

Anejo nº 2.- Cálculos eléctricos

1.	Esquemas de suministros eléctricos Fase I II y III	5
1.1.	Esquemas de suministros eléctricos Fase II	6
2.	Cálculos justificativos de las líneas de media tensión subterráneas.....	7
2.1.	Intensidad máxima admisible	7
2.2.	Caídas de tensión	8
3.	Cálculos justificativos de las líneas de baja tensión subterráneas.....	10
3.1.	Intensidad máxima admisible	10
3.2.	Caídas de tensión	11
4.	Cálculos justificativos de las líneas generales de alimentación a los aliviaderos de Argoños y El Dueso.....	12
4.1.	Aliviadero de Argoños	12
4.2.	Aliviadero de El Dueso.....	12
5.	Cálculos justificativos de los centros de reparto y de los centros de transformación	13
5.1.	Centros de reparto.....	13
5.1.1.	Intensidad de alta tensión.	13
5.1.2.	Cortocircuitos.	13
5.1.2.1.	<i>Observaciones.</i>	13
5.1.2.2.	<i>Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito.</i>	13
5.1.2.3.	<i>Cortocircuito en el lado de Alta Tensión.</i>	14
5.1.3.	Dimensionado de la ventilación del centro.....	14
5.1.4.	Dimensionado del embarrado.....	14
5.1.4.1.	<i>Comprobación por densidad de corriente.</i>	15
5.1.4.2.	<i>Comprobación por solicitud electrodinámica.</i>	15
5.1.4.3.	<i>Comprobación por solicitud térmica. Sobreintensidad térmica admisible.</i>	15
5.1.5.	Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.....	15
5.1.5.1.	<i>Investigación de las características del suelo.</i>	15
5.1.5.2.	<i>Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.</i>	16

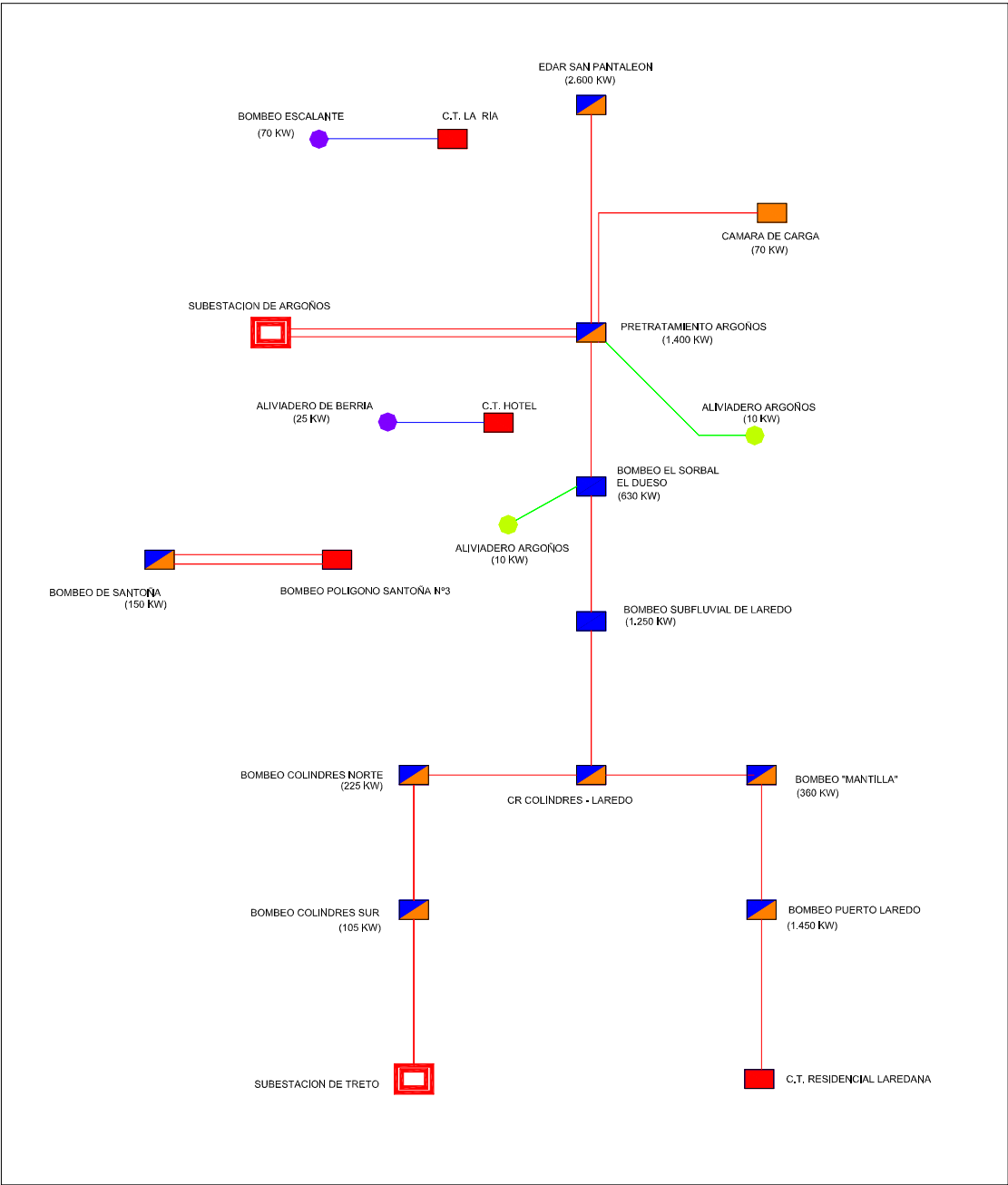
5.1.5.3.	<i>Diseño preliminar de la instalación de tierra.....</i>	16
5.1.5.4.	<i>Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.</i>	17
5.1.5.5.	<i>Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.....</i>	18
5.1.5.6.	<i>Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.</i>	18
5.1.5.7.	<i>Cálculo de las tensiones aplicadas.</i>	19
5.1.5.8.	<i>Investigación de tensiones transferibles al exterior.</i>	20
5.1.5.9.	<i>Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.....</i>	20
5.2.	Centro de abonado del Pretratamiento de Argoños	20
5.2.1.	Intensidad de alta tensión.....	20
5.2.2.	Intensidad de baja tensión.....	21
5.2.3.	Cortocircuitos.....	21
5.2.3.1.	<i>Observaciones.</i>	21
5.2.3.2.	<i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito.....</i>	22
5.2.3.3.	<i>Cortocircuito en el lado de alta tensión.....</i>	22
5.2.3.4.	<i>Cortocircuito en el lado de baja tensión.....</i>	23
5.2.4.	Dimensionado del embarrado.	23
5.2.4.1.	<i>Comprobación por densidad de corriente.</i>	23
5.2.4.2.	<i>Comprobación por sollicitación electrodinámica.</i>	24
5.2.4.3.	<i>Comprobación por sollicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.</i>	24
5.2.5.	Selección de las protecciones de alta y baja tensión.....	24
5.2.6.	Dimensionado de la ventilación del c.t.	25
5.2.7.	Dimensiones del pozo apagafuegos.	25
5.2.8.	Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.	26
5.2.8.1.	<i>Investigación de las características del suelo.....</i>	26
5.2.8.2.	<i>Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.....</i>	26
5.2.8.3.	<i>Diseño preliminar de la instalación de tierra.....</i>	26
5.2.8.4.	<i>Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.</i>	28
5.2.8.5.	<i>Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.....</i>	29
5.2.8.6.	<i>Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.</i>	30
5.2.8.7.	<i>Cálculo de las tensiones aplicadas.</i>	30
5.2.8.8.	<i>Investigación de tensiones transferibles al exterior.</i>	32

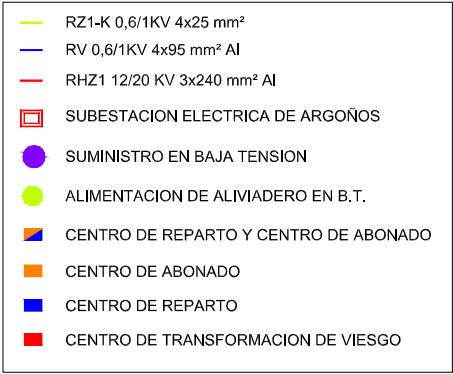
5.2.8.9.	<i>Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.</i>	32
5.3.	Centro de abonado Colindres Sur	32
5.3.1.	Intensidad de alta tensión.	32
5.3.2.	Intensidad de baja tensión.	33
5.3.3.	Cortocircuitos.	34
5.3.3.1.	<i>Observaciones.</i>	34
5.3.3.2.	<i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito.</i>	34
5.3.3.3.	<i>Cortocircuito en el lado de alta tensión.</i>	35
5.3.3.4.	<i>Cortocircuito en el lado de baja tensión.</i>	35
5.3.4.	Dimensionado del embarrado.	35
5.3.4.1.	<i>Comprobación por densidad de corriente.</i>	36
5.3.4.2.	<i>Comprobación por solicitación electrodinámica.</i>	36
5.3.4.3.	<i>Cálculo por solicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.</i>	37
5.3.5.	Selección de las protecciones de alta y baja tensión.	38
5.3.6.	Dimensionado de la ventilación del c.t.	38
5.3.7.	Dimensiones del pozo apagafuegos.	39
5.3.8.	Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.	39
5.3.8.1.	<i>Investigación de las características del suelo.</i>	39
5.3.8.2.	<i>Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.</i>	39
5.3.8.3.	<i>Diseño preliminar de la instalación de tierra.</i>	40
5.3.8.4.	<i>Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.</i>	42
5.3.8.5.	<i>Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.</i>	42
5.3.8.6.	<i>Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.</i>	43
5.3.8.7.	<i>Cálculo de las tensiones aplicadas.</i>	43
5.3.8.8.	<i>Investigación de tensiones transferibles al exterior.</i>	44
5.3.8.9.	<i>Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.</i>	45
5.4.	Centro de transformación de abonado del Bombeo de Santoña.	45
5.4.1.	Intensidad de alta tensión.	45
5.4.2.	Intensidad de baja tensión.	46
5.4.3.	Cortocircuitos.	46
5.4.3.1.	<i>Observaciones.</i>	46
5.4.3.2.	<i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito.</i>	46

5.4.3.3.	<i>Cortocircuito en el lado de alta tensión.....</i>	47
5.4.3.4.	<i>Cortocircuito en el lado de baja tensión.....</i>	47
5.4.4.	Dimensionado del embarrado.	48
5.4.4.1.	<i>Comprobación por densidad de corriente.</i>	48
5.4.4.2.	<i>Comprobación por solicitación electrodinámica.</i>	49
5.4.4.3.	<i>Cálculo por solicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.....</i>	50
5.4.5.	Selección de las protecciones de alta y baja tensión.....	50
5.4.6.	Dimensionado de la ventilación del c.t.	51
5.4.7.	Dimensiones del pozo apagafuegos.	51
5.4.8.	Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.	52
5.4.8.1.	<i>Investigación de las características del suelo.....</i>	52
5.4.8.2.	<i>Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.....</i>	52
5.4.8.3.	<i>Diseño preliminar de la instalación de tierra.....</i>	52
5.4.8.4.	<i>Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.</i>	54
5.4.8.5.	<i>Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.....</i>	55
5.4.8.6.	<i>Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.</i>	55
5.4.8.7.	<i>Cálculo de las tensiones aplicadas.</i>	56
5.4.8.8.	<i>Investigación de tensiones transferibles al exterior.</i>	57
5.4.8.9.	<i>Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.....</i>	57

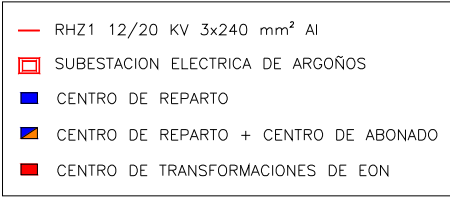
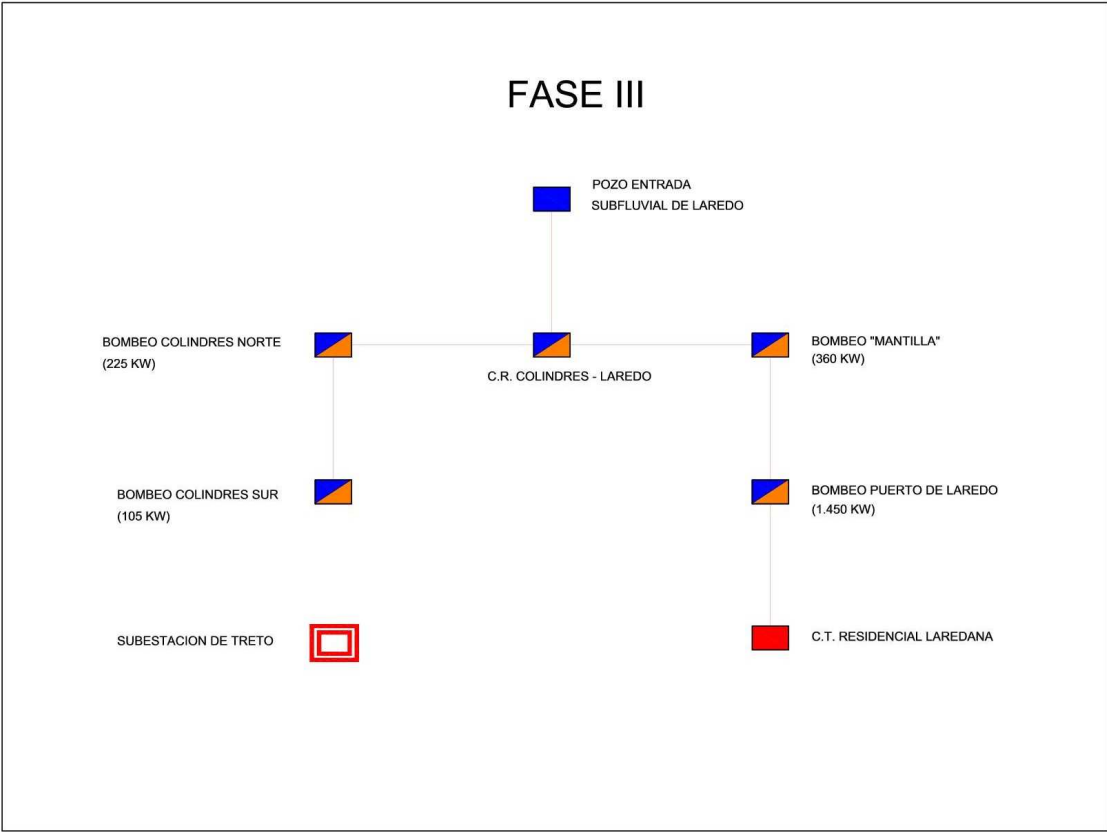
1. Esquemas de suministros eléctricos Fase I, II y III

En este Anejo se indican los cálculos eléctricos realizados para el dimensionamiento del Proyecto de infraestructuras eléctricas necesarias para el suministro eléctrico al sistema de Saneamiento General de las Marismas de Santoña. (Cantabria), ya que el presente Proyecto hace referencia a una parte del mismo. Por lo tanto es necesario dimensionar todo el conjunto para diseñar el Proyecto de la Fase III.





1.1. Esquemas de suministros eléctricos Fase III



2. Cálculos justificativos de las líneas de media tensión subterráneas.

2.1. Intensidad máxima admisible

EL conductor elegido para la realización de la red de alimentación en 12kV es el RHZ1 12/20 kV de 240 mm² de sección en aluminio.

La intensidad máxima admisible por este conductor es de 451 A.

Al ser una instalación subterránea aplicamos un coeficiente de 0,8 por lo que la intensidad máxima admisible para nuestros cálculos será de 360 A.

A continuación calculamos la intensidad demandada por los diferentes suministros en 12/20 kv.

En un sistema trifásico, la intensidad (I) viene determinada por la expresión:

$$I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi)$$

Siendo:

- P = Potencia del receptor en KW
- U = Tensión en KV = 12 KV.
- I = Intensidad en Amperios.
- $\cos\phi$ = Factor de potencia =0,8.

Sustituyendo las potencias de los bombes tendremos

INSTALACION	P(KW)	U(KV)	COS	I(A)
PRETRATAMIENTO DE ARGOÑOS	1.400	12	0,8	84,20
E.D.A.R. SAN PANTALEON	2.600	12	0,8	156,37
CAMARA DE CARGA	70	12	0,8	4,21
BOMBEO EL SORBAL (EL DUESO)	630	12	0,8	37,89
BOMBEO SUBFLUVIAL DE LAREDO	1.250	12	0,8	75,18
BOMBEO MANTILLA	360	12	0,8	21,65
BOMBEO PUERTO LAREDO	1.450	12	0,8	87,21
BOMBEO COLINDRES NORTE	225	12	0,8	13,53
BOMBEO COLINDRES SUR	105	12	0,8	6,31
BOMBEO SANTOÑA	150	12	0,8	9,02

Analizando los consumos de los diferentes bombes y el esquema de suministros, obtenemos que la intensidad máxima que circula por el la líneas será de 325,97 A en el tramo de

la subestación de Argoños al bombeo del pretratamiento, en la línea de suministros a los bombeos, siendo esta menor de los 360 A que soporta el conductor.

2.2. Caídas de tensión

La caída máxima de tensión recomendada por la compañía suministradora es del 5% de la Tensión de la línea:

$$5\% \text{ de } 12 \text{ KV} = 600 \text{ V.}$$

La caída de tensión viene determinada por:

$$E = P \times L / (\rho \times S \times V \times \cos\phi)$$

siendo:

P: Potencia en W

L: Longitud de la línea en m.

ρ : Conductividad en $\text{m}/\Omega\cdot\text{mm}^2$

Para el aluminio = 35

S: Sección en $\text{mm}^2 = 240 \text{ mm}^2$

V: Tensión en voltios = 12.000 V

$\cos\phi$ = Factor de potencia = 0,8

A continuación calculamos la caída de tensión en las diferentes ramas del esquema eléctrico en los siguientes supuestos:

- 1.- Todos los bombeos se abastecen desde la S.E. de Argoños

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
				PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
S.E. ARGOÑOS - PRETRATAMIENTO	2.600.000	1.900	240	61,26	0,51	61,26	0,51
PRETRATAMIENTO - E.D.A.R.	2.600.000	3.505	240	113,01	0,94	174,27	1,45
S.E. ARGOÑOS - PRETRATAMIENTO	5.420.000	1.900	240	127,70	1,06	127,70	1,06
PRETRATAMIENTO - B. EL SORBAL	4.020.000	3.005	240	149,80	1,25	277,51	2,31
B. EL SORBAL - B. SUBFLUVIAL DE LAREDO	3.390.000	1.825	240	76,72	0,64	354,23	2,95
B. SUBFLUVIAL DE LAREDO - C.R. COLINDRES-LAREDO	2.140.000	3.712	240	98,51	0,82	452,73	3,77
C.R. COLINDRES-LAREDO-B. MANTILLA	1.810.000	2.110	240	47,36	0,39	500,09	4,17
B. MANTILLA - B. PUERTO LAREDO	1.450.000	2.426	240	43,62	0,36	543,72	4,53
S.E. ARGOÑOS - PRETRATAMIENTO	5.420.000	1.900	240	127,70	1,06	127,70	1,06
PRETRATAMIENTO - B. EL SORBAL	4.020.000	3.005	240	149,80	1,25	277,51	2,31
B. EL SORBAL - B. SUBFLUVIAL DE LAREDO	3.390.000	1.825	240	76,72	0,64	354,23	2,95
B. SUBFLUVIAL DE LAREDO - C.R. COLINDRES-LAREDO	2.140.000	3.712	240	98,51	0,82	452,73	3,77
C.R. COLINDRES-LAREDO - B. COLINDRES NORTE	330.000	1.326	240	5,43	0,05	458,16	3,82
B. COLINDRES NORTE - B. COLINDRES SUR	105.000	1.490	240	1,94	0,02	460,10	3,83

2.- Los bombeos de Colindres Sur, Colindres Norte, Mantilla y Puerto de Laredo se abastecen desde la S.E. de Tretro.

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
				PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
S.E. ARGOÑOS - PRETRATAMIENTO	2.600.000	1.900	240	71,47	0,60	71,47	0,60
PRETRATAMIENTO - E.D.A.R.	2.600.000	3.505	240	131,84	1,10	203,31	1,69
S.E. ARGOÑOS - PRETRATAMIENTO	5.420.000	1.900	240	148,99	1,24	148,99	1,24
PRETRATAMIENTO - C.R. B. EL SORBAL	4.020.000	3.005	240	174,77	1,46	323,76	2,70
C.R. B. EL SORBAL - C.R. B. SUBFLUVIAL DE LAREDO	3.390.000	1.825	240	89,51	0,75	413,26	3,44
S.E. TRETO - C.R. COLINDRES SUR	2.140.000	1.250	240	38,70	0,32	38,70	0,32
C.R. B. COLINDRES SUR - C.R. B. COLINDRES NORTE	2.035.000	1.490	240	43,87	0,37	82,57	0,69
C.R. B. COLINDRES NORTE - C.R. COLINDRES-LAREDO	1.810.000	1.326	240	34,72	0,29	117,29	0,98
C.R. COLINDRES-LAREDO - C.R. B. MANTILLA	1.810.000	2.110	240	55,25	0,46	172,54	1,44
C.R. B. MANTILLA - C.R. B. PUERTO DE LAREDO	1.450.000	2.426	240	50,89	0,42	223,44	1,86

Existen también otros suministros en media tensión desde centros de transformación de EON, como son los casos del bombeo de Santoña desde el C.T. Polígono Santoña nº3 y el acople de Puerto Laredo con el C.T. Residencial Laredana.

En estos casos la caída de tensión será:

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
	(w)	(m)	(mm2)	PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
C.T. POLIGONO SANTOÑA Nº3 - C.R. B. SANTOÑA	150.000	248	240	0,54	0,004	0,54	0,004
C.T. RESIDENCIAL LAREDANA - C.R. B. PUERTO LAREDO	1.450.000	252	240	5,29	0,04	5,29	0,04

Como se puede comprobar en todos los casos la caída de tensión es menor del 5%.

Por ultimo calculamos la caída de tensión en la línea que alimenta el centro de abonado de la cámara de carga desde el centro de abonado del Pretratamiento de Argoños.

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
	(w)	(m)	(mm2)	PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
C.T. ABONADO PRETRATAMIENTO DE ARGOÑOS - C.T. DE ABONADO DE LA CAMARA DE CARGA	70.000	924	240	0,94	0,008	0,94	0,008

3. Cálculos justificativos de las líneas de baja tensión subterráneas.

Se dotará de abastecimiento eléctrico en baja tensión (400V) los bombeos de Escalante y el aliviadero de Berría.

3.1. Intensidad máxima admisible

En los casos del bombeo de Escalante y del aliviadero de Berría, el conductor elegido es el RV 0,6/1kV en aluminio y la sección será de 95 mm².

La intensidad máxima admisible por este cable considerando un factor de corrección de 0,8 por ser instalación enterrada en zanja en el interior de tubo será de 208 A.

Para el cálculo de la intensidad que soportará el conductor aplicaremos la expresión

$$I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi)$$

Siendo:

- P = Potencia en w.
- U = Tensión en V = 400 V.
- I = Intensidad en Amperios.

- $\cos\phi$ = Factor de potencia =0,8.

Sustituyendo la potencia de las instalaciones tendremos:

INSTALACION	P(W)	U(V)	COS π	I(A)
BOMBEO DE ESCALANTE	70.000	400	0,8	126,30
ALIVIADERO DE BERRIA	25.000	400	0,8	45,11

Siendo en ambos casos la intensidad obtenida menor que la máxima admisible por el conductor.

3.2. Caídas de tensión

En las líneas de baja tensión la caída máxima de tensión recomendada por la compañía suministradora es del 5% en líneas de distribución:

$$5\% \text{ de } 400\text{V} = 20 \text{ V.}$$

Como hemos reflejado anteriormente la caída de tensión viene determinada por:

$$E = P \times L / (\rho \times S \times V \times \cos\phi)$$

Siendo para los cálculos de las líneas de baja tensión:

P: Potencia en W

L: Longitud de la línea en m.

ρ : Conductividad en $\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$

Para el aluminio = 35

S: Sección en $\text{mm}^2 = 95 \text{ mm}^2$

V: Tensión en voltios = 400 V

$\cos\phi$ = Factor de potencia =0,8

A continuación calculamos la caída de tensión en los suministros al bombeo de Escalante y al aliviadero de Berría:

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
				PARC.(V)		TOT.(V)	
	(w)	(m)	(mm2)		%		%
C.T. LA RIA - BOMBEO ESCALNTE	70.000	451	95	0,99	0,008	0,99	0,008
C.T. HOTEL - ALIVIADERO DE BERRÍA	25.000	30	95	0,02	0,0002	0,02	0,0002

4. Cálculos justificativos de las líneas generales de alimentación a los aliviaderos de Argoños y El Dueso.

4.1. Aliviadero de Argoños

La línea general de alimentación al aliviadero de Argoños partirá desde el cuadro de control y mando del bombeo del pretratamiento de Argoños y llegará al cuadro general de B.T. del aliviadero.

Este aliviadero se encuentra a 450 m. del bombeo y tiene previsto un consumo de 10 KW.

El conductor elegido es el RZ1-K 0,6/1kV de 25 mm² de sección.

Calcularemos la caída de tensión, que deberá de ser menor del 1%, y la intensidad máxima admisible por el conductor.

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
				PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
C.C.M. PRETRATAMIENTO DE ARGOÑOS - ALIVIADERO DE ARGOÑOS	10.000	450	25	0,54	0,004	0,54	0,004

La intensidad que circula por el conductor será:

INSTALACION	P(W)	U(V)	COS φ	I(A)
ALIVIADERO DE ARGOÑOS	10.000	400	0,8	18,04

La intensidad máxima que soporta un conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado de 25 mm² es de 160 A.

Aplicando el factor de corrección de 0,8 por ser instalación enterrada en zanja en el interior de tubo será de 128 A, superior a los 18,04 A que son el consumo del aliviadero.

4.2. Aliviadero de El Dueso

En el aliviadero de El Dueso la línea general de alimentación tiene como punto de partida el cuadro de control y mando del bombeo de El Sorbal (El Dueso) y el punto de llegada el cuadro general de B.T. del propio aliviadero.

Este aliviadero también tiene previsto un consumo de 10 KW. y se encuentra a 315 m. del bombeo.

Aquí también el conductor elegido es el RZ1-K 0,6/1kV de 25 mm² de sección.

La caída de tensión, que deberá de ser menor del 1%, será:

TRAMO	POTENCIA TOTAL	LONG.	SECCION	CAIDA DE TENSION			
				PARC.(V)	%	TOT.(V)	%
C.CM BOMBEO EL SORBAL (EL DUESO) - ALIVIADERO DE EL DUESO)	10.000	316	25	0,38	0,003	0,38	0,003

La intensidad que circula por el conductor será:

INSTALACION	P(W)	U(V)	COS	I(A)
ALIVIADERO DE EL DUESO	10.000	400	0,8	18,04

Como se ha descrito en el apartado anterior la intensidad máxima que soporta un conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado de 25 mm² es de 160 A.

Aplicando el factor de corrección de 0,8 por ser instalación enterrada en zanja en el interior de tubo será de 128 A, superior a los 18,04 A que son el consumo del aliviadero.

5. Cálculos justificativos de los centros de reparto y de los centros de transformación

5.1. Centros de reparto

5.1.1. Intensidad de alta tensión.

La intensidad nominal del centro es la máxima que podrá circular por la aparamenta, es decir $I_n = 400$ A.

5.1.2. Cortocircuitos.

5.1.2.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 315 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

5.1.2.2. Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las

expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en kV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en KA.

5.1.2.3. Cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$S_{cc} = 315$ MVA.

$U = 12$ kV.

y sustituyendo valores tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de A.T. de:

$I_{ccp} = 15.16$ KA.

5.1.3. Dimensionado de la ventilación del centro.

A pesar de la inexistencia de transformadores de potencia y por tanto de focos de calor en el interior del prefabricado de hormigón, se dispondrá de dos rejillas para la ventilación del centro. Una de ellas estará situada en la parte frontal superior y la otra en la parte posterior superior, con unas dimensiones cada una de ellas de 1.319 x 321 mm, siendo la superficie total de ventilación de 0.85 m².

5.1.4. Dimensionado del embarrado.

Como resultado de los ensayos que han sido realizados a las celdas fabricadas por fabricantes homologados como Ormazabal, Schneider Electric o similares, no son necesarios los cálculos teóricos ya que con los certificados de ensayo ya se justifican los valores que se indican tanto en esta memoria como en las placas de características de las celdas.

5.1.4.1. Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene como objeto verificar que no se supera la máxima densidad de corriente admisible por el elemento conductor cuando por el circule una corriente igual a la corriente nominal máxima.

Las celdas seleccionadas para este proyecto tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

5.1.4.2. Comprobación por solicitud electrodinámica.

La comprobación por solicitud electrodinámica tiene como objeto verificar que los elementos conductores de las celdas incluidas en este proyecto son capaces de soportar el esfuerzo mecánico derivado de un defecto de cortocircuito entre fase.

Las celdas seleccionadas para este proyecto como en el supuesto de la densidad de corriente tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

El ensayo garantizará una resistencia electrodinámica de 40kA.

5.1.4.3. Comprobación por solicitud térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La comprobación por solicitud térmica tiene como objeto comprobar que por motivo de la aparición de un defecto o cortocircuito no se producirá un calentamiento excesivo del elemento conductor principal de las celdas que pudiera así dañarlo.

También en este caso tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

El ensayo garantizará una resistencia térmica de 16kA 1 segundo.

5.1.5. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

5.1.5.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Seccionamiento, se determina una resistividad media superficial = 150 Ω m.

5.1.5.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (EON), el tiempo total de eliminación del defecto es de 0.32 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

El neutro de la red de distribución en Media Tensión está aislado. Por esto, la intensidad máxima de defecto dependerá de la capacidad entre la red y tierra. Dicha capacidad dependerá no sólo de la línea a la que está conectado el Centro, sino también de todas aquellas líneas tanto aéreas como subterráneas que tengan su origen en la misma subestación de cabecera, ya que en el momento en que se produzca un defecto (y hasta su eliminación) todas estas líneas estarán interconectadas.

En este caso, según datos proporcionados por EON, la intensidad máxima de defecto, es de 100 A.

5.1.5.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.
- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega/(\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V/(\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros Kr y Kp de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

5.1.5.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (Rt) y tensión de defecto correspondiente (Ud), utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, Rt:

$$R_t = K_r * \sigma .$$

- Tensión de defecto, Ud:

$$U_d = I_d * R_t.$$

Siendo:

$$\sigma = 150 \, \Omega.m.$$

$$K_r = 0.073 \, \Omega/(\Omega.m).$$

$$I_d = 100 \, A.$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 11 \, \Omega.$$

$$U_d = 1095 \, V.$$

5.1.5.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p \cdot \sigma \cdot I_d = 0.012 \cdot 150 \cdot 100 = 180 \text{ V.}$$

5.1.5.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

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

El edificio prefabricado de hormigón EHC estará construido de tal manera que, una vez fabricado, su interior sea una superficie equipotencial. Todas las varillas metálicas embebidas en el hormigón que constituyan la armadura del sistema equipotencial estarán unidas entre sí mediante soldadura eléctrica.

Esta armadura equipotencial se conectará al sistema de tierras de protección (excepto puertas y rejillas, que como ya se ha indicado no tendrán contacto eléctrico con el sistema equipotencial; debiendo estar aisladas de la armadura con una resistencia igual o superior a 10.000 ohmios a los 28 días de fabricación de las paredes).

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla

equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t * I_d = 11 * 100 = 1095 \text{ V.}$$

5.1.5.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_p(\text{exterior}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 * \sigma}{1.000} \right)$$

$$U_p(\text{acceso}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{3 * \sigma + 3 * \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

U_p = Tensiones de paso en Voltios.

K = 72.

n = 1.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s.

Ω = Resistividad del terreno.

Ωh = Resistividad del hormigón = 3.000 Ω .m.

obtenemos los siguientes resultados:

$$U_p(\text{exterior}) = 4275 \text{ V.}$$

$$U_p(\text{acceso}) = 23512.5 \text{ V.}$$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$U_p = 180 \text{ V.} < U_p(\text{exterior}) = 4275 \text{ V.}$$

- en el acceso al C.T.:

$$U_d = 1095 \text{ V.} < U_p(\text{acceso}) = 23512.5 \text{ V.}$$

5.1.5.8. Investigación de tensiones transferibles al exterior.

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

5.1.5.9. Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

5.2. Centro de abonado del Pretratamiento de Argoños (existente)

5.2.1. Intensidad de alta tensión.

En un sistema trifásico, la intensidad primaria I_p viene determinada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

U = Tensión compuesta primaria en kV = 12 kV.

I_p = Intensidad primaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del

transformador

(kVA)

I_p

(A)

1000

48.11

1000

48.11

siendo la intensidad total primaria de 96.23 Amperios.

5.2.2. Intensidad de baja tensión.

En un sistema trifásico la intensidad secundaria I_s viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{S - W_{fe} - W_{cu}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

W_{fe} = Pérdidas en el hierro.

W_{cu} = Pérdidas en los arrollamientos.

U = Tensión compuesta en carga del secundario en kilovoltios = 0.4 kV.

I_s = Intensidad secundaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	I_s (A)

1000	1424.18
1000	1424.18

5.2.3. Cortocircuitos.

5.2.3.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 315 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

5.2.3.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en kV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en KA.

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de baja tensión:

No la vamos a calcular ya que será menor que la calculada en el punto anterior.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador.

U_s = Tensión secundaria en carga en voltios.

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria en KA.

5.2.3.3. Cortocircuito en el lado de alta tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$S_{cc} = 315$ MVA.

$U = 12$ kV.

y sustituyendo valores tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de A.T. de:

$$I_{ccp} = 15.16 \text{ KA.}$$

5.2.3.4. Cortocircuito en el lado de baja tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	Ucc (%)	Iccs (KA)

1000	4	36.08
1000	4	36.08

Siendo:

- Ucc: Tensión de cortocircuito del transformador en tanto por ciento.
- Iccs: Intensidad secundaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión.

5.2.4. Dimensionado del embarrado.

Como resultado de los ensayos que han sido realizados a las celdas fabricadas por fabricantes homologados como Ormazabal, Schneider Electric o similares, no son necesarios los cálculos teóricos ya que con los certificados de ensayo ya se justifican los valores que se indican tanto en esta memoria como en las placas de características de las celdas.

5.2.4.1. Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene como objeto verificar que no se supera la máxima densidad de corriente admisible por el elemento conductor cuando por el circule una corriente igual a la corriente nominal máxima.

Las celdas seleccionadas para este proyecto tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

5.2.4.2. Comprobación por solicitud electrodinámica.

La comprobación por solicitud electrodinámica tiene como objeto verificar que los elementos conductores de las celdas incluidas en este proyecto son capaces de soportar el esfuerzo mecánico derivado de un defecto de cortocircuito entre fase.

Las celdas seleccionadas para este proyecto como en el supuesto de la densidad de corriente tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

El ensayo garantizará una resistencia electrodinámica de 40kA.

5.2.4.3. Comprobación por solicitud térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La comprobación por solicitud térmica tiene como objeto comprobar que por motivo de la aparición de un defecto o cortocircuito no se producirá un calentamiento excesivo del elemento conductor principal de las celdas que pudiera así dañarlo.

También en este caso tendrán la correspondiente certificación que garantice que cumple con la especificación citada mediante protocolo de ensayo realizado por organismo autorizado.

El ensayo garantizará una resistencia térmica de 16kA 1 segundo.

5.2.5. Selección de las protecciones de alta y baja tensión.

*** ALTA TENSIÓN.**

No se instalarán fusibles de alta tensión al utilizar como interruptor de protección un disyuntor en atmósfera de hexafluoruro de azufre, y ser éste el aparato destinado a interrumpir las corrientes de cortocircuito cuando se produzcan.

*** BAJA TENSIÓN.**

La salida de Baja Tensión de cada transformador se protegerá mediante un interruptor automático.

La intensidad nominal y el poder de corte de dicho interruptor serán como mínimo iguales a los valores de intensidad nominal de Baja Tensión e intensidad máxima de cortocircuito de Baja Tensión indicados en los apartados 2.2 y 2.3.4. respectivamente.

5.2.6. Dimensionado de la ventilación del c.t.

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire utilizaremos la siguiente expresión:

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

Siendo:

W_{cu} = Pérdidas en cortocircuito del transformador en KW.

W_{fe} = Pérdidas en vacío del transformador en KW.

h = Distancia vertical entre centros de rejillas = 2 m.

Δt = Diferencia de temperatura entre el aire de salida y el de entrada, considerándose en este caso un valor de 15°C.

K = Coeficiente en función de la reja de entrada de aire, considerándose su valor como 0.6.

S_r = Superficie mínima de la reja de entrada de ventilación del transformador.

Sustituyendo valores tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	Pérdidas ($W_{cu} + W_{fe}$) (KW.)	S_r mínima (m²)
----------------------------------	--------------------------------------	-------------------

1000	13.3	1.12
1000	13.3	1.12

5.2.7. Dimensiones del pozo apagafuegos.

Al utilizar técnica de transformador encapsulado en resina epoxi, no es necesario disponer de un foso para la recogida de aceite, al no existir éste.

5.2.8. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

5.2.8.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina una resistividad media superficial = $150\Omega\text{m}$.

5.2.8.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (EON), el tiempo total de eliminación del defecto es de 0.32 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

El neutro de la red de distribución en Media Tensión está aislado. Por esto, la intensidad máxima de defecto dependerá de la capacidad entre la red y tierra. Dicha capacidad dependerá no sólo de la línea a la que está conectado el Centro, sino también de todas aquellas líneas tanto aéreas como subterráneas que tengan su origen en la misma subestación de cabecera, ya que en el momento en que se produzca un defecto (y hasta su eliminación) todas estas líneas estarán interconectadas.

En este caso, según datos proporcionados por EON, la intensidad máxima de defecto, es de 80 A.

5.2.8.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega/(\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V/(\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

* TIERRA DE SERVICIO.

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador, así como la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega/(\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V/(\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros Kr y Kp de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω . Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios (=37 x 0,650).

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado 2.8.8.

5.2.8.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (Rt) y tensión de defecto correspondiente (Ud), utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, Rt:

$$R_t = K_r * \sigma.$$

- Tensión de defecto, Ud:

$$U_d = I_d * R_t.$$

Siendo:

$$\sigma = 150 \Omega.m.$$

$$K_r = 0.073 \, \Omega/(\Omega.m).$$

$$I_d = 80 \, A.$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 11 \, \Omega.$$

$$U_d = 876 \, V.$$

El aislamiento de las instalaciones de baja tensión del C.T. deberá ser mayor o igual que la tensión máxima de defecto calculada (U_d), por lo que deberá ser como mínimo de 2000 Voltios.

De esta manera se evitará que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de Alta Tensión deterioren los elementos de Baja Tensión del centro, y por ende no afecten a la red de Baja Tensión.

* TIERRA DE SERVICIO.

$$R_t = K_r * \sigma = 0.073 * 150 = 11 \, \Omega.$$

que vemos que es inferior a $37 \, \Omega$.

5.2.8.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Los muros, entre sus paramentos tendrán una resistencia de 100.000 ohmios como mínimo (al mes de su realización).

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p * \sigma * I_d = 0.012 * 150 * 80 = 144 \, V.$$

5.2.8.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

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

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso.

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t * I_d = 11 * 80 = 876 \text{ V.}$$

5.2.8.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, que se puede aceptar, según el reglamento MIE-RAT, será:

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

Siendo:

U_{ca} = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

$K = 72.$

$n = 1.$

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

obtenemos el siguiente resultado:

$$U_{ca} = 225 \text{ V}$$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_p(\text{exterior}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 * \sigma}{1.000} \right)$$

$$U_p(\text{acceso}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{3 * \sigma + 3 * \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

U_p = Tensiones de paso en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

σ = Resistividad del terreno.

σh = Resistividad del hormigón = 3.000 $\Omega.m$

obtenemos los siguientes resultados:

$$U_p(\text{exterior}) = 4275 \text{ V}$$

$$U_p(\text{acceso}) = 23512.5 \text{ V}$$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$U_p = 144 \text{ V.} < U_p(\text{exterior}) = 4275 \text{ V.}$$

- en el acceso al C.T.:

$$U_d = 876 \text{ V.} < U_p(\text{acceso}) = 23512.5 \text{ V.}$$

5.2.8.8. Investigación de tensiones transferibles al exterior.

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{mín}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{mín} = \frac{\sigma * I_d}{2.000 * \pi}$$

con:

$$\sigma = 150 \Omega.m.$$

$$I_d = 80 A.$$

obtenemos el valor de dicha distancia:

$$D_{mín} = 1.91 m.$$

5.2.8.9. Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

5.3. Centro de abonado Colindres Sur

5.3.1. Intensidad de alta tensión.

En un sistema trifásico, la intensidad primaria I_p viene determinada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

U = Tensión compuesta primaria en KV = 12 KV.

Hip = Intensidad primaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del	
transformador	Hip
(KVA.)	(A)

250	12.03

siendo la intensidad total primaria de 12.03 Amperios.

5.3.2. Intensidad de baja tensión.

En un sistema trifásico la intensidad secundaria Is viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{S - W_{fe} - W_{cu}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

Wfe= Pérdidas en el hierro.

Wcu= Pérdidas en los arrollamientos.

U = Tensión compuesta en carga del secundario en kilovoltios = 0.4 KV.

Is = Intensidad secundaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del	
transformador	Is
(KVA.)	(A)

250	354.09

5.3.3. Cortocircuitos.

5.3.3.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 315 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

5.3.3.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en KV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en KA.

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de baja tensión:

No la vamos a calcular ya que será menor que la calculada en el punto anterior.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador.

U_s = Tensión secundaria en carga en voltios.

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria en kA.

5.3.3.3. Cortocircuito en el lado de alta tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$$S_{cc} = 315 \text{ MVA.}$$

$$U = 12 \text{ KV.}$$

y sustituyendo valores tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de A.T. de:

$$I_{ccp} = 15.16 \text{ KA.}$$

5.3.3.4. Cortocircuito en el lado de baja tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (KVA.)	U _{cc} (%)	I _{ccs} (KA)

250	4	9.03

Siendo:

- U_{cc}: Tensión de cortocircuito del transformador en tanto por ciento.
- I_{ccs}: Intensidad secundaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión.

5.3.4. Dimensionado del embarrado.

El embarrado de las celdas está constituido por tramos rectos de tubo de cobre recubiertos de aislamiento termorretráctil.

Las barras se fijan a las conexiones al efecto existentes en la parte superior del cárter del aparato funcional (interruptor-seccionador o seccionador en SF6). La fijación de barras se realiza con tornillos M8.

La separación entre las sujeciones de una misma fase y correspondientes a dos celdas contiguas es de 375 mm. La separación entre barras (separación entre fases) es de 200 mm.

Características del embarrado:

- | | |
|--------------------------|---------------|
| - Intensidad nominal | 400 A. |
| - Límite térmico 1 seg. | 16 KA ef. |
| - Límite electrodinámico | 40 KA cresta. |

Por tanto, hay que asegurar que el límite térmico es superior al valor eficaz máximo que puede alcanzar la intensidad de cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

5.3.4.1. Comprobación por densidad de corriente.

Para la intensidad nominal de 400 A el embarrado de las celdas es de tubo de cobre de diámetro exterior de 24 mm. y con un espesor de 3 mm., lo que equivale a una sección de 198 mm².

La densidad de corriente es:

$$d = \frac{400}{198} = 2,02 \text{ A/mm}^2$$

Según normativa DIN se tiene que para una temperatura ambiente de 35°C y del embarrado a 65°C, la intensidad máxima admisible es de 548 A para un diámetro de 20 mm. y de 818 A para diámetro de 32 mm, lo cual corresponde a las densidades máximas de 3,42 y 2,99 A/mm² respectivamente. Con estos valores se obtendría una densidad máxima admisible de 3,29 A/mm² para el embarrado de diámetro de 24, valor superior al calculado (2,02 A/mm²). Con estos datos se garantiza el embarrado de 400 A y un calentamiento de 30°C sobre la temperatura ambiente.

5.3.4.2. Comprobación por solicitación electrodinámica.

Para el cálculo consideramos un cortocircuito trifásico de 16 KA eficaces y 40 KA cresta.

El esfuerzo mayor se produce sobre el conductor de la fase central, conforme a la siguiente expresión:

$$F = 13,85 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \frac{I_{cc}^2}{d} \cdot L \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{d^2}{L^2}} - \frac{d}{L} \right)$$

Siendo:

F = Fuerza resultante en Nw.

f = coeficiente en función de $\cos \varphi$, siendo $f=1$ para $\cos \varphi =0$.

I_{cc} = intensidad máxima de cortocircuito = 16.000 A eficaces.

d = separación entre fases = 0,2 metros.

L = longitud tramos embarrado = 375 mm.

y sustituyendo, $F = 399 \text{ Nw}$.

Esta fuerza está uniformemente repartida en toda la longitud del embarrado, siendo la carga:

$$q = \frac{F}{L} = 0,108 \text{ kg/mm}$$

Cada barra equivale a una viga empotrada en ambos extremos, con carga uniformemente repartida.

El momento flector máximo se produce en los extremos, siendo:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \cdot L^2}{12} = 1.272 \text{ kg.mm}$$

El embarrado tiene un diámetro exterior $D=24 \text{ mm}$. y un diámetro interior $d=18 \text{ mm}$.

El módulo resistente de la barra es:

$$W = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \left(\frac{24^4 - 18^4}{24} \right) = 927 \text{ mm}^3$$

La fatiga máxima es:

$$r_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{W} = \frac{1.272}{927} = 1,37 \text{ kg/mm}^2$$

Para la barra de cobre deformada en frío tenemos:

$$r = 19 \text{ kg/mm}^2. \gg r_{\text{máx.}}$$

o'2

y por lo tanto, existe un gran margen de seguridad.

El momento flector en los extremos debe ser soportado por tornillos M8, con un par de apriete de 2,8 m.Kg., superior al par máximo ($M_{\text{máx}}$).

5.3.4.3. Cálculo por solicitud térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La sobreintensidad máxima admisible durante un segundo se determina de acuerdo con CEI 60298 por la expresión:

$$S = \frac{I}{\alpha} * \sqrt{\frac{t}{\delta\Theta}}$$

Siendo:

S = sección de cobre en $\text{mm}^2 = 198 \text{ mm}^2$.

$\alpha = 13$ para el cobre.

t = tiempo de duración del cortocircuito en segundos.

I = Intensidad eficaz en Amperios.

$\delta\Theta = 180^\circ$ para conductores inicialmente a t^a ambiente.

Si reducimos este valor en 30°C por considerar que el cortocircuito se produce después del paso permanente de la intensidad nominal, y para $I = 16 \text{ KA}$:

$$\delta\Theta = 150^\circ.$$

$$t = \delta\Theta * \left(\frac{S * \alpha}{I}\right)^2$$

y sustituyendo:

$$t = 150 * \left(\frac{198 * 13}{16.000}\right)^2 = 3,88 \text{ s.}$$

Por lo tanto, y según este criterio, el embarrado podría soportar una intensidad de 16 KA eficaces durante más de un segundo.

5.3.5. Selección de las protecciones de alta y baja tensión.

*** ALTA TENSIÓN.**

No se instalarán fusibles de alta tensión al utilizar como interruptor de protección un disyuntor en atmósfera de hexafluoruro de azufre, y ser éste el aparato destinado a interrumpir las corrientes de cortocircuito cuando se produzcan.

*** BAJA TENSIÓN.**

Los elementos de protección de las salidas de Baja Tensión del C.T. no serán objeto de este proyecto sino del proyecto de las instalaciones eléctricas de Baja Tensión.

5.3.6. Dimensionado de la ventilación del c.t.

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire utilizaremos la siguiente expresión:

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

Siendo:

W_{cu} = Pérdidas en cortocircuito del transformador en KW.

W_{fe} = Pérdidas en vacío del transformador en KW.

h = Distancia vertical entre centros de rejillas = 2 m.

Δt = Diferencia de temperatura entre el aire de salida y el de entrada, considerándose en este caso un valor de 15°C.

K = Coeficiente en función de la rejilla de entrada de aire, considerándose su valor como 0.6.

S_r = Superficie mínima de la rejilla de entrada de ventilación del transformador.

Sustituyendo valores tendremos:

Potencia del transformador (KVA)	Pérdidas $W_{cu} + W_{fe}$ (KW.)	S_r mínima (m ²)
250	4.68	0.4

5.3.7. Dimensiones del pozo apagafuegos.

Al utilizar técnica de transformador encapsulado en resina epoxi, no es necesario disponer de un foso para la recogida de aceite, al no existir éste.

5.3.8. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

5.3.8.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina una resistividad media superficial = 20 $\Omega \cdot m$.

5.3.8.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (EON), el tiempo total de eliminación del defecto es de 0.32 s. Los valores de K y n para calcular la

tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

El neutro de la red de distribución en Media Tensión está aislado. Por esto, la intensidad máxima de defecto dependerá de la capacidad entre la red y tierra. Dicha capacidad dependerá no sólo de la línea a la que está conectado el Centro, sino también de todas aquellas líneas tanto aéreas como subterráneas que tengan su origen en la misma subestación de cabecera, ya que en el momento en que se produzca un defecto (y hasta su eliminación) todas estas líneas estarán interconectadas.

En este caso, según datos proporcionados por EON, la intensidad máxima de defecto, es de 3 A.

5.3.8.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será

de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 KV protegido contra daños mecánicos.

*** TIERRA DE SERVICIO.**

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador, así como la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 KV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω . Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios ($= 37 \times 0,650$).

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de

la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado 2.8.8.

5.3.8.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (R_t) y tensión de defecto correspondiente (U_d), utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r * \Omega.$$

- Tensión de defecto, U_d :

$$U_d = I_d * R_t.$$

Siendo:

$$\Omega = 20 \Omega.m.$$

$$K_r = 0.073 \Omega / (\Omega.m).$$

$$I_d = 3 A.$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 1.5 \Omega.$$

$$U_d = 4.4 V.$$

El aislamiento de las instalaciones de baja tensión del C.T. deberá ser mayor o igual que la tensión máxima de defecto calculada (U_d), por lo que deberá ser como mínimo de 2000 Voltios.

De esta manera se evitará que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de Alta Tensión deterioren los elementos de Baja Tensión del centro, y por ende no afecten a la red de Baja Tensión.

*** TIERRA DE SERVICIO.**

$$R_t = K_r * \Omega = 0.073 * 20 = 1.5 \Omega.$$

que vemos que es inferior a 37Ω .

5.3.8.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Los muros, entre sus paramentos tendrán una resistencia de 100.000 ohmios como

mínimo (al mes de su realización).

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p \cdot \Omega \cdot I_d = 0.012 \cdot 20 \cdot 3 = 0.7 \text{ V.}$$

5.3.8.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

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

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso.

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_{p \text{ acceso}} = U_d = R_t \cdot I_d = 1.5 \cdot 3 = 4.4 \text{ V.}$$

5.3.8.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, que se puede aceptar, según el reglamento MIE-RAT, será:

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

Siendo:

U_{ca} = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

obtenemos el siguiente resultado:

$U_{ca} = 225 \text{ V}$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_{p(\text{exterior})} = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 * \sigma}{1.000} \right)$$

$$U_{p(\text{acceso})} = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{3 * \sigma + 3 * \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

U_p = Tensiones de paso en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

σ = Resistividad del terreno.

σh = Resistividad del hormigón = 3.000 $\Omega.m$

obtenemos los siguientes resultados:

$U_p (\text{exterior}) = 2520 \text{ V}$

$U_p (\text{acceso}) = 22635 \text{ V}$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$U_p = 0.7 \text{ V} < U_p (\text{exterior}) = 2520 \text{ V}$.

- en el acceso al C.T.:

$U_d = 4.4 \text{ V} < U_p (\text{acceso}) = 22635 \text{ V}$.

5.3.8.8. Investigación de tensiones transferibles al exterior.

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{\min}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{\min} = \frac{\sigma * I_d}{2.000 * \pi}$$

con:

$$\sigma = 20 \Omega.m.$$

$$I_d = 3 A.$$

obtenemos el valor de dicha distancia:

$$D_{\min} = 0.01 m.$$

5.3.8.9. Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

5.4. Centro de transformación de abonado del Bombeo de Santoña.

5.4.1. Intensidad de alta tensión.

En un sistema trifásico, la intensidad primaria I_p viene determinada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

U = Tensión compuesta primaria en KV = 12 KV.

I_p = Intensidad primaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del	
transformador	I_p
(KVA.)	(A)

400	19.25

siendo la intensidad total primaria de 19.25 Amperios.

5.4.2. Intensidad de baja tensión.

En un sistema trifásico la intensidad secundaria I_s viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{S - W_{fe} - W_{cu}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

W_{fe} = Pérdidas en el hierro.

W_{cu} = Pérdidas en los arrollamientos.

U = Tensión compuesta en carga del secundario en kilovoltios = 0.4 KV.

I_s = Intensidad secundaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del	
transformador	I_s
(KVA.)	(A)

400	567.68

5.4.3. Cortocircuitos.

5.4.3.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 315 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

5.4.3.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en KV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en KA.

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de baja tensión:

No la vamos a calcular ya que será menor que la calculada en el punto anterior.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en KVA.

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador.

U_s = Tensión secundaria en carga en voltios.

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria en KA.

5.4.3.3. Cortocircuito en el lado de alta tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$S_{cc} = 315$ MVA.

$U = 12$ KV.

y sustituyendo valores tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de A.T. de:

$I_{ccp} = 15.16$ KA.

5.4.3.4. Cortocircuito en el lado de baja tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del

transformador

U_{cc}

I_{ccs}

(KVA.)

(%)

(KA)

400	4	14.43
-----	---	-------

Siendo:

- Ucc: Tensión de cortocircuito del transformador en tanto por ciento.
- Iccs: Intensidad secundaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión.

5.4.4. Dimensionado del embarrado.

El embarrado de las celdas está constituido por tramos rectos de tubo de cobre recubiertos de aislamiento termorretráctil.

Las barras se fijan a las conexiones al efecto existentes en la parte superior del cárter del aparato funcional (interruptor-seccionador o seccionador en SF6). La fijación de barras se realiza con tornillos M8.

La separación entre las sujeciones de una misma fase y correspondientes a dos celdas contiguas es de 375 mm. La separación entre barras (separación entre fases) es de 200 mm.

Características del embarrado:

- | | |
|--------------------------|---------------|
| - Intensidad nominal | 400 A. |
| - Límite térmico 1 seg. | 16 KA ef. |
| - Límite electrodinámico | 40 KA cresta. |

Por tanto, hay que asegurar que el límite térmico es superior al valor eficaz máximo que puede alcanzar la intensidad de cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

5.4.4.1. Comprobación por densidad de corriente.

Para la intensidad nominal de 400 A el embarrado de las celdas es de tubo de cobre de diámetro exterior de 24 mm. y con un espesor de 3 mm., lo que equivale a una sección de 198 mm².

La densidad de corriente es:

$$d = \frac{400}{198} = 2,02 \text{ A/mm}^2$$

Según normativa DIN se tiene que para una temperatura ambiente de 35°C y del embarrado a 65°C, la intensidad máxima admisible es de 548 A para un diámetro de 20 mm. y de 818 A para diámetro de 32 mm, lo cual corresponde a las densidades máximas de 3,42 y 2,99 A/mm² respectivamente. Con estos valores se obtendría una densidad máxima admisible de 3,29 A/mm² para el embarrado de diámetro de 24, valor superior al calculado (2,02

A/mm²). Con estos datos se garantiza el embarrado de 400 A y un calentamiento de 30°C sobre la temperatura ambiente.

5.4.4.2. Comprobación por solicitud electrodinámica.

Para el cálculo consideramos un cortocircuito trifásico de 16 KA eficaces y 40 KA cresta.

El esfuerzo mayor se produce sobre el conductor de la fase central, conforme a la siguiente expresión:

$$F = 13,85 * 10^{-7} * f * \frac{I_{cc}^2}{d} * L * \left(\sqrt{1 + \frac{d^2}{L^2}} - \frac{d}{L} \right)$$

Siendo:

F = Fuerza resultante en Nw.

f = coeficiente en función de cos φ, siendo f=1 para cos φ=0.

I_{cc} = intensidad máxima de cortocircuito = 16.000 A eficaces.

d = separación entre fases = 0,2 metros.

L = longitud tramos embarrado = 375 mm.

y sustituyendo, F = 399 Nw.

Esta fuerza está uniformemente repartida en toda la longitud del embarrado, siendo la carga:

$$q = \frac{F}{L} = 0,108 \text{ kg/mm}$$

Cada barra equivale a una viga empotrada en ambos extremos, con carga uniformemente repartida.

El momento flector máximo se produce en los extremos, siendo:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q * L^2}{12} = 1.272 \text{ kg.mm}$$

El embarrado tiene un diámetro exterior D=24 mm. y un diámetro interior d=18 mm.

El módulo resistente de la barra es:

$$W = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \left(\frac{24^4 - 18^4}{24} \right) = 927 \text{ mm}^3$$

La fatiga máxima es:

$$r_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{W} = \frac{1.272}{927} = 1,37 \text{ kg/mm}^2$$

Para la barra de cobre deformada en frío tenemos:

$$r = 19 \text{ kg/mm}^2. \gg r \text{ máx.}$$

o'2

y por lo tanto, existe un gran margen de seguridad.

El momento flector en los extremos debe ser soportado por tornillos M8, con un par de apriete de 2,8 m.Kg., superior al par máximo (Mmáx).

5.4.4.3. Cálculo por sollicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La sobreintensidad máxima admisible durante un segundo se determina de acuerdo con CEI 60298 por la expresión:

$$S = \frac{I}{\alpha} * \sqrt{\frac{t}{\delta\Theta}}$$

Siendo:

S = sección de cobre en mm² = 198 mm².

α = 13 para el cobre.

t = tiempo de duración del cortocircuito en segundos.

I = Intensidad eficaz en Amperios.

$\delta\Theta$ = 180° para conductores inicialmente a tª ambiente.

Si reducimos este valor en 30°C por considerar que el cortocircuito se produce después del paso permanente de la intensidad nominal, y para I = 16 KA:

$$\delta\Theta = 150^\circ.$$

$$t = \delta\Theta * \left(\frac{S * \alpha}{I}\right)^2$$

y sustituyendo:

$$t = 150 * \left(\frac{198 * 13}{16.000}\right)^2 = 3,88 \text{ s.}$$

Por lo tanto, y según este criterio, el embarrado podría soportar una intensidad de 16 KA eficaces durante más de un segundo.

5.4.5. Selección de las protecciones de alta y baja tensión.

* ALTA TENSIÓN.

No se instalarán fusibles de alta tensión al utilizar como interruptor de protección un

disyuntor en atmósfera de hexafluoruro de azufre, y ser éste el aparato destinado a interrumpir las corrientes de cortocircuito cuando se produzcan.

*** BAJA TENSIÓN.**

Los elementos de protección de las salidas de Baja Tensión del C.T. no serán objeto de este proyecto sino del proyecto de las instalaciones eléctricas de Baja Tensión.

5.4.6. Dimensionado de la ventilación del c.t.

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire utilizaremos la siguiente expresión:

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

Siendo:

W_{cu} = Pérdidas en cortocircuito del transformador en KW.

W_{fe} = Pérdidas en vacío del transformador en KW.

h = Distancia vertical entre centros de rejillas = 2 m.

Δt = Diferencia de temperatura entre el aire de salida y el de entrada, considerándose en este caso un valor de 15°C.

K = Coeficiente en función de la reja de entrada de aire, considerándose su valor como 0.6.

S_r = Superficie mínima de la reja de entrada de ventilación del transformador.

Sustituyendo valores tendremos:

Potencia del transformador (KVA)	Pérdidas $W_{cu} + W_{fe}$ (KW.)	S_r mínima (m ²)
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

400	6.7	0.57
-----	-----	------

5.4.7. Dimensiones del pozo apagafuegos.

Al utilizar técnica de transformador encapsulado en resina epoxi, no es necesario disponer de un foso para la recogida de aceite, al no existir éste.

5.4.8. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

5.4.8.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina una resistividad media superficial $= 20 \, \Omega \cdot \text{m}$.

5.4.8.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (EON), el tiempo total de eliminación del defecto es de 0.32 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

El neutro de la red de distribución en Media Tensión está aislado. Por esto, la intensidad máxima de defecto dependerá de la capacidad entre la red y tierra. Dicha capacidad dependerá no sólo de la línea a la que está conectado el Centro, sino también de todas aquellas líneas tanto aéreas como subterráneas que tengan su origen en la misma subestación de cabecera, ya que en el momento en que se produzca un defecto (y hasta su eliminación) todas estas líneas estarán interconectadas.

En este caso, según datos proporcionados por EON, la intensidad máxima de defecto, es de 3 A.

5.4.8.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 KV protegido contra daños mecánicos.

* TIERRA DE SERVICIO.

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador, así como la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \, \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \, V / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y

Kp de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 KV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω . Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios ($=37 \times 0,650$).

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado 2.8.8.

5.4.8.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

*** TIERRA DE PROTECCIÓN.**

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (R_t) y tensión de defecto correspondiente (U_d), utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r * \Omega.$$

- Tensión de defecto, U_d :

$$U_d = I_d * R_t.$$

Siendo:

$$\Omega = 20 \Omega.m.$$

$$K_r = 0.073 \Omega / (\Omega.m).$$

$$I_d = 3 A.$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 1.5 \Omega$$

$$U_d = 4.4 V.$$

El aislamiento de las instalaciones de baja tensión del C.T. deberá ser mayor o igual que la tensión máxima de defecto calculada (U_d), por lo que deberá ser como mínimo de 2000 Voltios.

De esta manera se evitará que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de Alta Tensión deterioren los elementos de Baja Tensión del centro, y por ende no afecten a la red de Baja Tensión.

* TIERRA DE SERVICIO.

$$R_t = K_r * \Omega = 0.073 * 20 = 1.5 \Omega.$$

que vemos que es inferior a 37 Ω .

5.4.8.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Los muros, entre sus paramentos tendrán una resistencia de 100.000 ohmios como mínimo (al mes de su realización).

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p * \Omega * I_d = 0.012 * 20 * 3 = 0.7 \text{ V}.$$

5.4.8.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

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

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso.

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t * I_d = 1.5 * 3 = 4.4 \text{ V}.$$

5.4.8.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, que se puede aceptar, según el reglamento MIE-RAT, será:

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

Siendo:

U_{ca} = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

obtenemos el siguiente resultado:

$U_{ca} = 225 \text{ V}$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_p(\text{exterior}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 * \sigma}{1.000} \right)$$

$$U_p(\text{acceso}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{3 * \sigma + 3 * \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

U_p = Tensiones de paso en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.32 s

Ω = Resistividad del terreno.

Ωh = Resistividad del hormigón = 3.000 $\Omega.m$

obtenemos los siguientes resultados:

$U_p(\text{exterior}) = 2520 \text{ V}$

$U_p(\text{acceso}) = 22635 \text{ V}$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$U_p = 0.7 \text{ V.} < U_p (\text{exterior}) = 2520 \text{ V.}$$

- en el acceso al C.T.:

$$U_d = 4.4 \text{ V.} < U_p(\text{acceso}) = 22635 \text{ V.}$$

5.4.8.8. Investigación de tensiones transferibles al exterior.

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{\min}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{\min} = \frac{\sigma * I_d}{2.000 * \pi}$$

con:

$$\Omega \square = 20 \Omega.m.$$

$$I_d = 3 \text{ A.}$$

obtenemos el valor de dicha distancia:

$$D_{\min} = 0.01 \text{ m.}$$

5.4.8.9. Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

EL INGENIERO DIRECTOR DEL
PROYECTO,

Santander, Noviembre de 2.014
EL INGENIERO TÉCNICO,

Fdo.: Susana Carrillo de Albornoz Fernández

Fdo.: José A. Herrera Pérez