

ANEJO Nº 2
CÁLCULOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

ÍNDICE

1.	DATOS DE PARTIDA.....	1
1.1.	BALANCE DE CARGAS EN ESTACIONES Y VENTILACIÓN DE EMERGENCIA	1
1.1.1.	Cuadro general de la salida de emergencia de Avda. Zarautz.....	2
1.1.2.	Cuadro general de la estación de Bentaberri	3
1.1.3.	Cuadro general de la salida de emergencia de Pío Baroja	4
1.1.4.	Cuadro general de la estación de Concha	5
1.1.5.	Cuadro general de la estación de Easo	6
1.2.	SUMINISTRO DE ENERGÍA A LAS ESTACIONES Y SALIDA DE EMERGENCIA.....	7
2.	DIMENSIONADO RED 13,2 KV	9
2.1.	BALANCES CARGA DE LA RED	9
2.2.	INTENSIDAD TÉRMICA DEL CABLE.....	10
2.3.	CARACTERÍSTICAS DEL CABLE.....	10
2.4.	CARGA MÁXIMA DEL CABLE.....	12
2.5.	CAÍDA TENSIÓN RED 13,2 KV.....	13
2.6.	CONSIDERACIONES AL FUNCIONAMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA RED DE 13,2 KV 17	
3.	CÁLCULOS DE POTENCIAS E INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO.....	18
3.1.	CONSIDERACIONES INICIALES	18
3.2.	CELDA DE 13,2KV	19
3.3.	INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO A LA SALIDA DE LA SUBESTACIÓN	19
3.4.	INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN LAS ESTACIONES Y SALIDA DE EMERGENCIA INTERTÚNEL.....	21
3.4.1.	CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO BENTABERRI	21
3.4.2.	CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO BENTABERRI	26
3.4.3.	CONCLUSIONES.....	30
4.	DIMENSIONADO DE CABLES DEL SECUNDARIO DE LOS TRANSFORMADORES.....	31
4.1.	CABLES DE ALIMENTACIÓN AL CUADRO CGBT EN ESTACIÓN DE BENTABERRI, CONCHA Y EASO	31
4.1.1.	Cálculo por intensidad de cortocircuito admisible	31
4.1.2.	Cálculo por intensidad máxima permanente admisible	31
4.1.3.	Cálculo por caída de tensión.....	32
4.1.4.	Elección del conductor.....	33

4.2.	CABLES DE ALIMENTACIÓN AL CUADRO CGBT EN LAS SALIDAS DE EMERGENCIA PÍO BAROJA Y ZARAUTZ	33
4.2.1.	Cálculo por intensidad de cortocircuito admisible	33
4.2.2.	Cálculo por intensidad máxima permanente admisible	33
4.2.3.	Cálculo por caída de tensión.....	34
4.2.4.	Elección del conductor.....	35
5.	RED DE TIERRAS EN ESTACIONES.....	36
5.1.	DATOS DE PARTIDA	36
5.2.	CÁLCULO RESISTENCIA A TIERRA DE PROTECCIÓN EN ESTACIONES.....	37
5.3.	INTENSIDAD DEFECTO FASE - TIERRA	38
5.4.	SECCIÓN CABLE PUESTA A TIERRA.....	38
5.5.	INTENSIDAD DIFUNDIDA POR LA RED DE ELECTRODOS.....	38
5.6.	TENSIONES DE PASO Y CONTACTO CALCULADAS.....	40
5.7.	TENSIONES PERMISIBLES DE PASO Y CONTACTO	40
5.8.	COMPROBACIÓN APARELLAJE DE BAJA TENSIÓN	41
6.	DISTANCIA ENTRE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN Y DE SERVICIO.....	42
7.	BATERÍAS DE CONDENSADORES.....	44
7.1.	BATERÍAS DE CONDENSADORES SELECCIONADAS.....	45

1. DATOS DE PARTIDA

1.1. BALANCE DE CARGAS EN ESTACIONES Y VENTILACIÓN DE EMERGENCIA

Tanto en las estaciones de Bentaberri, Concha y Easo como en las salidas de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz todas las cargas estarán alimentadas a 400/230 V. En todas ellas, la distribución eléctrica a los equipos se realizará desde el Cuadro General de Distribución en Baja Tensión (CGBT).

En las estaciones, el CGBT tendrá dos embarrados independientes desde el que alimentar a los distintos equipos de estación:

- Embarrado Normal EN, alimentado por la Red propia de ETS en 13,2 kV, previamente transformada a 400/230 V.
- Embarrado de Emergencia EE, alimentado normalmente por el embarrado de normal EN pero conmutable, mediante transferencia automática, con una acometida complementaria local de la red de IBERDROLA a 400/230 V.

Para las salida de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz, la distribución eléctrica a equipos se realizará desde el Cuadro General de Distribución en Baja Tensión, con un embarrado normal.

Además, en este estudio se añaden las cargas correspondientes a otros centros de transformación existentes y que a futuro se conectarán a la red de media tensión (en 13,2 kV) del sistema global de la Variante del Topo.

Por tanto, el análisis de necesidades de red de 13,2 kV se extiende más allá de la traza específica de este proyecto (Variante del Topo en nuevo túnel), por lo que el análisis se extenderá hasta las subestaciones colaterales que alimentarán dicha red de 13,2 kV.

En la siguiente tabla se resumen los centros de transformación implicados:

1. Tabla. Centros de transformación para la alimentación de las redes de BT de las estaciones de Bentaberri, Concha y Easo, y de las salidas de emergencia de Pío Baroja y Avda. Zarautz.

Localización	P.K	Acometida actual	Potencia Instalada (kVA)
SUBESTACIÓN DE USURBIL (a futuro) – P.K. 101+330 (aprox.)			
Túnel de Errekalde	101+835	Desde el C.T. 102+600	1 X 400
Túnel de Añorga	102+600	Iberdrola 13,2 kV	1 X 400
Túnel de Añorga	103+570	Iberdrola 13,2 kV	1 X 400
Estación de Añorga	104+060	Desde el C.T. 103+060	1 X 160
Estación de Lugaritz	105+700	Iberdrola 13,2 kV	2 X 400
SET DE BENTABERRI (vinculada a este proyecto) – P.K. 106+660 (aprox.)			
S.E. Avda. Zarautz	106+685	Red 13,2 kV de ETS	1 X 630
Estación de Bentaberri	106+905	Red 13,2 kV de ETS	2 X 1.000
S.E. de Pío Baroja	107+905	Red 13,2 kV de ETS	1 X 630
Estación de Concha	108+950	Red 13,2 kV de ETS	2 X 1.000
Estación de Easo	000+300	Red 13,2 kV de ETS	2 X 1.000
Estación de Loiola	003+000	Red 13,2 kV de ETS	1 X 100
SUBESTACIÓN DE LOIOLA (existente) – P.K. 003+500 (aprox.)			

Además, se prevé una reserva de potencia instalada de 160 kVA a considerar entre los túneles de Errekalde y Añorga.

1.1.1. Cuadro general de la salida de emergencia de Avda. Zarautz

De este Centro, se cargan las instalaciones propias de la salida de emergencia de la Avenida Zarautz, parte de las instalaciones del túnel del tramo Lugaritz - Bentaberri (alumbrados del hastial de una vía, detección de incendios, y tomas de fuerza de la mitad de cada extremo de túnel más cercano).

La tabla inferior muestra el balance general de cargas para esta salida de emergencia. El número total de cargas y su detalle puede ser consultado en el anejo 03, "Cálculo de Instalaciones Auxiliares".

2. Tabla. Balance general de las cargas de la salida de emergencia Avda. Zarautz.

RECEPTOR	POTENCIAS				
	EMBARRADO NORMAL (EN)			EMERGENCIA (EE)	
	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)	Fs	P.Serv (kW)
Ventilación emergencia	264	1	264	1	264
Ventilación sobrepresión	1	1	1	1	1
Tomas corriente fuerza tipo T1	110	0,2	22	0,2	22
Alumbrado en túnel y en galerías	15	0,85	12,75	0,85	12,75
Cuadro Control CGC	7	1	7	1	7
TOTALES	397	0,77	306,75	0,77	306,75

Dada la criticidad planteada para instalaciones en la que habrá un gran número de viajeros en una estación soterrada, se considera, por tanto, para este centro de transformación dos transformadores de potencia normalizada de 1000 kVA. De este modo, incluso con el fallo de uno de ellos, el otro, sería capaz de mantener un servicio normal de toda la instalación, incluso ante la presencia de una emergencia.

1.1.2. Cuadro general de la estación de Bentaberri

De este Centro, se cargan las instalaciones propias de la estación de Bentaberri, parte de las instalaciones del túnel del tramo Lugaritz – S.E. Pío Baroja (alumbrados del hastial de una vía, detección de incendios, y tomas de fuerza de la mitad de cada extremo de túnel más cercana). Además, el pozo de bombeo PB-03 también será alimentado en condiciones normales por esta estación.

La tabla inferior muestra el balance general de cargas para la estación. El número total de cargas y su detalle puede ser consultado en el anejo 03, "Cálculo de Instalaciones Auxiliares".

Dada la criticidad planteada para instalaciones en la que habrá un gran número de viajeros en una estación soterrada, se considera, por tanto, para este centro de transformación dos transformadores de potencia normalizada de 1000 kVA. De este modo, incluso con el fallo de uno de ellos, el otro, sería capaz de mantener un servicio normal de toda la instalación, incluso ante la presencia de una emergencia.

3. Tabla. Balance general de las cargas de la estación de Bentaberri.

RECEPTOR	POTENCIAS								
	EMBARRADO NORMAL (EN)			EMERGENCIA (EE)			TOTALES		
	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)
Ventilación emergencia	264	1	264			0	264	1,00	264
Ventilación EBA	55	1	55			0	55	1,00	55
Escaleras y Pasillos Mecánicas	262,5	0,7	183,75			0	262,5	0,70	183,75
Pozos de Bombeo	110	0,35	38,5			0	110	0,35	38,5
Tomas corriente fuerza CT´s y VE´s	53	0,25	13,25			0	53	0,25	13,25
Ascensores			0	25,1	0,85	21,335	25,1	0,85	21,335
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-1	100	0,75	75	40	0,7	28	140	0,74	103
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-2	60	0,75	45	30	0,7	21	90	0,73	66
Seccionamiento de Catenaria				4	1	4	4	1,00	4
Servicios de Comunicaciones, Señalización y Ticketing				30	1	20	30	0,67	20
TOTALES	904,5	0,75	674,5	129,1	0,73	94,335	1033,6	0,74	768,8

1.1.3. Cuadro general de la salida de emergencia de Pío Baroja

De este Centro, se cargan las instalaciones propias de la salida de emergencia de Pío Baroja, parte de las instalaciones del túnel del tramo Bentaberri - Concha (alumbrados del hastial de una vía, detección de incendios, y tomas de fuerza de la mitad de cada extremo de túnel más cercano).

La tabla inferior muestra el balance general de cargas para esta salida de emergencia. El número total de cargas y su detalle puede ser consultado en el anejo 03, "Cálculo de Instalaciones Auxiliares".

Dada la criticidad planteada para instalaciones en la que habrá una ventilación de emergencia en una salida de emergencia soterrada, se considera, por tanto para este centro de transformación un transformador de potencia normalizada de 630 kVA.

4. Tabla. Balance general de las cargas de la salida de emergencia de Pío Baroja.

RECEPTOR	POTENCIAS				
	EMBARRADO NORMAL (EN)			EMERGENCIA (EE)	
	P.Inst (kW)	F _s	P.Serv (kW)	F _s	P.Serv (kW)
Ventilación emergencia	264	1	264	1	264
Ventilación sobrepresión	1	1	1	1	1
Tomas corriente fuerza tipo T1	185	0,2	37	0,2	37
Alumbrado en túnel y en galerías	25	0,85	21,25	0,85	21,25
Cuadro Control CGC	7	1	7	1	7
TOTALES	482	0,69	330,25	0,69	330,25

1.1.4. Cuadro general de la estación de Concha

De este Centro, se cargan las instalaciones propias de la estación de Concha, parte de las instalaciones del túnel del tramo S.E Pío Baroja - Easo (alumbrados del hastial de una vía, detección de incendios, y tomas de fuerza de la mitad de cada extremo de túnel más cercana). Además, los pozos de bombeo PB-04 y PB-07 también serán alimentados por esta estación.

La tabla inferior muestra el balance general de cargas para la estación. El número total de cargas y su detalle puede ser consultado en el anejo 03, "Cálculo de Instalaciones Auxiliares".

5. Tabla. Balance general de las cargas de la estación de Concha.

RECEPTOR	POTENCIAS								
	EMBARRADO NORMAL (EN)			EMERGENCIA (EE)			TOTALES		
	P.Inst (kW)	F _s	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	F _s	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	F _s	P.Serv (kW)
Ventilación emergencia	528	1	528			0	528	1	528
Ventilación EBA	55	1	55			0	55	1	55
Escaleras y Pasillos Mecánicas	120	0,7	84			0	120	0,7	147
Pozos de Bombeo	364	0,25	91			0	364	0,35	38,5
Tomas corriente fuerza CT's y VE's	55	0,25	13,75			0	55	0,25	13,75
Ascensores			0	25,1	0,85	21,335	25,1	0,85	21,335
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-1	100	0,75	75	40	0,7	28	140	0,74	103
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-2	60	0,75	45	30	0,7	21	90	0,73	66
Seccionamiento de Catenaria				4	1	4	4	1	4
Servicios de Comunicaciones, Señalización y Ticketing				20	1	20	20	1	20
TOTALES	1118	0,81	902,25	119,1	0,79	94,335	1237,1	0,81	996,59

Dada la criticidad planteada para instalaciones en la que habrá un gran número de viajeros en una estación soterrada, se considera, por tanto, para este centro de transformación dos transformadores de potencia normalizada de 1000 kVA. De este modo, incluso con el fallo de uno de ellos, el otro, sería capaz de mantener un servicio normal de toda la instalación, incluso ante la presencia de una emergencia.

1.1.5. Cuadro general de la estación de Easo

De este Centro, se cargan las instalaciones propias de la estación de Easo, parte de las instalaciones del túnel del tramo Concha – Fin de túnel (alumbrados del hastial de una vía, detección de incendios, y tomas de fuerza de la mitad de cada extremo de túnel más cercano).

La tabla inferior muestra el balance general de cargas para la estación. El número total de cargas y su detalle puede ser consultado en el anejo 03, “Cálculo de Instalaciones Auxiliares”.

6. Tabla. Balance general de las cargas de la estación de Easo.

RECEPTOR	POTENCIAS								
	EMBARRADO NORMAL (EN)			EMERGENCIA (EE)			TOTALES		
	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)	P.Inst (kW)	Fs	P.Serv (kW)
Ventilación emergencia	528	1	528			0	528	1	528
Ventilación EBA	55	1	55			0	55	1	55
Escaleras y Pasillos Mecánicas	59	0,85	50,15			0	59	0,85	50,15
Pozos de Bombeo	89	0,5	44,5			0	89	0,5	44,5
Tomas corriente fuerza CT 's y VE 's	55	0,25	13,75			0	55	0,25	13,75
Ascensores			0	50,2	0,7	35,14	50,2	0,7	35,14
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-3	100	0,75	75	40	0,7	28	140	0,74	103
Cuadro Distribución Fuerza Auxiliar y Alumbrado CA-4	60	0,75	45	30	0,7	21	90	0,73	66
Seccionamiento de Catenaria				4	1	4	4	1	4
Servicios de Comunicaciones, Señalización y Ticketing				20	1	20	20	1	20
TOTALES	946	0,86	811,4	144,2	0,75	108,14	1090,2	0,84	919,54

Dada la criticidad planteada para instalaciones en la que habrá un gran número de viajeros en una estación soterrada, se considera, por tanto, para este centro de transformación dos transformadores de potencia normalizada de 1000 kVA. De este modo, incluso con el fallo de uno de ellos, el otro, sería capaz de mantener un servicio normal de toda la instalación, incluso ante la presencia de una emergencia.

1.2. SUMINISTRO DE ENERGÍA A LAS ESTACIONES Y SALIDA DE EMERGENCIA

El criterio para la alimentación de todos los centros de transformación definidos en la tabla del punto 1.1 de este anejo, es que se haga a través de la Red propia de ETS (13,2 kV). Esta red parte de las subestaciones de tracción, también definidas en la citada tabla.

Por otro lado, teniendo en cuenta un criterio conservador, se parte del hecho de que la Variante del Topo pueda ponerse en servicio con las subestaciones de Loiola (ya en servicio) y la de Bentaberri, pero con la de Usurbil sin haberse construido. Evidentemente, mientras la subestación de Usurbil no esté en servicio, el suministro de los centros de transformación actuales del túnel de Errekalde, Añorga y el existente en la propia estación de Añorga (que cuelga del C.T. Norte del túnel de Añorga), seguirán alimentándose desde acometida directa de Iberdrola.

Para dimensionar la red propia de ETS en 13,2 kV, partiendo desde Bentaberri, se supondrá que Usurbil (futuro) quede fuera de servicio, luego todos los centros de transformación entre las subestaciones de Usurbil y Bentaberri, cargarán sobre esta última. Ver tabla del capítulo 1.1 de este anejo.

En el otro sentido, la forma de diseñar esta red propia de ETS en 13,2 kV sería similar, es decir, suponer que la subestación de tracción de Loiola, quede fuera de servicio, por lo que la subestación de Bentaberri debiera aportar energía en 13,2 kV en condiciones normales a todos los centros de transformación hasta el existente en la estación de Altza.

Los datos característicos del transformador de 30/13,2 kV de cada subestación de tracción (Bentaberri y la actual de Loiola), son los siguientes:

- Número: 1
- Potencia: 2.500 KVA
- Relación de transformación: 30/13,8 kV
- Tensión de cortocircuito: 8%

De acuerdo con el Balance de cargas anterior, se han previsto los transformadores de estación que se han definido ya en la tabla del punto 1.1 de este documento, con el añadido siguiente:

- Relación de transformación: 13,2/0,42 kV
- Tensión de cortocircuito: 6 %

Las potencias unitarias de los transformadores consideradas son las normalizadas en la Variante del Topo para facilitar los repuestos.

En las estaciones de Bentaberri, Concha y Easo se realizará una acometida complementaria en 400/230 V desde la red local de Iberdrola para poder alimentar en caso de fallo de la red de 13,2 kV los siguientes servicios:

- 33 % alumbrado de zonas de pública concurrencia.
- 100 % alumbrado de cuartos técnicos, control y distribución energía eléctrica.
- 100 % control y tráfico ferroviario.
- 100 % del control de la estación.

Independientemente de las acometidas anteriores y para la alimentación de servicios esenciales, control, incendios y alumbrado de escaleras mecánicas se ha previsto la instalación de un SAI.

De acuerdo con el Balance de cargas anterior, la acometida local de Iberdrola, cuyo suministro e instalación son objeto del alcance de este Proyecto, será de 100kW, 400/230 Vca.

2. DIMENSIONADO RED 13,2 KV

2.1. BALANCES CARGA DE LA RED

Las estaciones y ventilaciones de emergencia se alimentarán normalmente, en un principio, desde las Subestaciones de Tracción de Bentaberri y de Loiola aunque por criterio conservador y teniendo en cuenta escenario degradado más crítico, se considera que una de las subestaciones quede fuera de servicio y por tanto la restante es la que deberá aportar energía a toda la Red propia de ETS en 13,2 kV.

Por tanto, de cara a situarnos en el peor de los casos, se dimensiona la red de 13,2 kV en base a alimentación de toda la red desde la subestación de Loiola o desde la de Bentaberri.

Las cargas que se suponen como normales desde la subestación eléctrica de tracción SET de Loiola, partiendo que la SET de Bentaberri esté fuera de servicio y que están alimentadas por esta red de 13,2 kV serían las siguientes:

7. Tabla. Estimación del consumo de potencia.

Localización	P.K	Carga normal estimada (kW)
Túnel de Errekalde	101+835	200 . Tiraría de acometida de Iberdrola
Túnel de Añorga	102+600	200 . Tiraría de acometida de Iberdrola
Túnel de Añorga	103+570	200 . Tiraría de acometida de Iberdrola
Estación de Añorga	104+060	60 . Tiraría de acometida de Iberdrola
Estación de Lugaritz	105+700	80
SET de Bentaberri	106+660	Fuera de servicio
S.E. Avda. Zarautz	106+685	35
Estación de Bentaberri	106+905	350
S.E. de Pío Baroja	107+905	45
Estación de Concha	108+950	280
Estación de Easo	000+300	260
Estación de Loiola	003+000	45
SET de Loiola	003+520	Transformador 30 / 13,8 kV – 2,5 MVA
Estación de Intxaurreondo	004+120	350
S.E. intertúnel	004+842	45
Estación de Herrera	005+750	45
Estación de Altza	006+550	350
POTENCIA TOTAL		1885

Estos consumos, se han considerado en una situación normal de funcionamiento. En una situación de Emergencia de Incendio en el Túnel de la Variante del Topo -, se activarían 2 pozos de ventilación (un total de 4 ventiladores de 132 kW), con una potencia añadida de 528 kW.

Además, se plantea una reserva de potencia de 60 kW entre los túneles de Errekalde y Añorga.

En situación de Emergencia de Incendio y considerando como se ha citado una única subestación (Loiola), la Potencia total en la línea de 13,2 kV será de:

$$P_t = 1885 + 528 = 2413 \text{ kW.}$$

Dado que para cada una de las dos subestaciones que alimentarán la Red propia de ETS en 13,2 kV que se plantea en Gipuzkoa, se supone como origen de esta red un único transformador de 2,5 MVA, por cada subestación, que genera tensión en la red interna de ETS de 13,2 kV, se puede concluir que para mantener una situación normal de cargas y al mismo tiempo una emergencia de incendio en el túnel de la Variante del Topo, sería suficiente con la alimentación de un único transformador (actualmente existe uno en la subestación de Loiola).

2.2. INTENSIDAD TÉRMICA DEL CABLE

Por otro lado, de manera independiente al balance de potencias global y los requisitos antes mencionados, se analiza el propio circuito de 13,2 KV que da lugar a la Red propia de ETS de alimentación a los centros de transformación.

A efectos de Intensidad Térmica del Cable, consideramos el consumo estimado de 2.413 kW.

Entonces, tenemos que:

- POTENCIA TOTAL = 2413 kW
- Cos (φ) = 0,95 (mejorado con baterías de condensadores)
- Factor de corrección = 0,7 (cables por conducciones empotrados en dado de hormigón en túneles)

$$I_{ter} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \varphi \cdot f_c} = \frac{2.413}{\sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 0,95 \cdot 0,7} = 150,71 \text{ A}$$

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE

La instalación del cable 13,2 KV en este tramo será por túnel, y el cable elegido será de idénticas características al instalado actualmente en el túnel Loiola-Herrera.

Las características son las siguientes:

- Tipo de cable: AL ALFUMEX H
- Sección: $1 \times 150 + 16 \text{ mm}^2$
- Tensión: 12/20 kV
- Norma: CEI 60502
- Análisis: 20000. 171
- Cable no propagador del incendio

Características constructivas:

- Conductor. Cuerda redonda compacta de hilos de aluminio según UNE 21.022, clase. Diámetro 14 mm.
- Semiconductora interna. Capa extrusionada de material conductor
- Aislamiento: Etileno – propileno (EPR), espesor nominal = 5,5 mm
- Semiconductora externa. Capara extrusionada de material conductor separable en frío
- Pantalla metálica. Corona de hilos de cobre más cinta de cobre en hélice con sobreposición. Sección nominal = 16 mm^2
- Cubierta exterior. Material libre de halógenos ignifugado AFUMEX Z1. Espesor 3 mm
- Peso aproximado del cable: 1.520 kg/km

Características eléctricas:

- Resistencia eléctrica del conductor a 20°C c.c., $0,206 \text{ } [\Omega/\text{km}]$
- Reactancia inductiva, X , $0,117 \text{ } [\Omega/\text{km}]$
- Capacidad nominal, $0,303 \text{ } [\mu\text{F}/\text{km}]$
- Tensión simple, U_o , 12 [kV]
- Tensión máxima entre fases, U_m , 24 [kV]
- Tensión de impulso, U_p , 125 [kV]
- Temperatura máxima admisible en el conductor
 - § En servicio permanente, 90 [°C]

§ En régimen de cortocircuito,	250 [°C]
- Intensidad máxima de cortocircuito durante 1 seg,	
§ En el conductor	13,9 [kA]
§ En la pantalla	3,1 [kA]

Normas aplicables relativas al fuego:

- No propagación de la llama. UNE EN 60332- 1 -2
- No propagación del incendio. UNE EN 50266 – 2 - 4
- Reducida emisión de halógenos. UNE EN 50267 – 2 - 1. Cero halógenos, < 0,5%
- Baja corrosividad. de los gases emitidos. UNE EN 50267 -2 – 3.
- Índice de toxicidad NES-713, NFC-20454. IT E 1,5
- Baja emisión de humos opacos. UNE EN 61034-1

Ensayos:

Una vez fabricado el cable, se someterá a los ensayos establecidos en la norma CEI 60502-2.

Ensayos Individuales

- Medida de la resistencia eléctrica del conductor
- Ensayo de tensión del aislamiento
- Ensayo de descargas parciales
- Ensayo de tensión de la cubierta exterior, (Spark-Test)

Ensayos Especiales (sobre una muestra)

- Examen del conductor
- Control dimensional

2.4. CARGA MÁXIMA DEL CABLE

El cable elegido 1 x 150 m² Al, y de acuerdo con el catálogo de Prysmian puede transportar una carga máxima de 330 A, lo que hace una potencia de:

$$P = \sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 330 = 7.545 [kVA]$$

El cable podría transportar, por Intensidad térmica, el total de potencia instalada de la Subcentral de Loiola que alimenta la red de 13,2 kV.

El cable es igualmente válido en cuanto a Intensidades de cortocircuito en conductores y pantalla, como se indicará más adelante.

2.5. CAÍDA TENSIÓN RED 13,2 KV

Para el cálculo de la c.d.t. en red, se han supuesto los casos más desfavorables, es decir, funcionando dos pozos de ventilación de emergencia (4 ventiladores) en la estación de Bentaberri (la más alejada de la Subestación de Tracción de Loiola, y afectada por este nuevo proyecto de la Variante del Topo). Se considera un segundo escenario con la ventilación de emergencia activada, correspondiente a dos pozos de ventilación en la estación de Lugaritz, partiendo que la SET de Bentaberri esté fuera de servicio.

Por último, un tercer escenario de incendio que active las ventilaciones de emergencia de Altza, partiendo que la SET de Loiola esté fuera de servicio y deba ser alimentado desde la SET de Bentaberri.

El factor de potencia de la red es $\cos \varphi = 0,95$, mejorado por las baterías de los condensadores instaladas en las estaciones y ventilaciones de emergencia.

La caída de tensión total será la suma de la que se produzca en cada tramo de la línea según la fórmula que sigue:

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_{11}$$

$$\Delta U_i = \sqrt{3} \cdot L_i \cdot I_i \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$$

siendo:

- L: Longitud en Km (se incrementa en un 5% el valor que sale directamente por P.K.s)
- R: 0,206 Ω /Km
- X = 0,117 Ω /Km
- Cos (φ) = 0,95
- Sen (φ) = 0,31

Para el cálculo de la intensidad

$$I_i = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot f_c}$$

A continuación, se muestra de manera tabulada el análisis de cada escenario. En amarillo, se sombrea el valor de potencia en la localización donde se supone se dé la emergencia que dé lugar a la activación de la ventilación de emergencia correspondiente. Cada escenario se ha realizado bajo la hipótesis de que no existiría más de una emergencia (incendio) al mismo tiempo en diferentes localizaciones.

8. Tabla. Escenario 1 considerado para los balances de carga de la red de 13,2 kV, se considera la ventilación de emergencia de Lugaritz activa.

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA		
Punto singular	PK relativos a Bilbao	Potencia [kW]
Estación de Lugaritz	105.700	514
S.E. Avda. Zarautz	106.685	300
Estación de Bentaberri	106.905	350
S.E. de Pio Baroja	107.905	45
Estación de Concha	108.950	280
Estación de Easo	109.700	260
Estación de Loiola	112.400	50
Subestación de Loiola	112.920	-
TOTAL:		1.799

9. Tabla. Caída de tensión total en el escenario 1 (calculado en voltios y en porcentaje).

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA							
Tramo (i)	Circuito	Li [m]	Pi [kW]	Ii [A]	ΔU [V]		
1	SET Loiola - Loiola	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	546	1.799	118,32	ΔU 1	28,40
2	Loiola - Easo	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	2.835	1.749	115,04	ΔU 2	143,35
3	Easo - Concha	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	788	1.489	97,94	ΔU 3	33,92
4	Concha - SE Pio Baroja	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.097	1.209	79,52	ΔU 4	38,34
5	SE Pio Baroja - Bentaberri	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.050	1.164	76,56	ΔU 5	35,33
6	Bentaberri - SE Zarautz	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	225	814	53,54	ΔU 6	5,30
6	SE Zarautz - Lugaritz	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.260	514	33,81	ΔU 7	18,72
Caída Tensión Total [V]:							303,37
Caída Tensión Total [%]:							2,30%

10. Tabla. Escenario 2 considerado para los balances de carga de la red de 13,2 kV, se considera que las ventilaciones de emergencia de Bentaberri están activas.

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA		
Punto singular	PK relativos a Bilbao	Potencia [kW]
Estación de Lugaritz	105.700	80
S.E. Avda. Zarautz	106.685	300
Estación de Bentaberri	106.905	614
S.E. de Pío Baroja	107.905	45
Estación de Concha	108.950	280
Estación de Easo	109.700	260
Estación de Loiola	112.400	50
Subestación de Loiola	112.920	-
TOTAL:		1.629

11. Tabla. Caída de tensión total en el escenario 2 (calculado en voltios y en porcentaje).

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA							
Tramo (i)	Circuito	Li [m]	Pi [kW]	Ii [A]	ΔU [V]		
1	SET Loiola - Loiola	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	546	1.629	107,14	ΔU 1	25,71
2	Loiola - Easo	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	2.835	1.579	103,85	ΔU 2	129,42
3	Easo - Concha	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	788	1.319	86,75	ΔU 3	30,05
4	Concha - SE Pío Baroja	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.097	1.039	68,34	ΔU 4	32,95
5	SE Pío Baroja - Bentaberri	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.050	994	65,38	ΔU 5	30,17
6	Bentaberri - SE Zarautz	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	225	380	24,99	ΔU 6	2,47
7	SE Zarautz - Lugaritz	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.260	80	5,26	ΔU 7	2,91
Caída Tensión Total [V]:							253,69
Caída Tensión Total [%]:							1,92%

12. Tabla. Escenario 3 considerado para los balances de carga de la red de 13,2 kV, se considera que las ventilaciones de emergencia de Altza están activas.

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA		
Punto singular	PK relativos a Bilbao	Potencia [kW]
Estación de Altza	115.950	878
Estación de Herrera	115.150	45
SE Intertúnel	114.242	45
Estación de Intxaurreondo	113.520	350
Estación de Loiola	112.400	45
Estación de Easo	109.700	280
Estación de Concha	108.950	260
S.E. de Pío Baroja	107.905	45
Estación de Bentaberri	106.905	350
S.E. Avda. Zarautz	106.685	35
SET Bentaberri	106.660	-
TOTAL:		2.333

13. Tabla. Caída de tensión total en el escenario 3 (calculado en voltios y en porcentaje).

ESCENARIO 1 - VENTILACIÓN DE EMERGENCIA DE LUGARITZ ACTIVA							
Tramo (i)		Circuito	Li [m]	Pi [kW]	Ii [A]	ΔU [V]	
1	SET Bentaberri - SE Zarautz	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	220	2.333	153,45	ΔU 1	14,84
2	SE Zarautz - Bentaberri	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	220	2.298	151,15	ΔU 2	14,62
3	Bentaberri - SE Pío Baroja	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.000	1.948	128,12	ΔU 3	56,32
4	SE Pío Baroja - Concha	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.045	1.903	125,16	ΔU 4	57,49
5	Concha - Easo	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	750	1.643	108,06	ΔU 5	35,63
6	Easo - Loiola	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	2.700	1.363	89,65	ΔU 6	106,40
7	Loiola - Intxaurreondo*	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	1.120	1.318	86,69	ΔU 7	42,68
8	Intxaurreondo - S.E. Intertúnel	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	722	968	63,67	ΔU 8	20,21
9	S.E. Intertúnel - Herrera	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	908	923	60,71	ΔU 9	24,23
10	Herrera - Altza	Al. 3 x (1 x 150 + 16) - 12/20 [kV]	800	878	57,75	ΔU 10	20,31
Caída Tensión Total [V]:							392,71
Caída Tensión Total [%]:							2,98%

Como conclusión, se puede aceptar la configuración de cable planteada, dado que en cualquiera de los escenarios más críticos posibles, se está siempre por debajo de una caída de tensión del 3 %. La configuración del circuito trifásico de 13,2 kV se anota en azul cuando el tendido no existe y en verde cuando existe en la actualidad.

2.6. CONSIDERACIONES AL FUNCIONAMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA RED DE 13,2 KV

Los cálculos anteriores, sobre validación de la sección cable y potencias instaladas en Subestación para alimentación de dicha red, se han supuesto para la situación más desfavorable que puede presentarse, es decir, que todos los Centros de Transformación estén alimentados por una sola Subestación y que las cargas añadidas de ventilación de emergencia, se produzcan en puntos más alejados de la Subestación, en este caso el túnel de la Variante del Topo (Lugaritz y Bentaberri) así como la estación de Altza (escenario más crítico desde el punto de vista de caída de tensión).

Sin embargo, en situación normal de funcionamiento de la red, es conveniente que la alimentación de los Centros de Transformación de estaciones esté repartida en dos (2) o tres (3) subestaciones (por ejemplo, Bentaberri y/o Usurbil, además de la ya citada subestación de Loiola), impidiendo que dos (2) subestaciones o las tres (3), puedan quedar en paralelo a través de la red. Como se ha citado, en caso de que la SET de Usurbil no esté en funcionamiento antes de la puesta en servicio de la Variante del Topo, se deberán mantener las acometidas externas en 13,8 kV de Iberdrola en los centros de transformación de los túneles de Errekalde y Añorga. Del centro de transformación lado norte del túnel de Añorga, sale un ramal en 13,8 kV que alimenta el centro de transformación de la estación de Añorga.

Lo indicado anteriormente, tiene sus ventajas en el servicio de explotación ya que, si existiese un defecto en la red y todos los centros estuviesen conectados a una subestación, el disparo en ésta provocaría un cero de tensión en todas las estaciones y la ventilación de emergencia.

La localización de defectos a tierra en la red de 13,2 kV se efectuará rápidamente con los relés detección faltas homopolares instalados en todos los C.T. de estaciones y la ventilación de emergencia, lo que permitirá al Puesto de Mando de Energía, la localización y el aislamiento del tramo afectado lo más rápido posible.

El software adecuado en el Puesto de Mando Central para impedir el funcionamiento en paralelo de las subcentrales, así como la localización rápida por el operador del P.M. de un defecto en la línea, no son objeto de este Proyecto y deberá ser realizado por otros. En este Proyecto se incluye el envío de señales y preparación del aparellaje eléctrico, para que pueda ser telemandado desde el P.M.

3. CÁLCULOS DE POTENCIAS E INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO

3.1. CONSIDERACIONES INICIALES

Para el dimensionado del aparellaje eléctrico de las estaciones, a efectos de capacidades de ruptura por corrientes de cortocircuito, se han tenido en cuenta los siguientes datos de partida:

a) La Subestación de Tracción que alimenta por la red de 13,2 KV a estas instalaciones, y las Subestaciones futuras que se construyan, nunca estarán en paralelo alimentando las estaciones.

b) Las características del transformador de la subestación de tracción de Loiola que origina la red de 13,2 kV propia de ETS serán las siguientes:

- Potencia 2.500 kVA
- Relación Transformación 30/13,2 kV
- Tensión de cortocircuito 8%

c) Se considera una potencia de cortocircuito en barras 30 kV de la Subestación de 1.000 MVA.

d) La red de 13,2 kV que alimenta los centros de transformación de estaciones y obras singulares, estará constituida por 3 cables unipolares, aislados, de las siguientes características:

- Tensión 12/20 kV
- Sección 1x150 mm² Al
- Pantalla corona hilos de Cu 16 mm²
- Resistencia eléctrica 0,206 Ω/km a 20 °C
- Reactancia inductiva 0,117 Ω/km
- Intensidad cortocircuito:
 - § en conductor 31,1 kA – 0,2 s
 - § en pantalla 6 kA – 0,2 s

e) Los transformadores de C.T., tendrán una tensión de cortocircuito del 6 %.

3.2. CELDAS DE 13,2KV

Tanto las barras como los interruptores automáticos se diseñan para una intensidad de cortocircuito trifásica de 16 kA:

- Tensión de servicio: 13,2 kV
- Intensidad de cortocircuito: 16 kA
- Poder de corte máximo (interruptores): 20 kA

3.3. INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO A LA SALIDA DE LA SUBESTACIÓN

A continuación, se muestran, los cálculos relativos a la potencia de cortocircuito a la salida de subestación. Como se ha citado el supuesto, considera una subestación genérica, ya sea la actual de Loiola o la futura de Bentaberri, con el criterio de disponer de un transformador de 2,5 MVA en cada una de ellas.

Posteriormente, por cada estación / ventilación de emergencia, se realizará un análisis pormenorizado de las intensidades de cortocircuito calculadas, considerando el peor escenario, es decir, el que dé una mayor intensidad de cortocircuito, que corresponderá con el escenario en el que la subestación que alimente a cada punto esté lo más cercana al mismo.

CORTOCIRCUITO EN SALIDA RED 13,2 KV DE SUBCENTRALES	
Impedancia de la red 30 kV en Subcentral	
$Z_q = 1,1 \cdot \frac{U_n^2}{S_{cc}}$	
- U _n =	30 [kV]
- S _{cc} =	1000 [MVA]
Impedancia de la red de 30 kV:	Z _q = 0,99 [Ω]
$X_q = \frac{Z_q}{1,005}$	
Reactancia de la red de 30 kV:	X _q = 0,985 [Ω]
$R_q \approx 0,1 \cdot X_q$	
Estimación de la resistencia de la red de 30 kV:	R _q = 0,0985 [Ω]
Z_q = 0,0985 + 0,985 j [Ω]	

Impedancia de la red referida al secundario del transformador en 13,2 kV	
$Z'_q = Z_q \cdot \left(\frac{U_n^{baja}}{U_n^{alta}} \right)^2$	
-	$U_n^{baja} = 13,2 \quad [\text{kV}]$ $U_n^{alta} = 30 \quad [\text{kV}]$
$Z'_q = 0,019 + 0,191 j \quad [\Omega]$	
Impedancia de los transformadores (lado 13,2 kV)	
$X'_t = \frac{\% \cdot U_n^2}{S}$	
-	$\% = 8 \quad [\%]$ $U_n = 13,2 \quad [\text{kV}]$ $S = 2,5 \quad [\text{MVA}]$
Reactancia de la red de 30 kV: $X_q = 5,576 \quad [\Omega]$	
Impedancia suma de la red 30 kV y del transformador (lado 13,2 kV)	
$Z'_t = R'_q + (X'_q + X'_t) \cdot j$	
$Z'_t = 0,019 + 5,767 j \quad [\Omega]$	
Como hay dos ramas en paralelo la impedancia se divide entre 2	
$Z'_r = \frac{Z'_t}{2} = \frac{R'_t}{2} + \frac{X'_t}{2} \cdot j$	
$Z'_r = 0,0095 + 2,8835 j \quad [\Omega]$	
Módulo de las impedancias del transformador (lado 13,2 kV)	
$Z'_r = \sqrt{R_r'^2 + X_r'^2}$	
$Z'_r = 2,88 \quad [\Omega]$	
Corriente cortocircuito tripolar. Salida subcentral	
$I_{cc} = 1,1 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z'_r}$	
$I_{cc} = 2,914 \quad [\text{kA}]$	

3.4. INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN LAS ESTACIONES Y SALIDA DE EMERGENCIA INTERTÚNEL

El análisis de la intensidad de cortocircuito de las estaciones y salidas de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz se hará bajo un criterio homogeneizador, de tal forma que se hará el cálculo de manera conservadora. Esto implica analizar la intensidad de cortocircuito en el centro de transformación de estación más cercano al punto de suministro (SET de Bentaberri), que en este caso se trata de la propia estación de Bentaberri.

Así mismo, se realizará la comprobación en el centro de Transformación de la Salida de Emergencia de Zarautz, ya que es el más cercano al punto de Suministro en 13,2 kV.

3.4.1. CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO BENTABERRI

CORTOCIRCUITO EN BARRAS 13,2 Kv. C.T. ESTACIÓN BENTABERRI

Datos cable de conexión entre subcentral y C.T.

$$Z/Km = (0,206 + 0,117) j \text{ Ohm}$$

Impedancia cables 13,2 kV entre subcentral Bentaberri y C.T.: BENTABERRI

$$Z'c = L \times Z/Km.$$

$$L = 0,5 \text{ Km.}$$

$$Z'c = (0,103 + 0,0585) j \text{ Ohm}$$

Impedancia hasta barras C.T. ESTACIÓN BENTABERRI

$$Z_t = (0,1125 + 2,942) j \text{ Ohm}$$

$$Z_t = 2,9442 \text{ Ohm}$$

Corriente cortocircuito tripolar en barras

$$I_{cc} = 1,1 \times U_n / (1,73 \times Z'r) = 2,851 \text{ kA}$$

Potencia de cortocircuito en barras

$$P_{cc} = 1,73 \times U_n \times I_{cc} = 65,105 \text{ MVA}$$

Defecto Fase - Tierra en barras 13,2 kV. C.T. ESTACIÓN BENTABERRI

Impedancia inversa hasta el fallo = Impedancia directa

$$Z_{1f} = Z_{2f} = (0,1125 + 2,942) j \text{ Ohm}$$

Impedancia homopolar transformador 2500 kVA en Subcentral Loiola

$$X_{0t} = 0,96 X't = 5,353 \text{ Ohm}$$

Al tener 1 trafo en paralelo de 2500 kVA en subcentral:

$$X_{0t} = 5,353 \text{ Ohm}$$

Impedancia equivalente para el cálculo del defecto fase - tierra

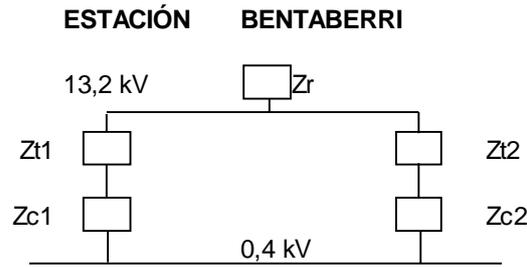
$$Z_{kf} = Z_{1f} + Z_{2f} + Z_t = (0,225 + 11,237) j \text{ Ohm}$$

$$Z_{kf} = 11,239 \text{ Ohm}$$

Corriente de cortocircuito fase - tierra

$$I_{ft} = 2,032 \text{ kA}$$

CORTOCIRCUITO EN BARRAS CUADRO DISTRIBUCIÓN B.T.



Impedancia hasta barras C.T.

ESTACIÓN BENTABERRI

$$Z'R = (0,1125 + 2,942) j \text{ Ohm}$$

Impedancia red 13,2 kV referida a secundario trafos 1000 kVA (400 V)

$$Zr = Z'r \times (0,4/13,2)^2 = (1,00E-04 + 2,70E-03) j \text{ Ohm}$$

Impedancia transformador 1000 kVA referida a secundario 400 V

%.trafo 1000 kVA 6 %

$$Zt1 = \% \times 400.2/\text{Strafo.} = 0,0096 \text{ Ohm}$$

$$Zt1 = 1,019 X_{t1}$$

$$X_{t1} = 0,00942 \text{ Ohm}$$

$$R_{t1} = 0,00185 \text{ Ohm}$$

$$Zt1 = (0,00185 + 0,00942) j \text{ Ohm}$$

Impedancia cable interconexión trafos 1000 kVA con cuadro general

4 cables en paralelo por fase de 1 x 240 mm² de cobre y 2 cables de neutro

$$L = 10 \text{ m}$$

$$R = 0,0754 \text{ Ohm/Km.}$$

$$X = 0,068 \text{ Ohm/Km.}$$

$$R_{c1} = 0,00019$$

$$X_{c1} = 0,00017$$

$$Z_{c1} = (0,00019 + 0,00017) j \text{ Ohm}$$

Impedancia suma trafo-cable

$$Zt1 + Z_{c1} = (0,00204 + 0,00959) j \text{ Ohm}$$

Impedancia total en barras cuadro B.T.

$$Z = Zr + 1/2 (Zt1 + Z_{c1}) = (0,00112 + 0,0075) j \text{ Ohm}$$

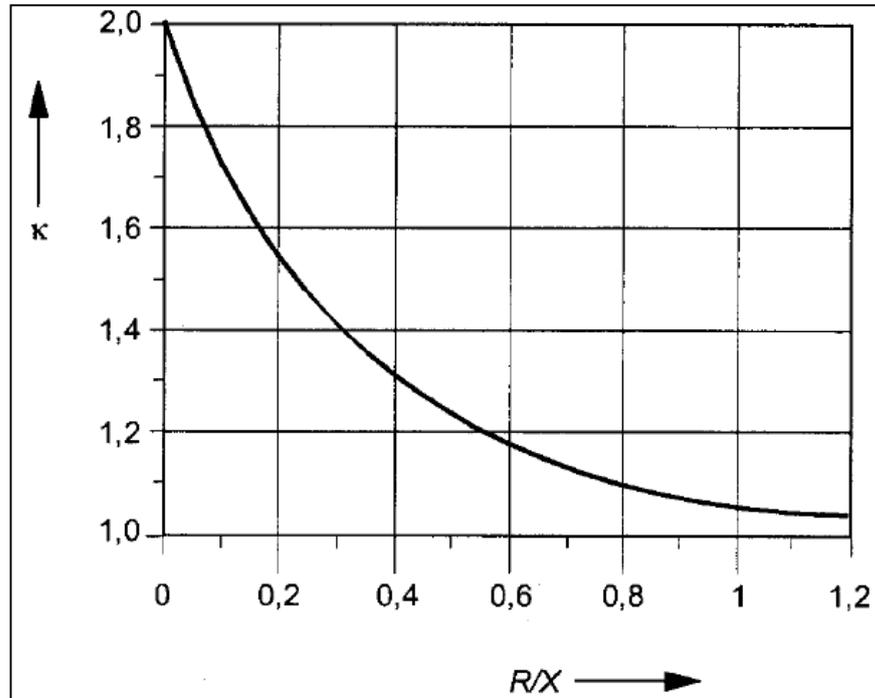
$$Z = 0,0076 \text{ Ohm}$$

Intesidad cortocircuito trifásico en barras C.G.B.T.

$$I_{cc} = 33,46517 \text{ kA}$$

Valor cresta de la corriente de cortocircuito (Icp)

Ver página 49 de la norma EN 60909-0:2001 R/X = 0,149



$$I_{cp} = 1,4142 \times K \times I_{cc} = 75,72 \text{ kA}$$

Intensidad de cortocircuito subtransitoria en barras C.G.B.T de

ESTACIÓN BENTABERRI

Se tendrá en cuenta la aportación de los motores instalados y en funcionamiento en el momento de producirse el defecto

Se considera que en ese momento están funcionando:

4 Motores de ventilación de emergencia	264	kW
Escaleras mecánicas, ascensores, pozos de bombeo, EBA	192	kW
Potencia total =	456	kW
cos.fi =	0,8	
Pot. Motores =	570	kVA

Intensidad aportada por los motores al defecto:

$$I = 3 \times S / (1,73 \times 0,4) = 2471,1 \text{ A}$$

Intensidad total subtransitoria en barras C.G.B.T.

$$I_{ccs} = 35,94 \text{ kA}$$

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO ESTACIÓN BENTABERRI

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 2,032 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor \leq 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 33,46517 kA

Intensidad máxima de cresta: 75,72 kA

La aportación al cortocircuito se realizará por las (2) dos ramas en paralelo de los dos transformadores, es decir, las intensidades por cada una serán las siguientes:

$I_{cc} = 16,73$ kA

$I_{cp} = 37,86$ kA

El interruptor de protección del secundario de los transformadores de potencia y acometida a cuadro de distribución de ESTACIÓN BENTABERRI es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de: 50 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

En casos excepcionales, como alimentación a pequeñas cargas como resistencia de caldeo, ... se admitirán poderes de corte menores.

3.4.2. CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO BENTABERRI

CORTOCIRCUITO EN BARRAS 13,2 Kv. C.T. V.E. ZARAUTZ

Datos cable de conexión entre subcentral y C.T.

$$Z/Km = (0,206 + 0,117) j \text{ Ohm}$$

Impedancia cables 13,2 kV entre subcentral Bentaberri y C.T.: ZARAUTZ

$$Z'c = L \times Z/Km.$$

$$L = 0,225 \text{ Km.}$$

$$Z'c = (0,0464 + 0,0263) j \text{ Ohm}$$

Impedancia hasta barras C.T. V.E. ZARAUTZ

$$Zt = (0,0559 + 2,9098) j \text{ Ohm}$$

$$Zt = 2,9103 \text{ Ohm}$$

Corriente cortocircuito tripolar en barras

$$I_{cc} = 1,1 \times U_n / (1,73 \times Z'r) = 2,884 \text{ kA}$$

Potencia de cortocircuito en barras

$$P_{cc} = 1,73 \times U_n \times I_{cc} = 65,859 \text{ MVA}$$

Defecto Fase - Tierra en barras 13,2 kv. C.T. V.E. ZARAUTZ

Impedancia inversa hasta el fallo = Impedancia directa

$$Z1f = Z2f = (0,0559 + 2,9098) j \text{ Ohm}$$

Impedancia homopolar transformador 2500 kVA en Subcentral Loiola

$$X'ot = 0,96 X'1 = 5,353 \text{ Ohm}$$

Al tener 1 trafo en paralelo de 2500 kVA en subcentral:

$$X'ot = 5,353 \text{ Ohm}$$

Impedancia equivalente para el cálculo del defecto fase - tierra

$$Zkf = Z1f + Z2f + Zt = (0,1118 + 11,1726) j \text{ Ohm}$$

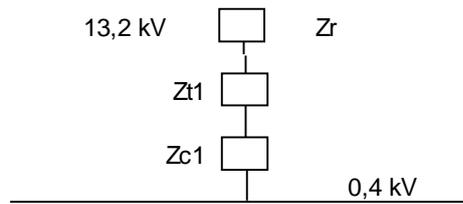
$$Zkf = 11,173 \text{ Ohm}$$

Corriente de cortocircuito fase - tierra

$$I_{ft} = 2,044 \text{ kA}$$

CORTOCIRCUITO EN BARRAS CUADRO DISTRIBUCIÓN B.T.

V.E. ZARAUTZ



Impedancia hasta barras C.T.

V.E. ZARAUTZ

$$Z'R = (0,0559 + 2,9098) j \text{ Ohm}$$

Impedancia red 13,2 kV referida a secundario trafo 630 kVA (400 V)

$$Z_r = Z'r \times (0,4/13,2)^2 = (5,00E-05 + 2,67E-03) j \text{ Ohm}$$

Impedancia transformador 630 kVA referida a secundario 400 V

% trafo 630 kVA 6 %

$$Z_{t1} = \% \times 400.2 / \text{Strafo.} = 0,01524 \text{ Ohm}$$

$$Z_{t1} = 1,019 X_{t1}$$

$$X_{t1} = 0,01496 \text{ Ohm}$$

$$R_{t1} = 0,00291 \text{ Ohm}$$

$$Z_{t1} = (0,00291 + 0,01496) j \text{ Ohm}$$

Impedancia cable interconexión trafo 630 kVA con cuadro general

4 cables en paralelo por fase de 1 x 240 mm² de cobre y 2 cables de neutro

$$L = 10 \text{ m}$$

$$R = 0,0754 \text{ Ohm/Km.}$$

$$X = 0,068 \text{ Ohm/Km.}$$

$$R_{c1} = 0,00019$$

$$X_{c1} = 0,00017$$

$$Z_{c1} = (0,00019 + 0,00017) j \text{ Ohm}$$

Impedancia suma trafo-cable

$$Z_{t1} + Z_{c1} = (0,0031 + 0,01513) j \text{ Ohm}$$

Impedancia total en barras cuadro B.T.

$$Z = Z_r + 1/2 (Z_{t1} + Z_{c1}) = (0,0016 + 0,01024) j \text{ Ohm}$$

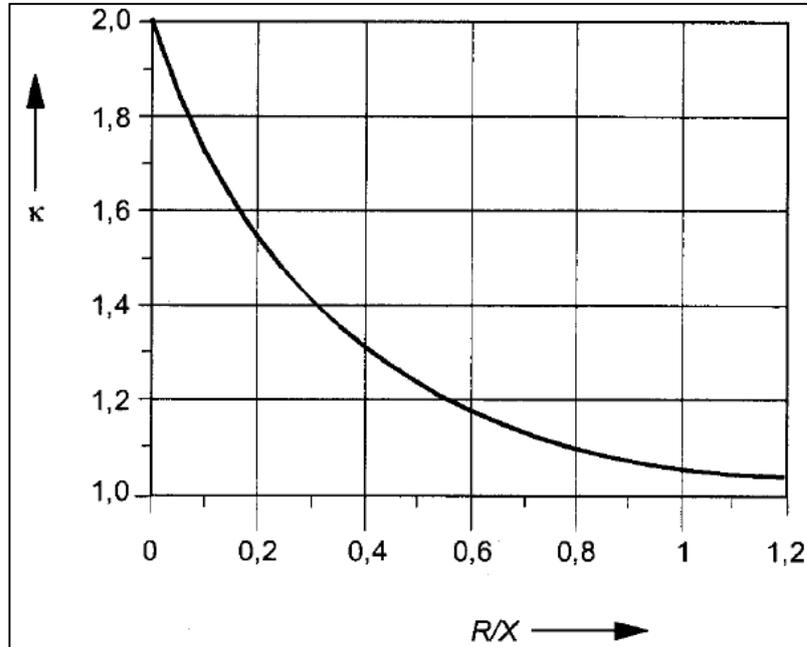
$$Z = 0,0104 \text{ Ohm}$$

Intensidad cortocircuito trifásico en barras C.G.B.T.

$I_{cc} = 24,45531 \text{ kA}$

Valor cresta de la corriente de cortocircuito (I_{cp})

Ver página 49 de la norma EN 60909-0:2001 $R/X = 0,156$



$I_{cp} = 1,4142 \times K \times I_{cc} = 55,34 \text{ kA}$

Intensidad de cortocircuito subtransitoria en barras C.G.B.T de

V.E. ZARAUTZ

Se tendrá en cuenta la aportación de los motores instalados y en funcionamiento en el momento de producirse el defecto

Se considera que en ese momento están funcionando:

2 Motores de ventilación de emergencia	264	kW
Pozos de bombeo (caso de conmutación con Herrera)	60	kW
Potencia total =	324	kW
cos.fi =	0,8	
Pot. Motores =	405	kVA

Intensidad aportada por los motores al defecto:

$I = 3 \times S / (1,73 \times 0,4) = 1755,78 \text{ A}$

Intensidad total subtransitoria en barras C.G.B.T.

$I_{ccs} = 26,21 \text{ kA}$

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO V.E. PÍO BAROJA

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 2,044 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor ≤ 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 24,45531 kA

Intensidad máxima de cresta: 55,34 kA

El interruptor de protección del secundario del transformador de potencia y acometida a cuadro de distribución de V.E. PÍO BAROJA es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de:
25 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

3.4.3. CONCLUSIONES

Por tanto, las conclusiones que se extraen para los casos concretos de los centros de transformación de la estación de Bentaberri y la Salida de Emergencia de la Avenida Zarautz, son extrapolables a las estaciones de Concha y Easo, así como para las salidas de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz.

4. DIMENSIONADO DE CABLES DEL SECUNDARIO DE LOS TRANSFORMADORES

4.1. CABLES DE ALIMENTACIÓN AL CUADRO CGBT EN ESTACIÓN DE BENTABERRI, CONCHA Y EASO

4.1.1. Cálculo por intensidad de cortocircuito admisible

Los datos de partida utilizados para el cálculo son:

- Conductor: Cobre
- Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE)
- Tiempo de duración de falta: 0,5 segundos
- Intensidad de cortocircuito trifásica: 33,47 kA (35,94 kA con motores). Ésta se corresponde con la calculada en la estación de Bentaberri, que es el caso más crítico, por encontrarse a solo 500 metros de la subestación de tracción del mismo nombre.

Según UNE 211435:2011 tabla B2-Intensidad máxima de cortocircuito-, para la intensidad de cortocircuito calculada, la sección mínima del cable para un tiempo de despeje de 0,5 seg. es de 185 mm² Cu (37.850A).

4.1.2. Cálculo por intensidad máxima permanente admisible

La intensidad máxima en régimen permanente, dada la carga a la que está sometida este transformados (poco variable), se considera la nominal del equipo, por lo que la intensidad en la línea de alimentación al cuadro de servicios auxiliares será:

$$I = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I = \frac{1000\text{kVA}}{\sqrt{3} * 0,4\text{kV}} = 1443,38\text{ A}$$

Los factores de corrección utilizados según UNE 211435:2011 y UNE 21144 son:

- Por disposición de los cables en las bandejas:
 - § Número máximo de bandejas: 3
 - § Número máximo de ternas o cables: 9
 - § Coeficiente de corrección: C1 = 0,67

- Por variación de temperatura:

§ Temperatura máxima: 40°C

§ Coeficiente de corrección: $C_2 = 1$

En base a estos coeficientes, la intensidad corregida será:

$$I_c = \frac{I}{C_1 \cdot C_2} = 2154,29 \text{ A}$$

La sección mínima de cable necesaria para la circulación de esta intensidad, según REBT - ITC - BT-07 (Tabla 12), es 4 x 240 mm², con una capacidad de 2160 A que se considera suficiente.

Para el conductor de neutro, se considera un sistema de cargas relativamente equilibrado y sin armónicos que procuren intensidades anómalas en dicho conductor, por lo que en base a la tabla 1 del REBT ITC-07, se considera un neutro de sección de cobre no menor de cuatro cables unipolares de 120 mm² cada uno.

4.1.3. Cálculo por caída de tensión

Los datos de partida considerados son:

- Temperatura ambiente: 40°C
- Longitud: 10 m
- Intensidad: 4 x 535 A
- Coseno de φ : 0,8
- Línea:
 - § Composición: 3 x 4 [(1 x 240 mm²)] + 4 x (1 x 120 mm²)
 - § Tipo: XLPE
 - § Tensión: 0,6/1 kV
- Temperatura máxima del conductor: 90°C
- Límite de caída de tensión: 1,5% (entre secundario de transformador y CGBT)

En base a datos de tablas de fabricante de reconocido prestigio, la caída de tensión con las consideraciones marcadas en los puntos anteriores, dan lugar a una caída de tensión de 0,21 V por amperio y kilómetro de cable por fase de 240 mm² definido.

Por tanto, para una intensidad nominal de 535 A y una longitud de circuito desde el secundario del transformador del que parte hasta la protección general situada en el cuadro de baja tensión (cuadro de servicios auxiliares) sería de:

$0,010 \text{ Km} \times 535 \text{ A} \times 0,21 \text{ V}/(\text{A.Km}) = 1,124 \text{ V}$, lo que en 400 V representa un 0,281 % a plena carga.

4.1.4. Elección del conductor

En consecuencia, con los cálculos realizados, el tipo de cable elegido para la acometida al CGBT, determinado por la intensidad máxima admisible en régimen permanente será:

$$3 \times [4 \times (1 \times 240 \text{ mm}^2) + 4 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)] \text{ Cu XLPE } 0,6/1\text{kV}$$

4.2. CABLES DE ALIMENTACIÓN AL CUADRO CGBT EN LAS SALIDAS DE EMERGENCIA PÍO BAROJA Y ZARAUTZ

4.2.1. Cálculo por intensidad de cortocircuito admisible

Los datos de partida utilizados para el cálculo son:

- Conductor: Cobre
- Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE)
- Tiempo de duración de falta: 0,5 segundos
- Intensidad de cortocircuito trifásica: 24 kA (25,75 kA con motores)

Según UNE 211435:2011 tabla B2-Intensidad máxima de cortocircuito-, para la intensidad de cortocircuito calculada, la sección mínima del cable para un tiempo de despeje de 0,5 seg es de 150 mm² Cu (30.700A).

4.2.2. Cálculo por intensidad máxima permanente admisible

La intensidad máxima en régimen permanente, dada la carga a la que está sometida este transformador (poco variable), se considera la nominal del equipo, por lo que la intensidad en la línea de alimentación al cuadro de servicios auxiliares será:

$$I = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I = \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 909,33 \text{ A}$$

Los factores de corrección utilizados según UNE 211435:2011 y UNE 21144 son:

- Por disposición de los cables en las bandejas:
 - § Número máximo de bandejas: 3
 - § Número máximo de ternas o cables: 9
 - § Coeficiente de corrección: $C_1 = 0,67$
- Por variación de temperatura:
 - § Temperatura máxima: 40°C
 - § Coeficiente de corrección: $C_2 = 1$

En base a estos coeficientes, la intensidad corregida será:

$$I_c = \frac{I}{C_1 \cdot C_2} = 1357,21\text{A}$$

La sección mínima de cable necesaria para la circulación de esta intensidad, según REBT – ITC—BT-07 (Tabla 12), es 4 x 120 mm², con una capacidad de 1340 A que se considera suficiente.

Para el conductor de neutro, se considera un sistema de cargas relativamente equilibrado y sin armónicos que procuren intensidades anómalas en dicho conductor, por lo que en base a la tabla 1 del REBT ITC-07, se considera un neutro de sección de cobre no menor de cuatro cables unipolares de 70 mm² cada uno.

4.2.3. Cálculo por caída de tensión

Los datos de partida considerados son:

- Temperatura ambiente: 40°C
- Longitud: 10 m
- Intensidad: 4 x 335 A
- Coseno de φ : 0,8
- Línea:
 - § Composición: 3 x 4 [(1 x 120 mm²)] + 4 x (1 x 70 mm²)
 - § Tipo: XLPE
 - § Tensión: 0,6/1 kV

- Temperatura máxima del conductor: 90°C
- Límite caída de tensión: 1,5%

En base a datos de tablas de fabricante de reconocido prestigio, la caída de tensión con las consideraciones marcadas en los puntos anteriores, dan lugar a una caída de tensión de 0,35 V por amperio y kilómetro de cable por fase de 120 mm² definido.

Por tanto, para una intensidad nominal de 335 A y una longitud de circuito desde el secundario del transformador del que parte hasta la protección general situada en el cuadro de baja tensión (cuadro de servicios auxiliares) sería de:

$0,010 \text{ Km} \times 335 \text{ A} \times 0,35 \text{ V}/(\text{A.Km}) = 1,173 \text{ V}$, lo que en 400 V representa un 0,293 % a plena carga.

4.2.4. Elección del conductor

En consecuencia, con los cálculos realizados, el tipo de cable elegido para la acometida al CGBT, determinado por la intensidad máxima admisible en régimen permanente será:

3x[4x (1 x 120 mm²) + 4 x (1x 70 mm²)] Cu XLPE 0,6/1kV

5. RED DE TIERRAS EN ESTACIONES

5.1. DATOS DE PARTIDA

La red de puesta a tierra de las estaciones soterradas, como las estaciones de Bentaberri, Concha y Easo, así como la salida de emergencia de Pío Baroja estará formada por dos (2) sistemas independientes entre sí:

- 1- Red de tierras de protección
- 2- Red de tierras de servicio para puesta a tierra de neutro de transformadores

Con lo indicado anteriormente, se pretende el garantizar que el sistema de p.a.t. de servicio, no alcance tensiones elevadas que puedan afectar a las instalaciones de baja tensión en el momento en el que se esté disipando un defecto por el sistema de protección.

La difusión de la corriente de puesta a tierra se realizará a través de electrodos situados en la cota inferior de la estación, bajo andenes.

En la zona de andén en la que está situado el Centro de Transformación y bajo éste, (cota inferior de la estación) existirá una alineación de nueve pozos de toma de tierra con una interdistancia de 9,60 m aproximadamente, estando separados 0,5 m del eje de pilares. Seis de ellos serán para la puesta a tierra de protección y los tres pozos más alejados serán para la p.a.t. de servicio, neutro del transformador.

En el andén opuesto y en la misma cota anterior y a la misma interdistancia de 9,60 m, existirán una alineación de seis pozos de toma de tierra, todos ellos serán para la puesta a tierra de protección.

La composición del terreno corresponde a margas calcáreas, con una resistividad, medida por el procedimiento Wenner de $\rho = 100 \Omega.m$.

Cada pozo de tierra consistirá en un taladro vertical de 0,1 m de diámetro por 5 m de profundidad, en el cual se alojarán tres (3) picas de acero – cobre, de 18,3 mm de diámetro y 1,5 m de longitud, acopladas entre sí. Con objeto de mejorar la resistividad del terreno, se efectuará un relleno del hueco bien compactado, de mezcla a partes iguales de arcilla, grafito y bentonita. Con este sistema, se consigue una resistividad del terreno de $\rho = 18 \Omega.m$, contrastado con mediciones efectuadas en la Línea 1 del Ferrocarril Metropolitano de Bilbao.

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y servicio independientes, aparte de la separación de electrodos, la conexión a los mismos se efectuará con cable aislado de 95 mm² de sección.

Como medidas complementarias de seguridad y formando una malla equipotencial en el piso del Centro de Transformación, se instalará un mallazo electrosoldado compuesto por redondos de diámetro 5 mm, formando una retícula de 150x150

mm y se conectará mediante soldaduras aluminotérmicas a la red de tierras del centro en cuatro puntos, preferiblemente opuestos, cubriéndose con una capa de hormigón de 5 cm (mínimo).

El régimen de puesta a tierra del neutro de los transformadores corresponde a un sistema TN-S, con conductor de protección independiente para todos los servicios.

Toda la instalación de puesta a tierra estará de acuerdo con el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, Instrucciones técnicas complementarias MIE-RAT 13 y con el Reglamento de Baja Tensión ITC-BT-18.

5.2. CÁLCULO RESISTENCIA A TIERRA DE PROTECCIÓN EN ESTACIONES

La puesta a tierra de protección estará constituida por la agrupación de 12 pozos de tierra, con 3 electrodos de 1,5 m por cada pozo.

La resistividad mejorada del terreno es $r_o = 18 \Omega \cdot m$ (se entiende que se deberá aportar bentonita u otro material que mejore el contacto entre pica y el terreno que la rodea).

Distancia entre pozos: 9,6 m.

Resistencia de n picas en paralelo:

$$R = \frac{1}{n} \frac{r_o}{2L\pi} \ln \frac{3L}{d} + \frac{r_o}{D} \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + K + \frac{1}{2(n+1)} \frac{r_o}{D}$$

$n = n^\circ \text{ picas} = 12$

$r_o = \text{resistividad terreno } (\Omega m) = 18 \Omega m$

$L = \text{Longitud pica (m)} = 4,5 \text{ m}$

$d = \text{diámetro pica (m)} = 0,018 \text{ m}$

$D = \text{distancia entre picas (m)} = 9,6 \text{ m}$

Sustituyendo valores:

$$R = \frac{1}{12} \frac{18}{2 \cdot 4,5 \pi} \ln \frac{3 \cdot 4,5}{0,018} + \frac{18}{9,6} \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + K + \frac{1}{26} \frac{18}{9,6}$$

$R = 0,6 \Omega$

5.3. INTENSIDAD DEFECTO FASE - TIERRA

Dado que el valor de intensidad de defecto fase – tierra se va a homogenizar para el cálculo en las tres estaciones y la salida de emergencia de Pío Baroja. Por tanto, se tomará el valor mayor de todos que es de 2044 A.

5.4. SECCIÓN CABLE PUESTA A TIERRA

Dimensionamos el cable de tierra según RAT-13 apartado 3.1. Según este apartado no se deberá superar la densidad de corriente de 160 A/mm², no adoptándose en ningún caso valores inferiores a 25 mm².

$S = \frac{2044}{160} = 12,775 \text{ mm}^2$ para la Salida de emergencia Avda. Zarautz (con el defecto fase – tierra de mayor valor)

Tomamos como sección para el cable de tierras 95 mm² de Cu para todas las estaciones, así como para las salidas de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz, por seguir estándar de ETS y además estar del lado de la seguridad.

5.5. INTENSIDAD DIFUNDIDA POR LA RED DE ELECTRODOS

De la intensidad de defecto una parte circulará por la red de electrodos y de éstos a tierra y otra retornará por la pantalla de los cables de la red de 13,2 kV a la Subestación de Bentaberri (la más cercana).

El valor de esta intensidad es el siguiente:

$$I = IT \frac{R_p}{R + R_p} \text{ siendo:}$$

SALIDA DE EMERGENCIA AVDA. ZARAUTZ

IT = Intensidad total defecto fase-tierra = 2044 A

Rp = Resistencia pantalla cable 13,2 kV: 1,2 Ω/km x 0,225 km = 0,27 Ω

R = Resistencia electrodos: 0,6 Ω

$I = 2044 * 0,27 / (0,6 + 0,27) = 634,34 \text{ A}$

ESTACIÓN BENTABERRI

IT = Intensidad total defecto fase-tierra = 2032 A

Rp = Resistencia pantalla cable 13,2 kV: $1,2 \Omega/\text{km} \times 0,5 \text{ km} = 0,6 \Omega$

R = Resistencia electrodos: $0,6 \Omega$

$I = 2032 * 0,6 / (0,6 + 0,6) = 1016,00 \text{ A}$

SALIDA DE EMERGENCIA PIO BAROJA

IT = Intensidad total defecto fase-tierra = 1983 A

Rp = Resistencia pantalla cable 13,2 kV: $1,2 \Omega/\text{km} \times 0,5 \text{ km} = 1,92 \Omega$

R = Resistencia electrodos: $0,6 \Omega$

$I = 2044 * 1,92 / (0,6 + 1,92) = 1510,86 \text{ A}$

ESTACIÓN CONCHA

IT = Intensidad total defecto fase-tierra = 1953 A

Rp = Resistencia pantalla cable 13,2 kV: $1,2 \Omega/\text{km} \times 2,29 \text{ km} = 2,75 \Omega$

R = Resistencia electrodos: $0,6 \Omega$

$I = 1953 * 2,75 / (0,6 + 2,75) = 1603 \text{ A}$

ESTACIÓN DE EASO

IT = Intensidad total defecto fase-tierra = 1919 A

Rp = Resistencia pantalla cable 13,2 kV: $1,2 \Omega/\text{km} \times 3,04 \text{ km} = 3,65 \Omega$

R = Resistencia electrodos: $0,6 \Omega$

$I = 1919 * 3,65 / (3,65 + 0,6) = 1647,95 \text{ A}$

Para más seguridad, consideramos que la pantalla del cable está cortada y que toda la intensidad defecto, 2032 A, se difunde por las tomas de tierra de la estación de

Bentaberri, extrapolando el mismo diseño al resto de estaciones y salida de emergencia de Pío Baroja para mantener un estándar.

5.6. TENSIONES DE PASO Y CONTACTO CALCULADAS

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto usamos las fórmulas de la "Guía Técnica sobre Cálculo, diseño y medida de instalaciones de puesta a tierra" de UNESA.

$$\text{Tensión de paso: } U_p = 0,16 \times r_o \frac{I}{L}$$

$$\text{Tensión de contacto: } U_c = 0,366 r_o \frac{I}{L} \times \lg \frac{2}{d}$$

Siendo:

r_o = resistividad: 18 $\Omega \cdot m$

I = Intensidad difundida a tierra: 2044 A en el peor de los casos (salida de emergencia Avenida Zarautz)

L = Longitud de los electrodos en m: 12 x 4,5 = 54 m

d = diámetro del electrodo en m: 0,018 m

sustituyendo valores

$$U_p = 0,16 \times 18 \times 2044 / 54 = 109,01 \text{ V}$$

$$U_c = 0,366 \times 18 \times 2044 / 54 \times \lg(2/0,018) = 510,15 \text{ V}$$

5.7. TENSIONES PERMISIBLES DE PASO Y CONTACTO

Según Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13 usaremos para estimar las mismas las expresiones siguientes:

Tensión de paso:

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

Tensión de contacto:

$$U_c = U_{ca} * \left(1 + \frac{\frac{Ra1}{2} + 1.5 * \rho_s * C_s}{1000} \right)$$

Con:

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

t = tiempo de duración de la falta

K = 72 t; n = 1 para tiempos inferiores a 0,9 s

U_{ca} = K/t

ρ_o = resistividad del suelo de hormigón 3.000 Ωm

Considerando un tiempo de duración del defecto de 0,5 s obtendremos:

$$V_p = 33.120 \text{ V}$$

$$V_c = 936 \text{ V}$$

Siendo las tensiones de paso y contacto permisibles, mayores que las calculadas, deducimos que la red es válida con las hipótesis consideradas.

5.8. COMPROBACIÓN APARELLAJE DE BAJA TENSIÓN

Cuando se produce un defecto a tierra, la intensidad real difundida por los electrodos es de 1648,08 A, en el peor de los casos (estación de Easo). La elevación de tensión del punto neutro de la instalación con respecto a tierra será de:

$$V = I_f * R_t = 1647,95 * 0,6 = 988,77 \text{ V}$$

que es inferior a la tensión que deben soportar los equipos de B.T. (UNESA recomienda no sobrepasar los 1200 V a frecuencia industrial). Por este motivo, puede irse en estos casos a un sistema de tierra conjunto para la protección de equipos de media y baja tensión.

6. DISTANCIA ENTRE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN Y DE SERVICIO

Para garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio (neutro) no alcance tensiones elevadas que puedan afectar a las instalaciones de los usuarios, en el momento en que se esté disipando un defecto por el sistema de protección de tierra (malla de tierra), debe establecerse una separación mínima entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, que será función de la resistividad del terreno ($\rho = \text{Ohmios.metro}$) y de la intensidad de defecto (I_g o I_d).

La máxima diferencia de potencial que puede aparecer entre el neutro de BT y una tierra lejana no afectada se establece según lo indicado en la MIE BT 017, que fija como tensión de ensayo para las instalaciones interiores, durante 1 minuto, $2 U + 1.000 \text{ V}$, siendo U la tensión máxima de servicio, con un mínimo de 1.500 V . El mismo de valor de 1.500 V aparece en la MIE BT 031 como tensión de ensayo de 50 Hz a mantener durante 1 minuto en los receptores.

Al tratarse de una instalación de BT que está en servicio y de acuerdo con el criterio que se suele aplicar en estos casos (tensión de ensayo no superior al 80% del valor máximo).

$$U = 0,8 \times 1.500 = 1.200 \text{ V}$$

Aplicaremos un margen de garantía suficiente, con el que determinamos que al producirse un defecto a tierra y disiparse una corriente por el sistema de tierras de protección, la tensión inducida sobre el electrodo de puesta a tierra del neutro de BT no deberá superar los 1.000 V

Para determinar la tensión inducida sobre el electrodo de puesta a tierra de BT, estableceremos la zona de influencia al de una semiesfera. Así pues, la tensión inducida por una semiesfera a una distancia D , viene dada por la expresión:

$$U_i = \frac{r \times I_d}{2 \times \rho \times D}$$

Siendo D la distancia en metros entre electrodos de protección (malla de tierra) y de servicio (neutro).

Despejando D , obtenemos que:

$$D \geq \frac{r \times I_d}{2 \times \rho \times U_i}$$

Teniendo en cuenta que la tensión máxima inducida la hemos fijado en 1.000 V , resulta:

$$D \geq \frac{r \times I_d}{2000 \rho}$$

Finalmente, continuando con el supuesto inicial de una resistividad media del terreno de 100 Ω.m y una de 18 Ω.m para la zona entre cada pica y el terreno y suponiendo una media de 50 Ω.m y sabiendo que la intensidad de defecto (Id) es no mayor de 1648,08 A (en el peor de los casos; ver punto 5.8 de este anejo que corresponde a la estación de Easo) tendremos que la distancia deberá ser mayor o igual a 13,12 m:

$$D \geq \frac{50 \times 1.648,08}{2000 \times P} \gg 13,12 \text{ m}$$

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes, la puesta a tierra del neutro se realizará con cable aislado de cobre de 95 mm² 0,6/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7, como mínimo, contra daños metálicos.

A falta de medidas de resistividad definitivas del terreno, se considera a nivel de diseño válida la distancia mínima definida de 9,60 metros, estandarizada para todos los casos (estaciones de Bentaberri, Concha y Easo) en los proyectos de obras civiles.

Para la salida de emergencia intertúnel, el cálculo realizado resulta una distancia mínima entre tierras de protección y de servicio de 12 metros.

7. BATERÍAS DE CONDENSADORES

Con objeto de mejorar el factor de potencia de las instalaciones, la capacidad de la red 13,2 kV y el funcionamiento de los transformadores de potencia de las Subestaciones de Tracción que a futuro alimentarán dicha red, se ha previsto la instalación de Baterías de Condensadores automáticas, en cada uno de los centros de transformación afectados en este tramo.

Los equipos de alumbrado se suministrarán todos de alto factor, por tanto, las baterías mejorarán el factor de potencia principalmente del equipamiento electromecánico.

Las estaciones y túneles tienen cargas eminentemente resistivas a excepción de los motores de ventilación y bombeo, por lo que estimamos un factor de potencia inicial de 0,91. A efectos de mantenimiento y repuestos se intentará uniformar el suministro de batería y se han previsto las siguientes:

CT de la Estación de Bentaberri

Potencia media considerada en equipamiento electromecánico = 790 kW

$$\cos \varphi_1 = 0,91$$

$$\text{Tag } \varphi_1 = 0,45$$

Para mejorar el factor de potencia a $\cos \varphi_2 = 0,95$; $\text{tag } \varphi_2 = 0,33$; se instalará una batería, de potencia: $P_r = 790 (0,45 - 0,33) \approx 95 \text{ kVAr}$.

CT de la Estación de Concha

Potencia media considerada en equipamiento electromecánico = 780 kW

$$\cos \varphi_1 = 0,91$$

$$\text{Tag } \varphi_1 = 0,45$$

Para mejorar el factor de potencia a $\cos \varphi_2 = 0,95$; $\text{tag } \varphi_2 = 0,33$; se instalará una batería, de potencia: $P_r = 780 (0,45 - 0,33) \approx 95 \text{ kVAr}$.

CT de la Estación de Easo

Potencia media considerada en equipamiento electromecánico = 720 kW

$$\cos \varphi_1 = 0,91$$

$$\text{Tag } \varphi_1 = 0,45$$

Para mejorar el factor de potencia a $\cos \varphi_2 = 0,95$; $\text{tag } \varphi_2 = 0,33$; se instalará una batería, de potencia: $P_r = 720 (0,45 - 0,33) \approx 90 \text{ kVAr}$.

CT de la Salida de Emergencia de Zarautz

Potencia media considerada en equipamiento electromecánico = 265 kW

$$\cos \varphi_1 = 0,91$$

$$\text{Tag } \varphi_1 = 0,45$$

Para mejorar el factor de potencia a $\cos \varphi_2 = 0,95$; $\text{tag } \varphi_2 = 0,33$; se instalará una batería, de potencia: $P_r = 245 (0,45 - 0,33) \approx 32 \text{ kVAr}$.

CT de la Salida de Emergencia de Pío Baroja

Potencia media considerada en equipamiento electromecánico = 265 kW

$$\cos \varphi_1 = 0,91$$

$$\text{Tag } \varphi_1 = 0,45$$

Para mejorar el factor de potencia a $\cos \varphi_2 = 0,95$; $\text{tag } \varphi_2 = 0,33$; se instalará una batería, de potencia: $P_r = 265 (0,45 - 0,33) \approx 32 \text{ kVAr}$.

7.1. BATERÍAS DE CONDENSADORES SELECCIONADAS

Dadas las potencias de reactiva a compensar, se define un tipo de baterías de condensadores para las tres estaciones, como sigue:

Batería de condensadores y regulación automática (8 x 12,5 kVAr) siguiendo las últimas pautas de las ya instaladas en ETS.

Por otro lado, para las salidas de emergencia de Pío Baroja y Avenida Zarautz, se considera la siguiente batería de condensadores:

Batería de condensadores y regulación automática (3 x 12,5 kVAr) siguiendo las últimas pautas de las ya instaladas en ETS.

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO ESTACIÓN BENTABERRI

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 2,032 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor ≤ 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 33,46517 kA

Intensidad máxima de cresta: 75,72 kA

La aportación al cortocircuito se realizará por las (2) dos ramas en paralelo de los dos transformadores, es decir, las intensidades por cada una serán las siguientes:

$I_{cc} = 16,73$ kA

$I_{cp} = 37,86$ kA

El interruptor de protección del secundario de los transformadores de potencia y acometida a cuadro de distribución de ESTACIÓN BENTABERRI es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de: 50 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

En casos excepcionales, como alimentación a pequeñas cargas como resistencia de caldeo, ... se admitirán poderes de corte menores.

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO ESTACIÓN CONCHA

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 1,953 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor ≤ 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 32,60708 kA

Intensidad máxima de cresta: 73,78 kA

La aportación al cortocircuito se realizará por las (2) dos ramas en paralelo de los dos transformadores, es decir, las intensidades por cada una serán las siguientes:

$I_{cc} = 16,3$ kA

$I_{cp} = 36,89$ kA

El interruptor de protección del secundario de los transformadores de potencia y acometida a cuadro de distribución de ESTACIÓN CONCHA es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de: 50 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

En casos excepcionales, como alimentación a pequeñas cargas como resistencia de caldeo, ... se admitirán poderes de corte menores.

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO ESTACIÓN EASO

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 1,919 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor \leq 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 32,19434 kA

Intensidad máxima de cresta: 72,85 kA

La aportación al cortocircuito se realizará por las (2) dos ramas en paralelo de los dos transformadores, es decir, las intensidades por cada una serán las siguientes:

$I_{cc} = 16,1$ kA

$I_{cp} = 36,43$ kA

El interruptor de protección del secundario de los transformadores de potencia y acometida a cuadro de distribución de ESTACIÓN EASO es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de: 50 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

En casos excepcionales, como alimentación a pequeñas cargas como resistencia de caldeo, ... se admitirán poderes de corte menores.

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO
V.E. PÍO BAROJA

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 1,983 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor ≤ 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 23,99389 kA

Intensidad máxima de cresta: 54,29 kA

El interruptor de protección del secundario del transformador de potencia y acometida a cuadro de distribución de V.E. PÍO BAROJA es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de:
25 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas

COMPROBACIÓN EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO
V.E. ZARAUTZ

Cable red 13,2 kV

Intensidad cortocircuito tripolar salida subcentral: 2,914 kA

Intensidad cortocircuito fase - tierra en barras 13,2 kV: 2,044 kA

Tiempo desconexión total: relé protección + apertura interruptor ≤ 300 ms.

Intensidades permisibles en cable y pantalla para 0,3s:

En conductor $I_{cc} = 25$ kA

En pantalla $I_{cc} = 3,96$ kA

Las intensidades permisibles en cable son superiores a las intensidades de defecto, luego el cable es válido.

Cable de 13,2 kV

Según P.P.T.P:

Intensidad admisible en barras cuadro 13,2 kV - 16 kA - 1s

Poder de corte interruptores: 16 kA

Como vemos son muy superiores a las intensidades de defecto que se produzcan, luego el cuadro es válido.

Cuadro General Baja Tensión

Intensidad de cortocircuito trifásico calculada: 24,45531 kA

Intensidad máxima de cresta: 55,34 kA

El interruptor de protección del secundario del transformador de potencia y acometida a cuadro de distribución de V.E. ZARAUTZ es de las siguientes características:

Poder de corte: 42 kA

Poder de cierre (kA cresta): 88 kA

Los interruptores de salida de cuadro serán todos de un poder de corte de:
25 kA o mayores.

Valor superior a las intensidades de cortocircuito calculadas