 1443.38 \text{ A}$$

$$J_N = \frac{I_N}{S} = \frac{1443.38 \text{ A}}{2485 \text{ mm}^2} = 0.58 \text{ A/mm}^2$$

Cómo se puede comprobar, la densidad de corriente presente en el embarrado es menor que la máxima admisible, por lo que el conductor escogido cumple con dichas especificaciones.

$$J_N = 0.58 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} < J_{max} = 1.248 \text{ A/mm}^2$$



### 2.3.1.2. Intensidad máxima admisible por cortocircuito.

Para este procedimiento de cálculo se hará uso de lo establecido en el apartado 7, de la norma UNE-EN 60865-1:2013, en el que se detalla el cálculo de los efectos térmicos para conductores desnudos.

Esta norma establece que, debido a las corrientes de cortocircuito, los conductores se calientan implicando varios fenómenos de carácter no lineal, y otros factores que se han establecido o despreciado con la finalidad de permitir un enfoque matemático y, por lo tanto, para este cálculo se han adoptado las siguientes hipótesis:

- El calentamiento del conductor se considera adiabático y el calor específico se considera constante.
- Se desprecia el efecto pelicular, el cual es la influencia magnética de un conductor sobre sí mismo, y el efecto proximidad, siendo éste la influencia magnética entre conductores paralelos próximos.
- Se considera una relación lineal entre la resistencia y la temperatura.

Según la norma, en la tabla 6 del ap. 7, la temperatura más elevada recomendada durante un cortocircuito para conductores desnudos, macizos o trenzados, de cobre aluminio o de aleación de aluminio es de 200°C.

En las condiciones en las que se produce un cortocircuito se debe cumplir que:

$$S_{th} \leq S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

Dónde,

$S_{th}$ , es la densidad de corriente térmica equivalente de cortocircuito en función de  $T_k$

$S_{thr}$ , es la densidad de corriente soportada de corta duración para un tiempo  $T_{kr}$

El valor asignado de  $S_{thr}$  se indica en la figura 13 para  $T_{kr} = 1$  s. Sin embargo, a modo de obtener valores más precisos en el anexo A.11, se facilita la fórmula de dicha gráfica.

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \cdot \sqrt{\frac{k_{20} \cdot c \cdot \rho}{\alpha_{20}} \cdot \ln \left( \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_e - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_b - 20)} \right)}$$

Dónde,

$k_{20}$ , es la conductividad del material en  $1/(\Omega \cdot m)$

$c$ , es el calor específico en  $J/(kg \cdot K)$

$\rho$ , es la densidad del material en  $Kg/m^3$

$\alpha_{20}$ , es el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura en  $1/K$

$\vartheta_e$ , es la temperatura final del cortocircuito en °C

$\vartheta_b$ , es la temperatura al principio del cortocircuito en °C. Considerando una temperatura de 85°C, que es la temperatura máxima en régimen permanente que se establece en la ITC-RAT 05 (ap.6).

Para los conductores desnudos de la instalación se tiene entonces que:

$$k_{20}^{Al} = 34.8 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega \cdot m} \quad c_{20}^{Al} = 910 \frac{J}{kg \cdot m} \quad \rho^{Al} = 2700 \frac{kg}{m^3}$$

$$\alpha_{20}^{Al} = 0.004 \frac{1}{K} \quad \vartheta_e = 200^\circ C \quad \vartheta_b = 85^\circ C \quad T_{kr} = 1 s$$

Por lo que sustituyendo;

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{1}} \cdot \sqrt{\frac{34.8 \cdot 10^6 \cdot 910 \cdot 2700}{0.004} \cdot \ln \left( \frac{1 + 0.004 \cdot (200 - 20)}{1 + 0.004 \cdot (85 - 20)} \right)}$$

$$S_{thr} = 81.563 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2} = \mathbf{81.563 A/mm^2}$$

$$S_{th} = \frac{I_{cc}^{3F}}{S_{Al}} = \frac{40 \cdot 10^3}{2485} = \mathbf{16.1 A/mm^2}$$

Por lo que se verifica que:

$$S_{th} = 16.1 \frac{A}{mm^2} < S_{thr} = 81.563 \frac{A}{mm^2}$$

Por lo que el conductor es capaz de soportar térmicamente el cortocircuito trifásico producido.

### 2.3.1.3. Cálculo del efecto corona.

Según el ap. 4.3. de la ITC-LAT 07, para tensiones superiores a 66kV es necesario estudiar si se produce efecto corona en los conductores.

El efecto corona es un fenómeno debido a la ionización del fluido que baña al conductor, en este caso aires y se produce cuando se alcanza cuando la tensión más elevada de la red [ $U_S$ ] es mayor a la tensión crítica disruptiva [ $U_{cd}$ ], es decir para que no se produzca efecto corona se debe verificar que:

$$U_S < U_{cd}$$

Para el cálculo de la tensión crítica disruptiva, he empleado la fórmula de Peek.

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot m_c \cdot \delta \cdot m_t \cdot r \cdot n \cdot \ln \left( \frac{DMG}{RMG} \right)$$

Siendo:

$U_{cd}$ , Tensión crítica disruptiva expresada en kV

$m_c$ , Coeficiente de rugosidad del conductor con un valor de 1, para conductor liso.

$m_t$ , Coeficiente ambiental (0.8 para tiempo húmedo y 1 para tiempo seco)

$r$ : Radio individual del conductor [cm]

$n$ : número de conductores por fase.

$DMG$ : Distancia media geométrica entre fases [cm]  $DMG = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}$

$RMG$ : Radio medio geométrico[cm]

$\delta$ , Factor de corrección de la densidad del aire,  $\delta = \frac{273+25}{273+\theta} \cdot e^{-\frac{h}{8150}}$

h, es la altitud

$$RMG = r = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

Se calculará el efecto corona tanto para tiempo seco con una temperatura de 40°C y tiempo húmedo con una temperatura de 6°C.

La instalación se encuentra a una altitud de 410 m, y la distancia entre conductores del embarrado es de 2.5 metros.

Por lo tanto, para la instalación se tiene:

$$DMG = \sqrt[3]{250 \cdot 250 \cdot 500} = 314.98 \text{ cm} \quad RMG = 6.35 \text{ cm} \quad h = 410 \text{ m} \quad m_c = 0.85$$

- Para tiempo seco,  $\theta = 45^\circ \text{C}$  y  $m_t = 1$

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + 45} \cdot e^{-\frac{410}{8150}} = 0.891$$

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot 1 \cdot 0.891 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 1 \cdot \ln\left(\frac{314.98}{6}\right) = 660.88 \text{ kV}$$

- Para tiempo húmedo  $\theta = 6^\circ \text{C}$  y  $m_t = 0.8$

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + 6} \cdot e^{-\frac{410}{8150}} = 1.0157$$

$$U_{cd} = \sqrt{3} \cdot 21.2 \cdot 1 \cdot 1.0157 \cdot 0.8 \cdot 6 \cdot 1 \cdot \ln\left(\frac{314.98}{6}\right) = 709.06 \text{ kV}$$

Como se puede ver, en las dos hipótesis se cumple que la tensión crítica disruptiva es mayor que la tensión más elevada de la red para 132kV, que es de 145 kV, por lo que no se produce efecto corona en los conductores.

### 2.3.2. Cálculo de los esfuerzos mecánicos sobre los conductores del embarrado.

Par el cálculo de los esfuerzos presente en los embarrados, se ha seguido lo expuesto en el apartado 5, de la norma UNE-EN 60865-1, en el cual se expone el cálculo para conductores rígidos.

#### 2.3.2.1. Cálculo de fuerza máxima entre los conductores durante un cortocircuito trifásico.

En un sistema trifásico con los conductores principales colocados sobre el mismo plano y con la misma distancia entre los ejes, un cortocircuito trifásico ejerce una fuerza máxima sobre el conductor central, lo que se expresa como:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a_m}$$

Donde,

$F_{m3}$ , valor de pico de la fuerza electromagnética entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico.

$\mu_0$ , es la permeabilidad magnética del vacío con un valor de  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ .

$i_p$  es el valor de cresta de la corriente de cortocircuito en el caso de un cortocircuito trifásico equilibrado. Calculada en la norma IEC 60909.

$l$ , es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes en este caso son 20 m,

$a_m$ , es la distancia equivalente entre conductores principales, definido en el ap. 2.1. "cálculo de distancias de seguridad" con un valor de 2.5 m.

Para el cálculo del valor de cresta en caso de un cortocircuito equilibrado, según la norma UNE EN 90909-0 basada en la norma IEC 60909:2016, en el apartado 8 se define el cálculo para determinar dicha corriente, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot i_k''$$

Dónde,

$k$ , es el factor de simetría dependiente de la red, considerándolo 1.25 y puesto que no se conocen los parámetros de la red para determinarlo.

$i_k''$ , es el valor de corriente de cortocircuito inicial y viene dado a partir de la siguiente expresión:

$$i_k'' = c \cdot i_{cc}$$

$c$ , es el factor de tensión y viene definido en la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0, con un valor de 1,1.

$i_{cc}$ , es la corriente de cortocircuito máxima, se podría considerar la corriente facilitada por Endesa en el punto de conexión, pero con el objetivo de obtener la mayor seguridad se considerará la intensidad de cortocircuito máxima de corta duración de 31.5 kA, para un tiempo de duración de 1 segundo.

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot c \cdot i_{cc} = 1.25 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.1 \cdot 31.5 \cdot 10^3 = 61.25 \text{ kA}$$

$$F_{m3} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (61.25 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{20}{2.5} = 5198.3 \text{ N}$$

#### 2.3.2.2. Cálculo del esfuerzo mecánico debido al cortocircuito trifásico.

Los conductores deben fijarse de tal manera que sean despreciables las fuerzas axiales sobre ellos, por lo tanto, las fuerzas que actúan de flexión y la ecuación general para la tensión mecánica de flexión provocada por las fuerzas entre los conductores principales, viene dada por:

$$\sigma_{m,d} = V_{\sigma_m} \cdot V_{r_m} \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot W_m}$$

Dónde,

$\sigma_{m,d}$ , es el valor del esfuerzo sobre el conductor, expresado en N/m<sup>2</sup>.

$F_m$ , en este caso es el valor de pico de la fuerza electromagnética entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico el valor  $F_{m3}$  calculado en el apartado anterior.

$l$ , es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes en este caso son 20 m.

$V_{\sigma_m}$  y  $V_{r_m}$ , son factores que tienen en cuenta los efectos dinámicos, obtenidos de la tabla 2 de la norma UNE-EN 60865-1.

$\beta$ , es un factor que depende del tipo y número de soportes, obtenido de la tabla 3 de la UNE-EN 60865-1.

$W_m$ , es el módulo de sección del conductor principal expresado en  $m^3$ .

Por lo que, obteniendo los valores de las tablas de la norma, y calculando se obtiene:

$V_{\sigma_m} \cdot V_{r_m} = 1$ , considerando reenganche automático trifásico y un primer flujo de corriente.

$\beta = 0.73$ , puesto que el embarrado tiene 3 puntos de apoyo.

El módulo de sección se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$W_m = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{D_{ext}} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{0.12^4 - 0.106^4}{0.12} = 66.36 \cdot 10^{-6} m^3$$

Y por lo tanto el esfuerzo debido al cortocircuito sobre el conductor es:

$$\sigma_{m,d} = 1 \cdot 0.73 \cdot \frac{5198.3 \cdot 20}{8 \cdot 66.36 \cdot 10^{-6}} = 142.96 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} = \mathbf{142.96 MPa} = \sigma_{cc}$$

#### 2.3.2.3. Cálculo de los esfuerzos mecánicos debidos a sobrecargas externas.

Además de las fuerzas debidas al cortocircuito se deben calcular los esfuerzos debidos al peso propio, al esfuerzo del viento y al esfuerzo de sobrecarga por hielo. Puesto que la subestación se encuentra en Zona A (altitud < 500 m), no se considerará el cálculo por la hipótesis de sobrecarga de hielo.

- Esfuerzo debido al peso propio del conductor:

La fuerza debida al peso propio del conductor se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$F_{pp} = m_L \cdot g \cdot l = 6.71 \cdot 9.81 \cdot 20 = \mathbf{1316.5 N}$$

Y el esfuerzo debido al peso propio será:

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp} \cdot l}{8 \cdot W_m} = \frac{1316.5 \cdot 20}{8 \cdot 66.36 \cdot 10^{-6}} = 36.2 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} = \mathbf{36.2 \frac{N}{mm^2}}$$

- Esfuerzo debido a la fuerza de presión del viento:

Siguiendo lo establecido en el ap. 3.1.2.5 de la ITC-LAT 07, la fuerza del viento sobre superficies cilíndricas expresada en daN:

$$F_{viento} = q \cdot A_{Pol}$$

Dónde,

$A_{Pol}$ , es el área proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en  $m^2$ .

$q$ , es la presión del viento,  $q = 70 \cdot \left(\frac{v_v}{120}\right)^2$  en daN/m<sup>2</sup>.

Puesto que la tensión es de 132kV correspondiente a línea de primera categoría se considera que a velocidad del viento es de 140 km/h.

Realizando los cálculos quedará:

El área proyectada será  $A_{pol} = 20 \text{ m} \cdot 0.12 \text{ m} = 2.4 \text{ m}^2$ , y la presión del viento será:

$$q = 70 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 = 95.27 \text{ daN/m}^2 = 952.77 \text{ N/m}^2$$

Y la fuerza debida al viento será:

$$F_{\text{viento}} = q \cdot A_{pol} = 952.77 \cdot 2.4 = \mathbf{2286.65 \text{ N}}$$

Y el esfuerzo debido al viento será:

$$\sigma_{\text{viento}} = \beta \cdot \frac{F_{\text{viento}} \cdot l}{8 \cdot W_m} = 0.73 \cdot \frac{2286.65 \cdot 20}{8 \cdot 66.36 \cdot 10^{-6}} = 62.89 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \mathbf{62.89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

#### 2.3.2.4. Cálculo de la fuerza resultante.

Considerando la situación más desfavorable como la suma de los tres esfuerzos calculados, se puede obtener el esfuerzo resultante en el embarrado.

Por lo tanto, se puede distinguir que, en el plano vertical, aparecerá el esfuerzo debido al peso propio, y en el plano horizontal aparecerán los esfuerzos debidos a la presión del viento, y al cortocircuito trifásico.

$$\sigma_R = \sqrt{(\sigma_V)^2 + (\sigma_H)^2} = \sqrt{(\sigma_{pp})^2 + (\sigma_{\text{viento}} + \sigma_{cc})^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_R = \sqrt{(36.2)^2 + (62.89 + 142.96)^2} = \mathbf{209 \text{ N/mm}^2}$$

#### 2.3.2.5. Tensión mecánica máxima admisible en un conductor.

Un conductor único se supone capaz de soportar fuerzas de cortocircuito cuando:

$$\sigma_{m,d} \leq q \cdot f_y$$

Donde,

$f_y$ , es la tensión mecánica correspondiente al límite elástico (límite de fluencia), considerando el mínimo el cual establece el fin del comportamiento elástico con un valor de 1600 kg/m<sup>2</sup>.

$q$ , es el factor que describe el aumento de la tensión mecánica máxima admisible en un conductor debido a su comportamiento plástico fuera de sus apoyos, en el que se tiene en cuenta la forma del conductor, y viene descrito por la siguiente expresión:

$$q = 1.7 \cdot \frac{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{t}{d}\right)^3}{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{t}{d}\right)^4}$$

donde, los parámetros  $t$  y  $d$  corresponden al espesor del tubo (7 mm) y al diámetro exterior del tubo (120 mm), respectivamente, expresados en metros.

$$\sigma_{\text{admisible}} = q \cdot f_y$$

$$q = 1.7 \cdot \frac{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0.007}{0.12}\right)^3}{1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0.007}{0.12}\right)^4} = 1.35$$

$$\sigma_{\text{admisible}} = 1.35 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} = 211.986 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \mathbf{211.986 \text{ MPa}}$$

Por lo que se verificando los parámetros calculados:

$$\sigma_R = 209 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{\text{admisible}} = 211.986 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como se puede apreciar el diseño del embarrado es válido, puesto que en la condición más desfavorable debido a la suma de los esfuerzos y no se alcanza el límite para que el tubo plastifique.

### 2.3.3. Cálculo de los esfuerzos sobre los aisladores.

Los esfuerzos transmitidos a los soportes del embarrado debidos al cortocircuito trifásico se pueden acorde al apartado 5.5, de la norma UNE-EN 60865-1, el cual establece la siguiente expresión para determinar dicha fuerza:

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{RM} \cdot \alpha \cdot F_m$$

Dónde,

$F_m$ , en este caso es el valor de pico de la fuerza electromagnética entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico,  $F_{m3} = N$  calculado en el apartado anterior.

$\alpha$ , es un factor que depende del tipo y número de soportes, obtenido en función de la tabla 3 de la UNE-EN 60865-1.

$V_F$  y  $V_{RM}$ , son factores que tienen en cuenta los efectos dinámicos, obtenidos de la tabla 2 de la norma UNE-EN 60865-1.

Según la tabla 2 para cortocircuito trifásico, para hallar el valor de  $V_F \cdot V_{RM}$ , se debe determinar por medio del valor del rango al que pertenece.

Realizando el cálculo:

$$\frac{\sigma_{\text{tot,d}}}{0.8 \cdot f_y} = \frac{\sigma_{m,d}}{0.8 \cdot f_y} = \frac{142.96 \text{ N/mm}^2}{0.8 \cdot 1600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} \cdot \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}} = 1.138$$

Y puesto que el valor obtenido es mayor que 1, correspondiente al rango 3, se tiene que:



$$V_F \cdot V_{rm} = 1$$

Por lo tanto, puesto que disponemos de 3 aisladores soporte por fase, se obtendrán dos valores de fuerza, uno correspondiente para los apoyos laterales con  $\alpha = 0.373$ , y otro para los apoyos centrales con  $\alpha = 1.25$ , debiendo ser ambos valores inferiores a los proporcionados por el fabricante.

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{RM} \cdot \alpha_{LAT} \cdot F_m = 1 \cdot 0.373 \cdot 5198.3 = \mathbf{1938.97 \text{ N}}$$

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{RM} \cdot \alpha_{CEN} \cdot F_m = 1 \cdot 1.25 \cdot 5198.3 = \mathbf{6497.9 \text{ N}}$$

Puesto que la carga de rotura de los aisladores escogidos modelo C8-650, es de 8000 N, cumplimos por este criterio.

$$F_{\text{aislador}} = \mathbf{8000 \text{ N}} > F_{r,d} = \mathbf{6497.9 \text{ N}}$$



## 2.4. Cálculo de las protecciones frente a sobretensiones.

Para la correcta selección de los pararrayos-autoválvulas se ha seguido la norma UNE-EN 60099-5(2018), además de cumplir lo indicado en la ITC-RAT-09.

Por lo tanto, para el cálculo se seguirá un proceso según 5 apartados.

- Cálculo de la tensión en servicio continuo ( $U_c$ ).
- Cálculo de la tensión asignada ( $U_r$ ) y las sobretensiones temporales.
- Selección de la intensidad nominal y la clase de descarga.
- Cálculo de la línea de fuga.
- Cálculo de la tensión residual y los niveles de protección.

Según ITC 04 y 12 del RAT, se han escogido los valores más desfavorables.

| Nivel de tensión                                    | 132 kV | 20 kV |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|
| Tensión nominal [ $U_n$ ] (kV ef.)                  | 132    | 20    |
| Tensión más elevada de la red [ $U_s$ ] (kV ef.)    | 145    | 24    |
| Tensión más elevada del material [ $U_m$ ] (kV ef.) | 145    | 24    |
| Tensión soportada a frecuencia industrial (kV ef.)  | 275    | 50    |
| Tensión soportada a impulsos tipo rayo (kV cr.)     | 650    | 145   |

Tabla 37. Niveles de Aislamiento en 132 kV y 20 kV.

### 2.4.1. Cálculo de la tensión de servicio continuo ( $U_c$ ).

La tensión en servicio continuo se define cómo el máximo valor admisible a frecuencia industrial que puede aplicarse permanentemente entre los bornes de la autoválvula.

Por tanto, el valor de la tensión en servicio continuo ( $U_c$ ) debe ser mayor que el valor de la tensión máxima de la red ( $U_s$ ). Para ambos niveles de tensión, en los que se considera la eliminación automática de los defectos a tierra la tensión de servicio se puede calcular a partir de la siguiente expresión.

$$U_c \geq 1.05 \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3}}$$

En la ecuación se aplica un factor corrector de 1.05, con el que se tiene en cuenta la presencia de armónicos de tensión en la red.

| Nivel de Tensión | $U_s$ [kV] | $U_c$ [kV]   |
|------------------|------------|--------------|
| 132              | 145        | $\geq 87.9$  |
| 20               | 24         | $\geq 14.55$ |

Tabla 38. Tensión de servicio continuo

### 2.4.2. Cálculo de la tensión asignada ( $U_r$ ), y las sobretensiones temporales.

La tensión asignada de una autoválvula se debe elegir en función de las sobretensiones temporales previstas de la red, teniendo en cuenta su duración y su amplitud, en la zona de instalación, y no a partir de la tensión aplicada de forma permanente que se usa comúnmente para el cálculo de otros equipos en AT.

Una autoválvula tiene la capacidad de limitar las sobretensiones transitorias tanto de frente lento, cómo las de frente rápido. Sin embargo, debe ser capaz de soportar las sobretensiones temporales hasta que sean despejadas por las protecciones convencionales.

En los catálogos normalmente se facilita la capacidad de soportar sobretensiones temporales TOVc (*Temporary Overvoltages Capability*) para tiempos determinados, correspondiendo al valor eficaz de la máxima sobretensión temporal producida a frecuencia industrial que soporta la autoválvula durante un periodo de tiempo determinado.

La  $U_r$  del pararrayos tiene ser superior a la sobretensión temporal equivalente más elevada, obtenida tras aplicar un margen de seguridad de entre el 5% y el 15% con la finalidad de tener en cuenta posibles imprecisiones en el cálculo.

$$U_r \geq U_{eq}$$

$U_{eq}$  viene definida según la norma UNE para determinar la amplitud de una sobretensión temporal equivalente de 10 segundos de duración.

$$U_{eq} = U_t \cdot \left( \frac{T_t}{10} \right)^{md}$$

donde:

$U_t$ : Amplitud de la sobretensión temporal representativa

$U_{eq}$ : Amplitud de la sobretensión temporal representativa equivalente de 10 s de duración

md: Coeficiente que caracteriza la curva de la autoválvula entre la sobretensión con su duración que, según el diseño del mismo, varía entre 0.018 y 0.022.

Siendo esta fórmula es válida para sobretensiones con una duración entre 0.1 y 100 segundos.

$$U_t = \frac{k \cdot U_s}{\sqrt{3}}$$

Donde:

$U_s$ : tensión máxima del sistema.

k: es el factor de falta o defecto a tierra según la conexión del neutro.

El valor del factor k depende del tipo de conexión a neutro que tenga el sistema y sus valores representativos para redes de hasta 220 kV son:

| Conexión del neutro                                | k                      |
|----------------------------------------------------|------------------------|
| Neutro rígido a tierra                             | $k \leq 1.4$           |
| Neutro no rígido a tierra (a través de impedancia) | $1.4 \leq k \leq 1.73$ |
| Neutro aislado                                     | $1.73 \leq k \leq 1.9$ |

Tabla 39. Valores del factor de defecto o falta a tierra.

Según la guía SRZ001 (ap. 4.2.) la conexión del neutro según la comunidad autónoma dónde se encuentre la subestación será:

Los sistemas de puesta a tierra existentes, para los distintos territorios EDE, se definen en función del nivel de tensión nominal:

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

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

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

**Tabla 2. Sistemas de puesta a tierra**

**NA:** Red con neutro aislado.

**PAT1:** Red con neutro conectado rígidamente a tierra.

**PAT2:** Red con neutro conectado a tierra mediante resistencia limitadora.

**PAT3:** Red con neutro conectado a tierra mediante impedancia limitadora (reactancia en Zig-Zag o conjunto reactancia Zig-Zag en serie con resistencia).

*Figura 7. Sistema de puesta a tierra según EDE.*

Según ap. 7.2.2 de la norma SRZ001, para el lado de 20 kV, el neutro del trafo de potencia irá conectado a tierra mediante una resistencia limitadora de 42.3Ω, considerando una corriente de defecto asignada de 300 A.

Además, se debe tener en cuenta que la TOVc durante 10 segundos debe ser superior a la sobretensión temporal representativa equivalente para 10 segundos, por lo tanto, se definirá  $U_{eq}$  como el valor mínimo TOV(10s).

$$TOV(10s) \geq U_{eq}$$

Procediendo con el cálculo de  $U_r$  y aplicando un margen mínimo de seguridad del 7.5% para tener en cuenta las posibles imprecisiones en el proceso de cálculo, las tensiones asignadas deben ser:

$$U_r \geq 1.075 \cdot U_{eq}$$

Además, una vez conocida la conexión del neutro del sistema y el tiempo máximo de actuación de las protecciones, se puede obtener el valor de  $U_{eq}$  y por consiguiente el valor mínimo de TOV(10s).

$$TOV(10s) \geq U_{eq} = U_t \cdot \left(\frac{T_t}{10}\right)^{md} = \frac{k \cdot U_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{T_t}{10}\right)^{md}$$

Se elige un tiempo máximo de despeje de falla a tierra de 1 segundo para 132 kV y de 10 segundos para 20 kV manteniendo una posición desde el lado de la seguridad. Los resultados son los siguientes:

| Nivel de Tensión | $U_s$ [kV] | Conexión del neutro                        | k    | $T_t$ | md    | $U_{eq}$ [kV]  |
|------------------|------------|--------------------------------------------|------|-------|-------|----------------|
| 132              | 145        | Rígido a Tierra                            | 1.4  | 1     | 0.022 | <b>111.413</b> |
| 20               | 24         | Rígido a Tierra con resistencia limitadora | 1.73 | 10    | 0.022 | <b>23.972</b>  |

Tabla 40. Determinación de la tensión equivalente.

La tensión asignada  $U_r$  será:

| Tensión Asignada | $U_{eq}$ [kV] | $U_r$ [kV]     |
|------------------|---------------|----------------|
| 132 kV           | 111.413       | <b>119.769</b> |
| 20 kV            | 23.972        | <b>25.77</b>   |

Tabla 41. Tensión Asignada de los pararrayos.

Por lo que se deberá cumplir que:

Pararrayos-autoválvulas 20 kV:  $TOV(10 s) \geq 23.972 \text{ kV}$

Pararrayos-autoválvulas 132 kV:  $TOV(10 s) \geq 111.413 \text{ kV}$

### 2.4.3. Selección de la intensidad nominal y la clase de descarga.

Puesto que la norma UNE-EN 60099 define la intensidad nominal de descarga de una autoválvula como el valor de cresta del impulso de corriente tipo rayo de onda 8/20 (8  $\mu$ s de tiempo de frente y 20  $\mu$ s de tiempo hasta el valor mitad) que se utiliza para clasificar los pararrayos.

También en la norma se establece que la clase de descarga se refiere a la capacidad de absorción de energía, definida para las autoválvulas de corriente nominal de descarga, y se seleccionará exclusivamente según del valor de la corriente prevista que va a circular por el pararrayos.

| Tensión nominal del sistema $U_n$          | Tensión máxima del sistema $U_s$            | Clasificación del pararrayos ( $I_n$ ) |         |         |         |         |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                                            |                                             | 5 kA                                   | 10 kA   |         |         | 20 kA   |
|                                            |                                             |                                        | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| $U_n \leq 66 \text{ kV}$                   | $U_s \leq 72,5 \text{ kV}$                  | •                                      | •       | •       |         |         |
| $66 \text{ kV} < U_n \leq 220 \text{ kV}$  | $72,5 \text{ kV} < U_s \leq 245 \text{ kV}$ |                                        |         | •       | •       |         |
| $220 \text{ kV} < U_n \leq 380 \text{ kV}$ | $245 \text{ kV} < U_s \leq 420 \text{ kV}$  |                                        |         |         | •       | •       |
| $U_n > 380 \text{ kV}$                     | $U_s > 420 \text{ kV}$                      |                                        |         |         |         | •       |

Figura 8. Clasificación de pararrayos según su tensión e intensidad nominal

La clase de descarga puede establecerse evaluando la capacidad de absorción de energía de las autoválvulas debidas a sobretensiones transitorias en la red, ya sea por conexión o reenganches de líneas, descargas atmosféricas sobre conductores, etc.

Para calcular la energía que la autoválvula debe ser capaz de absorber existen varias formulaciones a cerca de los sucesos mencionados, pero para su cálculo se debería realizar un estudio bastante minucioso de la red de conexión, y puesto que no disponemos de esos datos se considerarán clases de descarga superiores para ambos parques de la subestación.

Por lo tanto, para el sistema de 132 kV se considerará clase 3 por lo que la intensidad nominal de las autoválvulas será de 10 kA y para el sistema de 20 kV se considerará clase 2, siendo la intensidad nominal de 10 kA.

| Nivel de Tensión [kV] | Corriente nominal [kA] | Clase de Descarga de la línea |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 132                   | 10                     | 3                             |
| 20                    | 10                     | 2                             |

Tabla 42. Intensidad nominal y clase de descarga de las autoválvulas.

#### 2.4.4. Selección la línea de fuga.

La línea de fuga se debe seleccionar en función del nivel de polución de la zona de instalación de las autoválvulas. La línea de fuga mínima ( $L_f$ ) se obtiene multiplicando la línea de fuga específica ( $L_{fe}$ ), correspondiente al nivel de contaminación especificado de la zona, con la tensión más elevada de la red ( $U_s$ ). La tabla se ha extraído de la norma UNE-EN 60071-2.

| Nivel de contaminación | Línea de fuga mm/kV |
|------------------------|---------------------|
| I<br>Ligero            | 16                  |
| II<br>Medio            | 20                  |
| III<br>Fuerte          | 25                  |
| IV<br>Muy Fuerte       | 31                  |

Figura 9. Línea de fuga en función del nivel de contaminación.

$$L_f \geq L_{fe} \cdot U_s$$

En este caso, para la selección de la línea de fuga específica, se ha optado por ceñirse a lo establecido en la norma NRZ104, considerando que la subestación no se encuentra en un ambiente de alta polución industrial o salino, estableciendo una línea de fuga mínima de 25 mm/kV. Además, para el sistema de 20kV se ha considerado un nivel de contaminación III (fuerte), con una línea de fuga específica nominal es de 25 mm/kV, obteniendo:

| Nivel de Tensión | $U_s$ [kV] | Nivel de contaminación | Línea de fuga específica mínima [mm/kV] | Línea de fuga mínima [mm] |
|------------------|------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|
| 132              | 145        | III                    | 25                                      | 3625                      |
| 20               | 24         | III                    | 25                                      | 600                       |

Tabla 43. Línea de fuga mínima de las autoválvulas.

#### 2.4.5. Tensión residual y niveles de protección.

La tensión residual ( $U_{res}$ ), de una autoválvula viene definida por el valor de cresta de la tensión que aparece entre sus bornes durante el paso de una corriente de descarga. Esta depende de la forma de onda y de la magnitud de la corriente de descarga.

Los niveles de protección del pararrayos se definen tanto para el impulso tipo rayo como para el impulso tipo maniobra, siendo estos:

- El nivel de protección a impulsos tipo rayo,  $U_{pl}$ , es el valor de la tensión residual del pararrayos para la corriente nominal de descarga  $I_n$ , de onda 8/20  $\mu s$ .
- El nivel de protección a impulsos tipo maniobra,  $U_{ps}$ , es el valor de la tensión residual del pararrayos para la corriente de impulso tipo maniobra 30/60  $\mu s$  para la corriente de descarga 0,5 kA, 1 kA o 2 kA.

El margen de protección frente a impulsos tipo rayo viene dado en función del cociente entre la tensión soportada de la aparamenta a proteger frente a este impulso, y el nivel de protección frente al impulso de la autoválvula seleccionada. Considerando un margen mínimo del 20%, sobrepasando el margen mínimo recomendado un 5%.

$$\text{Margen de Protección a impulso tipo rayo} = \frac{LIWL}{U_{pl}} \geq 1.2$$

El margen de protección frente al impulso de tipo maniobra viene dado por el cociente entre la tensión soportada de la aparamenta a proteger a los impulsos tipo maniobra y el nivel de protección de la autoválvula a este tipo de impulso. Considerando un 15% como margen mínimo.

$$\text{Margen de Protección a impulso tipo maniobra} = \frac{SIWL}{U_{ps}} \geq 1.15$$

En estas dos expresiones los valores  $U_{pl}$  y  $U_{ps}$  vienen dados por el fabricante, representando la tensión residual frente al tipo de onda vista siendo 10kA para tipo rayo y 1kA para tipo maniobra. Además, se ha considerado  $LIWL=SIWL$  puesto que según el ap. 1.2. de la ITC-RAT 12, se opta por tomar la sobretensión de tipo rayo como sobretensión representativa para el cálculo de los niveles de aislamiento, por lo que para ambos márgenes de protección se adopta el mismo criterio.

Antes de comprobar los márgenes de protección, se procede a seleccionar las autoválvulas que puedan cumplir con las especificaciones de diseño calculadas. Los modelos escogidos son:

- Para 132 kV: ABB PEXLIM Q

| Tensión máxima de red               | Tensión nominal                     | Tensión de trabajo continuo máxima 1) |                           | Capacidad de sobretensiones temporales 2) |                   | Tensión residual máxima con onda de corriente |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                     |                                     | según IEC                             | según ANSI/IEEE           | 1 s                                       | 10 s              | 30/60 µs                                      |                    |                    | 8/20 µs            |                    |                    |                    |                    |
|                                     |                                     |                                       |                           |                                           |                   | 0,5 kA                                        | 1 kA               | 2 kA               | 5 kA               | 10 kA              | 20 kA              | 40 kA              |                    |
| U <sub>m</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>r</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>C</sub><br>kV <sub>rms</sub>   | MCOV<br>kV <sub>rms</sub> | kV <sub>rms</sub>                         | kV <sub>rms</sub> | kV <sub>pico</sub>                            | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> |
| 145                                 | 108                                 | 86                                    | 86,0                      | 124                                       | 118               | 208                                           | 214                | 223                | 242                | 254                | 280                | 313                |                    |
|                                     | 120                                 | 92                                    | 98,0                      | 138                                       | 132               | 231                                           | 238                | 248                | 268                | 282                | 311                | 347                |                    |
|                                     | 132                                 | 92                                    | 106                       | 151                                       | 145               | 254                                           | 262                | 272                | 295                | 311                | 342                | 382                |                    |
|                                     | 138                                 | 92                                    | 111                       | 158                                       | 151               | 265                                           | 274                | 285                | 309                | 325                | 357                | 399                |                    |
|                                     | 144                                 | 92                                    | 115                       | 165                                       | 158               | 277                                           | 286                | 297                | 322                | 339                | 373                | 417                |                    |
|                                     | 150                                 | 92                                    | 121                       | 172                                       | 165               | 288                                           | 298                | 309                | 335                | 353                | 388                | 434                |                    |
|                                     | 162                                 | 92                                    | 131                       | 186                                       | 178               | 312                                           | 321                | 334                | 362                | 381                | 419                | 469                |                    |
|                                     | 168                                 | 92                                    | 131                       | 193                                       | 184               | 323                                           | 333                | 346                | 376                | 395                | 435                | 486                |                    |

Figura 10. Características autoválvulas de 132 kV.

| Tensión máxima de red               | Tensión nominal                     | Revestimiento | Distancia de fuga |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------|
| U <sub>m</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>r</sub><br>kV <sub>rms</sub> |               | mm                |
| 145                                 | 108-120                             | XH145         | 3625              |
|                                     | 108-120                             | XV145         | 4540              |
|                                     | 132-144                             | XV145         | 4540              |
|                                     | 150                                 | XV145         | 4988              |
|                                     | 162-168                             | XV145         | 5895              |

Figura 11. Línea de fuga del aislador de 132 kV.

$$\text{Margen de Protección a impulso tipo rayo} = \frac{LIWL}{U_{pl}} = \frac{650}{282} = 2.3 \geq 1.2$$

$$\text{Margen de Protección a impulso tipo maniobra} = \frac{SIWL}{U_{ps}} = \frac{650}{238} = 2.73 \geq 1.15$$

- Para 20 kV: ABB PEXLIM R

| Tensión máxima de red               | Tensión nominal                     | Tensión de trabajo continuo máxima 1) |                           | Capacidad de sobretensiones temporales 2) |                   | Tensión residual máxima con onda de corriente |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                     |                                     | según IEC                             | según ANSI/IEEE           | 1 s                                       | 10 s              | 30/60 µs                                      |                    |                    | 8/20 µs            |                    |                    |                    |                    |
|                                     |                                     |                                       |                           |                                           |                   | 0,5 kA                                        | 1 kA               | 2 kA               | 5 kA               | 10 kA              | 20 kA              | 40 kA              |                    |
| U <sub>m</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>r</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>C</sub><br>kV <sub>rms</sub>   | MCOV<br>kV <sub>rms</sub> | kV <sub>rms</sub>                         | kV <sub>rms</sub> | kV <sub>pico</sub>                            | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> | kV <sub>pico</sub> |
| 24 <sup>3)</sup>                    | 18                                  | 14,4                                  | 15,3                      | 20,7                                      | 19,8              | 37,1                                          | 38,5               | 40,3               | 44,0               | 46,7               | 52,3               | 59,7               |                    |
|                                     | 21                                  | 16,8                                  | 17,0                      | 24,1                                      | 23,1              | 43,2                                          | 44,9               | 47,0               | 51,3               | 54,4               | 61,0               | 69,7               |                    |
|                                     | 24                                  | 19,2                                  | 19,5                      | 27,6                                      | 26,4              | 49,4                                          | 51,3               | 53,8               | 58,7               | 62,2               | 69,7               | 79,6               |                    |
|                                     | 27                                  | 21,6                                  | 22,0                      | 31,0                                      | 29,7              | 55,6                                          | 57,7               | 60,5               | 66,0               | 70,0               | 78,4               | 89,6               |                    |
|                                     |                                     |                                       |                           |                                           |                   |                                               |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |

Figura 12. Características autoválvulas de 20 kV.

| Tensión máxima de red               | Tensión nominal                     | Revestimiento | Línea de fuga |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| U <sub>m</sub><br>kV <sub>rms</sub> | U <sub>r</sub><br>kV <sub>rms</sub> |               | mm            |
| 24                                  | 18-27                               | YV024         | 1863          |

Figura 13. Línea de fuga del aislador de 20 kV.



$$\text{Margen de Protección a impulso tipo rayo} = \frac{LIWL}{U_{pl}} = \frac{145}{70} = 2.07 \geq 1.2$$

$$\text{Margen de Protección a impulso tipo maniobra} = \frac{SIWL}{U_{ps}} = \frac{145}{57.7} = 2.51 \geq 1.15$$

#### 2.4.6. Resumen del cálculo de las autoválvulas.

Las autoválvulas escogidas cumplen con las especificaciones calculadas y cuyos parámetros se pueden observar en la tabla adjunta:

|                                        | Criterio 132 kV | Modelo 132 kV | Criterio 20 kV | Modelo 20kV |
|----------------------------------------|-----------------|---------------|----------------|-------------|
| Corriente Nominal [kA]                 | 10              | 10            | 10             | 10          |
| Clase de Descarga                      | 3               | 3             | 2              | 2           |
| Tensión Asignada (Ur) [kV]             | 119.769         | 132           | 25.77          | 27          |
| Tensión de Servicio continuo (Uc) [kV] | $\geq 87.9$     | 92            | $\geq 14.55$   | 21.6        |
| TOV (10s)                              | $\geq 111.927$  | 145           | $\geq 31.962$  | 29.7        |
| Línea de Fuga [mm]                     | $\geq 3625$     | 4540          | $\geq 600$     | 1863        |

Tabla 44. Resumen de las características de las autoválvulas.

Siendo los modelos escogidos para el lado de 132 kV el modelo **PEXLIM Q** de ABB, y para el lado de 20 kV el modelo **PEXLIM R** de ABB.



## 2.5. Cálculo de la Red de Tierras.

En este apartado se procederá al cálculo del sistema de puesta a tierra de la Subestación Eléctrica. Esta red de tierras estará constituida por dos partes, la red de tierra inferior, compuesta por el electrodo de puesta a tierra, y la red de tierra superior compuesta por pararrayos Franklin.

### 2.5.1. Red de Tierra inferior.

Los cálculos justificativos que se exponen en este subapartado se basan en lo expuesto en la ITC-RAT 13, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y en la guía IEEE Standard 80-2013, "Guide for Safety in AC Substation Grounding".

La ITC establece que toda instalación eléctrica, debe de disponer de una puesta a tierra diseñada de tal manera que sea accesible en cualquier punto dónde las personas puedan circular o permanecer, y éstas queden sometidas, cómo máximo a las tensiones de paso y contacto máximas reglamentarias, durante cualquier defecto en la red o instalación unida a ella.

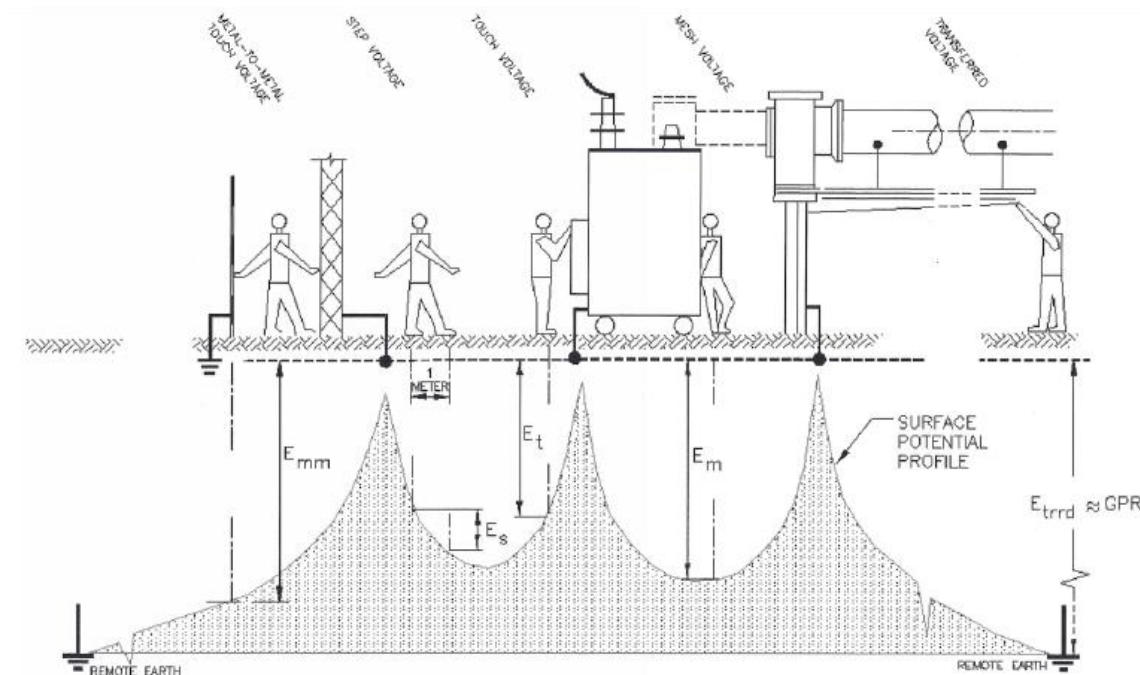


Figura 14. Tensiones de paso y contacto en la instalación.

Además, según la guía IEEE, que para una subestación eléctrica cuya puesta a tierra esté formada por una malla de varias retículas iguales los valores de tensiones de paso y contacto máximos se producen en el centro de la malla de una de las retículas de las esquinas(A), y a un metro medido en diagonal hacia el exterior de la retícula(B), respectivamente mostrándose en la siguiente imagen:

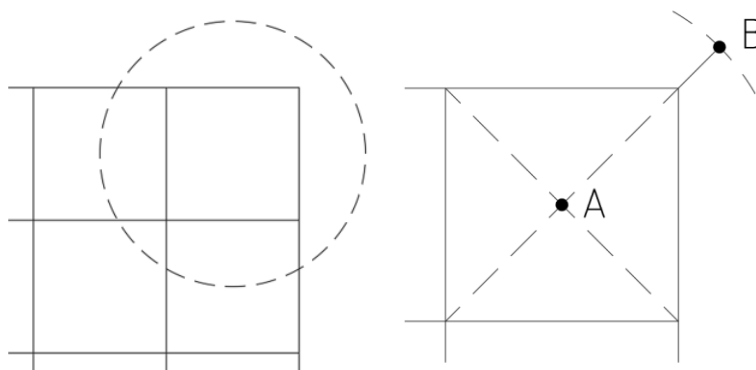


Figura 15. Tensión de paso y contacto máximas en el electrodo.

A continuación, se definirá el procedimiento seguido para el diseño de la red de tierras inferior.

#### 2.5.1.1. Procedimiento de diseño de la instalación de puesta a tierra.

Para el diseño, tanto el RAT, en su ITC-RAT-13, cómo la guía IEEE Std.80-2013 establecen que se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Investigación de las características del terreno.
2. Cálculo de las intensidades máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.
3. Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles en la instalación.
4. Diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra.
5. Cálculo de la resistencia del electrodo de puesta a tierra.
6. Cálculo de la sección del conductor de la malla de puesta a tierra.
7. Cálculo de las tensiones de paso y contacto presentes.
8. Comprobar que las tensiones de paso y contacto calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles.
9. Investigación de las tensiones transferibles al exterior.
10. Validez del diseño, corrección y ajuste del diseño inicial, estableciendo el definitivo.

#### 2.5.1.2. Investigación de las características del suelo.

La obtener el valor exacto de la resistividad del terreno se debería tomarse el valor medio obtenido del ensayo de resistividad del terreno una vez se ha realizado la explanación. Sin embargo, suele ser común realizar una adecuación del terreno con el objetivo de obtener valores de resistividad más bajos, y garantizando la homogeneidad del terreno.

En el caso que ocupa el terreno tiene una resistividad media de  $200 \Omega \cdot m$ , pero en la zona dónde irá ubicada la subestación se procedió a realizar una excavación de 1,5 metros y se ha rellenado con tierra vegetal con una resistividad de  $50 \Omega \cdot m$ .

$$\rho = 50 \Omega \cdot m$$

Con el objetivo de aumentar la resistencia de contacto de los pies con el suelo, y por tanto disminuir las tensiones de paso y contacto, el terreno de la subestación eléctrica estará cubierto por grava formando una capa de 10 cm de espesor en las zonas donde no existen viales. En los viales, se aplicará una capa de 5 cm de asfalto, y además se realizarán Acerados en el edificio de control con un espesor de 20 cm.

Por lo tanto, los valores de resistividad con los que trabajaremos serán:

- $\rho_{\text{terreno,ext}} = 200 \, \Omega \cdot \text{m}$ , para el terreno exterior de la subestación.
- $\rho_{\text{Grava}} = 3000 \, \Omega \cdot \text{m}$ , para la capa superficial de grava (excepto pasillos).
- $\rho_{\text{Asfalto}} = 5000 \, \Omega \cdot \text{m}$ , para los pasillos o viales de la subestación.
- $\rho_{\text{Hormigón}} = 2500 \, \Omega \cdot \text{m}$ , para la acera perimetral de hormigón.

#### 2.5.1.3. Cálculo de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.

El tiempo de despeje de la falta según el reglamento, en la ITC-RAT-13, se establece en que la duración del defecto será de 0.5 segundos para el cálculo de las tensiones de paso y contacto, y de 1 segundo para el dimensionamiento de la sección de los conductores.

La intensidad de cortocircuito es un dato que facilita la empresa Distribuidora, en este caso Endesa nos facilita unos valores de defecto:

- Intensidad de cortocircuito trifásico: 19.7 kA
- Intensidad de cortocircuito a tierra (Intensidad a tierra  $3 \cdot I_0$ ): 20.6 kA
- Intensidad de cortocircuito a tierra (Intensidad por fase): 18.4 kA

Además, la intensidad  $I_g$  que circula por el electrodo de tierra de la subestación es solo una fracción de la intensidad de defecto a tierra debido a dos efectos.

- La tierra de la SE está conectada con los cables de tierra de las líneas aéreas o las pantallas de los cables aislados, por lo que la intensidad de defecto circula también a través de estos.
- Por lo tanto, la impedancia de puesta a tierra de la malla queda en paralelo con las impedancias de cadena infinita de las líneas que salen o entran en la subestación.

#### 2.5.1.4. Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles en la instalación.

Siguiendo lo establecido en la ITC-RAT-13, las ecuaciones para el cálculo las tensiones de paso ( $U_p$ ) y contacto ( $U_c$ ) admisibles máximas en la instalación son:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left( 1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1.5\rho_s}{1000} \right)$$

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left( 1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{1000} \right)$$

Dónde,

$U_{ca}$ , se obtiene de la Tabla/Figura 1 de la ITC-RAT-13, y representa el valor de la tensión de contacto aplicada admisible entre un mano y los pies en función de la duración de la falta, siendo su valor  $U_{ca} = 204 \, \text{V}$ .

$R_{a1}$ , es la resistencia que presenta el calzado y se considerará un valor de  $2000 \, \Omega$ .

$\rho_s$  es la resistividad del acabado superficial aparente en  $\Omega \cdot \text{m}$ .

- **Cálculo de las resistividades superficiales.**

Puesto que en la subestación presenta diferentes capas de acabado superficial se hace necesario el cálculo las resistividades aparentes para cada uno de los materiales empleados, para su cálculo se empleará la siguiente ecuación:

$$\rho_s = C_s \cdot \rho^* = \left[ 1 - 0.106 \cdot \left( \frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2 \cdot h_s + 0.106} \right) \right] \cdot \rho^*$$

| Acabados superficiales | Resistividad de la capa superficial $\rho^* [\Omega \cdot m]$ | Espesor de la capa superficial $h_s [m]$ | Resistividad del terreno inferior $\rho [\Omega \cdot m]$ | Resistividad Superficial Aparente $\rho_s [\Omega \cdot m]$ |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Parte interior (Grava) | 3000                                                          | 0.1                                      | 50                                                        | <b>1978.105</b>                                             |
| Acerado (Hormigón)     | 2500                                                          | 0.2                                      | 50                                                        | <b>1986.759</b>                                             |
| Vial (Asfalto)         | 5000                                                          | 0.05                                     | 50                                                        | <b>2452.913</b>                                             |

Tabla 45. Cálculo de la resistividad superficial.

- **Cálculo de las Tensiones de paso y contacto máximas admisibles.**

Una vez se han calculado las resistividades aparentes se procede al cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas reglamentarias.

| Acabados superficiales            | Resistividad de la capa superficial $\rho^* [\Omega \cdot m]$ | Tensión de contacto máxima admisible $U_c [V]$ | Tensión de paso máxima admisible $U_p [V]$ |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Interior de la Instalación</b> |                                                               |                                                |                                            |
| Grava                             | 1978.105                                                      | <b>1013.3</b>                                  | <b>34412</b>                               |
| Acerado                           | 1986.759                                                      | <b>1015.948</b>                                | <b>34517.929</b>                           |
| Vial                              | 2452.913                                                      | <b>1158.591</b>                                | <b>40223.650</b>                           |
| <b>Exterior de la Instalación</b> |                                                               |                                                |                                            |
| Terreno exterior                  | 200                                                           | <b>469.2</b>                                   | <b>12648</b>                               |

Tabla 46. Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles.

#### 2.5.1.5. Diseño preliminar de la red de tierras.

Siguiendo el apartado 7.7 de la guía SRZ001, con el fin de obtener valores admisibles de tensiones de paso y contacto en el exterior, el electrodo se extenderá 1 metro por fuera de la valla exterior, y dicho vallado deberá estar conectado en tramos regulares a dicha red de tierras mediante latiguillos a tierra.

Partiendo de que las dimensiones de la subestación eléctrica, son de 78x42 metros, el área del electrodo de puesta a tierra será de  $A = 80m \cdot 44m = 3520m^2$ .

Para comenzar se partirá de un diseño formado por conductor de cobre desnudo, enterrado a una profundidad de 0.8 metros, a partir del nivel de terreno obtenido en la explanación.

Dicho conductor formará retículas 4x4 metros y se extenderá por todas las zonas ocupadas por las instalaciones, incluyendo apartamento, cerramientos y edificios.

#### 2.5.1.6. Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Tomando como referencia para el diseño de la puesta a tierra, la guía IEEE Std. 80-2013 (ap. 14.1), se define la resistencia de puesta a tierra de la malla de forma simplificada a partir de la siguiente ecuación:

$$R_g = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Dónde,

$\rho$ , resistividad media del terreno dónde está ubicada la subestación, 50  $\Omega \cdot m$

$L$ , longitud total del conductor enterrado.

$A$ , superficie cubierta por la red de tierras.

$h$ , profundidad de la malla, establecida en 0.8 m.

$$A = 80 \cdot 44 = 3520 \text{ m}^2$$

$$L = 80 \cdot \frac{80}{4} + 44 \cdot \frac{44}{4} = 2084 \text{ m}$$

Por lo que la resistencia equivalente de la malla es:

$$R_g = 50 \cdot \left[ \frac{1}{2084} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3520}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \sqrt{\frac{20}{3520}}} \right) \right] = \mathbf{0.3902 \Omega}$$

#### 2.5.1.7. Cálculo de la sección del conductor de puesta a tierra

La corriente máxima de puesta a tierra es  $I_d = 20.6 \text{ kA}$  y el material empleado para la puesta a tierra es cobre recocido. Según el ap. 3 de la ITC-RAT-13, la sección mínima a tener en cuenta para cobre es de 50  $\text{mm}^2$ , para el dimensionamiento de las secciones el tiempo mínimo a considerar será de 1 segundo y no podrá superarse la densidad de corriente de 160  $\text{A/mm}^2$  para el conductor de cobre.

La sección del conductor deberá ser mayor que la calculada a partir de la siguiente fórmula establecida en el ap. 11.3.1 de la guía IEEE Std. 80.

$$I = S_{\text{mm}^2} \cdot \sqrt{\frac{\text{TCAP} \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \cdot \ln \left( \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}$$

Y despejando la sección de la ecuación queda:

$$S = I \cdot \sqrt{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{\text{TCAP} \cdot \ln \left( \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}}$$

Donde,

$I$ , es la corriente máxima de falta hacia la red de tierras, (20.6 kA).

$$K_0 = \frac{1}{\alpha_0} = 234 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T_m$ , es la temperatura máxima admisible (200°C)

$T_a$ , es la temperatura ambiente (28°C)

$\alpha_r$ , coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia 20°C ( $\alpha_r = 0.00393 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\alpha_0$ , coeficiente térmico de resistividad a 0°C. ( $\alpha_0 = 0.0042735 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\rho_r$ , resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia 20°C ( $\rho_r = 1.72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ )

$t_c$ , tiempo de duración de la falta en segundos (1s)

TCAP, es el factor de capacidad térmica. ( $\text{TCAP}_{\text{Cu}} = 3.4 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ )

$$S = 20.6 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 0.00393 \cdot 1.72 \cdot 10^4}{3.4 \cdot \ln\left(\frac{324 + 200}{324 + 28}\right)}} = 145.62 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, el conductor a emplear para la malla de tierra, será cobre de 150 mm<sup>2</sup> de sección, y por lo tanto para ver si cumple con lo establecido en la normativa, se muestra a continuación el cálculo de la densidad de corriente del conductor.

$$J = \frac{I_d}{S} = \frac{20.6 \cdot 10^3 \text{ A}}{150 \text{ mm}^2} = 137.33 \text{ A/mm}^2$$

Puesto que la densidad de corriente presente en el conductor es menor que 160 A/mm<sup>2</sup>, por lo que el conductor empleado cumple con la normativa.

#### 2.5.1.8. Cálculo de las tensiones de paso y contacto presentes en la instalación.

Siguiendo la guía IEEE Std. 80-2013, en su apartado 16, se recogen las expresiones para estimar las tensiones de contacto y paso que se pueden producir en la instalación, vienen definidas por las siguientes expresiones:

$$U'_c = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_M}$$

$$U'_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_S}$$

Donde,

$\rho$ , es la resistividad media del terreno, cuyo valor es 50  $\Omega \cdot \text{m}$

$I_g$ , es la intensidad máxima de PaT que puede circular por la red de tierras, en Amperios.

$K_m$ , es el factor geométrico de espaciado entre los conductores para tensión de contacto.

$K_i$ , es el factor de corrección por el efecto de mayor densidad de corriente en los extremos de la malla.

$K_s$ , es el factor geométrico de espaciado entre conductores para tensión de paso.

$L_M$ , es la longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de contacto, en m.

$L_S$ , es la longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso, en m.

Las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo de los factores geométricos y las longitudes efectivas son las que se detallan a continuación:

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(d + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} + \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} \cdot (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$L_M = L_C + L_R$$

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \quad K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} \quad n = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \cdot \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

Dónde,

D, es la separación media entre conductores del electrodo, siendo 4 m.

d, es el diámetro de los conductores de la red de tierras,  $d = \sqrt{4 \cdot \frac{S}{\pi}} \cdot 10^{-3} = 13.82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

h, es la profundidad de instalación de los conductores, 0.8 m

n, es el número equivalente de conductores en paralelo que forman la malla

L<sub>C</sub>, es la longitud total de conductores enterrados que forman la malla sin tener en cuenta las picas, 2084 m

L<sub>R</sub>, es la longitud total de picas enterradas, puesto que no se han instalado 0 m

L<sub>P</sub>, es la longitud perimetral de la malla de tierra,  $L_P = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 44 = 248 \text{ m}$

A, es el área de la malla de tierra en 3520 m<sup>2</sup>

h<sub>0</sub>, es la profundidad de referencia de las mallas de tierra, 1 m

Realizando los cálculos se obtiene que:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.8}{1}} = \mathbf{1.3416} \quad n = \frac{2 \cdot 2084}{248} \cdot \sqrt{\frac{248}{4 \cdot \sqrt{3520}}} = \mathbf{17.18} \quad K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 17.18)^{\frac{2}{17.18}}} = \mathbf{0.6625}$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot 17.18 = \mathbf{3.1867}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \ln \left( \frac{4^2}{16 \cdot 0.8 \cdot 0.01382} + \frac{(0.01382 + 2 \cdot 0.8)^2}{8 \cdot 4 \cdot 0.01382} + \frac{0.8}{4 \cdot 0.01382} \right) + \frac{0.6625}{1.3416} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot 17.18 - 1)} \right) \right] = \mathbf{0.60665}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2 \cdot 0.8} + \frac{1}{4 + 0.8} + \frac{1}{4} \cdot (1 - 0.5^{17.18-2}) \right] = \mathbf{0.34483}$$

$$L_M = L_C + L_R = 2084 + 0 = \mathbf{2084 \text{ m}}$$

$$L_S = 0.75 \cdot 2084 + 0.85 \cdot 0 = \mathbf{1563 \text{ m}}$$

Por lo que las tensiones de paso y contacto presentes teóricamente en la instalación serán:

$$U'_c = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_M} = \frac{50 \cdot 0.60665 \cdot 3.1867 \cdot 20.6 \cdot 10^3}{2084} = \mathbf{955.487 \text{ V}}$$

$$U'_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_S} = \frac{50 \cdot 0.34483 \cdot 3.1867 \cdot 20.6 \cdot 10^3}{1563} = \mathbf{724.154 \text{ V}}$$



#### 2.5.1.9. Comprobación de las tensiones de paso y contacto.

Para comprobar si el diseño de la malla cumple con lo establecido en el reglamento, se muestra a continuación una comparativa de las tensiones de paso y contacto que se dan en la subestación para las diferentes zonas que existen dentro de ella.

Se debe verificar que  $U_c > U'_c$  y  $U_p > U'_p$ , por lo que para que se pueda ver mejor los resultados se muestran en la siguiente gráfica:

| Acabados superficiales            | Tensión de contacto máxima admisible $U_c$ [V] | Tensión de contacto $U'_c$ [V] | Tensión de paso máxima admisible $U_p$ [V] | Tensión de paso $U'_p$ [V] |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Interior de la Instalación</b> |                                                |                                |                                            |                            |
| <b>Grava</b>                      | 1013.300                                       | 955.487                        | 34412                                      | 724.154                    |
| <b>Acerado</b>                    | 1015.948                                       | 955.487                        | 34517.929                                  | 724.154                    |
| <b>Vial</b>                       | 1158.591                                       | 955.487                        | 40223.650                                  | 724.154                    |
| <b>Exterior de la Instalación</b> |                                                |                                |                                            |                            |
| <b>Terreno</b>                    | 469.200                                        | 955.487                        | 12648                                      | 724.154                    |

Tabla 47. Comparativa de las tensiones de paso y contacto.

El único caso en el que no se cumple es en el exterior de la instalación, por lo que se deberá adoptar unas medidas adicionales, para que desde el exterior no se pueda acceder a ningún elemento en tensión, en el [ap. 2.5.1.11](#) se expondrán las medidas adicionales.

#### 2.5.1.10. Investigación de las tensiones transferibles al exterior

En esta instalación no existen elementos que no se encuentren debidamente protegidos, por lo que se ha asegurado que tuberías, railes, vallas, conductores de neutro, pantallas de conductores aislados, circuitos de señalización están debidamente aislados con el fin de evitar tensiones transferibles al exterior y puntos especialmente peligrosos.

#### 2.5.1.11. Validez del diseño y medidas adicionales.

Cómo se ha mencionado en el apartado anterior, puesto que las tensiones de paso y contacto cumplen con lo establecido en el reglamento, se deben adoptar medidas adicionales.

Con el objetivo de aumentar la resistencia de contacto que tienen los pies con el suelo, y por tanto disminuir las tensiones de paso y contacto, se extenderá una capa superficial de grava, junto al vallado perimetral una distancia de 1.20 metros y con un espesor de 10cm.

| Acabados superficiales      | Resistividad de la capa superficial $\rho^*$ [ $\Omega \cdot m$ ] | Espesor de la capa superficial $h_s$ [m] | Resistividad del terreno inferior $\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ] | Resistividad Superficial Aparente $\rho_s$ [ $\Omega \cdot m$ ] |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Grava en el exterior</b> | 3000                                                              | 0.1                                      | 200                                                           | <b>2030.065</b>                                                 |

Tabla 48. Resistividad superficial de la grava en terreno exterior.



| Acabados superficiales     | Tensión de contacto máxima admisible $U_c$ [V] | Tensión de contacto $U'_c$ [V] | Tensión de paso máxima admisible $U_p$ [V] | Tensión de paso $U'_p$ [V] |
|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Exterior de la Instalación |                                                |                                |                                            |                            |
| Grava                      | 1029.200                                       | 955.487                        | 35048                                      | 724.154                    |

Tabla 49. Comprobación del cumplimiento de la medida adicional.

Como se puede observar a partir de esta medida adicional, se satisface la protección en el exterior del recinto, siendo la tensión de contacto presente en la instalación menor que la máxima admisible.

Asegurando que desde el exterior no se puede acceder a ningún elemento en tensión.

Por lo que la malla o electrodo de puesta a tierra, estará enterrado a una profundidad de 0.8 m, tendrá unas dimensiones de 80x40 m, formando retículas de 4x4m, y constituida por un conductor desnudo de cobre de 150 mm<sup>2</sup> de sección y las uniones se realizarán mediante soldadura aluminotérmica.

## 2.5.2. Red de Tierra Superior

Con el propósito de disminuir las faltas a tierra debidas a descargas atmosféricas, en las subestaciones se pueden emplear cables de guarda tendidos entre los pórticos de los extremos de la subestación, pero puesto que en esta instalación solo existe un pórtico de entrada/salida, se instalarán pararrayos Franklin, para asegurar una correcta protección de los equipos, y éstos se dispondrán de dos en dos de forma que el área de protección englobe totalmente el parque exterior de alta tensión.

A partir de la serie de normas UNE-EN 62305 se proporciona una referencia internacional para evaluar el riesgo debido al rayo y para diseñar y proyectar el sistema de protección correspondiente.

Para el cálculo de dicha protección se seguirá lo establecido en la norma IEEE Std. 998-2012 siguiendo el modelo electrogeométrico de la descarga de un rayo descrito en el apartado 6, y el anexo G.

Un esquema visual para la correcta apreciación el apantallamiento provisto por estos elementos se puede observar en la siguiente imagen dónde la zona protegida creada por las puntas franklin, separadas una distancia  $2 \cdot S_g$  y a una altura  $h$ , puede determinarse teniendo en cuenta el radio de captación de cada punta  $R_g$  y la altura de captación directa a tierra  $y_g$ . Por lo tanto, las zonas de captación del rayo se determinan gráficamente trazando sendos casquetes esféricos de radio  $R_g$ , con centros en cada uno de los extremos de las puntas Franklin,  $F_1$  y  $F_2$ , que cortarán el plano horizontal (H) situado a la altura  $R_g$ . Los rayos que accedan a los casquetes esféricos  $C_1$  y  $C_2$  serán captados por las puntas Franklin  $F_1$  y  $F_2$ , respectivamente y los que accedan al plano horizontal H impactarán a tierra.

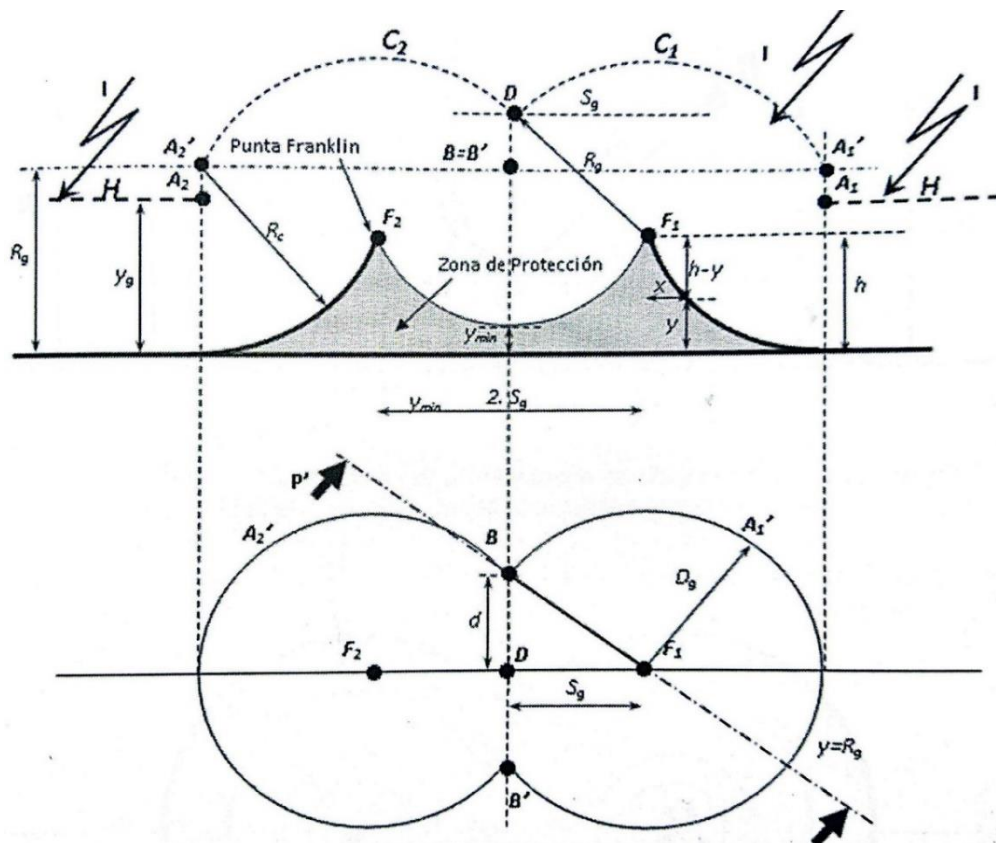


Figura 16. Detalle del área de protección de las puntas franklin.

Según dicho modelo electro-geométrico, hasta que la descarga atmosférica no se encuentra a una distancia crítica de cebado del punto de impacto  $S$  en metros, el punto de descarga del rayo no está determinado, describiéndose esta distancia  $S$  como el radio de captación de la punta Franklin.

$$S = R_g = 8 \cdot k \cdot I_s^{0.65}$$

Dónde,

$k$  depende del elemento de captación del rayo, y para puntas Franklin se considera un valor de 1.2 puesto que su área de captación es un 20% superior con respecto a los cables de guarda.

$I_s$  es la corriente del rayo en kA y viene definida por la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{1,1 \cdot U_s}{Z_s/2} = \frac{2,2 \cdot U_s}{Z_s}$$

Siendo:

**1,1** es un factor aplicado con el fin de tener en cuenta la reducción de la corriente de impacto que termina en un conductor en comparación con la impedancia cero de la tierra.

$U_s$  es la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo 650 kV de cresta.

$Z_s$  es la impedancia de onda vista por la descarga atmosférica en ohmios, y viene definida por la siguiente expresión:

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{2 \cdot h}{R_c}\right) \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{r}\right)}$$

Dónde,

$h$ : Altura media de los conductores sobre el suelo, 4.5 (m).

$r$ : Radio equivalente del conductor (m).

$R_c$ : Radio corona general (m), determinado por iteración con la expresión:

$$R_c = \frac{U_s \text{ [kV]}}{1500 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{R_c}\right)} \approx 0.09528 \text{ m}$$

Por lo tanto, considerando que la

$$r = \frac{25.28 \text{ mm}}{2} = 12.64 \text{ mm}$$

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{2 \cdot 4.5}{0.09528}\right) \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 4.5}{12.64 \cdot 10^{-3}}\right)} = 327.93 \Omega$$

$$I_s = \frac{2,2 \cdot U_s}{Z_s} = \frac{2,2 \cdot 650}{327.93} = 4.36 \text{ kA}$$

El radio de captación de la punta franklin es:

$$R_g = S = 8 \cdot 1.2 \cdot 4.36^{0.65} = 25 \text{ m}$$

Siendo la altura mínima de captación a tierra  $y_g = 8 \cdot I_s^{0.65} = 8 \cdot 4.36^{0.65} = \mathbf{20.83\ m}$ .

Por lo tanto, al obtener un radio de captación tan grande se instalarán puntas franklin con una altura de 12 metros, separadas entre sí 15 metros, maximizando el área de protección provista por las mismas.

A partir del diseño propuesto se procede a calcular la altura mínima de protección, y comprobando que esta sea mayor a la altura máxima presente en la subestación.

$$S_g = 7.5\ \text{m}$$

$$h = 12\ \text{m}$$

$$R_g = 25\ \text{m}$$

$$y_{\min} = R_g - \sqrt{S_g^2 + (R_g - h)^2} = 25 - \sqrt{7.5^2 + (25 - 12)^2} = \mathbf{10\ m}$$

Cómo se puede apreciar la altura mínima de protección es superior a la altura del embarrado que es de 6 metros ([ap.2.3](#)), por lo tanto, el sistema planteado es válido.

## 2.6. Cálculo de la corriente de cortocircuito en el sistema de media tensión.

En este apartado se calculará de la corriente de cortocircuito trifásica para el parque de media tensión.

El cálculo se realizará de forma simplificada, asumiendo que el único elemento resistivo entre el embarrado de 132 kV y las celdas de 20 kV que aparece es el transformador de potencia.

Para la realización del cálculo se ha seguido lo expuesto en la norma IEC 60909-0:2016. Además, se considerará que las impedancias son de carácter inductivo.

El esquema equivalente para el cálculo de la corriente de cortocircuito para un embarrado de media tensión es el que se muestra en la siguiente imagen:

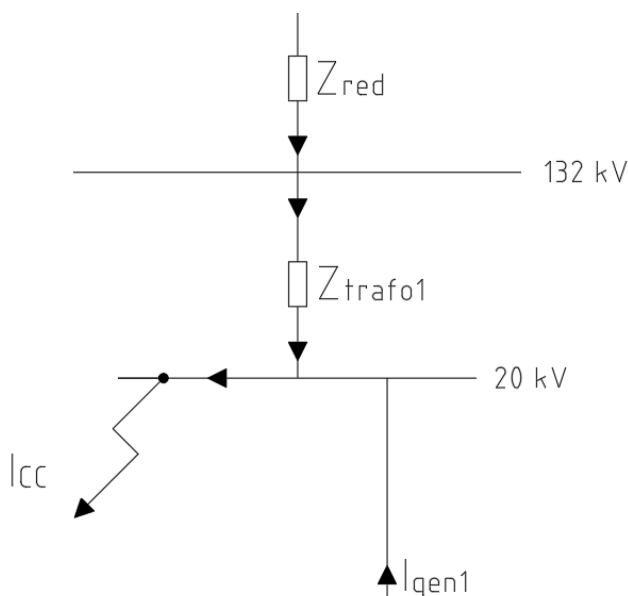


Figura 17. Esquema del cortocircuito en MT.

$$Z_{RED}^{AT} = \frac{(U_N)^2}{S_{CC}} = \frac{(132 \cdot 10^3)^2}{2250 \cdot 10^6} = j7.74 \Omega$$

$$Z_{TRAFO}^{AT} = \frac{U_{cc}[\%]}{100} \cdot \frac{(U_N)^2}{S_N} = \frac{10}{100} \cdot \frac{(132 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = j69.7 \Omega$$

Siguiendo el esquema se puede ver que las impedancias se encuentran en serie, por lo tanto:

$$Z_{CC}^{AT} = Z_{RED}^{AT} + Z_{TRAFO1}^{AT} = j7.74 + j69.7 = j77.44 \Omega$$

Según la norma la corriente de cortocircuito máxima viene definida por la siguiente expresión según la norma IEC 60909-0:

$$I_{CC}^{AT} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_{CC}^{AT}|} = \frac{1.1 \cdot 132 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot |77.44|} = 1082.53 \text{ A}$$

Y por consiguiente pasando dicha intensidad al nivel de media tensión:

$$I_{CC}^{MT} = m \cdot I_{CC}^{AT} = \frac{132}{20} \cdot 1082.53 = 7.145 \text{ kA}$$

Una vez calculada la corriente de cortocircuito aportada por la red, se deberá tener en cuenta la intensidad aportada por las líneas de generación.

$$I_{gen} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 721.69 \text{ A}$$

Por lo tanto, la intensidad vista en el embarrado de media tensión será:

$$I_{CC_T}^{MT} = I_{CC}^{MT} + I_{gen} = 7145 \text{ A} + 721.69 \text{ A} = \mathbf{7.867 \text{ kA}}$$

Por lo que esta intensidad será empleada para la comprobación ante cortocircuito de los conductores de SSAA.

### 3 ANEXO II: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.

#### 3.1. Objeto.

El objetivo del presente estudio básico de seguridad y salud es establecer pautas generales para reducir en la medida lo posible las enfermedades en el ámbito laboral y los accidentes en la instalación, así como reducir las consecuencias de estos accidentes durante la ejecución la ejecución del proyecto.

#### 3.2. Normativa aplicada.

El presente estudio se ha realizado acorde a lo expuesto en las siguientes normativas y leyes.

- Ley 31/1995 sobre la Prevención de Riesgos Laborales, de 8 de noviembre.
- R.D. 1627/1997 del 24 de octubre en el cual se establecen los criterios de planificación, control y desarrollo de los medios y medidas de Seguridad y Salud que deben tenerse presentes en la Ejecución de los Proyectos de Construcción.
- R.D. 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- R.D. 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9 de marzo de 1971), en los Capítulos y Artículos no derogados por la Ley 31/95.
- Notificación de accidentes de trabajo (O.M. 16 de diciembre de 1987).
- Convenios Colectivos Provinciales de la Construcción.

Durante el transcurso de la obra, será necesario cumplir con cualquier otra norma oficial relacionada con la seguridad y salud laboral que pueda tener un impacto en los trabajos realizados en la obra.

#### 3.3. Datos generales.

##### 3.3.1. Tipo de trabajo.

El trabajo en la ejecución del proyecto de una subestación eléctrica elevadora de 20/132 kV consiste principalmente en desarrollar de las siguientes fases de construcción principales.

- Realización del acondicionamiento de los accesos.
- Realización de las cimentaciones de los bastidores y las estructuras metálicas.
- Realización de las canalizaciones para el cableado, drenajes y conductores de tierra.
- Montaje de contenedores prefabricados, para protección de los equipos de la intemperie.
- Montaje de la instalación eléctrica B.T. y sus respectivos cuadros y cableado.

### **3.3.2. Actividades principales.**

Las principales tareas a realizar los trabajos que se han detallado son principalmente los siguientes:

- Replanteo, excavación y cimentación.
- Manipulación de materiales.
- Transporte de equipos y materiales al interior de la instalación.
- Tendido y cableado de los conductores.
- Montaje de los cerramientos.
- Realización del engravillado y los diferentes acabados superficiales.

### **3.3.3. Situación y cronología.**

La instalación se halla en el término municipal de Ibros, provincia de Jaén, y se presenta una climatología continental, con inviernos fríos y veranos calurosos.

### **3.3.4. Plazo de ejecución.**

El periodo aproximado para la ejecución de las obras del presente proyecto es de 8 meses.

### **3.3.5. Número de operarios previstos.**

El número aproximado de trabajadores totales previstos, para realizar las distintas actividades del proyecto, será de unos 7, pudiéndose estimar una punta máxima de 10 empleados.

### **3.3.6. Oficios.**

La mano de obra necesaria prevista la compondrán operarios de los siguientes oficios:

- Jefes de equipo, mandos de brigada.
- Encofradores.
- Ferrallistas.
- Albañiles.
- Pintores.
- Gruistas y maquinistas.
- Especialistas de acabados diversos.
- Ayudantes.

Estando la mano de obra indirecta formada por:

- Jefes de Obra.
- Técnicos de ejecución, de control de calidad, y de seguridad.
- Encargados.
- Administrativos.

### **3.3.7. Maquinaria y medios auxiliares.**

Los medios auxiliares y la maquinaria más significativos que se utilizarán para la correcta ejecución de los trabajos realizados objeto del presente estudio, se definen a continuación.



|                                              |                                                        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Equipo de soldadura eléctrica.               | Cortatubos.                                            |
| Equipo de soldadura oxiacetilénica-oxicorte. | Curvadoras de tubos.                                   |
| Máquina eléctrica de roscar.                 | Radiales y esmeriladoras.                              |
| Camión de transporte.                        | Trácteles, poleas, aparejos, eslingas, grilletes, etc. |
| Grúa móvil.                                  | Máquina de excavación con martillo hidráulico.         |
| Camión grúa.                                 | Máquina retroexcavadora mixta.                         |
| Pistolas de fijación.                        | Hormigoneras autopropulsadas.                          |
| Taladradoras de mano.                        | Camión volquete.                                       |
| Retroexcavadora.                             | Máquina niveladora.                                    |
| Compactadora.                                | Compresor y vibrador.                                  |
| Cabestrante de izado.                        | Martillo rompedor y picador, etc.                      |

*Tabla 50. Maquinaria y medios auxiliares.*

### **3.3.8. Instalaciones eléctricas provisionales.**

Los contratistas instalarán cuadros de distribución con tomas de corriente alimentadas desde las instalaciones de la propiedad o mediante grupos electrógenos, para obtener suministro de energía para las máquinas y herramientas eléctricas propias de los trabajos objeto del presente estudio.

## **3.4. Análisis de riesgos.**

El uso de maquinaria, medios auxiliares y manipulación de instalaciones, máquinas o herramientas eléctricas, así como las actividades de ejecución previstas, se analizarán a continuación.

### **3.4.1. Riesgos generales.**

Los riesgos generales son aquellos que pueden afectar a todos los trabajadores, sin importar su actividad específica. Se espera que puedan dar los siguientes:

- Caídas de personas al mismo o distinto nivel.
- Caídas de objetos o componentes sobre personas.
- Proyecciones de partículas a los ojos.
- Conjuntivitis por arco de soldadura u otros.
- Heridas en manos o pies por manejo de materiales.
- Golpes y cortes por manejo de herramientas.
- Golpes contra objetos.
- Sobreesfuerzos.
- Atrapamiento entre objetos.
- Quemaduras por contactos térmicos.
- Exposición a descargas eléctricas.
- Incendios y explosiones.
- Atrapamiento por vuelco de máquinas, vehículos o equipos.
- Atropellos o golpes por vehículos en movimiento.

### 3.4.2. Riesgos específicos.

Estos se refieren a los riesgos asociados con actividades particulares que solo afectan al personal que trabaja en ellas, por lo que además este personal también estará expuesto a los riesgos generales mencionados en el punto anterior.

#### 3.4.2.1. Movimiento de tierras.

Los riesgos asociados con los trabajos derivados del movimiento de tierras por excavaciones o rellenos son los siguientes:

- Atropello y colisiones.
- Vuelcos de vehículos por diversas causas (malas condiciones del terreno, exceso de carga., durante las descargas, etc.).
- Desprendimiento o deslizamiento de tierras.
- Contactos eléctricos (de maquinaria con líneas eléctricas enterradas o aéreas, falta de señalización de la ubicación de líneas enterradas...).
- Carga de materiales de las palas o cajas de los vehículos.
- Caídas de objetos por desplome o derrumbamiento (sobrecargas en bordes de excavación,
- inexistencia de taludes, filtraciones de agua, excavación bajo el nivel freático...).
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Exposición a sustancias nocivas o tóxicas (ambiente con exceso de polvo).
- Accidentes causados por seres vivos (presencia de parásitos e insectos).
- Riesgos a terceros ajenos al propio trabajo.

#### 3.4.2.2. Trabajos con hormigón.

Los riesgos asociados con los trabajos con hormigón son los siguientes:

- Hundimiento, rotura o caída de encofrados.
- Salpicaduras de hormigón a los ojos.
- Aplastamiento o atrapamiento por fallo de entibaciones.
- Electrocutión por ambientes húmedos.
- Dermatitis en la piel.
- Salpicaduras de hormigón a los ojos.
- Torceduras de pies, pinchazos, tropiezos y caídas al mismo y a distinto nivel, al moverse sobre las estructuras.

#### 3.4.2.3. Trabajos de encofrado y desencofrado.

Los riesgos asociados con los trabajos de encofrado y desencofrado son los siguientes:

- Cortes y heridas en manos por manejo de herramientas (sierras, cepillos, etc.) y materiales.
- Pinchazos con objetos punzantes.
- Desprendimiento de tableros.
- Caída de elementos del encofrado durante las operaciones de desencofrado.
- Caída de materiales (tableros, tablones, puntales, etc.).

#### 3.4.2.4. Transporte de materiales y equipos dentro de la obra.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Choques contra otros vehículos o máquinas.
- Vuelcos y atropellos de personas.
- Golpes contra partes salientes de la carga.
- Golpes o enganches de la carga con objetos, instalaciones o tendidos de cables.
- Desprendimiento o caída de la carga, o parte de la misma, por ser excesiva o estar mal sujeta.

#### 3.4.2.5. Maniobras de izado, situación en obra y montaje de equipos y materiales.

Los riesgos asociados con los trabajos son los siguientes:

- Atrapamientos de manos o pies.
- Aprisionamiento/aplastamiento de personas por movimientos incontrolados de la carga.
- Golpes de equipos, en su izado y transporte, contra otras instalaciones (estructuras, líneas eléctricas, etc.), caída o vuelco de los medios de elevación.
- Caída de personas desde altura en operaciones de estrobo o desestrobo de las piezas.
- Caída de materiales, equipos o componentes de los mismos por fallo de los medios de elevación o error en la maniobra.
- Caída de pequeños objetos o materiales sueltos (cantoneras, herramientas, etc.) sobre personas.

#### 3.4.2.6. Trabajos con ferralla.

Los riesgos asociados con los trabajos con ferralla son los siguientes:

- Atrapamientos en las operaciones de carga y descarga de paquetes de barras o en la colocación de las mismas.
- Roturas eventuales de barras durante el doblado.
- Cortes y heridas en el manejo de las barras o alambres.
- Exposición a agentes físicos: radiaciones no ionizantes y proyecciones de fragmentos o partículas (operaciones de soldadura y oxicorte).
- Torceduras de pies, tropiezos y caídas al mismo nivel al caminar sobre las armaduras.

#### 3.4.2.7. Montaje de estructuras prefabricadas y cerramientos

Los riesgos asociados con el montaje son los siguientes:

- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento (desplome de piezas prefabricadas).
- Caída de personas desde altura por diversas causas.
- Caída de materiales por la mala ejecución de la maniobra de izado y acoplamiento de los mismos o fallo mecánico de equipos.
- Exposición a contaminante químico: humos metálicos (procesos de soldadura).
- Explosiones o incendios por el uso de gases o por proyecciones incandescentes.
- Atrapamiento de pies o manos en el manejo de los materiales o equipos.

#### 3.4.2.8. Montaje de instalaciones. Albañilería y pintura.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Proyección de fragmentos o partículas (en el corte de piezas, en trabajos con pasta, gotas de pintura, motas de pigmentos...).
- Caídas de personas a distinto nivel (trabajos junto a huecos horizontales o verticales, uso de escaleras, andamios colgados...)

#### 3.4.3. **Maquinaria y medios auxiliares**

Este apartado examina los peligros que pueden surgir en el uso de maquinaria y medios auxiliares relacionados, además de los generales descritos en el [ap. 3.3.7.](#)

##### 3.4.3.1. Máquinas fijas y herramientas eléctricas.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Caídas de personal al mismo, o distinto nivel.
- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- Choques o contacto con objetos o elementos móviles.
- Golpes o cortes por objetos o herramientas.
- Pisadas sobre objetos.
- Sobreesfuerzos.
- Quemaduras.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Atropellos o golpes con vehículos.
- Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos.
- Atrapamiento por o entre objetos.
- Contactos térmicos o eléctricos.
- Exposición a agentes físicos: ruido, vibraciones...
- Riesgo eléctrico.
- Explosiones e incendios.
- Exposición a sustancias nocivas o tóxicas (emanación de gases tóxicos).
- Exposición a temperaturas ambientales extremas.
- Trastornos musculoesqueléticos.
- Lesiones por malas condiciones, o por uso inadecuado de las máquinas giratorias o de corte.
- Las características de trabajo de los elementos con tensión eléctrica en los que pueden ocurrir accidentes por contactos directos e indirectos.

##### 3.4.3.2. Medios de elevación.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Caída de personas a distinto nivel durante las operaciones de movimiento de cargas.
- Caída de la carga por deficiente estrobo o maniobra.
- Rotura de cable, gancho, estrobo, grillete o cualquier otro medio auxiliar de elevación.
- Golpes y cortes por objetos o herramientas.
- Aplastamientos por movimientos incontrolados de la carga.
- Atrapamientos por vuelco de máquina o vehículos.

- Exceso de carga con la consiguiente rotura, o vuelco, del medio correspondiente.
- Fallo de elementos mecánicos o eléctricos.
- Contacto eléctrico.
- Deslizamientos y vuelcos por apoyos incorrectos.

#### 3.4.3.3. Andamios, plataformas y escaleras.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Los riesgos asociados son los siguientes:
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caída del andamio por vuelco.
- Vuelcos o deslizamientos de escaleras.
- Caída de materiales o herramientas desde el andamio.
- Los derivados de padecimiento de enfermedades no detectadas (epilepsia, vértigo, etc.).
- Atrapamientos y cortes durante el montaje.
- Golpes por objetos o herramientas.
- Exposición a las condiciones atmosféricas (derivados del trabajo realizado a la intemperie).
- Contacto eléctrico.

#### 3.4.3.4. Equipos de soldadura eléctrica y oxiacetilénica.

Los riesgos asociados son los siguientes:

- Quemaduras.
- Incendios.
- Explosión de botellas de gases.
- Los derivados de la inhalación de vapores metálicos.
- Explosión de botellas de gases.
- Proyecciones incandescentes, o de cuerpos extraños.
- Contacto con la energía eléctrica.

### 3.5. Medidas preventivas.

Para reducir al máximo los peligros mencionados anteriormente, es necesario intervenir en los elementos que determinan las causas de los accidentes, ya sea por separado o en conjunto. Nos referimos tanto al factor humano como al factor técnico.

La actuación del factor humano se basará principalmente en la formación, mentalización e información de todos los empleados involucrados en el presente estudio, así como en aspectos ergonómicos y ambientales.

Se analizan a continuación las medidas previstas en cada uno de estos campos en función de los riesgos previsibles mencionados anteriormente.

#### 3.5.1. **Protecciones colectivas.**

Dado que las protecciones colectivas son mucho más efectivas que las protecciones individuales, por lo que se dará prioridad siempre que sea posible. Las protecciones colectivas previstas en función de los riesgos mencionados son las siguientes, sin excluir el uso de estas últimas.

### 3.5.1.1. Riesgos generales.

En este apartado se mencionan las medidas de seguridad que se deben tomar para proteger a todas las actividades de riesgos comunes:

- El material, herramientas y medios auxiliares se distribuirán o acopiarán adecuadamente en lugares previamente establecidos para facilitar el acceso a las zonas de paso y evitar tropiezos.
- Se dispondrá de señalizaciones de acceso a la obra y el uso de elementos de protección personal.
- Acotamiento y señalización de zona donde exista riesgo de caída de objetos desde altura.
- Se montarán barandillas resistentes en los huecos por los que pudiera producirse caída de personas.
- En cada tajo de trabajo, se dispondrá de, al menos, un extintor portátil de polvo polivalente.
- Si algún puesto de trabajo generase riesgo de proyecciones (de partículas, o por arco de soldadura) a terceros se colocarán mamparas opacas de material ignífugo.
- Si se realizasen trabajos con proyecciones incandescentes en proximidad de materiales combustibles, se retirarán éstos o se protegerán con lona ignífuga.
- Se mantendrán ordenados los materiales, cables y mangueras para evitar el riesgo de
- golpes o caídas al mismo nivel por esta causa.
- Los restos de materiales generados por el trabajo se retirarán periódicamente para
- mantener limpias las zonas de trabajo.
- Los productos tóxicos y peligrosos se manipularán según lo establecido en las condiciones
- de uso específicas de cada producto.
- Respetar la señalización y limitaciones de velocidad fijadas para circulación de vehículos y
- maquinaria en el interior de la obra.
- Aplicar las medidas preventivas contra riesgos eléctricos que desarrollaremos más adelante.
- Todos los vehículos llevarán los indicadores ópticos y acústicos que exija la legislación vigente.
- Se prestará especial atención en casos de proximidad de los trabajos a líneas eléctrica aéreas, respetándose las distancias de seguridad, siendo para 132 kV una distancia de 5 metros.
- En los trabajos efectuados a distancias menores de las indicadas se adoptarán medidas complementarias que garanticen su realización con seguridad (interposición de pantallas aislantes protectoras, obstáculos en el área de trabajo, resguardos en torno a la línea...).
- En caso de que estas medidas no puedan realizarse o no sean efectivas, se solicitará la consignación o descargo de las instalaciones próximas en tensión.
- Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de clavijas macho-hembra.
- Con el fin de evitar cualquier riesgo causado por falta o deficiente iluminación que pueda existir en el lugar de trabajo, se completarán los puntos de luz con alumbrado portátil.
- Proteger a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.

- Se protegerá a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.

#### 3.5.1.2. Riesgos específicos.

La protección colectiva prevista contra estos peligros se realizará con el fin de preservar la máxima seguridad a la hora de la realización de los diferentes trabajos realizados para la ejecución del proyecto.

- **En el movimiento de tierras.**

- Se entibarán todas las excavaciones verticales de profundidad superior a 1,5 m.
- Se señalizarán las excavaciones, como mínimo a 1 m de su borde.
- No se acopiarán tierras ni materiales a menos de 2 m del borde de la excavación.
- Las excavaciones de profundidad superior a 2 m, y en cuyas proximidades deban circular personas, se protegerán con barandillas resistentes de 90 cm de altura, las cuales se situarán, siempre que sea posible, a 2 m del borde de la excavación.
- Los accesos de vehículos y maquinaria al fondo de las excavaciones se realizarán a través de rampa de anchura no inferior a 4.5m y una pendiente no superior al 12% en tramos rectos y al 8% en tramos curvos.
- Los accesos a las zanjas o trincheras se realizarán mediante escaleras sólidas que sobrepasan en 1 m el borde de éstas.
- Las máquinas excavadoras y camiones solo serán manejadas por personal capacitado, con el correspondiente permiso de conducir, que será responsable, así mismo, de la adecuada conservación de su máquina.
- No se cargarán los camiones por encima de la carga admisible ni sobrepasando el nivel superior de la caja.
- Se prohíbe el traslado de personas fuera de la cabina de los vehículos.
- Se situarán topes o calzos para limitar la proximidad a bordes de excavaciones o desniveles en zonas de descarga.
- Se limitará la velocidad de vehículos en el camino de acceso y en los viales interiores de la obra a 20 km/h.
- En caso necesario y a criterio del Técnico de Seguridad se procederá al regado de las pistas para evitar la formación de nubes de polvo.

- **En trabajos en altura.**

Es obvio que el trabajo en altura está presente en muchas de las actividades que se llevan a cabo en la ejecución de este proyecto, por lo que se deben abordar las medidas preventivas pertinentes en conjunto ya sea para evitar la caída de objetos o personas, por lo que deberá ser necesario el uso de los diferentes elementos de seguridad para las personas, cómo puede ser la señalización y la correcta coordinación de los trabajos para que no se realicen superpuestos, disminuyendo al máximo los riesgo de dichos trabajos.

- **En trabajos con hormigón.**

Para dichos trabajos se debe tener en cuenta el tipo de vertido para poder adoptar las medidas necesarias.



- Vertidos mediante canaleta.
  - Antes del inicio del hormigonado de una determinada superficie se establecerá un camino de tabloncillos seguro sobre los que apoyarse los operarios que gobiernan el vertido con la manguera.
  - Antes de iniciar el bombeo de hormigón se deberá preparar el conducto enviando masa de mortero de dosificación en prevención de posibles tapones y sobrepresiones internas.
  - No situarse ningún operario detrás de los camiones hormigonera en las maniobras de retroceso.
  - Instalar topes de final de recorrido de los camiones hormigonera para evitar vuelcos.
- Vertidos mediante cubo con grúa.
  - No permanecer ningún operario bajo la zona de influencia del cubo durante las operaciones de izado y transporte de éste con la grúa.
  - Señalizar con pintura (amarilla) el nivel máximo de llenado del cubo para no sobrepasar la carga admisible de la grúa.
  - El guiado del cubo hasta su posición de vertido se hará siempre a través de cuerdas guía.
  - La apertura del cubo para vertido se hará exclusivamente accionando la palanca prevista para ello se usará el equipamiento apropiado.
- **En trabajos de encofrado y desencofrado.**
  - Se sacarán o remacharán todos los clavos o puntas existentes en la madera usada y las maderas y puntales se apilarán de modo que no puedan caer elementos sueltos a niveles inferiores.
  - El desencofrado se realizará siempre desde el lado en que no puedan desprenderse los tableros y arrastrar al operario.
  - Se acotará, mediante cinta de señalización, la zona en la que puedan caer elementos procedentes de las operaciones de encofrado o desencofrado.
  - Cuando la altura del encofrado sea inferior a 4 m, los paneles se montarán con todos sus elementos en el suelo, previo a su izado y colocación.
  - Cuando la altura del encofrado sea superior a 4 m, las uniones entre paños, retirada de eslingas, arriostramientos...se realizarán con plataforma elevadora, con andamio tubular fijo o móvil, con plataformas de trabajo acopladas a paneles o con arnés de seguridad, siempre en este orden de preferencia.
- **En transportes de materiales y equipos dentro de la obra.**
  - Se prohibirá que las plataformas y/o camiones transporten una carga superior a la identificada como máxima admisible.
  - La carga se transportará amarrada con cables de acero, cuerdas o estrobos de suficiente resistencia.



- Se señalizarán con banderolas o luces rojas las partes salientes de la carga y, de producirse estos salientes, no excederán de 1,50 m.
  - En las maniobras con riesgo de vuelco del vehículo, se colocarán topes y se ayudarán con un señalista.
  - El tiro, especialmente en el movimiento de arranque, será siempre vertical, jamás inclinado.
  - Cuando se tenga que circular o realizar maniobras en proximidad de líneas eléctricas, se instalarán gálibos o topes que eviten aproximarse a la zona de influencia de las líneas.
  - No se permitirá el transporte de personas fuera de la cabina de los vehículos.
  - No se transportarán, en ningún caso, cargas suspendidas por la pluma con grúas móviles.
  - Se revisará periódicamente el estado de los vehículos de transporte y medios auxiliares correspondientes.
- **En maniobras de izado, situación en obra y montaje de equipos y materiales.**
  - Las medidas de prevención a aplicar en relación con los riesgos inherentes a este tipo de trabajos, que ya se relacionaron, están contempladas y definidas en el punto anterior, destacando especialmente las correspondientes a:
    - Señalizar y acotar las zonas de trabajo con cargas suspendidas.
    - No permanecer persona alguna en la zona de influencia de la carga.
    - Hacer el guiado de las cargas mediante cuerdas.
    - Entrar en la zona de riesgo en el momento del acoplamiento.
- **En trabajos con ferralla.**
  - Los paquetes de redondos se acopiarán en posición horizontal, separando las capas con durmientes de madera y evitando alturas de pilas superiores a 1,50 m.
  - No se permitirá trepar por las armaduras, sino que se emplearán los medios auxiliares correspondientes: escaleras, andamios, o pasarelas.
  - Se colocarán tableros para circular por las armaduras de ferralla. Se colocarán tableros o tablas de ancho suficiente (mínimo 60 cm) para circular por las armaduras de ferralla.
  - Se instalarán materiales cubridores de madera sobre las esperas de ferralla de las losas de escalera (sobre las puntas de los redondos, para evitar su hincapié en las personas).
  - Se mantendrá una distancia de seguridad entre el acopio o almacenamiento de ferralla y el material eléctrico.
  - Diariamente se limpiará la zona de trabajo, recogiendo y retirando los recortes y alambres sobrantes del armado.
- **En montajes de estructuras prefabricadas y cerramientos.**
  - Se deberán señalizar y acotar las zonas en que haya riesgo de caída de materiales por manipulación, elevación y transporte de los mismos.
  - Se prevendrán riesgos por deslizamientos de cargas sobre sus puntos de apoyos y la de sus pesos suspendidos mediante maniobras de

apuntalamiento, trincado, acompañamiento de vientos, órdenes concretas y directas del gruista y cualquier otra que evite los movimientos imprevisibles de las cargas.

- Los equipos/estructuras permanecerán arriostradas, durante toda la fase de montajes hasta que no se efectúe la sujeción definitiva, para garantizar su estabilidad en las peores condiciones previsibles.
- Los elementos se izarán perfectamente atados.
- En operaciones de lijado o de utilización de pegamentos y disolventes, se dispondrá de una adecuada ventilación.

- **En montajes de instalaciones. Albañilería y pintura.**

- Las operaciones de lijados y las de aplicación de pinturas se ejecutarán siempre bajo ventilación por corriente (ventanas y puertas abiertas) de aire para evitar inhalación de polvo o gases nocivos.
- Estará terminantemente prohibido eliminar las protecciones (resguardos fijos o móviles) de las sierras de corte o radial.
- Los andamios se dispondrán de modo que el operario nunca trabaje por encima de la altura de los hombros.
- El material se izará sin romper la envoltura de PVC con la que ha sido suministrada por el fabricante, siendo previamente comprobado el estado de dichas envolturas, con el fin de que no puedan caer las piezas por desplome durante el transporte.
- Estará terminantemente prohibido eliminar las protecciones (resguardos fijos o móviles) de las sierras de corte o radial.
- En trabajos de pintura y barnizado en lugares de tránsito de personas se señalarán dichas zonas mediante banderolas o medio similar.
- Las operaciones de lijados y las de aplicación de pinturas se ejecutarán siempre bajo ventilación por corriente (ventanas y puertas abiertas) de aire para evitar inhalación de polvo o gases nocivos.

- **En instalaciones de distribución eléctrica.**

- Las instalaciones existentes antes del comienzo de la obra deberán estar localizadas, verificadas y señalizadas claramente.
- Los cuadros eléctricos estarán ubicados en lugares de fácil acceso y no peligrosos, manteniéndose cerrados bajo llave y con indicación en la puerta del peligro por contacto eléctrico.
- Se utilizarán elementos de conexión adecuados, tales como clavijas, prohibiéndose la conexión con cables pelados.
- Deberán verificarse y mantenerse con regularidad las instalaciones de distribución de energía presentes en la obra, en particular las que estén sometidas a factores externos.
- Todas las masas susceptibles de estar en tensión estarán puestas a tierra.
- Los conductores eléctricos se protegerán mediante canalizaciones de caucho duro o plásticos, cuando estén depositados sobre el suelo en zonas de tránsito o de trabajo.
- Se deberán verificar y mantener con regularidad las instalaciones de distribución de energía presentes en la obra, en particular las que estén sometidas a factores externos.

### 3.5.2. Protecciones personales.

Será necesario complementar las protecciones colectivas con las protecciones personales. Los mandos intermedios y el personal de seguridad supervisarán y supervisarán la utilización adecuada de estas prendas de protección.

Debido a que la mayoría de los riesgos obligan al uso de las protecciones personales en las actividades a realizar, se deberá usar las prendas de protección previstas para el conjunto de los trabajos.

La normativa europea (CE) sobre equipos de protección individual (EPI) se aplicará a todas las protecciones personales.

|                                                                               |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Casco.                                                                        | Cinturón portaherramientas.                                |
| Pantalla facial transparente.                                                 | Absorbedores de energía.                                   |
| Pantalla de soldador con visor abatible y cristal inactínico.                 | Chaqueta, peto, manguitos y polainas de cuero.             |
| Mascarillas faciales según necesidades.                                       | Gafas de varios tipos (contra-impactos, sopletero, etc.).  |
| Mascarillas desechables de papel.                                             | Calzado de seguridad, adecuado a cada uno de los trabajos. |
| Guantes de varios tipos (montador, soldador, aislante, goma, etc.)            | Protecciones auditivas (cascos o tapones).                 |
| Arneses anticaídas con cinturón lumbar y anclajes pectoral, dorsal y lateral. | Ropa de trabajo.                                           |
| Cinturón de seguridad.                                                        | Chaleco reflectante.                                       |

*Tabla 51. Protecciones que deberá llevar el personal.*

### 3.5.3. Controles y revisiones técnicas de seguridad.

Con estos controles y revisiones se busca la verificación de que el plan de seguridad se haya aplicado correctamente. El contratista será el encargado de garantizar que las medidas preventivas establecidas en dicho plan se lleven a cabo de manera adecuada.

Además de esto, los técnicos asesores especializados en seguridad podrán realizar visitas de inspección sin perjuicio de lo mencionado anteriormente.

## 3.6. Instalaciones eléctricas provisionales.

La acometida eléctrica general proporcionará energía a los diferentes cuadros de distribución de los contratistas, los cuales se colocarán estratégicamente para proporcionar corriente a sus respectivas instalaciones, equipos y herramientas específicas de su trabajo.

## 3.7. Medidas de protección contra incendios.

Cada contratista tendrá extintores de polvo o gas en número suficiente en la obra para cubrir los riesgos de incendio causados por sus actividades, así como para proteger sus instalaciones, oficinas, almacenes, vehículos, etc. Estos dispositivos deberán de ser revisados periódicamente, y sustituidos en caso necesario.

### **3.8. Almacenamiento y uso de gases.**

#### **3.8.1. Almacenamiento.**

Las botellas de gas se almacenarán en un recinto cerrado y exclusivo para ellas, con las siguientes especificaciones:

- Cada tipo de gas se separará en diferentes compartimentos y, en cada caso, se señalarán los contenidos de los mismos.
- Se separarán las botellas llenas de las vacías.
- El recinto deberá estar perfectamente ventilado, cubierto de los rayos del sol y en el acceso deberá de haber algún extintor.

#### **3.8.2. Uso de botellas en los trabajos.**

El personal que maneje botellas de gas o equipos de oxicorte debe estar correctamente formado para este trabajo y, al menos, debe cumplir con las siguientes normas de seguridad básicas:

- Antes de encender el soplete por primera vez cada día, las mangueras se purgarán individualmente, así como al finalizar el trabajo.
- Se deberá verificar periódicamente el estado de las mangueras, juntas, etc., para detectar posibles fugas.
- Se pondrán válvulas antirretornos en las salidas de los manómetros y en las entradas del soplete.
- Durante el transporte o desplazamiento, las botellas incluso si están vacías, deben tener la válvula cerrada y la caperuza puesta.
- Está prohibido el arrastre, deslizamiento o rodadura de la botella en posición horizontal.
- Las botellas se mantendrán alejadas del punto de trabajo, lo suficiente para que no les lleguen las chispas o escorias, o bien se protegerán con mantas ignífugas.
- Las botellas estarán siempre, en obra o acopio, en posición vertical y colocadas en carros porta botellas o amarradas a puntos fijos para evitar su caída.

### **3.9. Formación del personal.**

Los contratistas y subcontratistas, de acuerdo con los artículos 18 y 19, de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, deberán asegurarse de que los trabajadores reciban información adecuada sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra. Además, se deberá informar a los diferentes operarios de los riesgos propios que se pudiesen presentar en los trabajos.

Se garantizará la formación y en caso necesario se organizarán sesiones de entrenamiento para la correcta utilización de los equipos de protección individual, especialmente cuando se requiera la utilización simultánea de varios equipos que, debido a su complejidad, lo requieran. Todo esto con el objetivo de conocer las técnicas preventivas y mantener un buen ambiente de seguridad para todo el personal.

#### **3.9.1. Charla de seguridad y primeros auxilios para personal de ingreso en obra.**

Antes de comenzar sus trabajos, el personal recibirá una charla sobre los riesgos generales de la obra, las medidas para evitarlos, las normas de seguridad de obligado cumplimiento y los aspectos generales de Primeros Auxilios.

### **3.9.2. Charlas sobre riesgos específicos.**

Este tipo de charlas estará dirigido a los grupos de trabajadores sujetos a riesgos específicos según las actividades que realizan. Los técnicos de seguridad de cada empresa que participa en la ejecución de la obra o los Mandos directos de los trabajos impartirán las instrucciones.

En caso de que se detectasen situaciones de riesgo especial durante la realización de los trabajos, se programará charlas específicas, impartidas por el técnico de seguridad el cual se encargará de difundir las medidas de seguridad necesarias en las actividades a las que se refieren.

Los temas más importantes a desarrollar en las charlas serán:

- Riesgos eléctricos.
- Trabajos en altura.
- Riesgos de soldadura eléctrica y oxicorte.
- Uso de máquinas, manejo de herramientas.
- Manejo de cargas de forma manual y con medios mecánicos.
- Empleo de andamios, plataformas, escaleras y líneas de vida.

### **3.10. Medicina asistencial.**

Es esencial anticipar las medidas para reducir las repercusiones de los accidentes, ya que la humanidad no puede alcanzar el nivel de riesgo cero.

#### **3.10.1. Control médico.**

De acuerdo con la normativa vigente, todos los empleados que participen en la construcción de las obras tendrán que realizar los reconocimientos médicos necesarios en función del riesgo al que se enfrentan debido a su trabajo u ocupación.

#### **3.10.2. Medios de actuación y primeros auxilios.**

Los posibles accidentados recibirán la primera atención médica de los servicios médicos de la mutua laboral concertada por cada contratista, o por los servicios de urgencia de los hospitales públicos o privados más cercanos si la situación es grave.

En el lugar de trabajo se dispondrá un vehículo para realizar una evacuación inmediata, un teléfono y un botiquín, así como personal con conocimientos básicos de primeros auxilios para atender en casos de necesidad urgente.

En la obra se colocará una "nota" escrita en un lugar visible. Esta nota incluirá las direcciones y teléfonos de los hospitales, las ambulancias más cercanas y los médicos locales.

#### **3.10.3. Medicina asistencial en incapacidades laborales transitorias o permanentes.**

El contratista verificará que el servicio está cubierto por una mutua laboral, con la que debe tener una póliza de cobertura de incapacidad temporal, permanente o muerte por accidente o enfermedad profesional.



### **3.11. Vestuarios y aseos.**

En el área reservada para las instalaciones de los contratistas, se construirán casetas prefabricadas para el aseo y vestuario de su personal, según el número de empleados que las utilicen.

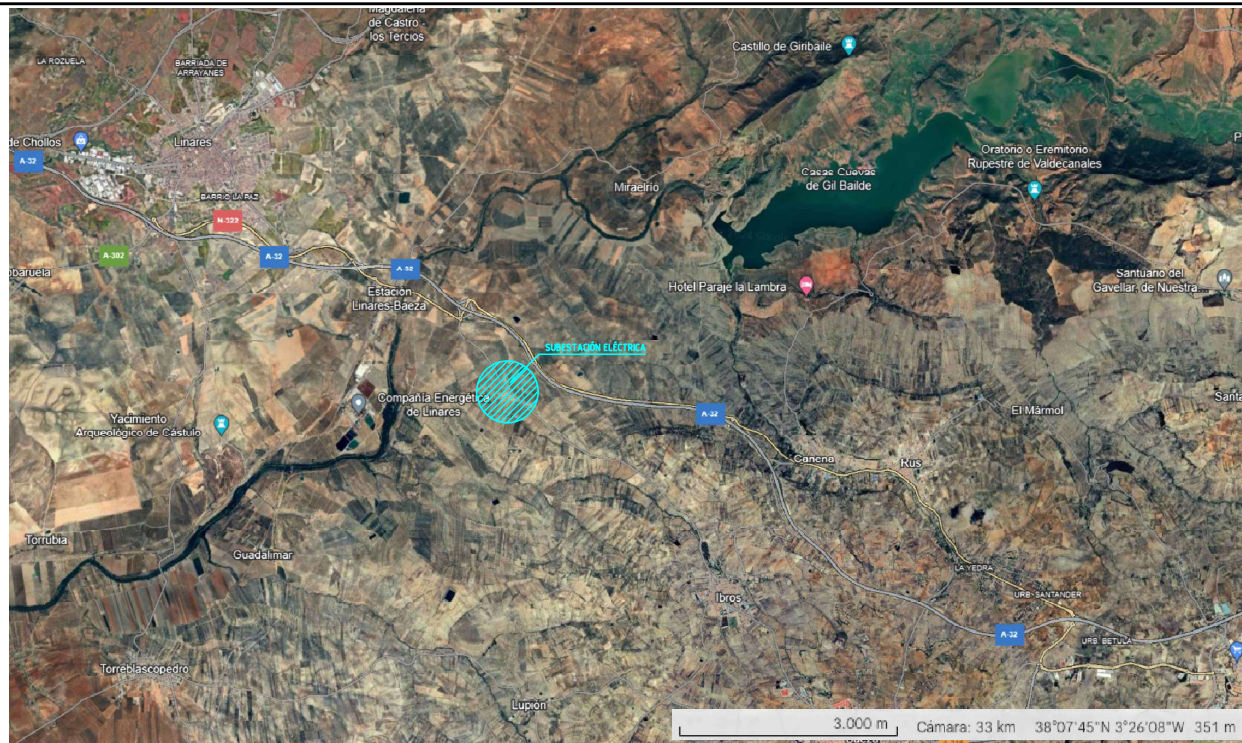
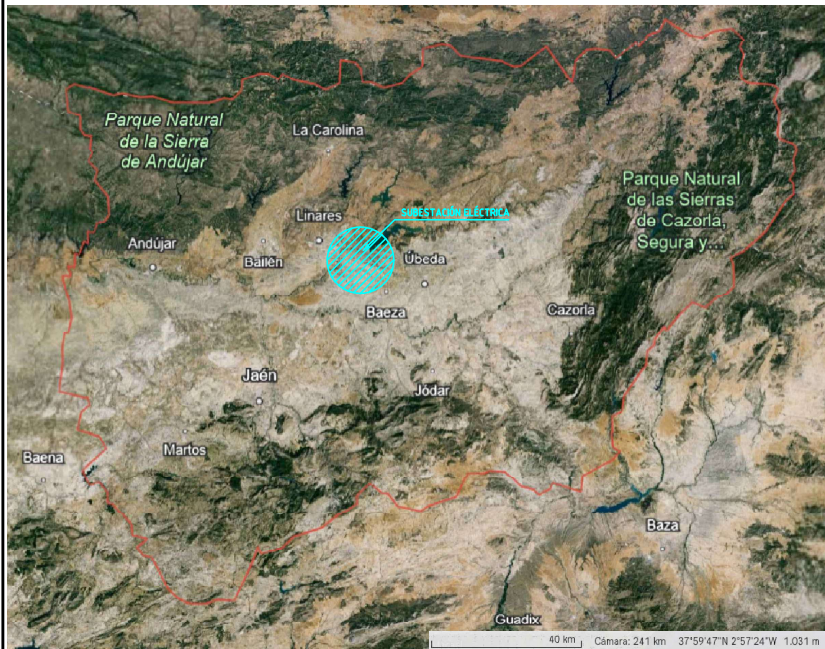
Estas casetas tendrán que cumplir con las condiciones mínimas establecidas en el Capítulo III de la O.G.S.H.T., o podrán utilizar las instalaciones definitivas con las mismas condiciones. En cualquier caso, estas instalaciones deben mantenerse limpias e higiénicas.



## 4 PLANOS.

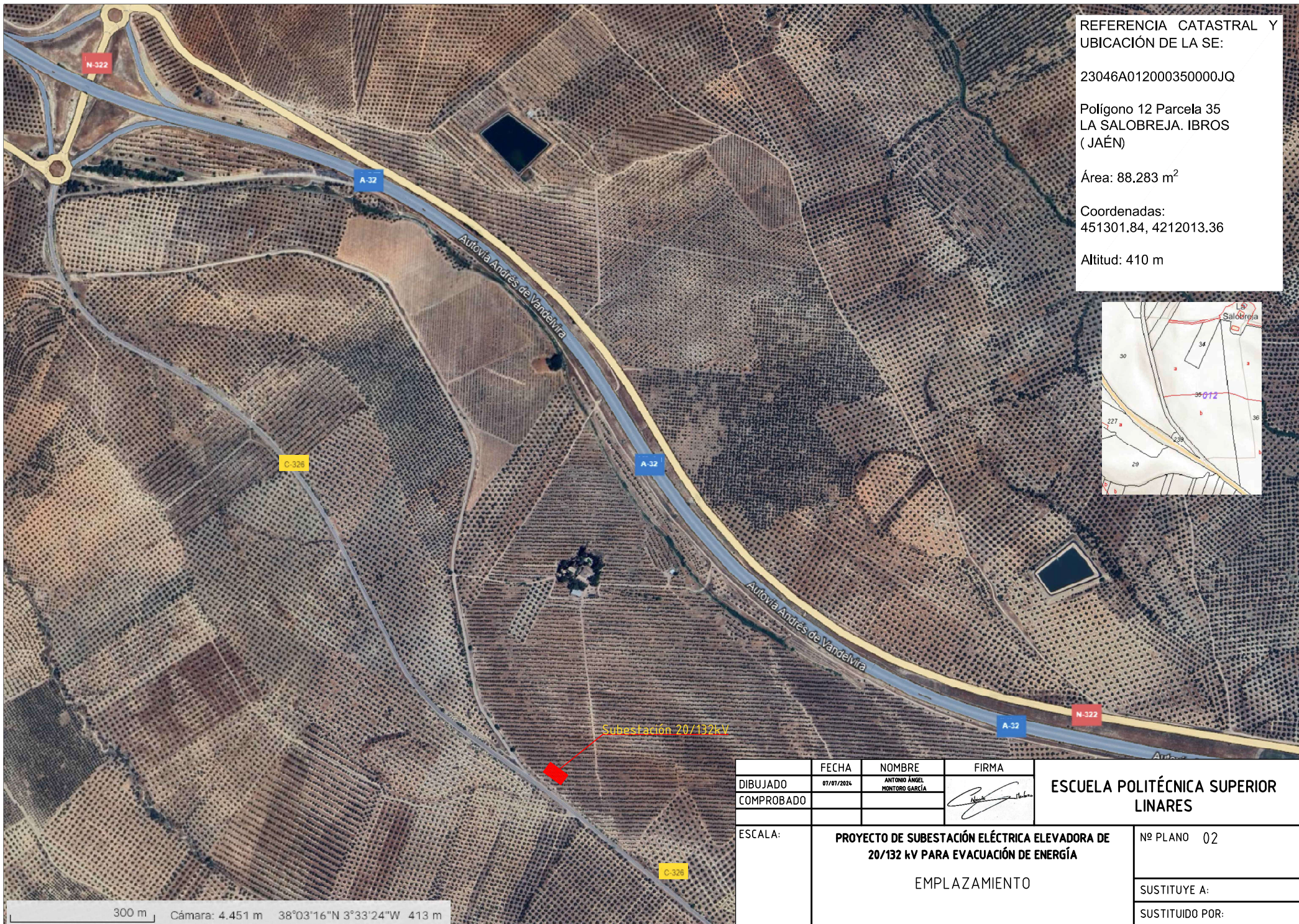
|              |                                  |
|--------------|----------------------------------|
| Plano 1..... | SITUACIÓN                        |
| Plano 2..... | EMPLAZAMIENTO                    |
| Plano 3..... | LAAT EXISTENTE DE 132 kV         |
| Plano 4..... | ESQUEMA UNIFILAR PARQUE DE 20 kV |
| Plano 5..... | ESQUEMA UNIFILAR PARQUE DE 20 kV |
| Plano 6..... | PLANTA GENERAL DE LA SUBESTACIÓN |
| Plano 7..... | RED DE TIERRAS INFERIOR          |





|            |                                                                                        |                                 |       |                                         |  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------------|--|
|            | FECHA                                                                                  | NOMBRE                          | FIRMA | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |  |
| DIBUJADO   | 07/07/2024                                                                             | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |       |                                         |  |
| COMPROBADO |                                                                                        |                                 |       |                                         |  |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA |                                 |       | Nº PLANO 01                             |  |
|            | PLANO DE SITUACIÓN                                                                     |                                 |       | SUSTITUYE A:                            |  |
|            |                                                                                        |                                 |       | SUSTITUIDO POR:                         |  |





REFERENCIA CATASTRAL Y UBICACIÓN DE LA SE:

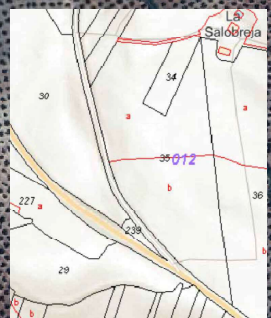
23046A012000350000JQ

Polígono 12 Parcela 35  
LA SALOBREJA. IBROS  
( JAÉN)

Área: 88.283 m<sup>2</sup>

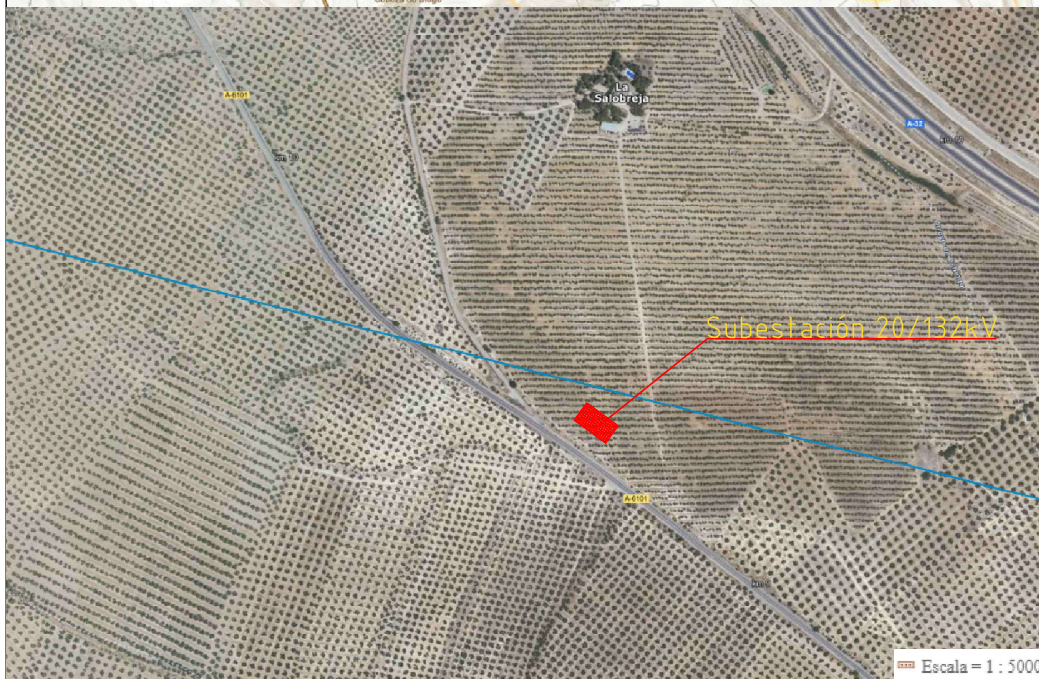
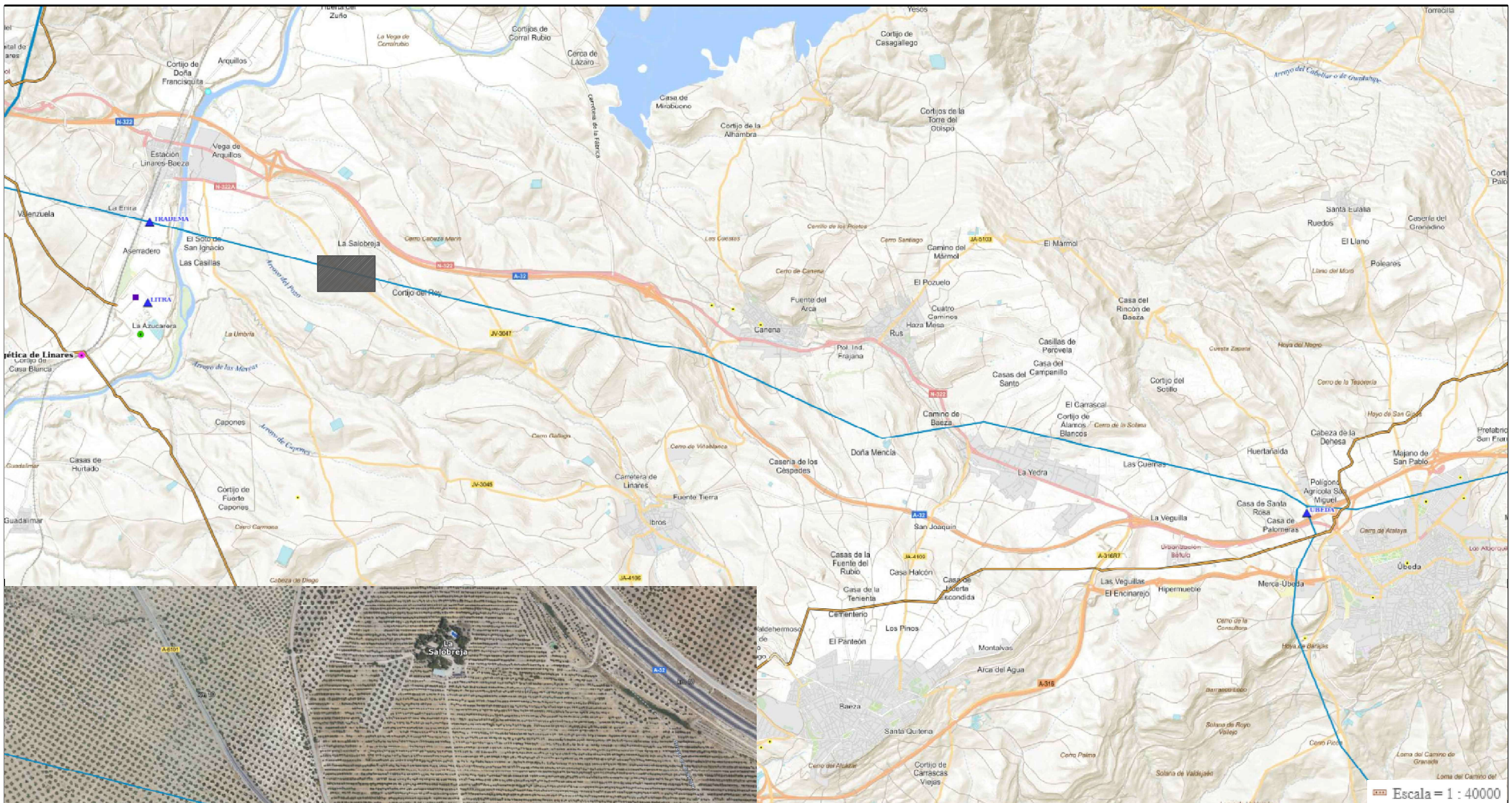
Coordenadas:  
451301.84, 4212013.36

Altitud: 410 m



|            |                                                                                        |                                 |       |                                         |  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------------|--|
|            | FECHA                                                                                  | NOMBRE                          | FIRMA | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |  |
| DIBUJADO   | 07/07/2024                                                                             | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |       |                                         |  |
| COMPROBADO |                                                                                        |                                 |       |                                         |  |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA |                                 |       | Nº PLANO 02                             |  |
|            | EMPLAZAMIENTO                                                                          |                                 |       | SUSTITUYE A:                            |  |
|            |                                                                                        |                                 |       | SUSTITUIDO POR:                         |  |





|            |                                                                                        |                                 |       |                                         |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------------|----|
|            | FECHA                                                                                  | NOMBRE                          | FIRMA | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |    |
| DIBUJADO   | 07/07/2024                                                                             | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |       |                                         |    |
| COMPROBADO |                                                                                        |                                 |       |                                         |    |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA |                                 |       | Nº PLANO                                | 03 |
|            | LAAT EXISTENTE DE 132kV                                                                |                                 |       | SUSTITUYE A:                            |    |
|            |                                                                                        |                                 |       | SUSTITUIDO POR:                         |    |



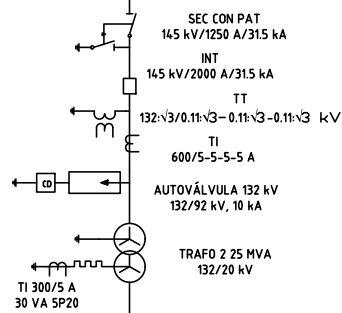
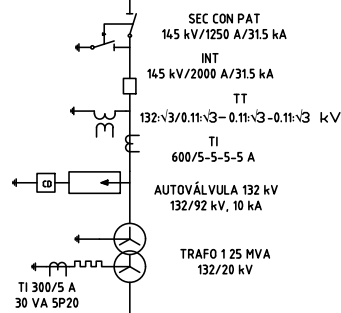
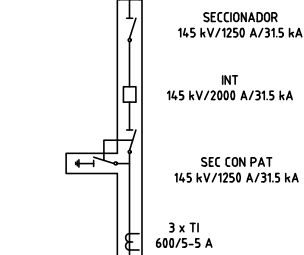
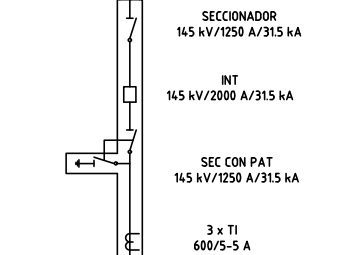
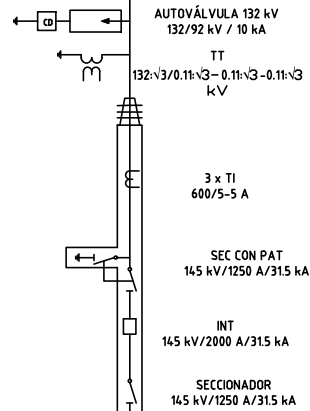
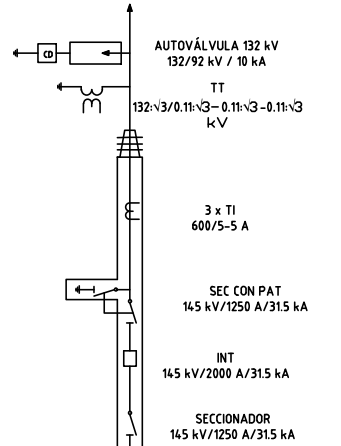
LAAT 132 kV S.E. TRADEMA

LAAT 132 kV S.E. ÚBEDA

132 kV

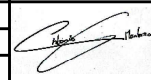
ZONA EDE

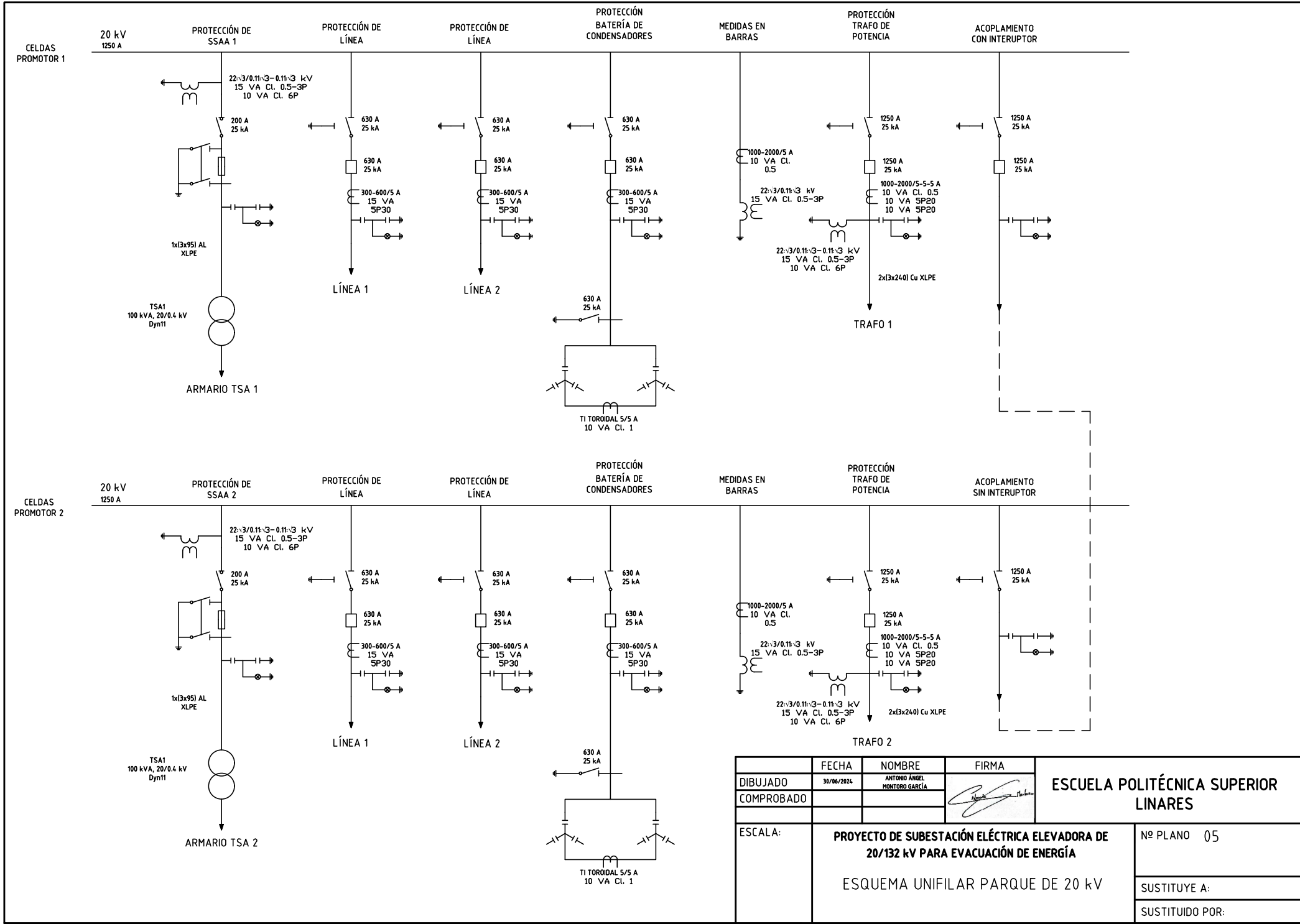
ZONA PROMOTORES

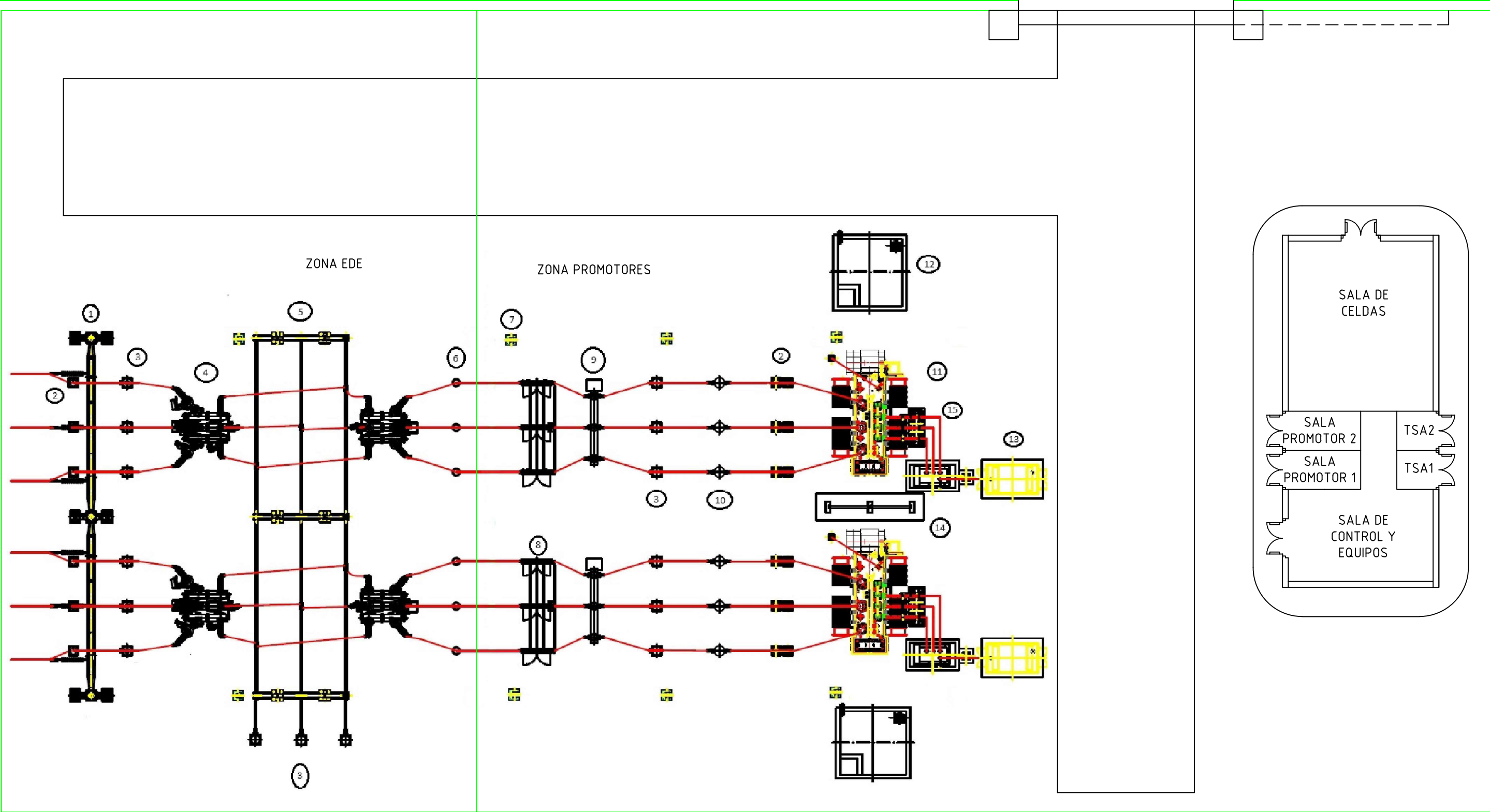


CELDAS MT PROMOTOR 1

CELDAS MT PROMOTOR 2

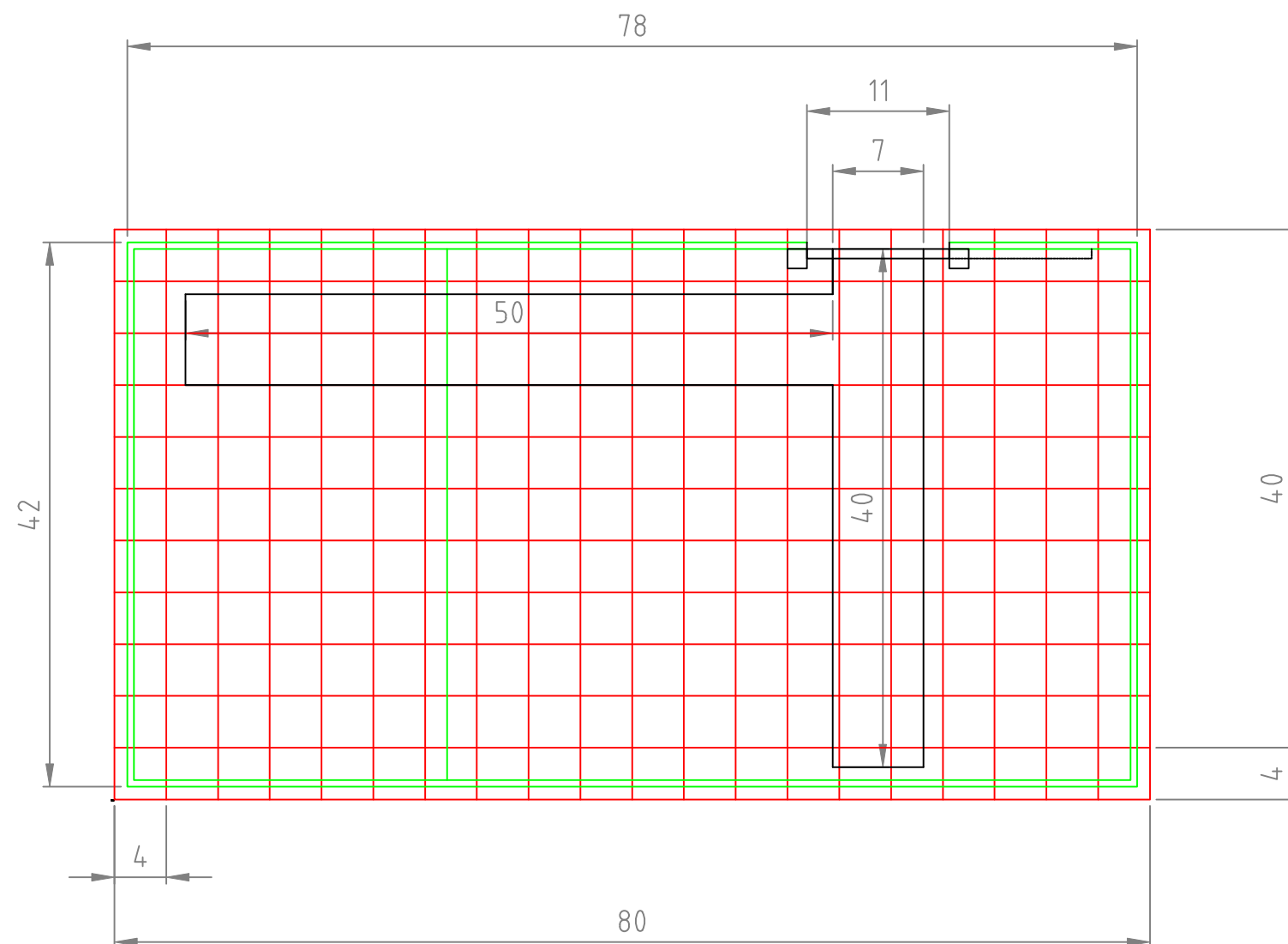
|            |                                                                                        |                                 |                                                                                       |                                         |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|            | FECHA                                                                                  | NOMBRE                          | FIRMA                                                                                 | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |
| DIBUJADO   | 29/06/2024                                                                             | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |  |                                         |
| COMPROBADO |                                                                                        |                                 |                                                                                       |                                         |
|            |                                                                                        |                                 |                                                                                       |                                         |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA |                                 |                                                                                       | Nº PLANO 04                             |
|            | ESQUEMA UNIFILAR PARQUE DE 132 kV                                                      |                                 |                                                                                       | SUSTITUYE A:                            |
|            |                                                                                        |                                 |                                                                                       | SUSTITUIDO POR:                         |

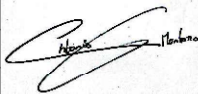




| LEYENDA PARQUE INTEMPERIE |                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1                         | PÓRTICO DE ENTRADA/SALIDA DE LÍNEA DE 132 kV                |
| 2                         | PARARRAYOS AUTOVALVULARES DE 132 kV                         |
| 3                         | TRANSFORMADOR DE TENSION INDUCTIVO                          |
| 4                         | MÓDULO HÍBRIDO "SINGLE BAY"                                 |
| 5                         | EMBARRADO DE 132 kV                                         |
| 6                         | AISLADOR SOPORTE                                            |
| 7                         | PARARRAYOS FRANKLIN                                         |
| 8                         | SECCIONADOR TRIPOLAR DE APERTURA CENTRAL + CUCHILLAS DE PAT |
| 9                         | INTERRUPTOR TRIPOLAR                                        |
| 10                        | TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD                                 |
| 11                        | TRANSFORMADOR DE POTENCIA                                   |
| 12                        | DEPÓSITO DE RECOGIDA DE ACEITE                              |
| 13                        | RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA                              |
| 14                        | MURO CORTAFUEGOS                                            |
| 15                        | PARARRAYOS AUTOVALVULARES DE 20 kV                          |

|            | FECHA                                                                                                                          | NOMBRE                          | FIRMA | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------------|--|
| DIBUJADO   | 01/07/2024                                                                                                                     | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |       |                                         |  |
| COMPROBADO |                                                                                                                                |                                 |       |                                         |  |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA<br><br>PLANTA GENERAL DE LA SUBESTACIÓN |                                 |       | Nº PLANO 06                             |  |
| 1:200      |                                                                                                                                |                                 |       | SUSTITUYE A:                            |  |
|            |                                                                                                                                |                                 |       | SUSTITUIDO POR:                         |  |



|            |                                                                                                                       |                                 |                                                                                       |                                         |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|            | FECHA                                                                                                                 | NOMBRE                          | FIRMA                                                                                 | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |
| DIBUJADO   | 01/07/2024                                                                                                            | ANTONIO ÁNGEL<br>MONTORO GARCÍA |  |                                         |
| COMPROBADO |                                                                                                                       |                                 |                                                                                       |                                         |
|            |                                                                                                                       |                                 |                                                                                       |                                         |
| ESCALA:    | PROYECTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA DE<br>20/132 kV PARA EVACUACIÓN DE ENERGÍA<br><br>RED DE TIERRAS INFERIOR |                                 |                                                                                       | Nº PLANO 07                             |
| 1:500      |                                                                                                                       |                                 |                                                                                       | SUSTITUYE A:                            |
|            |                                                                                                                       |                                 |                                                                                       | SUSTITUIDO POR:                         |

## 5 PLIEGO DE CONDICIONES.

### 5.1. Objeto.

El propósito del presente pliego de condiciones es establecer las condiciones técnicas y de control de calidad que deben cumplir los materiales utilizados en el proyecto, así como los requisitos a los que se deben ajustar sus obras para la correcta ejecución de la instalación.

Es necesario realizar todas las condiciones técnicas y operaciones que se indican, además de las mencionadas, para realizar correctamente el trabajo.

### 5.2. Condiciones generales.

#### 5.2.1. Seguridad en el trabajo.

Según el Real Decreto 1627/1997, del 24 de octubre, por el que se establecen las normas mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, y bajo la Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, el presente proyecto se incluye un estudio básico de seguridad y salud, correspondiente para su correcta ejecución, lo que implica que cada contratista elabore un plan que deberá ser aprobado por el coordinador de seguridad y salud designado por el promotor antes del inicio de las obras.

Teniendo en cuenta también la siguiente normativa.

- RD 614/2001, del 8 de junio en el cual se establecen las disposiciones mínimas para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- La Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada por el Decreto del 9 de marzo de 1971, o su versión más actualizada si es necesario.
- Las Normas de Seguridad para Trabajos y Maniobras en Instalaciones Eléctricas, 2ª Edición Revisada (AMYS), o, en su caso, la versión más reciente.

#### 5.2.2. Gestión ambiental.

El proyecto se llevará a cabo de manera que cumpla con toda la normativa y reglamentación ambiental aplicable.

#### 5.2.3. Reglamentación aplicable.

Además de lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, todas las obras del proyecto se llevarán a cabo de acuerdo con las normas y recomendaciones que sean de aplicación y estén vigentes al inicio del proyecto.

- Real Decreto 337/2014, del 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.
- Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, así como las ampliaciones y Modificaciones de sus Instrucciones Complementarias, última modificación 23 de marzo de 2023.

- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- RD 256/2016, del 10 de junio, por el que se aprueba la instrucción para la recepción de cementos. (RC-16)
- RD 314/2006, del 17 de marzo, por el que se aprueba el código técnico de la edificación.
- Normas UNE, IEC aplicables.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el suministro de Energía.
- Instrucciones de carreteras (Secciones de firme 6.1 IC, 6.2 IC y secciones aplicables).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de carreteras y Puentes (PG-3), con sus correspondientes revisiones y actualizaciones, tanto en el BOE como en el propio documento.
- Instrucciones Técnicas del fabricante, aplicables a los equipos y componentes a instalar y correspondientes a almacenamiento, manipulación, montaje, ensayos y puesta en servicio.

#### **5.2.4. Condiciones para la ejecución por contrata.**

La contrata debe cumplir con las normas laborales pertinentes, así como con los seguros obligatorios, los subsidios familiares y de vejez, los seguros de enfermedad y otras regulaciones sociales vigentes o futuras.

### **5.3. Condiciones de organización en los trabajos.**

Para garantizar la ejecución adecuada de los trabajos, el Contratista ordenará los mismos de la manera más efectiva, y las obras se llevarán a cabo siguiendo las instrucciones del director de obra y bajo las siguientes condiciones.

#### **5.3.1. Datos de la obra.**

Se le entregará al contratista una copia de los planos y pliegos de condiciones del proyecto, así como cualquier otra información adicional que necesite para completar dicha obra.

El contratista podrá tomar nota o sacar copia a su costa del proyecto, y será el responsable de asegurarse de que los originales de donde obtenga las copias estén bien conservados, los cuales serán devueltos al director de obra después de su uso. Además, éste no hará cambios, correcciones, omisiones, adiciones o variaciones significativas en los datos del proyecto sin la aprobación por escrito del director de la obra.

En un plazo de dos meses después de la conclusión de los trabajos, el contratista deberá modificar los distintos planos y documentos existentes de acuerdo con las especificaciones de la obra finalizada, y entregar dos expedientes completos sobre los trabajos realmente realizados al director de la obra.

#### **5.3.2. Replanteo de la obra.**

Una vez el contratista posea el proyecto, antes de la realización de las obras el director de obra deberá realizar un replanteo, prestando especial atención a los puntos singulares, proporcionando al contratista las referencias y datos necesarios para establecer completamente su ubicación.



Se emitirá una copia del acta, que incluirá los datos proporcionados de manera clara y estará firmada por el director de la obra y el representante del contratista, siendo este último responsable de los gastos relacionados con el replanteo.

### **5.3.3. Variaciones o mejoras en el proyecto.**

Se considerarán mejoras o variaciones del proyecto solo aquellas que hayan sido solicitadas por escrito por el director de la obra con un precio acordado antes de su ejecución.

Los trabajos accesorios o delicados que no estén incluidos en los precios de adjudicación podrán llevarse a cabo por personal independiente del Contratista.

## **5.4. Condiciones generales para la ejecución de las obras.**

### **5.4.1. Movimiento de tierras.**

#### **5.4.1.1. Desbroce y limpieza del terreno.**

La dirección de la obra determinará la cantidad de tierra vegetal, arbolado, tocones, maleza, etc. que se retirará y extraerá en función del tipo de terreno existente. Por lo tanto, tomará la decisión de depositar la extracción en lugares designados para su posterior uso o retirarla a escombreras autorizadas.

#### **5.4.1.2. Demoliciones.**

Comprendiendo el derribo o demolición, de forma total o parcial de todas las construcciones que impidan la realización de la obra y el posterior retiro de los materiales que no se pueden reutilizar.

#### **5.4.1.3. Escarificación y compactación.**

En función del tipo de terreno existente, con o sin firme existente, se emplearán los medios mecánicos apropiados se utilizarán para disgregar el terreno superficial antes de compactarlo.

#### **5.4.1.4. Excavaciones, rellenos y redes de drenaje.**

Para llevar a cabo las excavaciones, se seguirán las normas establecidas en función de las características específicas de la cimentación del terreno, y las dimensiones de las excavaciones se ajustarán a las especificadas en los planos del proyecto.

Los materiales de capa granular utilizados entre la base del firme y la explanada se ajustarán a lo especificado en los artículos 500 y 501 del PG-3.

Las redes de drenaje suelen consistir en tubos de hormigón poroso, polímero (cloruro de vinilo), polietileno de alta densidad o cualquier otro material aprobado por la experiencia. Una vez colocados en la zanja, se cubre con material filtrante, ajustándose al artículo 420 del PG-3.

### **5.4.2. Hormigonado.**

Antes de agregar hormigón al hormigón endurecido, se limpiará la superficie de contacto con chorro de agua y aire a presión o picado. Luego, se eliminará el agua depositada y se aplicarán productos especiales para unir fraguados y frescos.

El hormigón se compactará mediante vibraciones hasta que se completen todos los espacios vacíos, se elimine el aire de la masa y se refluye la lechada en la superficie.

Durante el primer período de endurecimiento, el hormigón no se someterá a cargas estáticas o dinámicas que puedan causar su fisuración, y la superficie permanecerá húmeda durante al menos 7 días para protegerla del sol.

El hormigón no se puede colocar cuando la temperatura baje de 2°C, ni cuando se prevé que baje de 0°C durante 48 horas siguientes, ni cuando la temperatura ambiente alcance los 40°C. Cuando el agua de lluvia pueda causar deslavado del hormigón, el hormigón se suspenderá.

Se garantizarán las condiciones de ejecución requeridas por el Capítulo XIII de la EHE para las obras de hormigón.

#### **5.4.3. Pavimentación.**

Se realizará el correcto asfaltado de los accesos de la subestación, para facilitar el acceso a la maquinaria, siguiendo estrictamente la normativa vigente.

#### **5.4.4. Armaduras.**

Las armaduras deben colocarse de acuerdo con los planos e instrucciones del proyecto para soportar el vertido, peso y vibración del hormigón. Debiéndose de respetar especialmente los recubrimientos mínimos establecidos en la EHE en vigor.

#### **5.4.5. Laminados.**

La disposición y medición de los laminados se llevarán a cabo de acuerdo con los valores teóricos establecidos, sin tener en cuenta los posibles despuntes, solapes, ganchos, platillas, etc.

#### **5.4.6. Encofrados.**

Los encofrados de madera o de metal serán estancos, de acuerdo con las dimensiones del proyecto, indeformables bajo la carga prevista y no presentarán irregularidades brutas superiores a 2 mm ni irregularidades suaves superiores a 6 mm medidos sobre la regla patrón de 1 m. No será posible que su desplazamiento final supere los 6 mm en comparación con las líneas teóricas de replanteo.

#### **5.4.7. Estructuras prefabricadas de hormigón.**

Para evitar solicitaciones desfavorables, los elementos prefabricados deberán suspenderse y apoyarse en los puntos previstos durante el proceso de carga, transporte, montaje o colocación.

#### **5.4.8. Estructura metálica.**

Una vez que se ha clasificado la estructura y se ha verificado que sus dimensiones, incluyendo los taladros, están en línea con las medidas especificadas en el proyecto, se llevará a cabo su elevación mediante el estrobo y elevación de las estructuras, fijando las mismas en sus anclajes mediante hormigón o pernos, y la realización de la nivelación, el aplomado y la alineación de las mismas.

#### **5.4.9. Embarrado y conexiones.**

Los embarrados de tubo se prepararán y ejecutarán en el suelo, incluyendo el doblado con máquina, empalmes si es necesario y taladros. Se espera que las palas de conexión se unan por soldadura en tubos de aluminio. Posteriormente, se elevarán y montarán las distintas secciones. Las conexiones se prepararán, limpiarán, colocarán y apretarán las piezas de conexión según se indique.

#### **5.4.10. Aparellaje.**

##### **5.4.10.1. Seccionadores.**

Para esta aparamenta se prestará especial atención a la regulación, ajuste y engrase final del mando, así como a la penetración de las cuchillas.

##### **5.4.10.2. Interruptores.**

Una vez nivelados, los interruptores se regulan y ajustan utilizando un densímetro para verificar la presión y la densidad del gas. La bondad del montaje debe ser aprobada por el constructor del interruptor.

##### **5.4.10.3. Resto de aparellaje.**

El resto de la aparamenta se colocará, nivelará y fijará con los soportes adecuados, y se instalarán las conducciones necesarias hasta las cajas de centralización según corresponda.

#### **5.4.11. Transformadores.**

Para el montaje de los trafos de potencia se realizará la descarga y el traslado hasta su emplazamiento definitivo, procediendo una vez colocado al montaje de los accesorios y las bornas, y el posterior tratamiento y llenado de aceite bajo vacío, siendo todo esto realizado bajo supervisión del fabricante.

#### **5.4.12. Celdas de media tensión.**

Para su instalación se realizará el desembalaje, la colocación, el ensamblaje, el nivelado y la fijación de los componentes del conjunto en su bancada correspondiente.

Se conectarán las barras de dichas celdas, y se realizará la comprobación y colocación de los aislamientos en los mismos.

Además, se procederá al cableado de las interconexiones entre las celdas y la caja de centralización, así como la colocación y el cableado de todos los dispositivos, se pondrán a tierra y se realizarán las pruebas pertinentes de maniobra y control.

#### **5.4.13. Conductores de potencia.**

El tendido se realizará a partir de ternas trifásicas, sin presentar empalmes, debidamente identificados, y posteriormente se realizarán ensayos eléctricos previos a la puesta en servicio y se verificará el cumplimiento de las instrucciones de tendido y montaje proporcionadas por el fabricante del cable.

#### **5.4.14. Cables de control y fuerza.**

Se realizará el correspondiente tendido y conexonado, y sus posteriores mediciones y comprobaciones.

Los cables se fijarán en los extremos con grapas de presión o prensaestopas, además de ser identificado de manera uniforme en sus dos extremos asignándole la numeración correspondiente.

#### **5.4.15. Puesta a tierra.**

Cualquier elemento que pueda someterse a tensión debido a defectos deberá estar conectado al electrodo de tierra. El contacto de los conductores de tierra debe ser completamente limpio y libre de humedad.

La malla de tierra se extenderá a la profundidad especificada en el proyecto y se colocará de acuerdo con la disposición especificada en los planes del mismo. Las conexiones se realizarán mediante soldadura aluminotérmica y los cruces se realizarán sin cortar el cable.

Sin la aprobación previa de la dirección de obra, no se cerrará ningún tramo de la malla de tierra ni se realizará la soldadura.

#### **5.4.16. Alumbrado y fuerza en edificios.**

Se seguirán las instrucciones proporcionadas por los fabricantes de los equipos a instalar, así como el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y las disposiciones adicionales.

### **5.5. Plan de control de calidad.**

El plan de control para la ejecución y los materiales utilizados se desarrollará de acuerdo con los estándares de buena práctica y se seguirá las instrucciones, normas, pliegos, etc. de aplicación en cada situación, siempre y cuando se cumplan al menos los requisitos mencionados.

El contratista encargará la realización de los ensayos y pruebas a laboratorios homologados de acuerdo con lo establecido en las Especificaciones Técnicas, o en su defecto en las Normas e Instrucciones de Organismos Oficiales.

Cada mes, el proveedor de servicios entregará los certificados de calidad de todos los materiales empleados, especificando las unidades de trabajo involucradas. Además, al finalizar la obra civil, se completará un documento adjunto con los trabajos realizados.

### **5.6. Recepción de las obras.**

Tras la finalización de las obras del proyecto, se emitirá una declaración de conformidad en la que se indicará si se han completado correctamente los trabajos y se considerará que la obra ha sido terminada si se ha llevado a cabo de acuerdo con el pliego de condiciones.

Si la obra no está completamente recibida, se informará en el Acta y se proporcionarán instrucciones precisas y detalladas para corregirlos, estableciéndose un plazo para su ejecución. Se realizará un nuevo reconocimiento una vez que expire ese plazo.

Se realizarán las pruebas necesarias para la recepción y puesta en servicio de la instalación para garantizar que funcione correctamente. Es posible distinguir tres pasos, en los que se muestran los ejemplos más relevantes. En cada paso, es necesario completar los Planes de Puntos de Inspección correspondientes.

#### **5.6.1. Pruebas y ensayos.**

Los ensayos, análisis y pruebas necesarios para verificar si los materiales utilizados en las obras cumplen con las condiciones adecuadas se llevarán a cabo por el director de obra o por el laboratorio que considere apropiado, para asegurarse que aquél se ha realizado de acuerdo con las normas y reglamentos.

Las siguientes pruebas o ensayos se llevarán a cabo, sin que esta relación sea limitativa:

- Comprobación general de las instalaciones disposición, nivelación, verticalidad, conexión, par de apriete de la tornillería, terminación de cables y apriete de bornas de cuadros, etc.
- Medida de la resistencia de la malla de puesta a tierra, y las tensiones de paso y contacto.
- Medida de la rigidez dieléctrica del aceite de los trafos.
- Pruebas manuales del funcionamiento mecánico de los equipos.
- Comprobación de fases.
- Ensayos para localización de posibles cortocircuitos.
- Ensayos para localización de derivaciones a tierra o conexiones equivocadas.
- Pruebas necesarias para cumplir con la garantía de los fabricantes.

#### **5.7. Puesta en marcha y servicio.**

Tras la realización de las pruebas y los ensayos pertinente se procederá a la puesta en marcha de los elementos de la subestación con las correspondientes empresas especializadas.

##### **5.7.1. Secuencia a seguir antes de la puesta en marcha.**

Se proporcionará una descripción breve de las principales tareas que deben realizarse antes de la puesta en marcha.

##### **5.7.1.1. Verificaciones previas a la energización en A.T.**

- Verificación de los tenses y flechas de las conexiones tensadas.
- Verificación del conexionado de la aparamenta de toda la instalación.
- Verificar el valor nominal de tensión en los equipos y demás características de la aparamenta que sean correctas.
- Comprobación, a muestreo, el apriete de la tornillería en las conexiones, aparamenta y estructura metálica.
- Verificar el ajuste y puesta a punto de los seccionadores:
  - Enclavamientos eléctricos y mecánicos.
  - Mandos locales.
  - Control de la resistencia de contacto.
  - Aislamiento.
  - Velocidad de apertura – cierre.

- Verificar el ajuste y puesta a punto de los interruptores:
  - Enclavamientos eléctricos y mecánicos.
  - Mandos locales.
  - Control de la resistencia de contacto.
  - Aislamiento.
  - Velocidad de cierre – apertura.
  - Tiempos de actuación cierre – apertura (bloques de contacto).
  - Sincronismo entre fases y entre los contactos cierre – apertura.

#### 5.7.1.2. Verificaciones previas a la energización en armarios y circuitos de control y protección.

- Verificación del conexionado, de acuerdo con los esquemas correspondientes.
- Realizar las pruebas de aislamiento de cada uno de los aparatos.
- Verificar la separación de las polaridades y respecto a tierra (cc y ca).
- Verificar el valor nominal de tensión y demás características sean correctas (aparatos y equipos).
- Identificación de circuitos (corrientes = rojo, tensión = azul o verde, cc = amarillo, etc.), según la norma *e-distribución*.
- Comprobación de la ausencia de conexiones sueltas o mal apriete de Bornes.
- Comprobar etiquetado de cables.
- Comprobar la puesta a tierra de las pantallas de los cables y su etiquetado (longitud del rabillo de tierra).

#### 5.7.2. **Secuencia a seguir para la puesta en marcha del circuito control y protección.**

Se proporciona una descripción detallada de las tareas principales que se deben realizar durante el arranque "en caliente" de los circuitos de control y protección.

##### 5.7.2.1. Generales.

- Comprobación Servicios auxiliares de corriente alterna.
- Comprobación Servicios auxiliares de corriente continua.
- Comprobación independencia de los circuitos de baterías.
- Sistema Integrado de control y protección: Comprobación local de todas las señales, mandos y medidas.

##### 5.7.2.2. Para cada Posición.

- Maniobra: local desde el armario de la propia celda, desde el Terminal Local (PC) y desde el Centro de Control.
- Enclavamientos.
- Circuitos intensidad y tensión: inyección de corriente y tensión, comprobando los aparatos de medida, protección y convertidores.
- Protecciones: protocolos de ajuste.
- Protección del embarrado.

##### 5.7.2.3. Por cada celda unión de barras.

- Protección diferencial o modificación de corrientes de la misma.

#### 5.7.2.4. Otras pruebas.

- SICOP modificación de la programación y pruebas funcionamiento.
- Equipos de comunicación.
- Programación Centro de Control.
- Pruebas Comunicaciones.
- Prueba desde Centro de Control.

### 5.8. **Documentación a entregar por el contratista.**

#### 5.8.1. **Documentación As-Built.**

El contratista proporcionará una recopilación completa de los planos del proyecto una vez que se hayan completado las obras, y en éstos se detallarán las modificaciones realizadas.

- Documentos “As-Built” de acuerdo con la lista de documentos.
- Documentos de control de calidad.
- Documentos de puesta en marcha.

#### 5.8.2. **Calidad y garantías.**

Las instalaciones estarán sujetas a un programa de control de calidad de acuerdo con las condiciones de inspección correspondientes.

El Contratista garantizará todo el trabajo y los suministros realizados por un período de tiempo especificado en las condiciones comerciales, desde la fecha de puesta en servicio.



## 6 PRESUPUESTO.

En los siguientes apartados se mostrará el desglose del presupuesto para la ejecución de la subestación eléctrica elevadora de 20/132 kV.

### 6.1. Introducción.

El presupuesto de la subestación se obtiene mediante la suma de las siguientes partidas:

- Presupuesto de ejecución material.
- Gastos Generales (13%)
- Beneficio Industrial (6%)

Y una vez realizada dicha suma se calculará el presupuesto total de la instalación considerando el Impuesto de Valor Añadido (IVA 21%).

### 6.2. Presupuesto de ejecución material.

#### 6.2.1. Capítulo I: Instalación y montaje de los elementos y equipos.

| Descripción             | Ud. | €/Ud.     | Total               |
|-------------------------|-----|-----------|---------------------|
| Mano de Obra            | 1   | 60.000,00 | 60.000,00 €         |
| Equipamiento            | 1   | 14.386,00 | 14.386,00 €         |
| Embarrados y cables     | 1   | 48.030,00 | 48.030,00 €         |
| Aparellaje              | 1   | 40.305,00 | 40.305,00 €         |
| Control y protecciones  | 1   | 31.812,00 | 31.812,00 €         |
| Alumbrado y fuerza      | 1   | 25.560,00 | 25.560,00 €         |
| Material Auxiliar       | 1   | 8.687,00  | 8.687,00 €          |
| Pruebas                 | 1   | 22.167,00 | 22.167,00 €         |
| <b>TOTAL CAPÍTULO I</b> |     |           | <b>250.947,00 €</b> |

#### 6.2.2. Capítulo II: Obra civil y estructuras.

| Descripción                   | Ud. | €/Ud.      | Total               |
|-------------------------------|-----|------------|---------------------|
| Movimiento de tierras         | 1   | 314.000,00 | 314.000,00 €        |
| Acondicionamiento del terreno | 1   | 40.870,00  | 40.870,00 €         |
| Urbanización y edificios      | 1   | 115.000,00 | 115.000,00 €        |
| Muro cortafuegos              | 1   | 8.000,00   | 8.000,00 €          |
| Estructura metálica           | 1   | 56.000,00  | 56.000,00 €         |
| Cimentaciones                 | 1   | 76.000,00  | 76.000,00 €         |
| Red de tierra inferior        | 1   | 67.000,00  | 67.000,00 €         |
| <b>TOTAL CAPÍTULO II</b>      |     |            | <b>676.870,00 €</b> |

### 6.2.3. Capítulo III: Equipos eléctricos.

| Descripción                                 | Ud. | €/Ud.      | Total                 |
|---------------------------------------------|-----|------------|-----------------------|
| <b>Equipos de alta tensión (132 kV)</b>     |     |            |                       |
| Módulos híbridos "SINGLE-BAY"               | 4   | 215.506,00 | 862.024,00 €          |
| Interruptores automáticos tripolares        | 2   | 32.849,00  | 65.698,00 €           |
| Seccionadores tripolares con p.a.t.         | 2   | 12.605,00  | 25.210,00 €           |
| Transformadores de tensión inductivos       | 9   | 6.650,00   | 59.850,00 €           |
| Transformadores de intensidad               | 6   | 8.864,70   | 53.188,20 €           |
| Pararrayos autoválvulares                   | 6   | 2.210,72   | 13.264,32 €           |
| Pararrayos franklin                         | 8   | 445,09     | 3.560,72 €            |
| <b>Equipos de media tensión (20 kV)</b>     |     |            |                       |
| Celdas posición de línea                    | 4   | 7.169,00   | 28.676,00 €           |
| Celdas posición de trafo de potencia        | 2   | 11.639,00  | 23.278,00 €           |
| Celdas posición trafo de SSAA               | 2   | 3.750,00   | 7.500,00 €            |
| Celdas posición de batería de condensadores | 2   | 3.980,00   | 7.960,00 €            |
| Celda de medida en barras                   | 2   | 2.390,00   | 4.780,00 €            |
| Celda de acoplamiento con interruptor       | 1   | 6.829,00   | 6.829,00 €            |
| Celda de acoplamiento sin interruptor       | 1   | 4.580,00   | 4.580,00 €            |
| <b>Trasformación y compensación</b>         |     |            |                       |
| Trafo de potencia 132/20 kV de 25 MVA       | 2   | 306.802,00 | 613.604,00 €          |
| Trafo de SSAA 20/0,4 kV de 100 kV           | 2   | 9.648,00   | 19.296,00 €           |
| Batería de condensadores 5 MVar             | 2   | 32.080,00  | 64.160,00 €           |
| Equipo rectificador batería 100 Ah 125 Vcc  | 2   | 16.342,00  | 32.684,00 €           |
| <b>Equipos de control y protecciones.</b>   |     |            |                       |
| Sistema integrado de control y protección   | 1   | 67.100,00  | 67.100,00 €           |
| Protecciones de 132 kV                      | 1   | 32.897,00  | 32.897,00 €           |
| Telecomunicaciones                          | 1   | 3.059,00   | 3.059,00 €            |
| <b>TOTAL CAPÍTULO III</b>                   |     |            | <b>1.999.198,24 €</b> |

### 6.2.4. Capítulo IV: Seguridad y salud.

| Descripción                         | Ud. | €/Ud.     | Total              |
|-------------------------------------|-----|-----------|--------------------|
| Estudio básico de seguridad y salud | 1   | 11.350,00 | 11.350,00 €        |
| <b>TOTAL CAPÍTULO V</b>             |     |           | <b>11.350,00 €</b> |

### 6.2.5. Total presupuesto de ejecución material.

A continuación, se muestra de forma resumida los costes expuestos anteriormente para la construcción de la Subestación Eléctrica Elevadora 20/132 kV para la evacuación de energía.

|                                                                |                |
|----------------------------------------------------------------|----------------|
| Capítulo I: Instalación y montaje de elementos y equipos. .... | 250.947,00 €   |
| Capítulo II: Obra civil y estructuras.....                     | 676.870,00 €   |
| Capítulo III: Equipos eléctricos. ....                         | 1.999.198,24 € |
| Capítulo IV: Seguridad y Salud. ....                           | 11.350,00 €    |

---

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| <b>SUMA CAPÍTULOS.....</b> | <b>2.938.365,24 €</b> |
|----------------------------|-----------------------|

|                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| Proyecto y dirección técnica (4%) ..... | 117.534,61 € |
|-----------------------------------------|--------------|

---

|                                                     |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....</b> | <b>3.055.899,85 €</b> |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|

El presente presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de **TRES MILLONES CINCUENTA Y CINCO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y NUEVE EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS DE EURO (3.055.899,85 €)**.

### 6.3. Presupuesto general.

Este presupuesto general, es el resultado de la aplicación de los porcentajes por los Gastos Generales (13%), y el Beneficio Industrial (6%), y resulta en la siguiente cantidad sin IVA.

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL .....</b> | <b>3.055.899,85 €</b> |
| Gastos Generales (13%).....           | 397.266,99 €          |
| Beneficio Industrial (6%) .....       | 183.353,99 €          |

---

|                                         |                      |
|-----------------------------------------|----------------------|
| <b>PRESUPUESTO GENERAL SIN IVA.....</b> | <b>3.636.520,83€</b> |
|-----------------------------------------|----------------------|

Asciende el presente presupuesto general sin I.V.A. a la cantidad de **TRES MILLONES SEISCIENTOS TREINTA Y SEIS MIL QUINIENTOS VEINTE EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS DE EURO (3.636.520,83€)**.



#### **6.4. Presupuesto total.**

Como aplicación al presupuesto de ejecución material del beneficio industrial (6%) y de los gastos generales (13%), y repercutir sobre dicha suma el Impuesto de Valor Añadido, resulta el Presupuesto total más IVA.

---

**TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL ..... 3.055.899,85 €**

Gastos Generales (13%) ..... 397.266,99 €

Beneficio Industrial (6%) ..... 183.353,99 €

---

**PRESUPUESTO GENERAL SIN I.V.A. .... 3.636.520,83€**

I.V.A. (21%) ..... 763.669,38€

---

**PRESUPUESTO TOTAL CON I.V.A..... 4.400.190,20 €**

Asciende el presente presupuesto total, incluido I.V.A., a la cantidad de **CUATRO MILLONES CUATROCIENTOS MIL CIENTO NOVENTA EUROS CON VEINTE CÉNTIMOS DE EURO (4.400.190,20 €)**.