

**METODO DE CALCULO Y PROYECTO
DE INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA
PARA CENTROS DE TRANSFORMACION
CONECTADOS A REDES DE TERCERA CATEGORIA**

**METODO DE CALCULO Y PROYECTO DE INSTALACIONES DE
PUESTA A TIERRA PARA CENTROS DE TRANSFORMACION
CONECTADOS A REDES DE TERCERA CATEGORIA**

Elaborado por :



**UNIDAD ELECTRICA, S.A.
COMITE DE DISTRIBUCION
COMISION DE REGLAMENTOS**

Editado en colaboración con :



**ASOCIACION ELECTROTECNICA
Y ELECTRONICA ESPAÑOLA**

INTRODUCCION

La puesta en práctica del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RD 3275/1982) y de sus Instrucciones Técnicas Complementarias (O.M. 18/10/1984) obligó a reconsiderar el contenido de algunas de las citadas ITC, y particularmente la MIE-RAT 13 en lo referente a las Instalaciones de Puesta a Tierra.

En el apartado 1.1.12 de la citada RAT 13, se señala en su último párrafo "Para instalaciones de tercera categoría que respondan a configuraciones tipo, como es el caso de la mayoría de los centros de transformación, el órgano territorial competente podrá admitir que se omita la realización de las anteriores mediciones, sustituyéndolas por la correspondiente a la resistencia de puesta a tierra, si se ha establecido la correlación, sancionada por la práctica, en situaciones análogas, entre tensiones de paso y contacto y resistencia de puesta a tierra".

Para facilitar la aplicación de esta ITC, la Comisión de Reglamentos procedió al análisis de la Legislación Europea y a la aplicación de la misma en los respectivos países, y posteriormente elaboró un documento que permitiese la aplicación correcta y simplificada de la Legislación Española, con el fin de facilitar al Proyectista una herramienta adecuada a las necesidades que establece nuestra Legislación.

Como consecuencia de ello, y tras numerosos debates con los expertos en el campo de la Puesta a Tierra, se ha elaborado este Documento que creemos responde a las demandas fijadas por la Legislación y por los Expertos, Consultores, Proyectistas, etc., facilitando la aplicación del Reglamento.

Una vez elaborado el Documento se consideró necesario, antes de proceder a su difusión, dar conocimiento del mismo a las Subdirecciones Generales de Energía Eléctrica y de Seguridad Industrial del Ministerio de Industria y Energía, para su estudio y aporte de las observaciones que considerasen oportunas.

Ello permitió enriquecer el contenido del Documento ajustando parte del mismo a las observaciones que nos fueron hechas por las citadas Subdirecciones Generales.

La Dirección General de la Energía del Ministerio de Industria y Energía ha enviado al Director General de UNESA la carta que se recoge a continuación.

Rogamos a los que utilicen este método de cálculo nos comuniquen cualquier observación que permita una mejora del mismo.

COMISION DE REGLAMENTOS
DEL
COMITE DE DISTRIBUCION DE UNESA



Ministerio de Industria y Energía

Dirección General
de la Energía

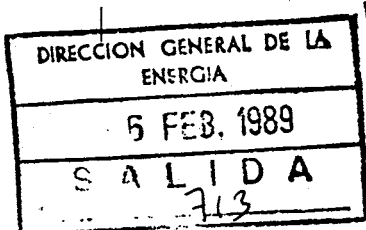
MADRID-

S/R

2 FEB. 1989

DE 19

SGE/EPC/tf/db



DESTINATARIO

Sr. D. Pedro Rivero.
Director General de UNESA.
Francisco Gervás, 3
28020-MADRID

ASUNTO: MIE RAT 13.

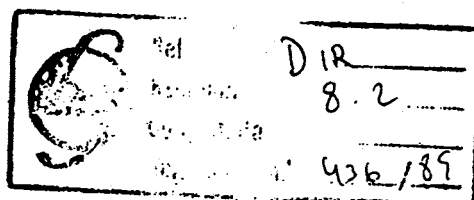
El cálculo de las instalaciones de tierra, exigido por la nueva reglamentación sobre centros de transformación, resulta para el proyectista eléctrico muy laborioso. La comisión de Reglamentos de UNESA ha desarrollado el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", que normaliza dicho cálculo, analizando la reglamentación existente, definiendo procedimientos de cálculo y proponiendo diversos ejemplos de aplicación.

Las Subdirecciones Generales de Energía Eléctrica y de Seguridad Industrial de este Ministerio, han analizado dicha metodología, estimando que cumple el propósito para el que fue preparada, no encontrándose inconveniente en su aplicación para el cálculo de las instalaciones de tercera categoría.

Es de reconocer el trabajo efectuado por la Comisión de Reglamentos de UNESA, ya que se espera que la unificación de criterios de cálculo facilitará la labor del proyectista, redundando por ello en una mayor seguridad de las instalaciones y por tanto del usuario.

EL SUBDIRECTOR GENERAL
DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ramón Calvo Báguena.



INDICE GENERAL

UNIDAD ELECTRICA, S.A. COMITE DE DISTRIBUCION COMISION DE REGLAMENTOS (GT de Tierras)	METODO DE CALCULO Y PROYECTO DE INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA PARA CENTROS DE TRANSFORMACION DE TERCERA CATEGORIA	MANUAL TECNICO FEBRERO 1989
<u>INDICE</u>		<u>pág.</u>
1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACION		2
2. CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE ELECTRODOS DE TIERRA TIPO		2
3. PRESCRIPCIONES GENERALES		3
3.1 Seguridad de la personas		3
3.2 Sobretensiones admisibles para las instalaciones de BT del CT		7
3.3 Limitaciones del valor de la corriente de defecto.		11
4. PROCEDIMIENTO DE CALCULO		11
4.1 Investigación de las características del terreno		11
4.2 Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto		12
4.3 Diseño preliminar de la instalación de tierra		16
4.4 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra y de las tensiones de paso y de contacto		16
4.4.1 Consideraciones generales		16
4.4.2 Electrodo de tierra. Parámetros característicos		16
4.4.3 Relación entre resistencia de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto		17
4.5 Comprobación de que las tensiones de paso y de contacto calculadas sean inferiores a los valores máximos admisibles		17
4.5.1 Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de contacto		17
CT en edificio		18
CT sobre apoyos		19
4.5.2 Condiciones a cumplir por el electrodo de tierra		20
4.6 Investigación de las tensiones transferidas al exterior		20
4.6.1 Separación de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio		20
4.6.2 Puestas a tierra en CT conectados a redes de cables subterráneos		23
4.7 Corrección y ajuste del diseño inicial		24
ANEXO 1 Método de Howe para calcular la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y de contacto para distintas geometrías de electrodo de tierra		A 1-1
A1.1 Método de Howe		A 1-2
A1.2 Determinación de la resistencia de puesta a tierra		A 1-2
A1.3 Determinación de las tensiones de paso y contacto		A 1-5
A1.4 Ejemplo. Rectángulo como electrodo de tierra		A 1-6
ANEXO 2 Configuración tipo de electrodos de tierra. Tablas con sus parámetros característicos		A 2-1
Indice general de tablas		A 2-2
ANEXO 3 Relación entre resistencia de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto		A 3-1
ANEXO 4 Proceso de cálculo y justificación del electrodo de p.a.t.seleccionado		
ANEXO 4.1 Para CT conectado a red con neutro puesto a tierra		A 4.1-1
ANEXO 4.2 Para CT conectado a red con neutro aislado		A 4.2-1
ANEXO 5 Ejemplos de aplicación		A 5-1
ANEXO 6 Bibliografía		A 6-1

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

El presente documento expone un método de cálculo para proyectar instalaciones de puesta a tierra, basadas en electrodos de configuraciones geométricas tipo, para Centros de Transformación (CT) de tercera categoría.

La terminología utilizada es la del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RAT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (MIE-RAT).

En este documento, también se establece la correlación calculada entre las tensiones de paso y contacto y la resistencia de puesta a tierra, para cada una de las configuraciones tipo (método de Howe).

El proceso general de diseño para una instalación de puesta a tierra de un CT concreto, alimentado por una red de alta tensión (AT) de parámetros conocidos, a implantar en un terreno de características del terreno concretas, sería el siguiente:

- Proyecto de la instalación de p.a.t. utilizando alguno de los electrodos tipo
- Construcción de la instalación de p.a.t., con la configuración de electrodo elegida en proyecto
- Comprobación práctica, realizando las correspondientes mediciones sobre el terreno, de que los valores reales de las tensiones de paso y contacto y de resistencia de puesta a tierra, coinciden con los valores teóricos calculados.

El proceso anterior se ha realizado repetidamente para distintos electrodos tipo y distintas características del terreno; por tanto, se ha establecido la correlación, sancionada por la práctica, en situaciones análogas, entre tensiones de paso y contacto y resistencia de puesta a tierra. Esta correlación, comprobada de forma práctica, está además corroborada internacionalmente, tal como se indica en la bibliografía del Anexo 6.

Según se indica en el último apartado del punto 8.1 de la MIE-RAT 13, y establecida esta correlación, este documento pretende que el Organismo Territorial Competente admita que, para los CT cuyos electrodos de puesta a tierra respondan a las configuraciones tipo indicadas, se omita la medición de las tensiones de paso y contacto, sustituyéndola por la medición del valor óhmico de la correspondiente resistencia de puesta a tierra.

2.- CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE ELECTRODOS DE TIERRA TIPO

Dado que los CT son instalaciones de carácter repetitivo, parece razonable evitar la realización de un proyecto de instalación de puesta a tierra específico para cada CT, y utilizar como alternativa electrodos tipo.

Los electrodos tipo, de composición y geometría (anchura, longitud, profundidad, etc.) definidas, permiten conocer, a priori, el comportamiento de la instalación de tierra en función de las características de la red de AT que va a alimentar al CT y de las del terreno en donde va a ubicarse éste. Así pues, conociendo la tensión de servicio, el tiempo de actuación de las protecciones, la impedancia de puesta a tierra del neutro, etc., en relación con la red de AT que va a alimentar al CT, y la resistividad del terreno en que va a ubicarse el CT, se obtiene la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, mediante métodos de cálculo laboriosos.

Para este documento se ha utilizado el método de Howe y se han desarrollado dos programas distintos de ordenador realizados por equipos independientes, en los que se ha calculado la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto para los distintos electrodos tipo. Los dos programas han dado resultados coincidentes.

Para poder presentar de una forma operativa estos resultados, se han confeccionado unas tablas en donde, para cada configuración tipo, se obtienen unos valores "unitarios" de la resistencia de puesta a tierra y de las tensiones de paso y contacto. Estos valores "unitarios" permiten, para cualquier red de AT y cualquier resistividad del terreno, pasar mediante cálculos elementales a los valores, en ohmios, de la resistencia de puesta a tierra y, en voltios, de las tensiones de paso y contacto.

Las configuraciones de electrodo consideradas son las siguientes:

- * Cuadrados o rectángulos sin picas.
- * Cuadrados o rectángulos con 4 y 8 picas.
- * Electrodo longitudinal con 2, 3, 4, 6 u 8 picas alineadas.

Además, para cada configuración, se han considerado las profundidades de enterramiento de 0,5 y de 0,8 m. y, en el caso de picas, se han considerado distintas longitudes de las mismas (2, 4, 6 u 8 m).

Las dimensiones seleccionadas corresponden a los tipos más usuales de locales para CT, considerando la posibilidad de aprovechar la excavación necesaria para la cimentación del local, para instalar un conductor en el fondo de la zanja de cimentación, siguiendo por tanto el perímetro del CT. Este conductor al que, en caso necesario, se conectarán picas, constituye el electrodo. En casos en que sea problemático realizar este tipo de electrodo (subsuelo ocupado) puede recurrirse a la colocación de un electrodo longitudinal con picas exteriores en hilera.

No resulta problemático el caso de que se quiera construir un electrodo cuya geometría no coincida exactamente con la de ninguno de los electrodos tipo de las tablas. Basta con seleccionar el electrodo tipo de medidas inmediatamente inferiores, con la seguridad de que si la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto de éste último cumplen las condiciones establecidas en la MIE-RAT 13, con mayor razón las cumplirá el electrodo real a construir, pues al ser de mayores dimensiones, presentará una menor resistencia de puesta a tierra y una mejor disipación de las corrientes de defecto.

Por último, otro aspecto práctico a destacar en relación con los electrodos tipo es que, para unas características determinadas de la red de AT, pueden seleccionarse convenientemente unos cuantos electrodos tipo de los que figuran tabulados, de forma que, además de cumplir las condiciones exigidas a las instalaciones de puesta a tierra, cubran entre todos distintas gamas de valores de resistividad del terreno.

3.- PRESCRIPCIONES GENERALES

Cuando se produce un defecto a tierra en una instalación de alta tensión, se provoca una elevación del potencial del electrodo a través del cual circula la corriente de defecto. Asimismo, al disiparse dicha corriente por tierra, aparecerán en el terreno gradientes de potencial. Al diseñarse los electrodos de puesta a tierra deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- * Seguridad de las personas en relación con las elevaciones de potencial.
- * Sobretensiones peligrosas para las instalaciones.
- * Valor de la intensidad de defecto que haga actuar las protecciones, asegurando la eliminación de la falta.

3.1 Seguridad de las personas

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

$$V_{ca} = \frac{K}{t^n} \quad (1)$$

Siendo,

V_{ca} , tensión aplicada, en voltios
 t , duración de la falta, en segundos

K y n , constantes, función del tiempo

0,9 $\geq t > 0,1$ segundos,	$K = 72$ y $n = 1$
3 $\geq t > 0,9$ segundos,	$K = 78,5$ y $n = 0,18$
5 $\geq t > 3$ segundos,	$V_{ca} = 64$ V
$t > 5$ segundos,	$V_{ca} = 50$ V

En el Gráfico 1 (pág. 5) se detalla la variación de la tensión máxima aplicable al cuerpo humano entre mano y piés (1) en función del tiempo de despeje de la falta.

Cuando el elemento cuya actuación elimine la falta, disponga de reenganche automático rápido (inferior a 0,5 segundos) el tiempo a considerar (t) será la suma de los tiempos parciales de mantenimiento de la corriente de defecto.

En base a suponer que la tensión máxima aplicada al cuerpo humano, no supere el valor indicado en (1) para las tensiones de contacto (entre mano y piés), ni supere 10 veces dicho valor para las tensiones de paso (entre piés separados 1 m), los valores máximos admisibles de las tensiones de paso y contacto, y que por tanto, no pueden ser superados en una instalación, son los siguientes:

$$\text{Tensión de paso (V)} \quad V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho_s}{1000}\right) \quad (2)$$

$$\text{Tensión de contacto (V)} \quad V_c = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1,5 \rho_s}{1000}\right) \quad (3)$$

Las fórmulas (2) y (3) responden a un planteamiento simplificado del circuito al despreciar la resistencia de la piel y del calzado, y se han determinado, suponiendo que la resistencia del cuerpo humano es de 1000 Ω y asimilando cada pie a un electrodo en forma de placa de 200 cm² de superficie que ejerza sobre el suelo una fuerza mínima de 250 N, lo que representa una resistencia de contacto con el suelo evaluada en 3 ρ_s , siendo ρ_s la resistividad superficial del terreno.

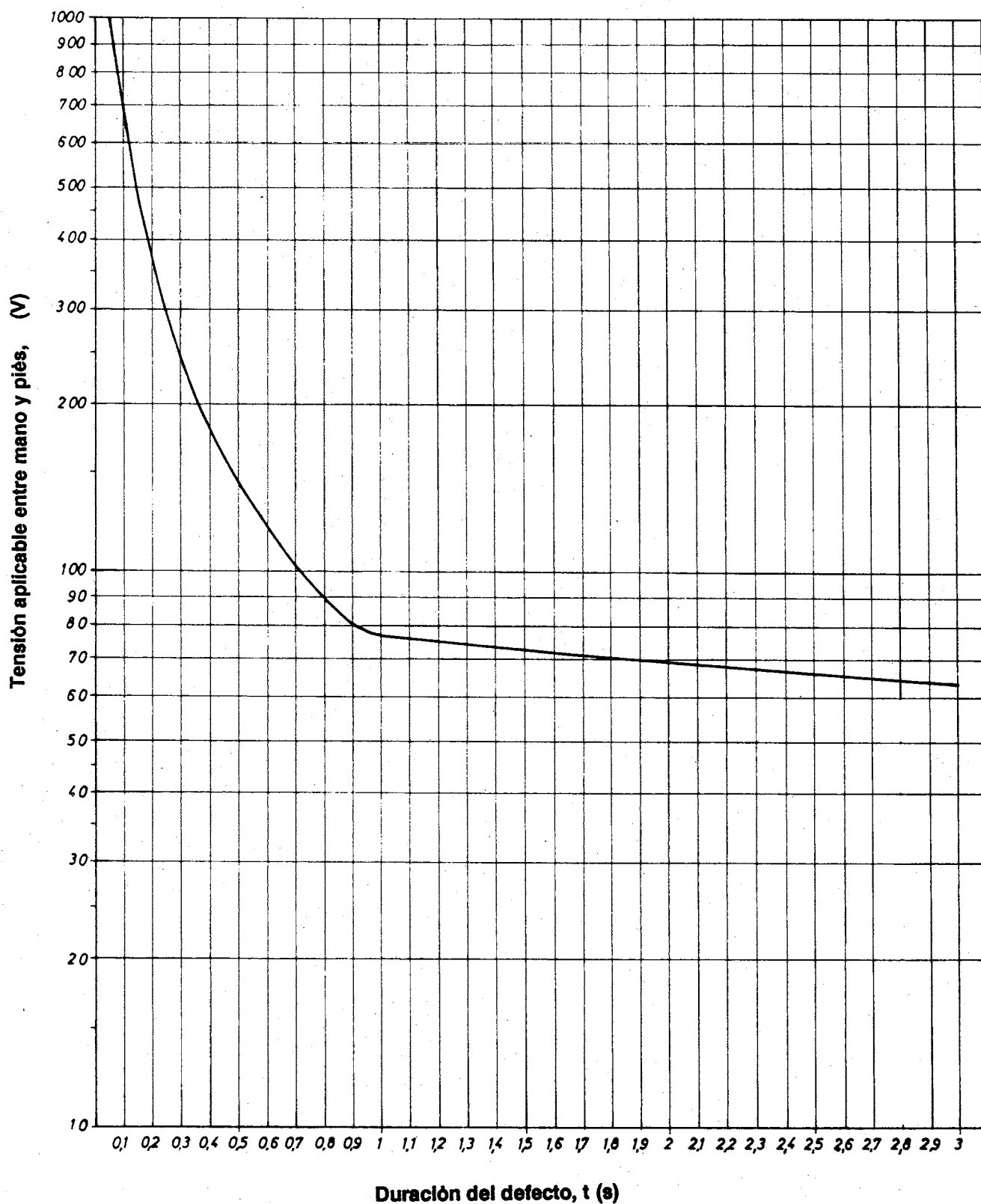
La deducción de las fórmulas (2) y (3) es la siguiente :

Sea,

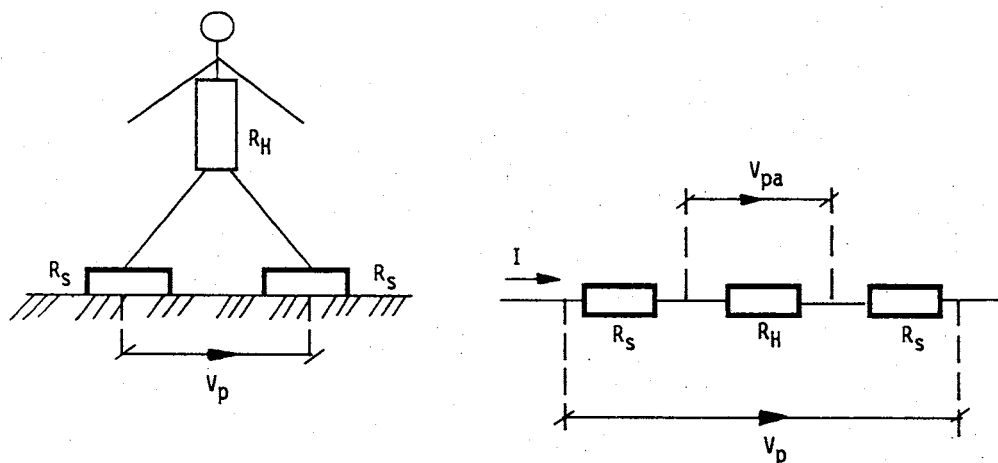
- . resistencia de contacto con el suelo : $R_s = 3 \rho_s$, en Ω
- . resistencia del cuerpo humano : $R_H = 1000 \Omega$
- . tensión de paso máxima aplicable al cuerpo humano : $V_{pa} = \frac{10 K}{t^n}$, en V
- . tensión de contacto máxima aplicable al cuerpo humano: $V_{ca} = \frac{K}{t^n}$, en V
- . tensión de paso máxima admisible en la instalación: V_p , en V
- . tensión de contacto máxima admisible en la instalación: V_c , en V

GRAFICO 1

Tensión aplicable entre mano y pies en función de la duración del defecto $V_{ca} = \frac{K}{t^n}$

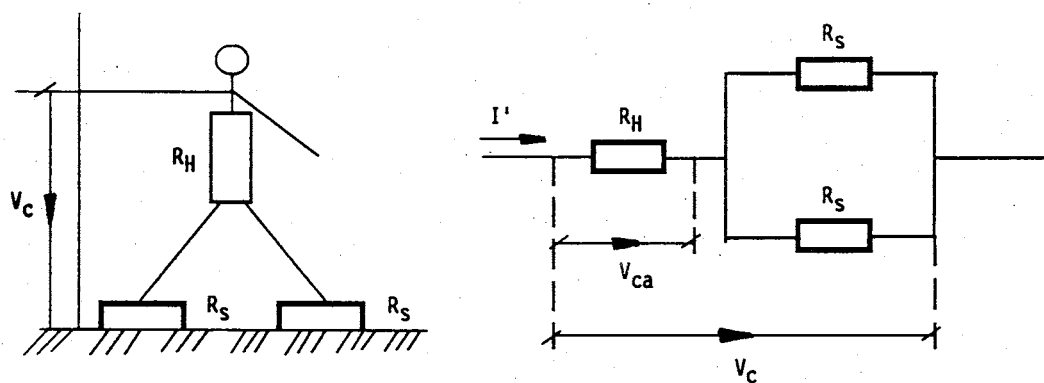


TENSION DE PASO



$$I = \frac{V_{pa}}{R_H} = \frac{V_p}{R_s + R_H + R_s}, \text{ de donde } V_p = V_{pa} \frac{R_H + 2R_s}{R_H} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho_s}{1000}\right) \quad (2)$$

TENSION DE CONTACTO



$$I' = \frac{V_{ca}}{R_H} = \frac{V_c}{R_H + \frac{R_s}{2}}, \text{ de donde } V_c = V_{ca} \frac{R_H + \frac{R_s}{2}}{R_H} = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1.5 \rho_s}{1000}\right) \quad (3)$$

El proyectista de la instalación de puesta a tierra deberá comprobar, mediante el empleo de un procedimiento de cálculo sancionado por la práctica, que los valores de las tensiones de paso, V'_p , y de contacto, V'_c , que calcule para la instalación proyectada, en función de su geometría, de la corriente de puesta a tierra que considere y de la resistividad correspondiente del terreno, no superen los valores calculados según las fórmulas (2) y (3).

En el caso de la tensión de paso, puede suceder que la resistividad superficial del terreno sea distinta para cada pie. Esta situación es habitual en el acceso a los centros de transformación, donde los pavimentos, interior y exterior, pueden ser de distinta composición. En estos casos la fórmula de la tensión máxima de paso admisible que puede aparecer en una instalación (2) y que no debe ser superada tiene la expresión :

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho_s + 3 \rho'_s}{1000} \right) \quad (4)$$

En la que ρ_s y ρ'_s son las resistividades superficiales del terreno en el que se apoya cada pie.

En las Tablas 1 y 2 (páginas 8 y 9) se recogen, para resistividades del terreno comprendidas entre 20 y 3000 $\Omega \cdot m$, las tensiones máximas de paso y contacto admisibles que pueden aparecer en una instalación, en función del tiempo de eliminación de la falta. En la Tabla 3 (pág. 10) figuran las tensiones máximas de paso admisibles que pueden aparecer en la entrada a los centros de transformación en los que el pavimento, de hormigón, tiene una resistividad de 3000 $\Omega \cdot m$.

3.2 Sobretensiones admisibles para las instalaciones de baja tensión del centro de transformación

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

Esto es :

$$V_d = R_t \cdot I_d \quad (5)$$

$$V_{bt} \geq V_d \quad (6)$$

Siendo :

V_d . Tensión de defecto, en voltios.

V_{bt} . Tensión soportada a frecuencia industrial por la instalación de baja tensión, en voltios.

R_t . Resistencia del electrodo, en ohmios.

I_d . Intensidad de defecto, en amperios.

Los valores normalmente utilizados de la tensión soportada por la instalación de baja tensión son: 4000, 6000, 8000 y 10000* V

(* Valor recomendado por UNESA)

Estos valores corresponden a las tensiones soportadas, a frecuencia industrial, por los materiales de baja tensión que deben instalarse en los centros de transformación.

Los valores anteriores podrán superarse cuando el proyectista justifique que los materiales tengan características dieléctricas superiores o se disponga, para los elementos más sensibles, de un transformador de separación de circuitos.

TABLA 1

TENSIONES MAXIMAS DE PASO ADMISIBLES QUE PUEDEN AF ARECER EN UNA INSTALACION

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho_s}{1000}\right)$$

Resistividad
terreno

Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)

Ω · m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,5	5
20	8064	4032	2688	2016	1613	1344	1152	1008	896	879	864	851	839	828	817	808	799	791	783	776	769	763	757	751	746	740	735	730	726	717	560	
40	8928	4464	2976	2232	1786	1488	1275	1116	992	973	957	942	928	916	905	894	885	876	867	859	852	845	838	831	825	820	814	809	804	794	620	
60	9792	4896	3264	2448	1958	1632	1399	1224	1088	1068	1049	1033	1018	1005	992	981	970	960	951	942	934	926	919	912	905	899	893	887	881	870	680	
80	10656	5328	3552	2664	2131	1776	1522	1332	1184	1162	1142	1124	1108	1094	1080	1068	1056	1045	1035	1026	1017	1008	1000	992	985	978	972	965	959	947	740	
100	11520	5760	3840	2880	2304	1920	1646	1440	1280	1256	1235	1215	1198	1182	1168	1154	1142	1130	1119	1109	1099	1090	1081	1073	1065	1058	1050	1044	1037	1024	800	
150	13680	6840	4560	3420	2736	2280	1954	1710	1520	1492	1466	1443	1423	1404	1387	1371	1356	1342	1329	1317	1305	1294	1284	1274	1265	1256	1247	1239	1231	1216	950	
200	15840	7920	5280	3960	3168	2640	2263	1980	1760	1727	1698	1671	1647	1626	1605	1587	1570	1554	1539	1524	1511	1498	1487	1475	1464	1454	1444	1435	1426	1408	1100	
250	18000	9000	6000	4500	3600	3000	2571	2250	2000	1963	1929	1899	1872	1847	1824	1803	1784	1765	1748	1732	1717	1703	1689	1676	1664	1652	1641	1631	1620	1600	1250	
300	20160	10080	6720	5040	4032	3360	2880	2520	2240	2198	2161	2127	2097	2069	2043	2020	1998	1977	1958	1940	1923	1907	1892	1878	1864	1851	1838	1826	1815	1792	1400	
350	22320	11160	7440	5580	4464	3720	3189	2790	2480	2434	2392	2355	2321	2290	2262	2236	2212	2189	2168	2148	2129	2112	2095	2079	2063	2049	2035	2022	2009	1984	1550	
400	24480	12240	8160	6120	4896	4080	3497	3060	2720	2669	2624	2583	2546	2512	2481	2452	2426	2401	2378	2356	2335	2316	2297	2280	2263	2247	2232	2217	2204	2176	1700	
450	26640	13320	8880	6660	5328	4440	3806	3330	2960	2905	2855	2811	2771	2734	2700	2669	2640	2613	2588	2564	2541	2520	2500	2481	2463	2446	2429	2413	2398	2368	1850	
500	28800	14400	9600	7200	5760	4800	4114	3600	3200	3140	3087	3039	2995	2955	2919	2885	2854	2825	2797	2772	2747	2725	2703	2682	2663	2644	2626	2609	2592	2560	2000	
550	30960	15480	10320	7740	6192	5160	4423	3870	3440	3376	3318	3267	3220	3177	3138	3102	3068	3037	3007	2980	2954	2929	2906	2883	2862	2842	2823	2804	2787	2752	2150	
600	33120	16560	11040	8280	6624	5520	4731	4140	3680	3611	3550	3494	3444	3399	3357	3318	3282	3248	3217	3187	3160	3133	3108	3085	3062	3040	3020	3000	2981	2944	2300	
650	35280	17640	11760	8820	7056	5880	5040	4410	3920	3847	3781	3722	3669	3620	3576	3534	3496	3460	3427	3395	3366	3338	3311	3286	3262	3239	3217	3196	3176	3136	2450	
700	37440	18720	12480	9360	7488	6240	5349	4680	4160	4082	4013	3950	3894	3842	3795	3751	3710	3672	3637	3603	3572	3542	3514	3487	3461	3437	3414	3391	3370	3328	2600	
750	39600	19800	13200	9900	7920	6600	5657	4950	4400	4318	4244	4178	4118	4064	4014	3967	3924	3884	3846	3811	3778	3746	3716	3688	3661	3635	3611	3587	3565	3520	2750	
800	41760	20880	13920	10440	8352	6960	5966	5220	4640	4553	4476	4406	4343	4285	4233	4184	4138	4096	4056	4019	3984	3951	3919	3889	3861	3834	3808	3783	3759	3712	2900	
850	43920	21960	14640	10980	8784	7320	6274	5490	4880	4789	4707	4634	4568	4507	4451	4400	4352	4308	4266	4227	4190	4155	4122	4090	4060	4032	4005	3978	3953	3904	3050	
900	46080	23040	15360	11520	9216	7680	6583	5760	5120	5024	4939	4862	4792	4729	4670	4616	4566	4520	4476	4435	4396	4359	4325	4292	4260	4230	4201	4174	4148	4096	3200	
950	48240	24120	16080	12060	9648	8040	6891	6030	5360	5260	5170	5090	5017	4950	4889	4833	4780	4731	4686	4643	4602	4564	4527	4493	4460	4428	4398	4370	4342	4288	3350	
1000	50400	25200	16800	12600	10080	8400	7200	6300	5580	5470	5370	5280	5200	5120	5040	4994	4943	4895	4850	4808	4768	4730	4694	4660	4627	4595	4565	4537	4480	4400	3500	
1100	52560	26280	17520	13140	10560	8800	7560	6500	5840	5730	5630	5540	5460	5380	5300	5254	5203	5156	5112	5070	5030	5000	4970	4940	4910	4880	4850	4820	4770	4680	3650	
1200	54720	27360	18240	13680	11040	9200	7920	6800	6080	5970	5870	5780	5700	5620	5540	5494	5443	5396	5352	5310	5270	5230	5200	5170	5140	5110	5080	5050	5000	4900	3800	
1300	56880	28440	18960	14160	11520	9600	8280	7100	6300	6190	6090	6000	5920	5840	5760	5714	5663	5616	5572	5530	5490	5450	5420	5390	5360	5330	5300	5270	5220	5120	3950	
1400	59040	29520	19680	14700	12000	10000	8640	7400	6500	6390	6290	6200	6120	6040	5960	5914	5863	5816	5772	5730	5690	5650	5620	5590	5560	5530	5500	5450	5350	4000	4000	
1500	61200	30600	20400	15240	12480	10400	9000	7800	6900	6790	6690	6600	6520	6440	6360	6314	6263	6216	6172	6130	6090	6050	6020	6000	5970	5940	5910	5880	5830	5730	4050	
1600	63360	31680	21120	15780	12960	10800	9360	8100	7000	6890	6790	6700	6620	6540	6460	6414	6363	6316	6272	6230	6190	6150	6120	6090	6060	6030	6000	5950	5850	4100	4100	
1700	65520	32760	21840	16320	13440	11200	9720	8400	7300	7190	7090	7000	6920	6840	6760	6714	6663	6616	6572	6530	6490	6450	6420	6390	6360	6330	6300	6250	6150	4150	4150	
1800	67680	33840	22560	16860	13920	11680	10140	8800	7600	7490	7390	7300	7220	7140	7060	7014	6963	6916	6872	6830	6790	6750	6720	6690	6660	6630	6600	6550	6450	4200	4200	
1900	69840	34920	23280	17400	14400	12160	10560	9200	8000	7890	7790	7700	7620	7540	7460	7414	7363	7316	7272	7230	7190	7150	7120	7090	7060	7030	7000	6950	6850	4250	4250	
2000	72000	36000	24000	17940	14880	12640	11040	9600	8400	8290	8190	8100	8020	7940	7860	7814	7763	7716	7672	7630	7590	7550	7520	7490	7460	7430	7400	7350	7250	4300	4300	
2100	74160	37080	24720	18480	15360	13120	11440	10000	8800	8690	8590	8500	8420	8340	8260	8214	8163	8116	8072	8030	7990	7950	7920	7890	7860	7830	7800	7750	7650	4350	4350	
2200	76320	38160	25440	19020	15840	13600	12000	10800	9600	9490	9390	9300	9220	9140	9060	9014	8963	8916	8872	8830	8790	8750	8720	8690	8660	8630	8600	8550	8450	4400	4400	
2300	78480	39240	26160	19560	16320	14080	12240	11200	10000	9890	9790	9700	9620	9540	9460	9414	9363	9316	9272	9230	9190	9150	9120	9090	9060	9030	9000	8950	8850	4450	4450	
2400	80640	40320	26880	20100	16800	14560	12640	11600	10400	10290	10190	10100	10020	9940	9860	9814	9763	9716	9672	9630	9590	9550	9520	9490	9460	9430	9400					

TABLA 2

TENSIONES MAXIMAS DE CONTACTO ADMISIBLES QUE PUEDEN APARECER EN UNA INSTALACION

$$V_c = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1.5 \rho_s}{1000}\right)$$

Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)

Resistividad
terreno

$\Omega \cdot m$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	4	5	> 5
20	742	371	247	185	148	124	106	93	82	81	79	78	77	76	75	74	73	73	72	71	71	70	70	69	68	68	67	67	66	66	65	52	
40	763	382	254	191	153	127	109	95	85	83	82	81	79	78	77	76	75	74	73	73	72	72	71	71	70	70	69	69	68	68	67	53	
60	785	392	262	196	157	131	112	98	87	86	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	74	73	73	72	72	71	71	70	70	69	55	
80	806	403	269	202	161	134	115	101	90	88	86	85	84	83	82	81	80	79	78	77	76	76	75	74	74	73	73	72	72	71	69	56	
100	828	414	276	207	166	138	118	104	92	90	89	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	74	73	73	72	71	68	58	
150	882	441	294	221	176	147	126	110	98	96	95	93	92	91	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80	80	79	78	78	77	76	74	61	
200	936	468	312	234	187	156	134	117	104	102	100	99	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	83	82	81	79	65	
250	990	495	330	248	198	165	141	124	110	108	106	104	103	102	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	84	69	
300	1044	522	348	261	209	174	149	131	116	114	112	110	109	107	106	105	104	103	102	101	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	89	73	
350	1098	549	366	275	220	183	157	137	122	120	118	116	114	113	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99	98	97	96	94	76	
400	1152	576	384	288	230	192	165	144	128	126	123	120	118	117	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104	104	103	102	101	100	80	
450	1206	603	402	302	241	201	172	151	134	131	129	127	125	124	122	121	120	118	117	116	115	114	113	112	111	111	110	109	109	107	107	84	
500	1260	630	420	315	252	210	180	158	140	137	135	133	131	129	128	126	125	124	122	121	120	119	118	117	116	116	115	114	113	112	111	88	
550	1314	657	438	329	263	219	188	164	146	143	141	139	137	135	133	132	130	129	128	126	125	124	123	122	121	121	120	119	118	117	117	91	
600	1368	684	456	342	274	228	195	171	152	149	147	144	142	140	139	137	136	134	133	132	131	129	128	127	126	126	125	124	123	122	122	95	
650	1422	711	474	356	284	237	203	178	158	155	152	150	148	146	144	142	141	139	138	137	136	135	133	132	131	131	130	129	128	127	126	99	
700	1476	738	492	369	295	246	211	185	164	161	158	156	154	151	150	148	146	145	143	142	141	140	139	137	136	135	134	133	132	131	131	103	
750	1530	765	510	383	306	255	219	191	170	167	164	161	159	157	155	153	152	150	149	147	146	145	144	142	141	140	139	138	137	136	136	106	
800	1584	792	528	396	317	264	226	198	176	173	170	167	165	163	161	159	157	155	154	152	151	150	149	148	146	145	144	143	143	141	141	110	
850	1638	819	546	410	328	273	234	205	182	179	176	173	170	168	166	164	162	161	159	158	156	155	154	153	151	150	149	148	147	146	146	114	
900	1692	846	564	423	338	282	242	212	188	184	181	179	176	174	171	170	168	166	164	163	161	160	159	158	156	155	154	153	152	151	150	118	
950	1746	873	582	437	349	291	249	218	194	190	187	184	182	179	177	175	173	171	170	168	167	165	164	163	161	160	159	158	157	155	155	121	
1000	1800	900	600	450	360	300	257	225	200	196	193	190	187	185	182	180	178	177	175	173	172	171	169	168	166	165	164	163	162	161	160	125	
1200	2016	1008	672	504	403	336	288	252	224	220	216	213	210	207	204	202	200	198	196	194	192	191	189	188	186	185	184	183	181	181	179	140	
1400	2232	1116	744	558	446	372	319	279	248	243	239	235	232	229	226	224	221	219	217	215	213	211	209	208	206	205	204	202	201	200	200	155	
1600	2448	1224	816	612	490	408	350	306	272	267	262	258	255	251	248	245	243	240	238	236	234	232	230	228	226	225	223	222	220	218	217	170	
1800	2664	1332	888	666	533	444	381	333	296	290	286	281	277	273	270	267	264	261	259	256	254	252	250	248	246	245	243	241	240	237	237	185	
2000	2880	1440	960	720	576	480	411	360	320	314	309	304	300	296	292	289	285	282	280	277	275	272	270	268	266	264	263	261	259	256	256	200	
2200	3096	1548	1032	774	619	516	442	387	344	338	332	327	322	318	314	310	307	304	301	298	295	293	291	288	286	284	282	280	279	275	275	215	
2400	3312	1656	1104	828	662	552	473	414	368	361	355	349	344	340	336	332	328	325	322	319	316	313	311	308	306	304	302	300	298	294	294	230	
2600	3528	1764	1176	882	706	588	504	441	392	385	378	372	367	362	358	353	350	346	343	340	337	334	331	329	326	324	322	320	318	314	314	245	
2800	3744	1872	1248	936	749	624	535	468	416	408	401	395	389	384	379	375	371	367	364	360	357	354	351	349	346	344	341	339	337	333	333	260	
3000	3960	1980	1320	990	792	660	566	495	440	432	424	418	412	406	401	397	392	388	385	381	378	375	372	369	366	364	361	359	356	352	352	275	

TABLA 3

TENSIONES MAXIMAS DE PASO ADMISIBLES QUE PUEDEN APARECER EN LA ENTRADA A LOS CENTROS DE TRANSFORMACION:

$$V_{p(ACC)} = \frac{10 K}{t^n} (1 + \frac{3 \rho_s + 3 \rho_s'}{1000})$$

Resistencia
terreno

Tiempo de actuación de las protecciones (segundos)

$\Omega \cdot m$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,5	> 5
20	24144	18108	14486	12072	10347	9054	8048	7897	7763	7642	7533	7433	7341	7256	7178	7104	7035	6971	6910	6852	6798	6746	6696	6649	6604	6561	6520	6438	5030			
40	24288	18216	14573	12144	10409	9108	8096	7944	7809	7688	7578	7477	7385	7300	7221	7147	7077	7012	6951	6893	6838	6786	6736	6689	6644	6600	6559	6477	5060			
60	24432	18324	14659	12216	10471	9162	8144	7991	7855	7733	7623	7522	7429	7343	7263	7189	7119	7054	6992	6934	6879	6826	6776	6729	6683	6639	6598	6515	5090			
80	24576	18432	14746	12288	10533	9216	8192	8038	7902	7779	7668	7566	7473	7386	7306	7231	7161	7096	7033	6975	6919	6866	6816	6768	6722	6679	6636	6554	5120			
100	24720	18540	14832	12360	10594	9270	8240	8086	7948	7824	7713	7610	7516	7430	7349	7274	7203	7137	7075	7016	6960	6907	6856	6808	6762	6718	6675	6592	5150			
150	25080	18810	15048	12540	10749	9405	8360	8203	8064	7938	7825	7721	7626	7538	7456	7380	7308	7241	7178	7118	7061	7007	6956	6907	6860	6815	6773	6688	5225			
200	25440	19080	15264	12720	10903	9540	8480	8321	8179	8052	7937	7832	7735	7646	7563	7486	7413	7345	7281	7220	7162	7108	7056	7006	6959	6913	6870	6784	5300			
250	25800	19350	15480	12900	11057	9675	8600	8439	8291	8166	8049	7943	7845	7754	7670	7592	7518	7449	7384	7322	7264	7208	7156	7105	7057	7011	6967	6880	5375			
300	26160	19620	15696	13080	11211	9810	8710	8547	8401	8280	8162	8054	7954	7862	7777	7697	7623	7553	7487	7424	7365	7309	7255	7204	7156	7109	7064	6976	5450			
350	26520	19890	15912	13260	11366	9945	8840	8674	8527	8394	8274	8164	8064	7971	7884	7803	7728	7657	7590	7527	7467	7410	7355	7304	7254	7207	7161	7072	5525			
400	26880	20160	16128	13440	11520	10080	8960	8792	8642	8508	8386	8275	8173	8079	7991	7909	7833	7761	7693	7629	7568	7510	7455	7403	7353	7305	7259	7168	5600			
450	27240	20430	16344	13620	11674	10215	9080	8910	8758	8622	8499	8386	8283	8187	8098	8015	7938	7865	7796	7731	7669	7611	7555	7502	7451	7402	7356	7264	5675			
500	27600	20700	16560	13800	11829	10350	9200	9028	8874	8736	8611	8497	8392	8295	8205	8121	8043	7969	7899	7833	7771	7711	7655	7601	7550	7500	7453	7360	5750			
550	27960	20970	16776	13980	11983	10485	9320	9145	8990	8850	8723	8608	8502	8403	8312	8227	8147	8073	8002	7935	7872	7812	7755	7700	7648	7598	7550	7456	5825			
600	28320	21240	16992	14160	12137	10620	9440	9263	9105	8964	8836	8719	8611	8512	8419	8333	8252	8176	8105	8037	7973	7912	7855	7799	7747	7696	7648	7552	5900			
650	28680	21510	17208	14340	12291	10755	9560	9381	9221	9078	8948	8829	8720	8620	8526	8439	8357	8280	8208	8140	8075	8013	7954	7898	7845	7794	7745	7648	5975			
700	29040	21780	17424	14520	12446	10890	9680	9499	9337	9192	9060	8940	8830	8728	8633	8545	8462	8384	8311	8242	8176	8114	8054	7998	7943	7892	7842	7744	6050			
750	29400	22050	17640	14700	12600	11025	9800	9616	9453	9306	9173	9051	8939	8836	8740	8651	8567	8488	8414	8344	8277	8214	8154	8097	8042	7989	7939	7840	6125			
800	29760	22320	17856	14880	12754	11160	9920	9734	9568	9420	9285	9162	9049	8944	8847	8757	8672	8592	8517	8446	8379	8315	8254	8196	8140	8087	8036	7936	6200			
850	22590	18072	15060	12909	11295	10040	9852	9684	9534	9397	9273	9158	9053	8954	8863	8777	8696	8620	8548	8480	8415	8354	8295	8239	8185	8134	8032	6275				
900	22660	18288	15240	13063	11430	10160	9970	9800	9648	9510	9384	9268	9161	9061	8969	8882	8800	8723	8650	8581	8516	8454	8394	8337	8283	8231	8128	6350				
950	23130	18504	15420	13217	11565	10280	10087	9916	9762	9622	9494	9377	9269	9168	9075	8987	8904	8826	8753	8683	8617	8553	8493	8436	8381	8328	8224	6425				
1000	23400	18720	15600	13371	11700	10400	10205	10031	9876	9734	9605	9487	9377	9275	9180	9092	9008	8929	8855	8784	8717	8653	8592	8534	8479	8425	8320	6500				
1200	24480	19584	16320	13989	12240	10880	10676	10494	10331	10184	10049	9925	9810	9703	9604	9511	9424	9341	9263	9190	9119	9053	8989	8928	8870	8814	8704	6800				
1400	25560	20448	17040	14606	12780	11360	11147	10957	10787	10633	10492	10362	10243	10132	10028	9931	9839	9753	9672	9595	9522	9452	9386	9322	9261	9203	9088	7100				
1600	26640	21312	17760	15223	13320	11840	11618	11420	11243	11082	10935	10800	10676	10560	10452	10350	10255	10166	10081	10000	9924	9851	9782	9716	9653	9592	9472	7400				
1800	27720	22176	18480	15840	13860	12320	12089	11883	11699	11531	11379	11238	11108	10988	10875	10770	10671	10578	10489	10406	10326	10251	10179	10110	10044	9981	9856	7700				
2000	28800	23040	19200	16457	14400	12800	12560	12346	12154	11981	11822	11676	11541	11416	11299	11190	11087	10990	10898	10811	10729	10650	10575	10504	10435	10370	10240	8000				
2200	29880	23960	19920	17074	14940	13280	13031	12809	12610	12430	12265	12114	11974	11844	11723	11609	11503	11402	11307	11217	11131	11050	10972	10898	10827	10758	10624	8300				
2400	24768	20640	17691	15480	13760	13502	13272	13066	12879	12709	12552	12407	12272	12146	12029	11918	11814	11716	11622	11533	11449	11368	11292	11218	11147	1108	8600					
2600	25632	21360	18309	16020	14420	13973	13735	13522	13328	13152	12990	12839	12700	12570	12448	12326	12208	12094	11984	11878	11776	11685	11609	11536	11467	11392	8900					
2800	26496	22080	18926	16560	14720	14444	14198	13978	13778	13595	13427	13272	13128	12994	12868	12750	12638	12533	12433	12338	12248	12162	12079	12000	11925	11776	9200					
3000	27360	22800	19543	17100	15200	14915	14661	14433	14227	14038	13865	13705	13556	13418	13288	13166	13050	12942	12838	12740	12647	12558	12473	12392	12314	12160	9500					

(Resistencia del pavimento del centro 3000 $\Omega \cdot m$)

Los valores no indicados corresponden a tensiones superiores a 3000 Voltios.

3.3 Limitaciones del valor de la corriente de defecto

La intensidad máxima de defecto I_d deberá ser lo más baja posible, con objeto de que la tensión que aparezca en el electrodo cuando sea recorrido por la misma, tenga el valor más reducido posible.

Dicha intensidad deberá tener asimismo, un valor mínimo superior a la de arranque de las protecciones que tienen que detectar el defecto e interrumpir la alimentación.

$$I_d > \text{Valor de arranque de las protecciones} \quad (7)$$

4. PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Las prescripciones generales que deben cumplir los electrodos de puesta a tierra, para garantizar la seguridad de las personas y cosas, se resumen, tal como se refleja en el Capítulo 3, en :

Limitación de la resistencia de puesta a tierra (R_t) de protección.

El valor máximo de R_t debe permitir que la intensidad de defecto (I_d) supere el valor mínimo de actuación de las protecciones y que la sobretensión que aparece, en caso de anomalía, ($V_d = R_t \cdot I_d$) no sea perjudicial para la instalación de baja tensión del CT.

Definición de una configuración geométrica del electrodo de puesta a tierra. Su diseño será tal, que los gradientes de tensión que aparecen en el terreno en caso de defecto, no sean superiores a las tensiones que pueda soportar una persona que acceda simultáneamente, a puntos separados afectados por la anomalía.

Tal como se indica en las fórmulas (2), (3) y (4), las tensiones máximas admisibles en una instalación son función de la resistividad superficial del terreno.

Para cumplir con las condiciones de seguridad requeridas, se seguirá el procedimiento de cálculo indicado en el apartado 2.1 de la MIE RAT 13:

- 1) Investigación de las características del terreno.
- 2) Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.
- 3) Diseño preliminar de la instalación de tierra.
- 4) Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- 5) Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación.
- 6) Cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación.
- 7) Comprobación de que las tensiones de paso y contacto calculadas en 5) y 6) sean inferiores a los valores máximos admisibles definidos por las ecuaciones (2), (3) y (4).
- 8) Investigación de las tensiones transferibles al exterior. Separación entre los electrodos de tierra (*) de protección (masas) y de servicio (neutro BT)
- 9) Corrección y ajuste del diseño inicial.

(*) Se entiende por electrodos de tierra el conjunto formado por los conductores horizontales y plicas verticales enterradas.

A continuación se desarrolla cada uno de estos puntos, en los apartados 4.1 a 4.7

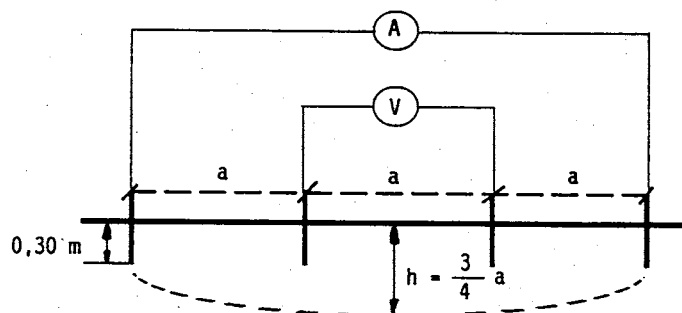
4.1 Investigación de las características del terreno

Para instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA, el apartado 4.1 de la MIE RAT 13 admite la posibilidad de estimar la resistividad del terreno o de medirla. No obstante, en virtud de lo expuesto en el capítulo 1 del presente documento, se recomienda efectuar la medición.

Medida de la resistividad del terreno

El procedimiento más utilizado y recomendado es el método de Wenner. Se dispondrán cuatro sondas alineadas a intervalos iguales, simétricas respecto al punto en donde se desea medir la resistividad del terreno. La profundidad de estas sondas no es preciso que sobrepase los 30 cm. La separación entre las sondas (a) permite conocer la resistividad media del terreno entre su superficie y una profundidad h, aproximadamente igual a la profundidad máxima a la que se instalará el electrodo.

Siendo :
$$a = \frac{4}{3} h \quad (8)$$



$$\rho_h = \frac{2 \pi a V}{I} \quad , \quad r = \frac{V}{I}$$

$$\rho_h = 2 \pi a r \quad (\Omega \cdot m) \quad (9)$$

En la Tabla 4 (pág. 13) se recogen los valores del coeficiente $K = 2 \pi a$, que junto con la lectura del aparato (r) determina la resistividad media ρ_h del terreno en la franja comprendida entre la superficie y la profundidad

$$h = \frac{3}{4} a$$

4.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto

Corrientes máximas de puesta a tierra

En instalaciones eléctricas de alta tensión de tercera categoría, los parámetros de la red que definen la corriente de puesta a tierra, como son la resistencia y reactancia de las líneas, son muy variables. Con alguna frecuencia se intercalan nuevos circuitos y subestaciones. Ello obliga a simplificar los cálculos incluyendo, en la aproximación, las consideraciones que hagan posible que las modificaciones posteriores, en forma de nuevas instalaciones y/o modificaciones físicas o eléctricas, mantengan las condiciones de seguridad establecidas, para cada instalación.

El aspecto más importante que debe tenerse presente en el cálculo de la corriente máxima de puesta a tierra es el tratamiento del neutro de la red. Normalmente, en las redes de alta tensión de tercera categoría, las variantes son las siguientes:

- Neutro aislado
- Neutro unido a tierra
 - Directamente
 - Mediante impedancia

El neutro unido directamente a tierra es una variante de la conexión mediante impedancia, dado que la conexión a tierra siempre presenta una resistencia de cierto valor, por reducido que éste sea.

TABLA 4

CALCULO RESISTIVIDAD MEDIA DEL TERRENO

Distancia entre sondas (m) (a)	Profundidad h (m) (3/4 a)	Coefficiente $K = 2 \pi a$ (A)	Lectura aparato (r) (B)	Resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) (A*B)
2	1,5	12,57		
4	3,0	25,13		
6	4,5	37,70		
8	6,0	50,27		
10	7,5	62,83		
12	9,0	75,40		
14	10,5	87,96		
16	12,0	100,53		
18	13,5	113,10		
20	15,0	125,66		
22	16,5	138,23		
24	18,0	150,80		
26	19,5	163,36		
28	21,0	175,93		
30	22,5	188,50		
32	24,0	201,06		
34	25,5	213,63		
36	27,0	226,20		
38	28,5	238,76		
40	30,0	251,33		
42	31,5	263,89		
44	33,0	276,46		
46	34,5	289,03		
48	36,0	301,59		
50	37,5	314,16		

Neutro aislado : corriente máxima a tierra

La intensidad de defecto a tierra es la capacitiva de la red respecto a tierra, directamente proporcional a la longitud de la red, la cual se va ampliando con el transcurso del tiempo. Con objeto de considerar esta circunstancia en el cálculo, no se tendrá presente la reducción prevista, en el apartado 5 de la MIE RAT 13.

Excepto en aquellos casos en los que el proyectista justifique otros valores, para el cálculo de la corriente máxima a tierra en una red con neutro aislado, se aplicará la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3 R_t)^2}} \quad (10)$$

Siendo:

- I_d , Intensidad máxima de defecto a tierra en el centro considerado, en amperios
- U , Tensión compuesta de servicio de la red, en voltios
- C_a , Capacidad homopolar de la línea aérea, en faradios/kilómetro
- L_a , Longitud total de las líneas aéreas de alta tensión subsidiarias de la misma transformación AT/AT, en kilómetros
- C_c , Capacidad homopolar de los cables subterráneos, en faradios/kilómetro
- L_c , Longitud total de los cables subterráneos de alta tensión subsidiarios de la misma transformación AT/AT, en kilómetros
- R_t , Resistencia de la puesta a tierra de protección del centro, en ohmios.
- ω , Pulsación de la corriente, de valor $2\pi f$

Salvo que el proyectista determine otros valores se considerará, para las capacidades de la red aérea y subterránea, respectivamente, los siguientes:

$$\begin{aligned} C_a &= 0,006 \text{ } \mu\text{F/km} \\ C_c &= 0,25 \text{ } \mu\text{F/km} \end{aligned}$$

Estos valores corresponden a conductores de las secciones más utilizadas normalmente en instalaciones de tercera categoría y tensiones nominales de la red de 20 kV.

Neutro a tierra : corriente máxima a tierra

La intensidad de defecto a tierra, en el caso de redes con el neutro a tierra, es inversamente proporcional a la impedancia del circuito que debe recorrer. Como caso más desfavorable y para simplificar los cálculos, salvo que el proyectista justifique otros aspectos, sólo se considerará la impedancia de la puesta a tierra del neutro de la red de alta tensión y la resistencia del electrodo de puesta a tierra. Ello supone estimar nula la impedancia homopolar de las líneas o cables, con lo que se consigue independizar los resultados de las posteriores modificaciones de la red. Este criterio no será de aplicación en los casos de neutro unido rígidamente a tierra, en los que se considerará dicha impedancia. Para el cálculo se aplicará, salvo justificación, la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \quad (11)$$

Siendo:

- I_d , Intensidad máxima de defecto a tierra, en el centro considerado, en amperios.
- U , Tensión compuesta de servicio de la red, en voltios.
- R_n , Resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red, en ohmios
- R_t , Resistencia de la puesta a tierra de protección del centro, en ohmios.
- X_n , Reactancia de la puesta a tierra del neutro de la red, en ohmios

Los valores de R_n y X_n son característicos de cada red.

Tiempos máximos de eliminación del defecto

Cuando se produce un defecto a tierra, éste se elimina mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por la orden que le transmite un dispositivo que controla la intensidad de defecto.

Salvo que el proyectista justifique lo contrario, no se considerarán los cortacircuitos fusibles como elemento de interrupción de las intensidades de defecto a tierra. A efectos de determinar el tiempo máximo de eliminación de la corriente de defecto a tierra, el elemento de corte será un interruptor cuya desconexión estará controlada por un relé que establezca su tiempo de apertura. Los tiempos de apertura del interruptor, incluido el de extinción de arco, se considerarán incluidos en el tiempo de actuación del relé.

Respecto a los tiempos de actuación de los relés, las variantes normales son las siguientes:

Relés a tiempo independiente:

En éstos, el tiempo de actuación no depende del valor de la sobreintensidad. Cuando ésta supera el valor del arranque, actúa en un tiempo prefijado.

Relés a tiempo dependiente:

En éstos, el tiempo de actuación depende inversamente de la sobreintensidad. Algunos de los relés más utilizados responden a la siguiente expresión:

$$t = \frac{K'}{r^{n'-1}} \quad (12)$$

Siendo:

t, Tiempo de actuación del relé, en segundos

r, Cociente entre la intensidad de defecto a tierra, (10) u (11), y la intensidad de arranque del relé (I_a) referida al primario.

$$r = \frac{I_d}{I_a} \quad (13)$$

K' y n' , parámetros que dependen de la curva característica intensidad-tiempo del relé.

Las curvas más utilizadas son las siguientes :

	Normal inversa ($n' = 0,02$)	Muy inversa ($n' = 1$)	Extremadamente inversa ($n' = 2$)
K'	0.014	1.35	8
	0.028	2.70	16
	0.042	4.05	24
	0.056	5.40	32
	0.070	6.70	40
	0.084	8.10	48
	0.098	9.45	56
	0.112	10.80	64
	0.126	12.15	72
	0.140	13.50	80

Para definir el tiempo de actuación de las protecciones a tiempo dependiente se indicará la característica del relé, el tipo de curva (n'), la constante K' y la intensidad de arranque (I_a).

En el caso de que exista reenganche rápido, el tiempo a considerar será la suma de los correspondientes a la primera actuación y a la de la desconexión posterior al reenganche rápido.

4.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra

El diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra se realizará basándose en alguna de las configuraciones tipo presentadas en el Anexo 2 página A2-2 que esté de acuerdo con la forma y dimensiones del centro de transformación. Sobre esta configuración base pueden tantearse diversas variantes, según el número de picas que se considere, su longitud y la profundidad de enterramiento, tal como se especificaba en el Capítulo 2.

Para cada variante, deberá calcularse la resistencia de puesta a tierra y las correspondientes tensiones de paso y contacto.

4.4. Cálculo de la resistencia de puesta a tierra y de las tensiones de paso y contacto

4.4.1 Consideraciones generales

La resistencia de puesta a tierra es la que existe entre el electrodo y un punto lejano del terreno a potencial cero. Para determinar esta resistencia será preciso conocer la diferencia de potencial entre estos dos puntos (tensión de defecto) y al dividir esta tensión por la intensidad que disipa el electrodo, se obtendrá el correspondiente valor de la resistencia. Para determinar las tensiones de paso y contacto, según las definiciones del RAT, es preciso conocer la distribución de potenciales sobre el terreno en las proximidades del electrodo. Así pues, para determinar la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, debe analizarse la distribución de potenciales que provoca la disipación de corriente a través del electrodo en estudio.

El método de cálculo que se describe, en los capítulos 4.4.2 y 4.4.3 se basa en la descomposición del electrodo en infinitas esferas diferenciales, que disipan una intensidad "dI". Para determinar el potencial en un punto se integrará el aporte de las infinitas esferas diferenciales. Dado que en el medio en que se halla el electrodo existe una discontinuidad debida al plano que delimita la tierra con el aire, para salvar dicha discontinuidad se considerará un medio infinito y homogéneo en el cual se halla el electrodo a estudiar y una imagen del mismo con respecto al plano de tierra (Método de las imágenes).

Como el electrodo de tierra está constituido por un elemento de geometría simple (una pica, un conductor horizontal, etc.), la integración del aporte de las esferas diferenciales mencionadas conduce a la obtención de fórmulas matemáticas simples de fácil aplicación, que permiten determinar directamente la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto. Cuando el electrodo de tierra tiene una geometría más compleja debe recurrirse a la utilización de métodos de cálculo más sofisticados como el que se describe en el Anexo 1.

4.4.2 Electrodo de tierra. Parámetros característicos

Tal como se ha expuesto en el Capítulo 2, la aplicación práctica de las fórmulas usadas en el método de Howe (Anexo 1) requiere el empleo de programas de ordenador. Para facilitar la presentación de resultados se han confeccionado una serie de tablas (Anexo 2) en las que, para diferentes geometrías de electrodo (Capítulo 2) se especifican los siguientes parámetros, expresados en los valores "unitarios" indicados.

Resistencia de puesta a tierra	$K_R, \Omega / (\Omega \cdot m)$
Tensión de paso máxima,	$K_P, V / (\Omega \cdot m) \cdot (A)$
Tensión de contacto exterior máxima,	$K_C, V / (\Omega \cdot m) \cdot (A)$

Multiplicando K_R por ρ (resistividad del terreno) se obtiene la resistencia de puesta a tierra en Ω . Seguidamente, se calcula la I_d , según las fórmulas (10) u (11) del apartado 4.2, y, por último, multiplicando K_P y K_C por ρ y por I_d se obtienen, respectivamente, los valores, en voltios, de la tensión de paso máxima y de la tensión de contacto exterior máxima, para cada configuración tipo de electrodo.

$$K_R \cdot \rho = R_t (\Omega); \quad K_P \cdot \rho \cdot I_d = V'_p (V); \quad K_C \cdot \rho \cdot I_d = V'_c (V)$$

Cuando exista una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra, la tensión de paso de acceso (Capítulo 3) es equivalente al valor de la tensión de contacto exterior máxima.

En el Anexo 2, para el caso de electrodos longitudinales con picas exteriores, no se indica el valor de tensión de contacto exterior, ya que depende de la posición en que se ubique el electrodo con respecto al CT. En general, si las picas se colocan frente a los accesos al CT, paralelas a la fachada, no debe considerarse la tensión de paso de acceso (tensión de contacto exterior).

Por el contrario, si las picas se ubican lejos de los accesos al CT, deberá considerarse como tensión de paso de acceso (tensión de contacto exterior), la tensión de defecto.

La conexión desde el CT hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0,6/1 kV y se recomienda protegerlo con tubo de PVC de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

4.4.3 Relación entre las tensiones de paso y contacto y la resistencia de puesta a tierra

La relación entre las tensiones de paso y contacto y la resistencia de puesta a tierra está desarrollada en el Anexo 3. En él se pone de manifiesto que para una red concreta, tanto V'_p como V'_c son funciones únicamente de la variable R_t .

De esta forma queda establecida la correlación calculada existente de V'_p y V'_c con R_t , respectivamente, que se indicaba en el Capítulo 1.

4.5. Comprobación de que las tensiones de paso y contacto calculadas (puntos 5 y 6 del Capítulo 4) sean inferiores a los valores máximos admisibles definidos en (2), (3) y (4).

En el Capítulo 3 se recogen los criterios que definen las tensiones de paso y contacto admisibles. En las tablas 1, 2 y 3 se detallan los valores para resistividades del terreno comprendidas entre 20 y 3000 $\Omega \cdot m$ y distintos tiempos de duración de la falta.

En cualquier caso el proyectista podrá calcular otros valores concretos mediante las expresiones matemáticas (2), (3) y, si procede, (4).

A título de ejemplo, en las mencionadas tablas puede apreciarse, para tiempos de respuesta de las protecciones de 0,5 segundos y terrenos de resistividad media de 300 ohmios metro, las siguientes tensiones admisibles:

Tensión de paso admisible en la instalación	4032 V (Tabla 1)
Tensión de contacto admisible en la instalación	209 V (Tabla 2)
Tensión de paso admisible a la entrada al centro con pavimento...	15696 V (Tabla 3)

Puede apreciarse que ambas tensiones de paso admisibles tienen valores que no se superan si se utilizan electrodos con diseños y estructuras normales. Incide más el condicionante de que la tensión de defecto no afecte a las instalaciones de baja tensión del centro de transformación, que el de no sobrepasar tensiones de paso admisibles.

Por el contrario, en lo que se refiere a las tensiones de contacto, el valor de la tensión admisible es reducido. Controlar que la tensión que se puede presentar en caso de defecto no supere este valor, podrá representar en muchas situaciones, tener que establecer unos electrodos muy dimensionados, cuya configuración no sería viable físicamente y cuyo coste sería difícilmente asumible. En estos casos el RAT permite la posibilidad de recurrir al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir los riesgos para las personas y cosas.

En este documento se da por supuesto de que se recurrirá a la utilización de alguna de las medidas que se indican en el apartado 4.5.1, por lo que no será preciso calcular el valor de las tensiones de paso y contacto interiores y de contacto exterior, ya que estos valores serán prácticamente cero. En caso contrario, el proyectista deberá justificar la utilización de otras medidas equivalentes, o bien, calcular los valores de tensiones mencionados y verificar que los mismos están por debajo de los admisibles por la MIE-RAT 13.

4.5.1 Medidas adicionales de seguridad para las tensiones de contacto

Entre las medidas aceptadas, independientemente de otras que el proyectista justifique, se podrá:

- * Disponer suelos o pavimentos que aislen suficientemente de tierra las zonas peligrosas
- * Establecer conexiones equipotenciales entre la zona de acceso para el personal de servicio y todos los elementos conductores accesibles desde la misma.

Las medidas concretas consideradas en el presente documento son las siguientes:

Centros de transformación en edificio

Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.

En el piso, se instalará 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 (figura 2).

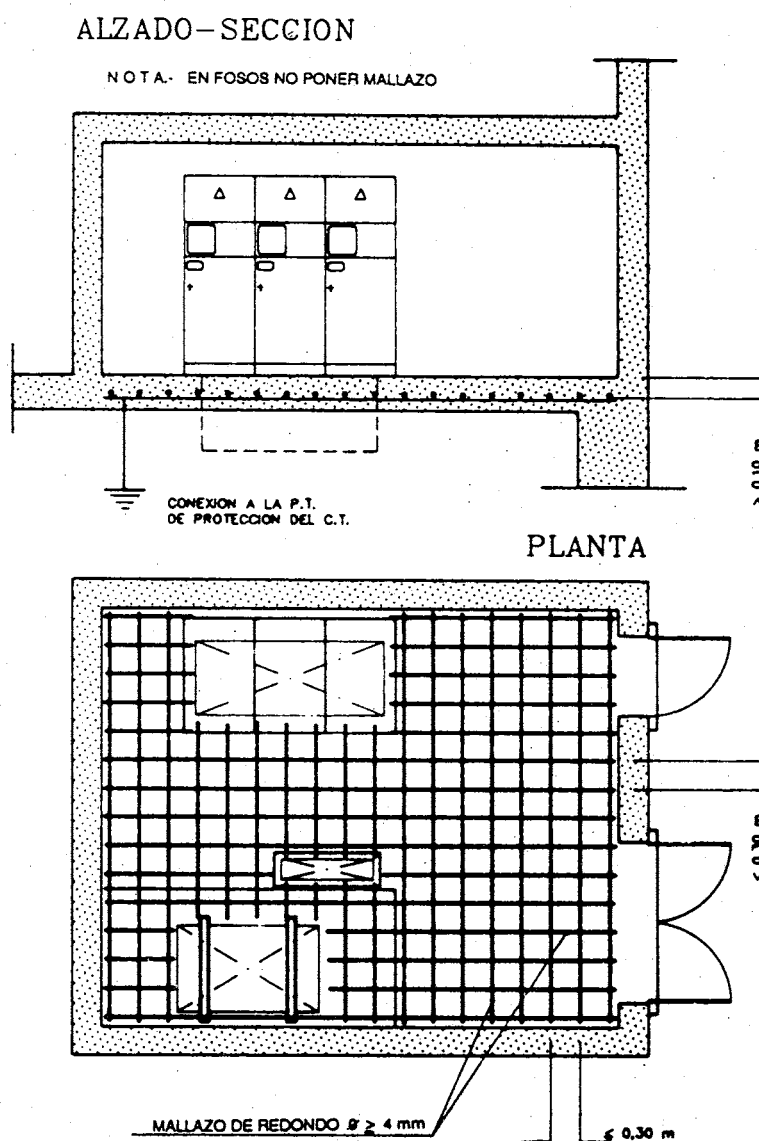


Figura 2

**MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD PARA LAS TENSIONES DE
CONTACTO EN CENTROS DE TRANSFORMACION DE EDIFICIO**

Centros de transformación sobre apoyos

Para controlar la tensión de contacto se colocará una losa de hormigón de espesor no inferior a 20 cm que cubra, como mínimo, hasta 1,20 m de las aristas exteriores de la cimentación de los apoyos. Dentro de la losa y hasta 1 m de las aristas exteriores de la cimentación del apoyo, se dispondrá un mallazo electrosoldado de construcción 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 a la puesta a tierra de protección del centro al menos en 2 puntos preferentemente opuestos, y quedará recubierto por un espesor de hormigón no inferior a 10 cm (figura 3)

Con esta medida adicional se consigue que la persona que deba acceder a una parte que, de forma eventual, pueda ponerse en tensión, esté situada sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior.

El proyectista podrá justificar otras medidas equivalentes.

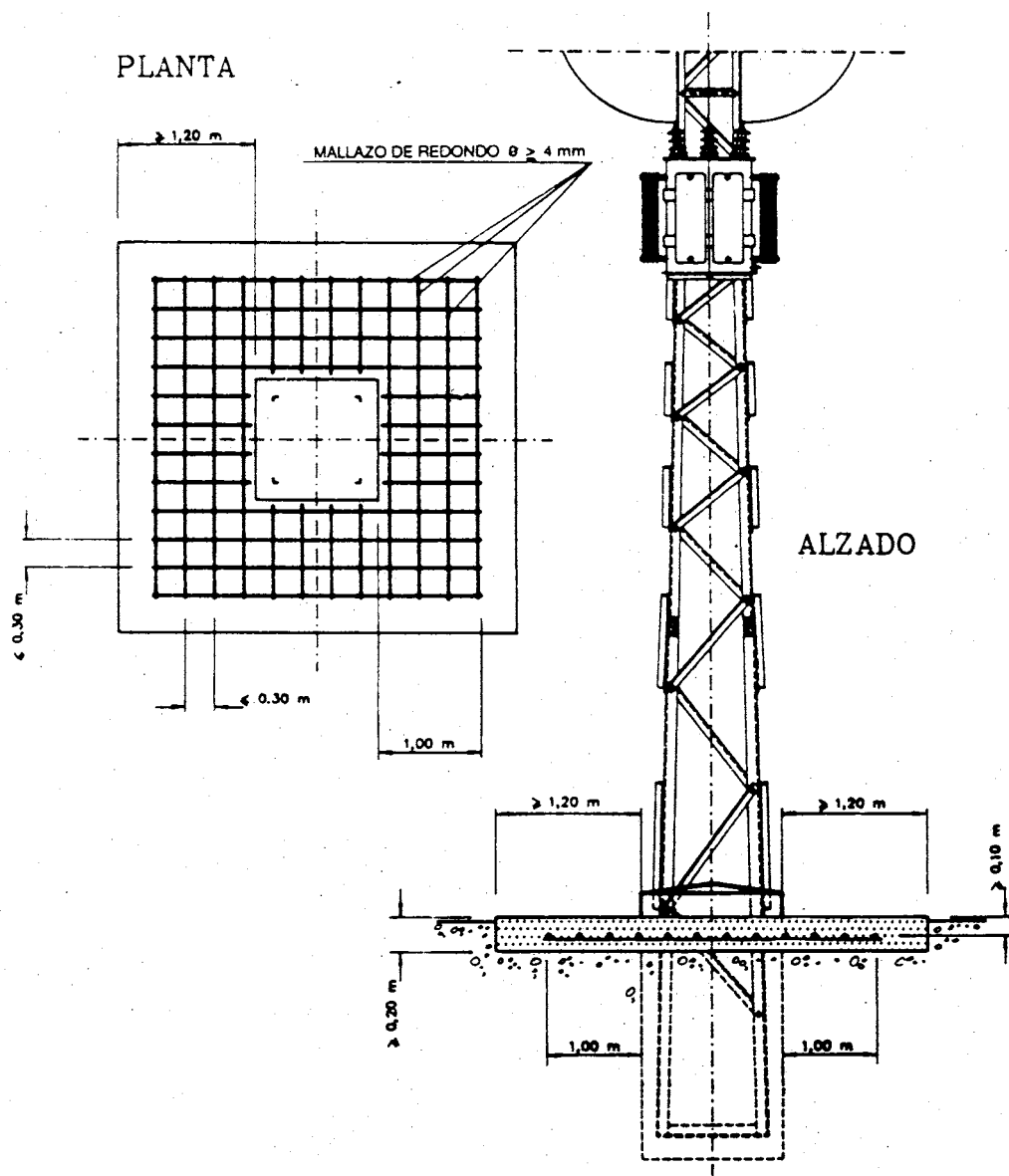


Figura 3

**MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD PARA LAS TENSIONES DE
CONTACTO EN CENTROS DE TRANSFORMACION SOBRE APOYOS**

4.5.2. Condiciones a cumplir por el electrodo de tierra

Además de conseguir que los valores de las tensiones de paso y contacto admisibles no sean superados, existen otros aspectos que deben tenerse en cuenta al diseñar los electrodos de puesta a tierra, para evitar que las sobretensiones que se puedan presentar en el caso de defecto o avería, superen los límites considerados, tal como se detalla en los apartados 3.2 y 3.3. En la Tabla 5 se resumen dichas condiciones.

TABLA 5

CONDICIONES A CUMPLIR POR LOS ELECTRODOS

<u>Seguridad de las personas</u> (Apartado 3.1)		
<u>Tensión máxima calculada</u>	\leq	<u>Tensión máxima admisible en la instalación</u>
de paso en el exterior	\leq	de paso (V_p) (2) ó (4)
de paso en el interior	\leq	de paso (V_p) (2) ó (4)
de contacto en el interior	\leq	de contacto (V_c) (3)
Si no se cumple alguna de estas condiciones, el proyectista deberá justificar las medidas adicionales de seguridad adoptadas para no superar las tensiones admisibles, de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.5.		
<u>Protección del material</u> (Apartado 3.2)		
Nivel de aislamiento del equipo de BT del CT a frecuencia industrial	\geq	Tensión de defecto
V_{bt}	\geq	$R_t \cdot I_d$ (6)
Se deberá definir el valor de V_{bt} , y si no se cumple la relación (6), deberá utilizarse un transformador de separación de circuitos.		
<u>Limitación de la corriente de defecto</u> (Apartado 3.3)		
Intensidad de defecto	$>$	Intensidad de arranque de las protecciones (7)

4.6. Investigación de las tensiones transferidas al exterior

Una vez diseñado el electrodo, deberá verificarse que no puedan transmitirse tensiones al exterior. En concreto deberá estudiarse la posible transferencia a través de la puesta a tierra del neutro y determinar las características eléctricas de este último.

4.6.1. Separación de los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro)

Para garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio 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 tierra de protección, debe establecerse una separación entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, la cual, será función de la resistividad del terreno y de la intensidad de defecto.

La máxima diferencia de potencial que puede aparecer entre el neutro de BT y una tierra lejana no afectada, no debe ser superior a 1000 V.

Este valor se establece al tener presente lo indicado en la MI- BT 017 del Reglamento Electro-técnico para Baja Tensión, que fija como tensión de ensayo para las instalaciones interiores, durante 1 minuto, $2 U + 1000$ V, siendo U la tensión máxima de servicio, con un mínimo de 1500 V. Este mismo valor de 1500 V aparece en la MI BT 031 como tensión de ensayo a 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).

$$U = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ V}$$

El valor de 1000 V adoptado incluye, pues, un margen de garantía suficiente.

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, pues, los 1000 V

Para determinar la tensión inducida sobre el electrodo de puesta a tierra de BT, el comportamiento del electrodo de tierra de protección puede asimilarse al de una semiesfera.

La tensión inducida por una semiesfera a una distancia D, viene determinada por :

$$U_1 = \frac{\rho \cdot I_d}{2 \pi D}$$

Siendo D: distancia entre electrodos de protección y de servicio, en metros.

Despejando D:

$$D = \frac{\rho \cdot I_d}{2 \pi U_1}$$

e imponiendo la condición de que $U_1 \leq 1000$ V. resulta :

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2000 \pi}$$

En la tabla 6 (pág. 22) se recogen las distancias mínimas entre electrodos para intensidades de defecto comprendidas entre 20 y 1000 A y resistividades de terreno entre 20 y 3000 $\Omega \cdot m$

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 0,6/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7, como mínimo, contra daños mecánicos.

TABLA 6

SEPARACION DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA, METROS

Resistividad terreno	Intensidad de defecto (amperios)																							
$\Omega \cdot m$	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	
40	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	
60	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	
80	0	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13	
100	0	1	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	
150	0	1	1	2	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23	24	
200	1	1	2	3	3	5	6	8	10	11	13	14	16	18	19	21	22	24	25	27	29	30	32	
250	1	2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
300	1	2	3	4	5	7	10	12	14	17	19	21	24	26	29	31	33	36	38	41	43	45	48	
350	1	2	3	4	6	8	11	14	17	19	22	25	28	31	33	36	39	42	45	47	50	53	56	
400	1	3	4	5	6	10	13	16	19	22	25	29	32	35	38	41	45	48	51	54	57	60	64	
450	1	3	4	6	7	11	14	18	21	25	29	32	36	39	43	47	50	54	57	61	64	68	72	
500	2	3	5	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	
550	2	4	5	7	9	13	18	22	26	31	35	39	44	48	53	57	61	66	70	74	79	83	88	
600	2	4	6	8	10	14	19	24	29	33	38	43	48	53	57	62	67	72	76	81	86	91	95	
650	2	4	6	8	10	16	21	26	31	36	41	47	52	57	62	67	72	78	83	88	93	98	103	
700	2	4	7	9	11	17	22	28	33	39	45	50	56	61	67	72	78	84	89	95	100	106	111	
750	2	5	7	10	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	95	101	107	113	119	
800	3	5	8	10	13	19	25	32	38	45	51	57	64	70	76	83	89	95	102	108	115	121	127	
850	3	5	8	11	14	20	27	34	41	47	54	61	68	74	81	88	95	101	108	115	122	129	135	
900	3	6	9	11	14	21	29	36	43	50	57	64	72	79	86	93	100	107	115	122	129	136	143	
950	3	6	9	12	15	23	30	38	45	53	60	68	76	83	91	98	106	113	121	129	136	144	151	
1000	3	6	10	13	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	95	103	111	119	127	135	143	151	159	
1200	4	8	11	15	19	29	38	48	57	67	76	86	95	105	115	124	134	143	153	162	172	181	191	
1400	4	9	13	18	22	33	45	56	67	78	89	100	111	123	134	145	156	167	178	189	201	212	223	
1600	5	10	15	20	25	38	51	64	76	89	102	115	127	140	153	166	178	191	204	216	229	242	255	
1800	6	11	17	23	29	43	57	72	86	100	115	129	143	158	172	186	201	215	229	244	258	272	286	
2000	6	13	19	25	32	48	64	80	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271	286	302	318	
2200	7	14	21	28	35	53	70	88	105	123	140	158	175	193	210	228	245	263	280	298	315	333	350	
2400	8	15	23	31	38	57	76	95	115	134	153	172	191	210	229	248	267	286	306	325	344	363	382	
2600	8	17	25	33	41	62	83	103	124	145	166	186	207	228	248	269	290	310	331	352	372	393	414	
2800	9	18	27	36	45	67	89	111	134	156	178	201	223	245	267	290	312	334	357	379	401	423	446	
3000	10	19	29	38	48	72	95	119	143	167	191	215	239	263	286	310	334	358	382	406	430	454	477	

Sistema único para las puestas a tierra de protección y de servicio

Cuando $V_d = R_t \cdot I_d \leq 1000 \text{ V}$, se podrá disponer una puesta a tierra única para los sistemas de protección y de servicio.

En la tabla 7 se recogen, en función de las intensidades de defecto, los valores de la resistencia que permiten la interconexión de los dos sistemas a una tierra única.

TABLA 7

RESISTENCIA MAXIMA DEL ELECTRODO, PARA PUESTA A TIERRA UNICA

$I_d \text{ (A)}$	$R_t \text{ (} \Omega \text{)}$
50	20
100	10
150	6,5
200	5
300	3
500	2
1000	1

Resistencia de la puesta a tierra de servicio

Una vez conectada la red de puesta a tierra de servicio al neutro de la red de BT, el valor de esta resistencia de puesta a tierra general deberá ser inferior a 37 ohmios.

Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación interior, protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA, no ocasione en el electrodo de puesta a tierra de servicio una tensión superior a:

$$37 \times 0,650 = 24 \text{ V}$$

4.6.2. Puestas a tierra en centros de transformación conectados a redes de cables subterráneos

El RAT admite el empleo de un electrodo único, en los centros de transformación conectados a una red general, si se cumple una de estas dos condiciones:

- Que la alimentación en alta tensión forme parte de una red de cables subterráneos con envolventes conductoras, de suficiente conductibilidad.
- Que la alimentación en alta tensión forme parte de una red mixta de líneas aéreas y cables subterráneos con envolventes conductoras, y existan en ella dos o más tramos de cable subterráneo con una longitud total mínima de 3 km con trazados diferentes y una longitud de cada uno de ellos de más de 1 km.

Salvo que el proyectista establezca otra justificación, se considerará, que la red tiene suficiente conductibilidad, cuando se cumpla:

$$R'_m \times I_d \leq 1000 \text{ V}$$

Siendo:

R'_m , La resistencia, en ohmios, de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las plicas verticales conectadas a dicha malla, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L+L'}$$

en donde:

ρ , Resistividad del terreno, en ohmios por metro

r , Radio de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla, en metros.

L , Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora, en metros.

L' , Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla, en metros.

1000 V, Tensión que deben soportar las instalaciones interiores y receptoras, tal como se ha indicado anteriormente.

4.7. Corrección y ajuste del diseño inicial.

En el caso de que el diseño inicial incumpla alguno de los condicionantes anteriormente indicados, deberá escogerse otra variante de electrodo tipo y repetir el proceso.

Aumentando la longitud total de electrodo horizontal, el número de picas o su longitud, disminuirá la R_t , y en consecuencia los valores de V'_p y V'_c . También pueden aplicarse otras medidas, indicadas en 4.5.1, tales como disponer pavimentos suficientemente aislantes o establecer conexiones equipotenciales.

En el Anexo 4 se expone resumidamente el proceso de justificación del electrodo de puesta a tierra seleccionado para CT conectados a redes de AT de tercera categoría con el neutro puesto a tierra (Anexo 4.1), o con el neutro aislado (Anexo 4.2).

A N E X O 1

**METODO DE HOWE PARA CALCULAR LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Y LAS TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO PARA DISTINTAS
GEOMETRIAS DE ELECTRODO DE TIERRA**

A1.1 METODO DE HOWE

El método de Howe analiza el comportamiento de un electrodo que disipa una intensidad en un medio infinito y homogéneo, suponiendo que la corriente de disipación lineal es constante en todo el electrodo, e igual a la corriente total disipada dividida por la longitud total de conductor.

Para facilitar el estudio de diversos tipos de electrodos y posibilitar la obtención de expresiones matemáticas sencillas, se dividirá el electrodo en conductores lineales paralelos a alguno de los ejes de un sistema de coordenadas ficticio.

A1.2 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Para determinar la resistencia del electrodo se dividirá éste en "n" elementos según las consideraciones anteriores, calculándose el potencial del electrodo como media de los potenciales de todos sus elementos. Dividiéndose éste por la intensidad total disipada, se obtendrá el valor de la resistencia de puesta a tierra.

El potencial "V_i" de un elemento cualquiera del electrodo se calculará como media de los potenciales inducidos por el resto de elementos sobre éste y del potencial que aparecería en él mismo considerándolo como elemento aislado. El potencial "V_i" se calculará por la siguiente expresión :

$$V_i = \sum_{j=1}^{j=2n} V_{ij}$$

Siendo :

V_i , Potencial medio del elemento "i".

V_{ii} , Potencial medio que adquiriría el elemento "i" considerado aisladamente en un medio infinito y homogéneo

V_{ij} , Potencial medio que induce el elemento "j" sobre el elemento "i".

n , Número de elementos en que se ha dividido el electrodo (2n considerando los conductores imagen).

Con lo cual, el potencial medio "U₀" del electrodo se determinará por la expresión :

$$U_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=2n} V_{ij}}{n}$$

Calculándose la resistencia de tierra dividiendo el potencial medio del electrodo por la intensidad total disipada.

Cualquier V_{ij} puede expresarse en la forma siguiente :

$$V_{ij} = \rho \cdot i \cdot A_{ij} \cdot l_j$$

Siendo :

ρ , Resistividad del terreno.

i , Intensidad disipada por el electrodo por unidad de longitud.

l_j , Longitud del elemento "j" .

A_{ij} , Coeficiente de influencia entre los elementos "i" y "j" , que sólo es función de la geometría del electrodo.

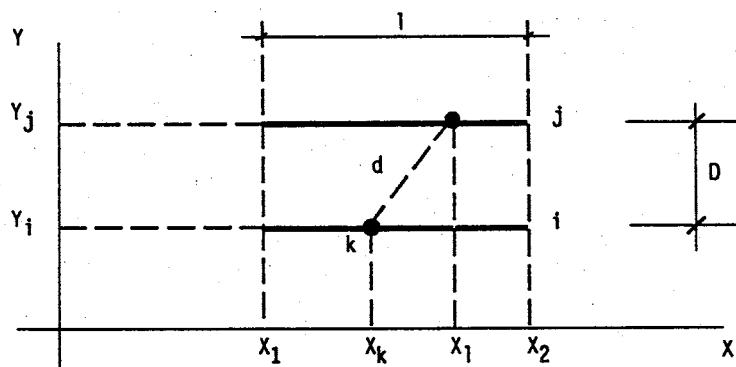
Con lo que la resistencia se calculará por la formula siguiente :

$$R = \rho \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=2n} A_{ij} l_j}{n \sum_{i=1}^{i=n} l_i}$$

DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES A_{ij} :

Se plantea a continuación un caso sencillo en el que se detalla el proceso matemático para la determinación de V_{ij} y A_{ij} .

Sean dos conductores paralelos y de igual longitud, según el esquema siguiente :



Si se supone que el conductor "j" está compuesto por infinitas esferas diferenciales que disipan una corriente "idx", la tensión inducida " U_{kj} " en el punto "k" del conductor "i", por todo el conductor "j", se obtendrá de la siguiente expresión :

$$U_{kj} = \int_{x_1 - x_1}^{x_1 - x_2} \frac{\rho \cdot i}{4 \pi d} dx_1$$

El potencial medio " V_{ij} " inducido por el conductor "j" sobre el conductor "i", vendrá dado por la expresión :

$$V_{ij} = \frac{1}{l} \int_{x_k - x_1}^{x_k - x_2} U_{kj} dx_k$$

Resolviendo las integrales se obtiene :

$$V_{ij} = \rho \cdot i \cdot A_{ij} \cdot l_j = \rho \cdot I_j \cdot A_{ij}$$

Siendo :

ρ , Resistividad del terreno.

i , Intensidad disipada por unidad de longitud.

l_j , Longitud del conductor "j" .

I_j , Intensidad disipada por el conductor "j" .

$$A_{ij} = \frac{1}{2 \pi \cdot l} \left[\text{sen } h^{-1} \left(\frac{1}{D} \right) - \sqrt{1 + \frac{D^2}{l^2}} + \frac{D}{l} \right]$$

Si se cumple el requisito de que los elementos lineales en que se ha dividido el electrodo son paralelos a alguno de los ejes de un sistema de coordenadas ficticio, pueden plantearse tres ecuaciones genéricas para la determinación de los correspondientes A_{ij} .

a) Coficiente de auto-influencia (A_{ii}).

$$A_{ii} = \frac{1}{2 \pi l_i} \ln \left(\frac{2 l_i}{d_i} \right)$$

Siendo :

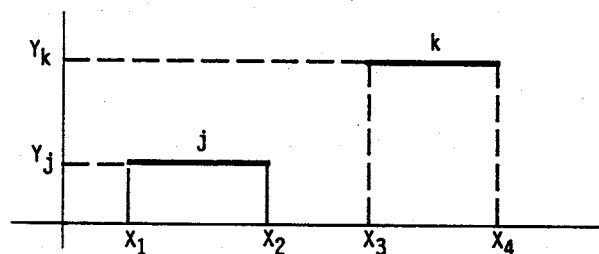
l_i , Longitud del elemento.

d_i , Diámetro del elemento.

b) Coficiente de influencia entre conductores paralelos.

$$A_{jk} = \frac{1}{4 \pi l_j l_k} \left[F(X_4, X_1) + F(X_3, X_2) - F(X_3, X_1) - F(X_4, X_2) \right]$$

$$F(A, B) = (A - B) \operatorname{sen} h^{-1} \left(\frac{A - B}{Y_k - Y_j} \right) - \sqrt{(Y_k - Y_j)^2 + (A - B)^2}$$



c) Coficiente de influencia entre conductores perpendiculares.

$$A_{jk} = \frac{1}{4 \pi l_j l_k} \left[F(X_1, Y_1) + F(X_2, Y_2) - F(X_1, Y_2) - F(X_2, Y_1) \right]$$

$$F(A, B) = (B - Y_j) \ln \left| M(A, B) \right| + (A - X_k) \ln \left| N(A, B) \right| + 2 (Z_k - Z_j) \operatorname{tg}^{-1} (O(A, B))$$

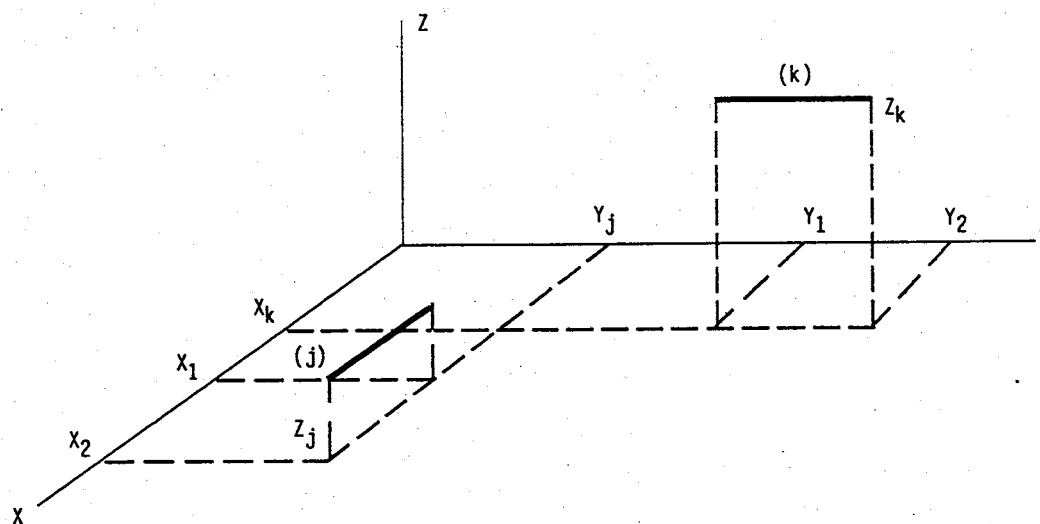
$$M(A, B) = M_1 + \sqrt{(M_1)^2 + 1}$$

$$M_1 = \frac{A - X_k}{\sqrt{(B - Y_j)^2 + (Z_k - Z_j)^2}}$$

$$N(A, B) = N_1 + \sqrt{(N_1)^2 + 1}$$

$$N_1 = \frac{B - Y_j}{\sqrt{(A - X_k)^2 + (Z_k - Z_j)^2}}$$

$$O(A, B) = \frac{1}{Z_k - Z_j} \left[B - Y_j + A - X_k + \sqrt{(A - X_k)^2 + (B - Y_k)^2 + (Z_k - Z_j)^2} \right]$$



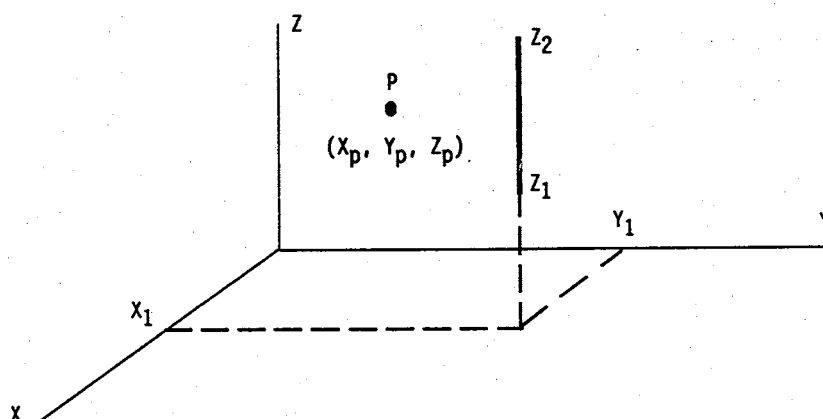
A1.3 DETERMINACION DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

Una vez determinada la resistencia de puesta a tierra del electrodo, podrá calcularse la intensidad de defecto a tierra y por consiguiente la intensidad de disipación lineal, "i". Ello permitirá, mediante las expresiones que se detallan a continuación, calcular el potencial absoluto en un punto cualquiera de la superficie del terreno, como suma de los potenciales creados por cada elemento del electrodo.

El conocimiento del potencial absoluto en un punto cualquiera, permite determinar la tensión de contacto en ese punto como diferencia entre el potencial de éste y el del electrodo (tensión de defecto).

La tensión de paso se calculará como diferencia de potencial entre dos puntos separados 1 m.

Para determinar el potencial absoluto creado por un elemento lineal, como ya se ha dicho anteriormente, se divide el elemento en infinitas esferas diferenciales y se integra el potencial creado por cada una de ellas.



El potencial creado por el elemento "i" en el punto P se determinará por la expresión siguiente :

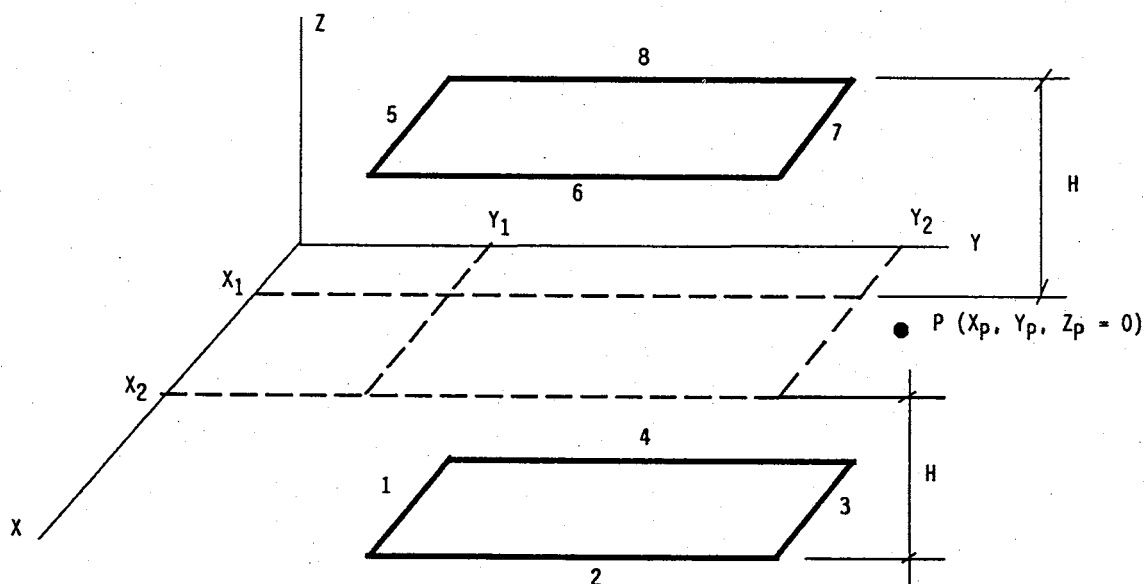
$$V_p = \frac{\rho \cdot i}{4 \pi} \int_{z=z_1}^{z=z_2} \frac{dz}{\sqrt{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2 + (z_p - z_1)^2}}$$

Resolviendo la integral se obtiene :

$$V_p = \frac{\rho \cdot I}{4 \pi} \left[\operatorname{sen} h^{-1} \left[\frac{Z_2 - Z_p}{\sqrt{(X_p - X_1)^2 + (Y_p - Y_1)^2}} \right] - \operatorname{sen} h^{-1} \left[\frac{Z_1 - Z_p}{\sqrt{(X_p - X_1)^2 + (Y_p - Y_1)^2}} \right] \right]$$

A1.4 EJEMPLO. RECTANGULO COMO ELECTRODO DE TIERRA

A continuación se detallan las fórmulas simplificadas que pueden aplicarse en el caso de que el electrodo sea un rectángulo



Se divide el electrodo en 4 elementos, tomando $Z=0$ como plano de tierra. Para este caso se cumple que :

$$l_x = l_1 = l_3 = l_5 = l_7$$

$$l_y = l_2 = l_4 = l_6 = l_8$$

La Resistencia del electrodo se calculará por la fórmula :

$$R = \rho \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=2n} A_{ij} l_j}{n \sum_{i=1}^{i=n} l_i}$$

Tomando como ejemplo el elemento "1", los " A_{ij} " posibles se determinarán con las siguientes fórmulas simplificadas :

$$A_{11} = \frac{1}{2 \pi l_1} \ln \left(\frac{2 l_1}{d_1} \right)$$

Al hacer $X_1 = X_3$, $X_2 = X_4$, $l_j = l_x$, en la fórmula genérica (b), se obtiene :

$$A_{1j} = \frac{1}{2\pi l_x} \left[\text{sen } h^{-1} \left(\frac{l_x}{D} \right) - \sqrt{1 + \frac{D^2}{l_x^2}} + \frac{D}{l_x} \right]$$

(j=3,5,7)

Siendo :

$$D = l_y \quad \text{en} \quad A_{13}$$

$$D = 2H \quad \text{en} \quad A_{15}$$

$$D = \sqrt{(2H)^2 + l_y^2} \quad \text{en} \quad A_{17}$$

Tomando $X_1 = X_k$, $Y_1 = Y_j$, $Z_j = Z_k$, en la fórmula genérica (c), se obtiene :

$$A_{12} = A_{14} = \frac{1}{4\pi l_x l_y} \left[l_x \text{sen } h^{-1} \left(\frac{l_y}{l_x} \right) + l_y \text{sen } h^{-1} \left(\frac{l_x}{l_y} \right) \right]$$

Por último, tomando $X_1 = X_k$, $Y_1 = Y_k$, en la fórmula genérica (c), se obtiene :

$$A_{16} = A_{18} = \frac{1}{4\pi l_x l_y} \left[l_x \text{sen } h^{-1} \frac{l_y}{\sqrt{l_x^2 + (2H)^2}} + l_y \text{sen } h^{-1} \frac{l_x}{\sqrt{l_y^2 + (2H)^2}} - 2H \text{tg}^{-1} \frac{l_x \cdot l_y}{2H \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + 4H^2}} \right]$$

Aplicando las fórmulas anteriormente descritas, el potencial en el punto P se calculará en forma siguiente :

$$V_p = \sum_{i=1}^{i=8} V_{pi}$$

Siendo :

$$V_{p3} = V_{p7} = \frac{\rho i}{4\pi} \left[\text{sen } h^{-1} \frac{X_2 - X_p}{\sqrt{(Y_p - Y_2)^2 + H^2}} - \text{sen } h^{-1} \frac{X_1 - X_p}{\sqrt{(Y_p - Y_2)^2 + H^2}} \right]$$

$$V_{p8} = V_{p4} = \frac{\rho i}{4\pi} \left[\text{sen } h^{-1} \frac{Y_2 - Y_p}{\sqrt{(X_p - X_1)^2 + H^2}} - \text{sen } h^{-1} \frac{Y_1 - Y_p}{\sqrt{(X_p - X_1)^2 + H^2}} \right]$$

$$V_{p1} = V_{p5} = \frac{\rho i}{4\pi} \left[\text{sen } h^{-1} \frac{X_2 - X_p}{\sqrt{(Y_p - Y_1)^2 + H^2}} - \text{sen } h^{-1} \frac{X_1 - X_p}{\sqrt{(Y_p - Y_1)^2 + H^2}} \right]$$

$$V_{p2} = V_{p6} = \frac{\rho i}{4 \Pi} \left[\operatorname{sen} h^{-1} \frac{Y_2 - Y_p}{\sqrt{(X_p - X_2)^2 + H^2}} - \operatorname{sen} h^{-1} \frac{Y_1 - Y_p}{\sqrt{(X_p - X_2)^2 + H^2}} \right]$$

ANEXO 2

**CONFIGURACIONES TIPO DE ELECTRODOS DE TIERRA
TABLAS CON SUS PARAMETROS CARACTERISTICOS**

1000

TABLAS DE CONFIGURACIONES TIPO DE ELECTRODOS DE TIERRA CON SUS RESPECTIVOS PARAMETROS CARACTERISTICOS

INDICE GENERAL

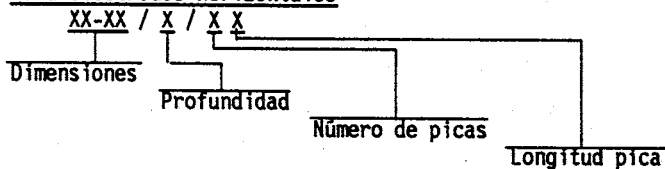
Figura		Lados en m	Nº página
Cuadrado	de	2'0 x 2'0	A2-3
Rectángulo	de	2'0 x 2'5	A2-4
Rectángulo	de	2'0 x 3'0	A2-5
Cuadrado	de	2'5 x 2'5	A2-6
Rectángulo	de	3'0 x 2'5	A2-7
Cuadrado	de	3'0 x 3'0	A2-8
Rectángulo	de	3'0 x 3'5	A2-9
Rectángulo	de	4'0 x 2'5	A2-10
Rectángulo	de	4'0 x 3'0	A2-11
Rectángulo	de	4'0 x 3'5	A2-12
Cuadrado	de	4'0 x 4'0	A2-13
Rectángulo	de	5'0 x 2'5	A2-14
Rectángulo	de	5'0 x 3'0	A2-15
Rectángulo	de	5'0 x 3'5	A2-16
Rectángulo	de	5'0 x 4'0	A2-17
Cuadrado	de	5'0 x 5'0	A2-18
Rectángulo	de	6'0 x 2'5	A2-19
Rectángulo	de	6'0 x 3'0	A2-20
Rectángulo	de	6'0 x 3'5	A2-21
Rectángulo	de	6'0 x 4'0	A2-22
Cuadrado	de	6'0 x 6'0	A2-23
Rectángulo	de	7'0 x 2'5	A2-24
Rectángulo	de	7'0 x 3'0	A2-25
Rectángulo	de	7'0 x 3'5	A2-26
Rectángulo	de	7'0 x 4'0	A2-27
Rectángulo	de	8'0 x 2'5	A2-28
Rectángulo	de	8'0 x 3'0	A2-29
Rectángulo	de	8'0 x 3'5	A2-30
Rectángulo	de	8'0 x 4'0	A2-31
Electrodo longitudinal con picas de 2 m			A2-32
Electrodo longitudinal con picas de 4 m			A2-33
Electrodo longitudinal con pacas de 6 m			A2-34
Electrodo longitudinal con picas de 8 m			A2-35

OBSERVACIONES

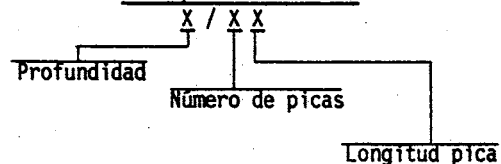
Los valores que se indican en las tablas corresponden a electrodos con picas de 14 mm de diámetro y conductor de cobre desnudo de 50 mm² sección. Para otros diámetros de pica y otras secciones de conductor, de los empleados en la práctica, pueden utilizarse igualmente estas tablas, ya que estas magnitudes no afectan prácticamente al comportamiento del electrodo.

A efectos de designación, se han incluido los códigos relativos a la configuración del electrodo, que hacen referencia en cada caso:

Para electrodos horizontales



Para picas alineadas



PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

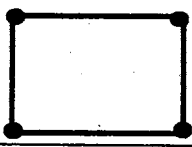
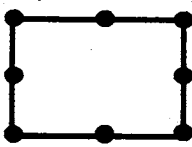
Cuadrado de 2.0 m x 2.0 m

Sección conductor = 50 mm².

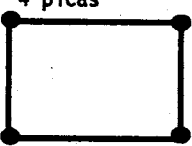
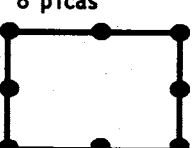
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.216	0.0485	0.1470	20-20/5/00
4 picas 	2	0.135	0.0335	0.0723	20-20/5/42
	4	0.101	0.0236	0.0467	20-20/5/44
	6	0.081	0.0181	0.0341	20-20/5/46
	8	0.069	0.0146	0.0267	20-20/5/48
8 picas 	2	0.116	0.0290	0.0548	20-20/5/82
	4	0.084	0.0191	0.0324	20-20/5/84
	6	0.067	0.0140	0.0227	20-20/5/86
	8	0.056	0.0110	0.0173	20-20/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.205	0.0331	0.1396	20-20/8/00
4 picas 	2	0.129	0.0231	0.0699	20-20/8/42
	4	0.097	0.0165	0.0456	20-20/8/44
	6	0.078	0.0126	0.0336	20-20/8/46
	8	0.066	0.0102	0.0264	20-20/8/48
8 picas 	2	0.110	0.0206	0.0530	20-20/8/82
	4	0.080	0.0137	0.0320	20-20/8/84
	6	0.064	0.0102	0.0227	20-20/8/86
	8	0.054	0.0080	0.0176	20-20/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


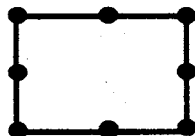
Rectángulo de 2.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².


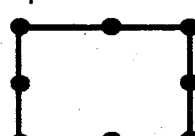
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _{p(acc)}	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.196	0.0435	0.1313	20-25/5/00
4 picas 	2	0.128	0.0312	0.0674	20-25/5/42
	4	0.097	0.0224	0.0442	20-25/5/44
	6	0.079	0.0173	0.0325	20-25/5/46
	8	0.067	0.0141	0.0256	20-25/5/48
8 picas 	2	0.110	0.0269	0.0514	20-25/5/82
	4	0.080	0.0180	0.0307	20-25/5/84
	6	0.064	0.0134	0.0215	20-25/5/86
	8	0.054	0.0106	0.0164	20-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0.8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _{p(acc)}	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.186	0.0299	0.1247	20-25/8/00
4 picas 	2	0.122	0.0215	0.0651	20-25/8/42
	4	0.093	0.0156	0.0432	20-25/8/44
	6	0.076	0.0121	0.0320	20-25/8/46
	8	0.064	0.0099	0.0253	20-25/8/48
8 picas 	2	0.104	0.0192	0.0497	20-25/8/82
	4	0.077	0.0131	0.0303	20-25/8/84
	6	0.062	0.0098	0.0215	20-25/8/86
	8	0.053	0.0078	0.0166	20-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_{p(acc)} V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


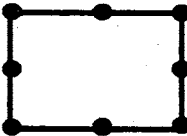
Rectángulo de 2.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

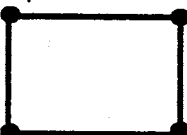
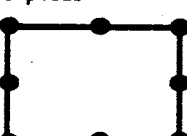
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.181	0.0395	0.1188	20-30/5/00
4 picas 	2	0.121	0.0291	0.0632	20-30/5/42
	4	0.093	0.0213	0.0421	20-30/5/44
	6	0.076	0.0166	0.0312	20-30/5/46
	8	0.065	0.0136	0.0246	20-30/5/48
8 picas 	2	0.105	0.0252	0.0486	20-30/5/82
	4	0.077	0.0171	0.0293	20-30/5/84
	6	0.062	0.0128	0.0206	20-30/5/86
	8	0.053	0.0102	0.0157	20-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.172	0.0273	0.1128	20-30/8/00
4 picas 	2	0.116	0.0201	0.0611	20-30/8/42
	4	0.089	0.0149	0.0411	20-30/8/44
	6	0.073	0.0117	0.0307	20-30/8/46
	8	0.062	0.0096	0.0244	20-30/8/48
8 picas 	2	0.100	0.0180	0.0470	20-30/8/82
	4	0.074	0.0124	0.0289	20-30/8/84
	6	0.060	0.0094	0.0206	20-30/8/86
	8	0.051	0.0075	0.0159	20-30/8/88

K_r $\Omega / (\Omega \cdot m)$


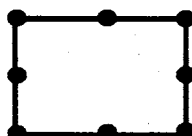
$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

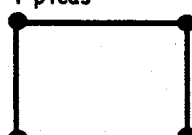
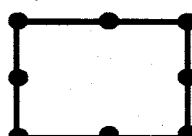
Cuadrado de 2.5 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.180	0.0395	0.1188	25-25/5/00
4 picas 	2	0.121	0.0291	0.0633	25-25/5/42
	4	0.093	0.0213	0.0422	25-25/5/44
	6	0.076	0.0166	0.0312	25-25/5/46
	8	0.065	0.0136	0.0247	25-25/5/48
8 picas 	2	0.104	0.0252	0.0487	25-25/5/82
	4	0.077	0.0171	0.0294	25-25/5/84
	6	0.062	0.0128	0.0206	25-25/5/86
	8	0.053	0.0102	0.0158	25-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.171	0.0272	0.1128	25-25/8/00
4 picas 	2	0.116	0.0201	0.0612	25-25/8/42
	4	0.089	0.0149	0.0412	25-25/8/44
	6	0.073	0.0117	0.0307	25-25/8/46
	8	0.062	0.0096	0.0244	25-25/8/48
8 picas 	2	0.100	0.0180	0.0470	25-25/8/82
	4	0.074	0.0125	0.0289	25-25/8/84
	6	0.060	0.0094	0.0206	25-25/8/86
	8	0.051	0.0075	0.0159	25-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V/(Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


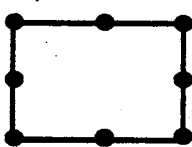
Rectángulo de 3.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².


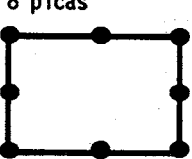
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.167	0.0361	0.1083	30-25/5/00
4 picas 	2	0.115	0.0274	0.0595	30-25/5/42
	4	0.089	0.0203	0.0402	30-25/5/44
	6	0.074	0.0160	0.0300	30-25/5/46
	8	0.063	0.0131	0.0238	30-25/5/48
8 picas 	2	0.100	0.0236	0.0462	30-25/5/82
	4	0.074	0.0163	0.0281	30-25/5/84
	6	0.060	0.0123	0.0198	30-25/5/86
	8	0.051	0.0098	0.0151	30-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.159	0.0250	0.1030	30-25/8/00
4 picas 	2	0.110	0.0189	0.0576	30-25/8/42
	4	0.086	0.0142	0.0393	30-25/8/44
	6	0.071	0.0112	0.0295	30-25/8/46
	8	0.061	0.0093	0.0235	30-25/8/48
8 picas 	2	0.095	0.0169	0.0446	30-25/8/82
	4	0.072	0.0119	0.0277	30-25/8/84
	6	0.058	0.0090	0.0198	30-25/8/86
	8	0.050	0.0072	0.0153	30-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)


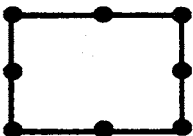
K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

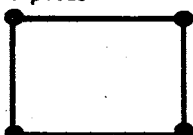
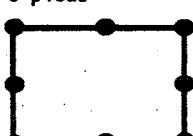
Cuadrado de 3.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.155	0.0332	0.0996	30-30/5/00
4 picas 	2	0.110	0.0258	0.0563	30-30/5/42
	4	0.086	0.0193	0.0386	30-30/5/44
	6	0.071	0.0154	0.0290	30-30/5/46
	8	0.061	0.0127	0.0231	30-30/5/48
8 picas 	2	0.095	0.0222	0.0440	30-30/5/82
	4	0.072	0.0155	0.0271	30-30/5/84
	6	0.058	0.0118	0.0191	30-30/5/86
	8	0.050	0.0095	0.0146	30-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.148	0.0231	0.0947	30-30/8/00
4 picas 	2	0.105	0.0178	0.0545	30-30/8/42
	4	0.083	0.0135	0.0377	30-30/8/44
	6	0.069	0.0108	0.0285	30-30/8/46
	8	0.059	0.0090	0.0228	30-30/8/48
8 picas 	2	0.091	0.0160	0.0425	30-30/8/82
	4	0.069	0.0113	0.0266	30-30/8/84
	6	0.057	0.0087	0.0191	30-30/8/86
	8	0.048	0.0070	0.0147	30-30/8/88

K_r Ω / (Ω · m)



K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

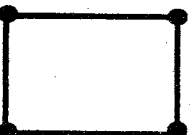
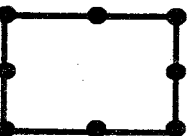
Rectángulo de 3.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
 L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.145	0.0308	0.0921	30-35/5/00
4 picas 	2	0.105	0.0244	0.0532	30-35/5/42
	4	0.083	0.0185	0.0369	30-35/5/44
	6	0.069	0.0148	0.0279	30-35/5/46
	8	0.060	0.0123	0.0223	30-35/5/48
8 picas 	2	0.091	0.0210	0.0419	30-35/5/82
	4	0.069	0.0149	0.0261	30-35/5/84
	6	0.057	0.0114	0.0185	30-35/5/86
	8	0.049	0.0092	0.0142	30-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.139	0.0214	0.0876	30-35/8/00
4 picas 	2	0.101	0.0168	0.0516	30-35/8/42
	4	0.080	0.0129	0.0361	30-35/8/44
	6	0.067	0.0104	0.0275	30-35/8/46
	8	0.058	0.0087	0.0221	30-35/8/48
8 picas 	2	0.088	0.0151	0.0406	30-35/8/82
	4	0.067	0.0108	0.0256	30-35/8/84
	6	0.055	0.0084	0.0184	30-35/8/86
	8	0.047	0.0068	0.0142	30-35/8/88

K_r $\Omega / (\Omega \cdot m)$

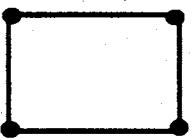
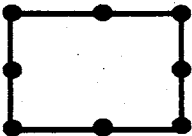
$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

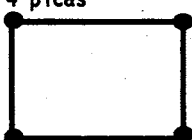
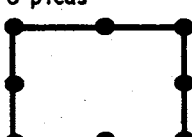
Rectángulo de 4.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.146	0.0309	0.0924	40-25/5/00
4 picas 	2	0.105	0.0244	0.0534	40-25/5/42
	4	0.083	0.0185	0.0370	40-25/5/44
	6	0.069	0.0148	0.0280	40-25/5/46
	8	0.060	0.0123	0.0223	40-25/5/48
8 picas 	2	0.092	0.0211	0.0420	40-25/5/82
	4	0.070	0.0149	0.0261	40-25/5/84
	6	0.057	0.0114	0.0185	40-25/5/86
	8	0.049	0.0092	0.0142	40-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.139	0.0215	0.0879	40-25/8/00
4 picas 	2	0.101	0.0168	0.0517	40-25/8/42
	4	0.080	0.0129	0.0362	40-25/8/44
	6	0.067	0.0104	0.0275	40-25/8/46
	8	0.058	0.0087	0.0221	40-25/8/48
8 picas 	2	0.088	0.0151	0.0407	40-25/8/82
	4	0.067	0.0108	0.0257	40-25/8/84
	6	0.055	0.0083	0.0184	40-25/8/86
	8	0.047	0.0068	0.0143	40-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

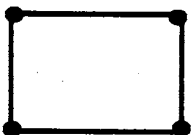

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

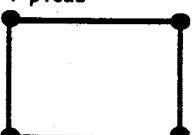
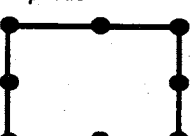
Rectángulo de 4.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.137	0.0287	0.0858	40-30/5/00
4 picas 	2	0.100	0.0231	0.0506	40-30/5/42
	4	0.080	0.0178	0.0355	40-30/5/44
	6	0.067	0.0143	0.0270	40-30/5/46
	8	0.058	0.0119	0.0217	40-30/5/48
8 picas 	2	0.088	0.0200	0.0402	40-30/5/82
	4	0.067	0.0143	0.0252	40-30/5/84
	6	0.055	0.0110	0.0179	40-30/5/86
	8	0.047	0.0089	0.0137	40-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.131	0.0200	0.0816	40-30/8/00
4 picas 	2	0.096	0.0160	0.0491	40-30/8/42
	4	0.077	0.0124	0.0347	40-30/8/44
	6	0.065	0.0101	0.0266	40-30/8/46
	8	0.056	0.0084	0.0214	40-30/8/48
8 picas 	2	0.084	0.0143	0.0389	40-30/8/82
	4	0.065	0.0104	0.0247	40-30/8/84
	6	0.054	0.0081	0.0178	40-30/8/86
	8	0.046	0.0066	0.0138	40-30/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

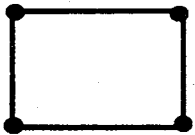
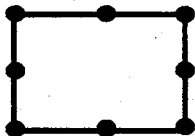
K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


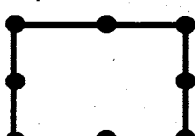
Rectángulo de 4.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.129	0.0268	0.0801	40-35/5/00
4 picas 	2	0.096	0.0220	0.0482	40-35/5/42
	4	0.078	0.0171	0.0341	40-35/5/44
	6	0.066	0.0138	0.0261	40-35/5/46
	8	0.057	0.0116	0.0210	40-35/5/48
8 picas 	2	0.085	0.0190	0.0385	40-35/5/82
	4	0.065	0.0137	0.0244	40-35/5/84
	6	0.054	0.0106	0.0174	40-35/5/86
	8	0.046	0.0086	0.0134	40-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0.8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.124	0.0187	0.0763	40-35/8/00
4 picas 	2	0.092	0.0152	0.0468	40-35/8/42
	4	0.075	0.0119	0.0334	40-35/8/44
	6	0.063	0.0097	0.0257	40-35/8/46
	8	0.055	0.0082	0.0208	40-35/8/48
8 picas 	2	0.081	0.0136	0.0373	40-35/8/82
	4	0.063	0.0100	0.0239	40-35/8/84
	6	0.052	0.0078	0.0173	40-35/8/86
	8	0.045	0.0064	0.0134	40-35/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


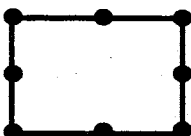
Cuadrado de 4.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

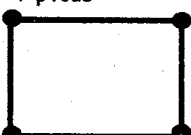
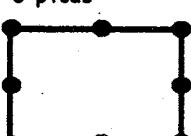
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.123	0.0252	0.0753	40-40/5/00
4 picas 	2	0.092	0.0210	0.0461	40-40/5/42
	4	0.075	0.0164	0.0330	40-40/5/44
	6	0.064	0.0134	0.0254	40-40/5/46
	8	0.056	0.0113	0.0205	40-40/5/48
8 picas 	2	0.082	0.0181	0.0371	40-40/5/82
	4	0.063	0.0132	0.0237	40-40/5/84
	6	0.053	0.0103	0.0170	40-40/5/86
	8	0.045	0.0084	0.0131	40-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.117	0.0176	0.0717	40-40/8/00
4 picas 	2	0.089	0.0144	0.0447	40-40/8/42
	4	0.073	0.0114	0.0323	40-40/8/44
	6	0.062	0.0094	0.0250	40-40/8/46
	8	0.054	0.0079	0.0203	40-40/8/48
8 picas 	2	0.079	0.0130	0.0359	40-40/8/82
	4	0.061	0.0096	0.0233	40-40/8/84
	6	0.051	0.0075	0.0169	40-40/8/86
	8	0.044	0.0062	0.0131	40-40/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


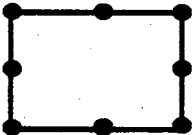
Rectángulo de 5.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².

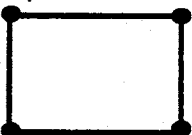
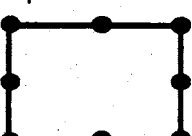
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _{p(acc)}	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.130	0.0269	0.0806	50-25/5/00
4 picas 	2	0.097	0.0221	0.0483	50-25/5/42
	4	0.078	0.0171	0.0342	50-25/5/44
	6	0.066	0.0138	0.0262	50-25/5/46
	8	0.057	0.0116	0.0211	50-25/5/48
8 picas 	2	0.085	0.0191	0.0386	50-25/5/82
	4	0.066	0.0137	0.0244	50-25/5/84
	6	0.054	0.0106	0.0174	50-25/5/86
	8	0.046	0.0086	0.0134	50-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0.8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _{p(acc)}	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.124	0.0188	0.0767	50-25/8/00
4 picas 	2	0.093	0.0152	0.0469	50-25/8/42
	4	0.075	0.0119	0.0335	50-25/8/44
	6	0.064	0.0097	0.0258	50-25/8/46
	8	0.055	0.0082	0.0209	50-25/8/48
8 picas 	2	0.082	0.0136	0.0375	50-25/8/82
	4	0.063	0.0100	0.0240	50-25/8/84
	6	0.053	0.0078	0.0174	50-25/8/86
	8	0.045	0.0063	0.0135	50-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_{p(acc)} V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


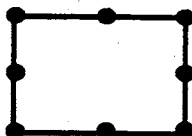
Rectángulo de 5.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

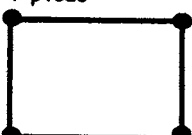
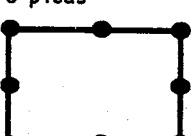
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.123	0.0252	0.0755	50-30/5/00
4 picas 	2	0.093	0.0210	0.0461	50-30/5/42
	4	0.076	0.0164	0.0329	50-30/5/44
	6	0.064	0.0134	0.0253	50-30/5/46
	8	0.056	0.0113	0.0205	50-30/5/48
8 picas 	2	0.082	0.0182	0.0371	50-30/5/82
	4	0.064	0.0132	0.0236	50-30/5/84
	6	0.053	0.0103	0.0169	50-30/5/86
	8	0.045	0.0084	0.0130	50-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.118	0.0177	0.0719	50-30/8/00
4 picas 	2	0.089	0.0145	0.0447	50-30/8/42
	4	0.073	0.0114	0.0323	50-30/8/44
	6	0.062	0.0094	0.0250	50-30/8/46
	8	0.054	0.0079	0.0203	50-30/8/48
8 picas 	2	0.079	0.0130	0.0359	50-30/8/82
	4	0.062	0.0096	0.0232	50-30/8/84
	6	0.051	0.0075	0.0169	50-30/8/86
	8	0.044	0.0062	0.0131	50-30/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)


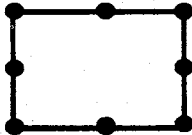
K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

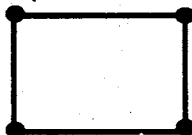
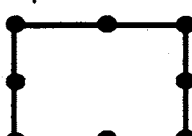
Rectángulo de 5.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.117	0.0238	0.0710	50-35/5/00
4 picas 	2	0.089	0.0201	0.0440	50-35/5/42
	4	0.073	0.0158	0.0318	50-35/5/44
	6	0.062	0.0130	0.0246	50-35/5/46
	8	0.054	0.0110	0.0199	50-35/5/48
8 picas 	2	0.079	0.0174	0.0357	50-35/5/82
	4	0.062	0.0127	0.0229	50-35/5/84
	6	0.051	0.0100	0.0165	50-35/5/86
	8	0.044	0.0081	0.0127	50-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.112	0.0166	0.0676	50-35/8/00
4 picas 	2	0.086	0.0138	0.0428	50-35/8/42
	4	0.071	0.0110	0.0311	50-35/8/44
	6	0.060	0.0091	0.0242	50-35/8/46
	8	0.053	0.0077	0.0197	50-35/8/48
8 picas 	2	0.076	0.0124	0.0346	50-35/8/82
	4	0.060	0.0092	0.0225	50-35/8/84
	6	0.050	0.0073	0.0164	50-35/8/86
	8	0.043	0.0060	0.0128	50-35/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


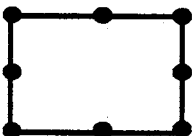
Rectángulo de 5.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

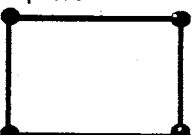
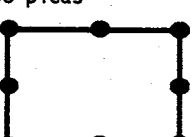
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.111	0.0225	0.0670	50-40/5/00
4 picas 	2	0.086	0.0192	0.0421	50-40/5/42
	4	0.071	0.0153	0.0307	50-40/5/44
	6	0.061	0.0126	0.0239	50-40/5/46
	8	0.053	0.0107	0.0194	50-40/5/48
8 picas 	2	0.076	0.0166	0.0344	50-40/5/82
	4	0.060	0.0123	0.0223	50-40/5/84
	6	0.050	0.0097	0.0161	50-40/5/86
	8	0.043	0.0079	0.0124	50-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.107	0.0157	0.0639	50-40/8/00
4 picas 	2	0.083	0.0132	0.0410	50-40/8/42
	4	0.068	0.0106	0.0301	50-40/8/44
	6	0.059	0.0088	0.0235	50-40/8/46
	8	0.052	0.0075	0.0192	50-40/8/48
8 picas 	2	0.074	0.0118	0.0334	50-40/8/82
	4	0.058	0.0089	0.0219	50-40/8/84
	6	0.049	0.0071	0.0160	50-40/8/86
	8	0.042	0.0058	0.0125	50-40/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$


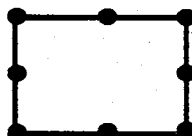
K_p , $K_c = K_p(\text{acc})$ V/(($\Omega \cdot m$))(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

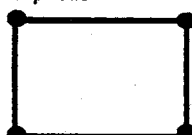
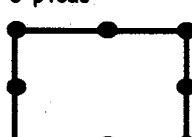
Cuadrado de 5.0 m x 5.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
 L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_{p(acc)}$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.102	0.0203	0.0605	50-50/5/00
4 picas 	2	0.080	0.0177	0.0390	50-50/5/42
	4	0.067	0.0143	0.0288	50-50/5/44
	6	0.058	0.0119	0.0227	50-50/5/46
	8	0.051	0.0102	0.0185	50-50/5/48
8 picas 	2	0.072	0.0154	0.0322	50-50/5/82
	4	0.057	0.0115	0.0212	50-50/5/84
	6	0.048	0.0091	0.0155	50-50/5/86
	8	0.042	0.0076	0.0120	50-50/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_{p(acc)}$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.098	0.0142	0.0577	50-50/8/00
4 picas 	2	0.077	0.0122	0.0379	50-50/8/42
	4	0.065	0.0099	0.0283	50-50/8/44
	6	0.056	0.0083	0.0223	50-50/8/46
	8	0.049	0.0071	0.0184	50-50/8/48
8 picas 	2	0.069	0.0109	0.0313	50-50/8/82
	4	0.055	0.0083	0.0208	50-50/8/84
	6	0.047	0.0067	0.0153	50-50/8/86
	8	0.040	0.0055	0.0120	50-50/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p , $K_c = K_{p(acc)}$ V/ $(\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


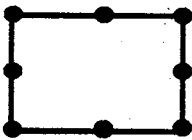
Rectángulo de 6.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².

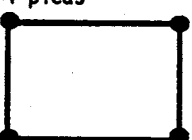
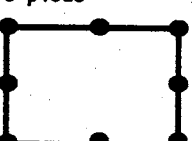
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.118	0.0239	0.0715	60-25/5/00
4 picas 	2	0.090	0.0202	0.0442	60-25/5/42
	4	0.074	0.0159	0.0318	60-25/5/44
	6	0.063	0.0130	0.0246	60-25/5/46
	8	0.055	0.0110	0.0199	60-25/5/48
8 picas 	2	0.080	0.0175	0.0358	60-25/5/82
	4	0.062	0.0128	0.0229	60-25/5/84
	6	0.052	0.0100	0.0165	60-25/5/86
	8	0.045	0.0082	0.0127	60-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0.8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.113	0.0167	0.0681	60-25/8/00
4 picas 	2	0.087	0.0139	0.0430	60-25/8/42
	4	0.071	0.0110	0.0312	60-25/8/44
	6	0.061	0.0091	0.0243	60-25/8/46
	8	0.053	0.0077	0.0198	60-25/8/48
8 picas 	2	0.077	0.0124	0.0348	60-25/8/82
	4	0.060	0.0092	0.0226	60-25/8/84
	6	0.050	0.0073	0.0165	60-25/8/86
	8	0.043	0.0060	0.0128	60-25/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

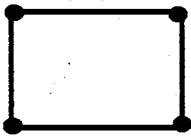

Rectángulo de 6.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

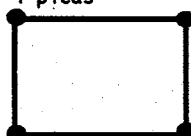
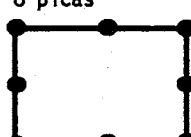
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.112	0.0225	0.0674	60-30/5/00
4 picas 	2	0.087	0.0193	0.0423	60-30/5/42
	4	0.071	0.0153	0.0307	60-30/5/44
	6	0.061	0.0126	0.0239	60-30/5/46
	8	0.053	0.0107	0.0194	60-30/5/48
8 picas 	2	0.077	0.0167	0.0344	60-30/5/82
	4	0.061	0.0123	0.0223	60-30/5/84
	6	0.050	0.0097	0.0161	60-30/5/86
	8	0.044	0.0079	0.0124	60-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.107	0.0158	0.0642	60-30/8/00
4 picas 	2	0.083	0.0132	0.0411	60-30/8/42
	4	0.069	0.0106	0.0301	60-30/8/44
	6	0.059	0.0088	0.0236	60-30/8/46
	8	0.052	0.0075	0.0192	60-30/8/48
8 picas 	2	0.074	0.0119	0.0335	60-30/8/82
	4	0.059	0.0089	0.0219	60-30/8/84
	6	0.049	0.0070	0.0160	60-30/8/86
	8	0.042	0.0058	0.0125	60-30/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


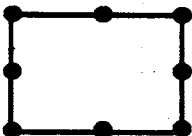
Rectángulo de 6.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².

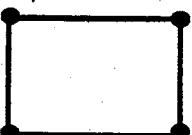
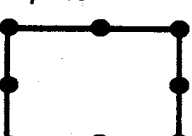
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.107	0.0213	0.0637	60-35/5/00
4 picas 	2	0.083	0.0185	0.0405	60-35/5/42
	4	0.069	0.0148	0.0297	60-35/5/44
	6	0.059	0.0122	0.0232	60-35/5/46
	8	0.052	0.0104	0.0189	60-35/5/48
8 picas 	2	0.074	0.0160	0.0332	60-35/5/82
	4	0.059	0.0119	0.0216	60-35/5/84
	6	0.049	0.0094	0.0157	60-35/5/86
	8	0.043	0.0077	0.0121	60-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.102	0.0149	0.0608	60-35/8/00
4 picas 	2	0.080	0.0127	0.0394	60-35/8/42
	4	0.067	0.0103	0.0291	60-35/8/44
	6	0.058	0.0085	0.0229	60-35/8/46
	8	0.051	0.0073	0.0187	60-35/8/48
8 picas 	2	0.072	0.0114	0.0322	60-35/8/82
	4	0.057	0.0086	0.0213	60-35/8/84
	6	0.048	0.0068	0.0156	60-35/8/86
	8	0.041	0.0057	0.0122	60-35/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)


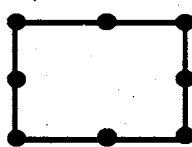
K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

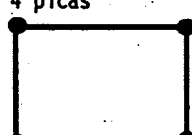
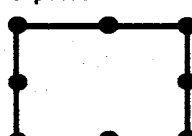
Rectángulo de 6.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
 L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.102	0.0203	0.0605	60-40/5/00
4 picas 	2	0.080	0.0177	0.0389	60-40/5/42
	4	0.067	0.0143	0.0287	60-40/5/44
	6	0.058	0.0119	0.0226	60-40/5/46
	8	0.051	0.0102	0.0185	60-40/5/48
8 picas 	2	0.072	0.0154	0.0321	60-40/5/82
	4	0.057	0.0115	0.0211	60-40/5/84
	6	0.048	0.0091	0.0154	60-40/5/86
	8	0.042	0.0075	0.0119	60-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.098	0.0142	0.0577	60-40/8/00
4 picas 	2	0.078	0.0122	0.0379	60-40/8/42
	4	0.065	0.0099	0.0282	60-40/8/44
	6	0.056	0.0083	0.0223	60-40/8/46
	8	0.049	0.0071	0.0183	60-40/8/48
8 picas 	2	0.069	0.0109	0.0312	60-40/8/82
	4	0.055	0.0083	0.0208	60-40/8/84
	6	0.047	0.0067	0.0153	60-40/8/86
	8	0.041	0.0055	0.0119	60-40/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ V/($\Omega \cdot m$)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

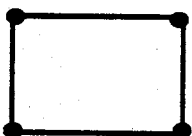

Cuadrado de 6.0 m x 6.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

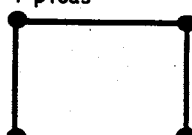
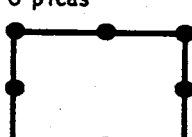
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.087	0.0169	0.0506	60-60/5/00
4 picas 	2	0.071	0.0154	0.0337	60-60/5/42
	4	0.061	0.0127	0.0256	60-60/5/44
	6	0.053	0.0108	0.0205	60-60/5/46
	8	0.047	0.0093	0.0170	60-60/5/48
8 picas 	2	0.064	0.0134	0.0285	60-60/5/82
	4	0.052	0.0103	0.0193	60-60/5/84
	6	0.044	0.0083	0.0143	60-60/5/86
	8	0.039	0.0069	0.0112	60-60/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.084	0.0119	0.0483	60-60/8/00
4 picas 	2	0.069	0.0105	0.0329	60-60/8/42
	4	0.059	0.0088	0.0252	60-60/8/44
	6	0.051	0.0075	0.0202	60-60/8/46
	8	0.046	0.0065	0.0168	60-60/8/48
8 picas 	2	0.062	0.0094	0.0277	60-60/8/82
	4	0.050	0.0074	0.0190	60-60/8/84
	6	0.043	0.0060	0.0142	60-60/8/86
	8	0.038	0.0050	0.0111	60-60/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

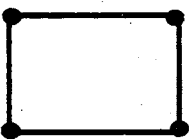
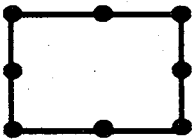
K_p , $K_c = K_p(\text{acc})$ V/(($\Omega \cdot m$))(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

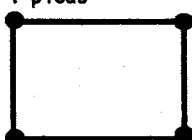
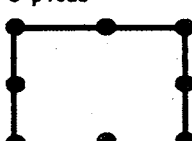
Rectángulo de 7.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.108	0.0214	0.0645	70-25/5/00
4 picas 	2	0.084	0.0186	0.0409	70-25/5/42
	4	0.070	0.0148	0.0299	70-25/5/44
	6	0.060	0.0123	0.0233	70-25/5/46
	8	0.053	0.0104	0.0190	70-25/5/48
8 picas 	2	0.076	0.0162	0.0335	70-25/5/82
	4	0.060	0.0120	0.0218	70-25/5/84
	6	0.050	0.0094	0.0158	70-25/5/86
	8	0.043	0.0078	0.0122	70-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.103	0.0151	0.0615	70-25/8/00
4 picas 	2	0.081	0.0128	0.0397	70-25/8/42
	4	0.068	0.0103	0.0293	70-25/8/44
	6	0.058	0.0086	0.0231	70-25/8/46
	8	0.051	0.0073	0.0189	70-25/8/48
8 picas 	2	0.073	0.0115	0.0326	70-25/8/82
	4	0.058	0.0086	0.0215	70-25/8/84
	6	0.048	0.0068	0.0158	70-25/8/86
	8	0.042	0.0057	0.0123	70-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


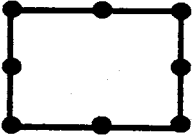
Rectángulo de 7.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².


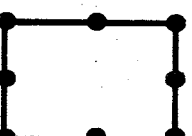
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.103	0.0203	0.0610	70-30/5/00
4 picas 	2	0.081	0.0178	0.0391	70-30/5/42
	4	0.068	0.0143	0.0288	70-30/5/44
	6	0.058	0.0119	0.0226	70-30/5/46
	8	0.051	0.0102	0.0185	70-30/5/48
8 picas 	2	0.073	0.0155	0.0322	70-30/5/82
	4	0.058	0.0115	0.0211	70-30/5/84
	6	0.048	0.0091	0.0154	70-30/5/86
	8	0.042	0.0075	0.0119	70-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.099	0.0142	0.0581	70-30/8/00
4 picas 	2	0.078	0.0122	0.0381	70-30/8/42
	4	0.066	0.0099	0.0283	70-30/8/44
	6	0.057	0.0083	0.0223	70-30/8/46
	8	0.050	0.0071	0.0184	70-30/8/48
8 picas 	2	0.070	0.0110	0.0314	70-30/8/82
	4	0.056	0.0083	0.0208	70-30/8/84
	6	0.047	0.0066	0.0153	70-30/8/86
	8	0.041	0.0055	0.0120	70-30/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

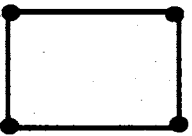
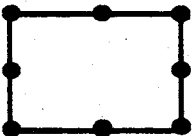
Rectángulo de 7.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².


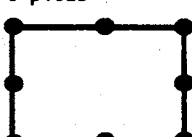
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.098	0.0193	0.0579	70-35/5/00
4 picas 	2	0.078	0.0171	0.0376	70-35/5/42
	4	0.066	0.0138	0.0279	70-35/5/44
	6	0.057	0.0116	0.0220	70-35/5/46
	8	0.050	0.0099	0.0181	70-35/5/48
8 picas 	2	0.070	0.0149	0.0311	70-35/5/82
	4	0.056	0.0112	0.0206	70-35/5/84
	6	0.047	0.0089	0.0150	70-35/5/86
	8	0.041	0.0074	0.0117	70-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.094	0.0136	0.0553	70-35/8/00
4 picas 	2	0.076	0.0117	0.0366	70-35/8/42
	4	0.064	0.0096	0.0274	70-35/8/44
	6	0.055	0.0081	0.0217	70-35/8/46
	8	0.049	0.0069	0.0179	70-35/8/48
8 picas 	2	0.068	0.0105	0.0303	70-35/8/82
	4	0.054	0.0080	0.0203	70-35/8/84
	6	0.046	0.0065	0.0150	70-35/8/86
	8	0.040	0.0054	0.0117	70-35/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

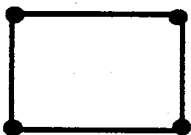
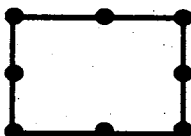
Rectángulo de 7.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

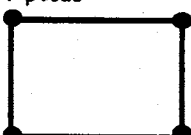
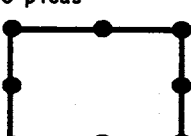
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.094	0.0184	0.0553	70-40/5/00
4 picas 	2	0.076	0.0165	0.0362	70-40/5/42
	4	0.064	0.0134	0.0271	70-40/5/44
	6	0.056	0.0113	0.0215	70-40/5/46
	8	0.049	0.0097	0.0177	70-40/5/48
8 picas 	2	0.068	0.0143	0.0302	70-40/5/82
	4	0.055	0.0108	0.0201	70-40/5/84
	6	0.046	0.0087	0.0148	70-40/5/86
	8	0.040	0.0072	0.0115	70-40/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.091	0.0129	0.0528	70-40/8/00
4 picas 	2	0.073	0.0113	0.0353	70-40/8/42
	4	0.062	0.0093	0.0266	70-40/8/44
	6	0.054	0.0079	0.0212	70-40/8/46
	8	0.048	0.0068	0.0175	70-40/8/48
8 picas 	2	0.066	0.0101	0.0294	70-40/8/82
	4	0.053	0.0078	0.0198	70-40/8/84
	6	0.045	0.0063	0.0147	70-40/8/86
	8	0.039	0.0053	0.0115	70-40/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

$K_p, K_c = K_p(\text{acc})$ V/(($\Omega \cdot m$))(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA


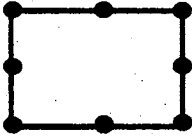
Rectángulo de 8.0 m x 2.5 m.

Sección conductor = 50 mm².


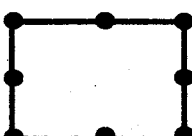
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.099	0.0194	0.0587	80-25/5/00
4 picas 	2	0.079	0.0173	0.0379	80-25/5/42
	4	0.067	0.0139	0.0281	80-25/5/44
	6	0.058	0.0116	0.0221	80-25/5/46
	8	0.051	0.0100	0.0182	80-25/5/48
8 picas 	2	0.072	0.0151	0.0314	80-25/5/82
	4	0.057	0.0113	0.0207	80-25/5/84
	6	0.048	0.0090	0.0151	80-25/5/86
	8	0.042	0.0074	0.0117	80-25/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.095	0.0137	0.0560	80-25/8/00
4 picas 	2	0.077	0.0119	0.0369	80-25/8/42
	4	0.064	0.0097	0.0276	80-25/8/44
	6	0.056	0.0081	0.0219	80-25/8/46
	8	0.049	0.0070	0.0180	80-25/8/48
8 picas 	2	0.069	0.0107	0.0306	80-25/8/82
	4	0.055	0.0081	0.0205	80-25/8/84
	6	0.047	0.0065	0.0151	80-25/8/86
	8	0.040	0.0054	0.0118	80-25/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA



Rectángulo de 8.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

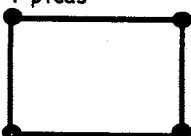
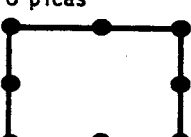
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.095	0.0185	0.0557	80-30/5/00
4 picas 	2	0.077	0.0165	0.0364	80-30/5/42
	4	0.065	0.0135	0.0272	80-30/5/44
	6	0.056	0.0113	0.0215	80-30/5/46
	8	0.050	0.0097	0.0177	80-30/5/48
8 picas 	2	0.069	0.0145	0.0303	80-30/5/82
	4	0.055	0.0109	0.0201	80-30/5/84
	6	0.047	0.0087	0.0148	80-30/5/86
	8	0.041	0.0072	0.0115	80-30/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.091	0.0130	0.0532	80-30/8/00
4 picas 	2	0.074	0.0113	0.0355	80-30/8/42
	4	0.062	0.0093	0.0267	80-30/8/44
	6	0.054	0.0079	0.0213	80-30/8/46
	8	0.048	0.0068	0.0176	80-30/8/48
8 picas 	2	0.067	0.0102	0.0296	80-30/8/82
	4	0.054	0.0078	0.0199	80-30/8/84
	6	0.045	0.0063	0.0147	80-30/8/86
	8	0.040	0.0052	0.0116	80-30/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p , $K_c = K_p(\text{acc})$ V/(($\Omega \cdot m$))(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA



Rectángulo de 8.0 m x 3.5 m.

Sección conductor = 50 mm².

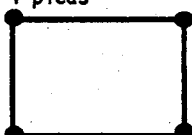
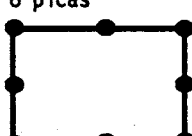
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.091	0.0176	0.0531	80-35/5/00
4 picas 	2	0.074	0.0159	0.0351	80-35/5/42
	4	0.063	0.0130	0.0264	80-35/5/44
	6	0.055	0.0110	0.0210	80-35/5/46
	8	0.048	0.0095	0.0173	80-35/5/48
8 picas 	2	0.067	0.0139	0.0294	80-35/5/82
	4	0.054	0.0106	0.0196	80-35/5/84
	6	0.046	0.0085	0.0144	80-35/5/86
	8	0.040	0.0070	0.0113	80-35/5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.088	0.0124	0.0507	80-35/8/00
4 picas 	2	0.071	0.0109	0.0342	80-35/8/42
	4	0.061	0.0090	0.0259	80-35/8/44
	6	0.053	0.0076	0.0207	80-35/8/46
	8	0.047	0.0066	0.0172	80-35/8/48
8 picas 	2	0.065	0.0098	0.0286	80-35/8/82
	4	0.052	0.0076	0.0194	80-35/8/84
	6	0.044	0.0061	0.0144	80-35/8/86
	8	0.039	0.0051	0.0113	80-35/8/88

K_r, Ω / (Ω · m)

K_p, K_c = K_p(acc) V / (Ω · m)(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

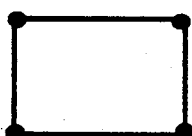
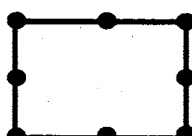
Rectángulo de 8.0 m x 4.0 m.

Sección conductor = 50 mm².

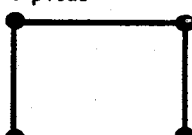
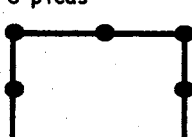
Diámetro picas = 14 mm.

L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

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

PROFUNDIDAD = 0'8 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.084	0.0119	0.0485	80-40/8/00
4 picas 	2	0.069	0.0105	0.0329	80-40/8/42
	4	0.059	0.0088	0.0251	80-40/8/44
	6	0.052	0.0074	0.0202	80-40/8/46
	8	0.046	0.0065	0.0168	80-40/8/48
8 picas 	2	0.063	0.0095	0.0277	80-40/8/82
	4	0.051	0.0073	0.0189	80-40/8/84
	6	0.043	0.0060	0.0141	80-40/8/86
	8	0.038	0.0050	0.0111	80-40/8/88

K_r , $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p , $K_c = K_p(\text{acc})$ V/(($\Omega \cdot m$))(A)

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

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

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

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

PROFUNDIDAD = 0'8 m

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,194	0,0253	8/22
3	0,130	0,0170	8/32
4	0,100	0,0127	8/42
6	0,0707	0,00833	8/62
8	0,0556	0,00255	8/82

K_r $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Picas en hilera unidas por un conductor horizontal
Separación entre picas : 6 m
Longitud pica = 4 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,113	0,0208	5/24
3	0,075	0,0128	5/34
4	0,0572	0,00919	5/44
6	0,0399	0,00588	5/64
8	0,0311	0,00432	5/84

PROFUNDIDAD = 0'8 m.

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,110	0,0139	8/24
3	0,073	0,0087	8/34
4	0,0558	0,00633	8/44
6	0,0390	0,00408	8/64
8	0,0305	0,00301	8/84

K_r $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p $V / (\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Picas en hilera unidas por un conductor horizontal.
Separación entre picas : 9 m
Longitud pica = 6 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,0802	0,0141	5/26
3	0,0528	0,00853	5/36
4	0,0401	0,00610	5/46
6	0,0278	0,00388	5/66
8	0,0217	0,00285	5/86

PROFUNDIDAD = 0'8 m

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,0782	0,00948	8/26
3	0,0516	0,00583	8/36
4	0,0393	0,00419	8/46
6	0,0273	0,00268	8/66
8	0,0213	0,00197	8/86

K_r $\Omega /(\Omega \cdot m)$

K_p $V/(\Omega \cdot m)(A)$

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Picas en hilera unidas por un conductor horizontal.
Separación entre picas : 12 m
Longitud pica = 8 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.

PROFUNDIDAD = 0'5 m.

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,0627	0,0107	5/28
3	0,0410	0,00640	5/38
4	0,0311	0,00456	5/48
6	0,0215	0,00290	5/68
8	0,0167	0,00212	5/88

PROFUNDIDAD = 0'8 m

NUMERO DE PICAS	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	CODIGO DE LA CONFIGURACION
2	0,0612	0,00720	8/28
3	0,0402	0,00437	8/38
4	0,0305	0,00313	8/48
6	0,0211	0,00200	8/68
8	0,0164	0,00146	8/88

K_r $\Omega / (\Omega \cdot m)$

K_p $V / (\Omega \cdot m) (A)$

A N E X O 3

**RELACION ENTRE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Y TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO**

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA Y LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

Para demostrar la relación que existe entre la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, inicialmente se analiza el caso de una pica.

Como ya se ha dicho anteriormente, la integración del aporte de las esferas diferenciales en que se divide el electrodo, conduce, para geometrías de electrodo simples, a fórmulas matemáticas sencillas. Para el caso de una pica son las siguientes:

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{4L}{d} \right)$$

$$U_x = \frac{I_d \rho}{2\pi L} \ln \left[\frac{L + \sqrt{x^2 + L^2}}{x} \right]$$

Siendo :

R_t , Resistencia de puesta a tierra
 U_x , Potencial del punto "x"
 ρ , Resistividad del terreno
 I_d , Intensidad de defecto
 L , Longitud de la pica
 d , Diámetro de la pica
 x , Distancia de la pica al punto "x"

Las fórmulas anteriores pueden expresarse en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} R_t &= \rho \cdot K_r \\ U_x &= \rho \cdot I_d \cdot K_x \end{aligned}$$

en donde:

K_r es sólo función de "d" (diámetro de la pica) y "L" (longitud de la pica)

K_x es sólo función de "L" (longitud de la pica) y "x" (distancia a la pica)

Con lo cual, para una longitud y diámetro de pica concretos, y un punto a la distancia "x" fijo, K_r y K_x son parámetros constantes. Siendo sus dimensiones :

K_r , Resistencia "unitaria" en $\frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$

K_x , Potencial "unitario" del punto "x" en $\frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$

Análogamente se determinan para las tensiones de paso y contacto, las expresiones siguientes:

$$V'_p = U_{x1} - U_{x2} = \rho \cdot I_d \cdot K_{x1} - \rho \cdot I_d \cdot K_{x2} = \rho \cdot I_d \cdot K_p$$

$$V'_c = R_t I_d - U_{x1} = \rho \cdot K_r \cdot I_d - \rho \cdot I_d \cdot K_{x1} = \rho \cdot I_d \cdot K_c$$

Siendo :

K_p , Tensión "unitaria" de paso en $\frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$

K_c , Tensión "unitaria" de contacto en $\frac{V}{(\Omega \cdot m) \cdot (A)}$

De las expresiones anteriores se deduce que la relación entre la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto, para una geometría de electrodo concreta, quedarán determinadas por las fórmulas siguientes :

$$\frac{V'_p}{R_t} = \frac{I_d \cdot K_p}{K_r} \quad \frac{V'_c}{R_t} = \frac{I_d \cdot K_c}{K_r}$$

Para el caso de electrodos más complicados, se llega igualmente a expresiones de K_r , K_p y K_c , en función de las distintas distancias que intervienen según la geometría del electrodo. Y, para cada geometría definida, se obtiene un valor de los parámetros K_r , K_p y K_c . En las tablas del Anexo 2 se indican los valores de dichos parámetros para las geometrías en ellas consideradas.

Ejemplo: Electrodo constituido por un cuadrado de 4 x 4 m con una pica de 2 m. en cada vértice, enterradas a una profundidad de 0,5 m.

Para esta geometría de electrodo la tabla correspondiente del Anexo 2 da los siguientes valores:

$$K_r = 0,092 \quad K_p = 0,0210 \quad K_c = 0,0461$$

De lo que se deduce que :

$$V'_p = \frac{I_d \cdot R_t \cdot K_p}{K_r} = 0,228 \cdot I_d \cdot R_t$$

$$V'_c = \frac{I_d \cdot R_t \cdot K_c}{K_r} = 0,501 \cdot I_d \cdot R_t$$

Como la resistencia de puesta a tierra y la intensidad de defecto están relacionadas a través del tipo de instalación (tensión de alimentación y sistema de puesta a tierra), puede determinarse la relación entre dicha resistencia y las tensiones de paso y contacto.

Si consideramos una red de tensión de servicio 20 kV con el neutro puesto a tierra a través de una reactancia de $X = 25$ ohmios, entonces :

$$I_d = \frac{U_s / \sqrt{3}}{\sqrt{X^2 + R_t^2}} = \frac{20000 / \sqrt{3}}{\sqrt{25^2 + R_t^2}}$$

De lo que se deduce que :

$$V'_p = \frac{2636 R_t}{\sqrt{25^2 + R_t^2}}$$

$$V'_c = \frac{5786 R_t}{\sqrt{25^2 + R_t^2}}$$

Así pues, queda demostrado que para una determinada geometría de electrodo, y unas características concretas de la red de alimentación de AT existe correlación de las tensiones de paso y contacto, con la resistencia de puesta a tierra.

Si el electrodo considerado se halla en un terreno de resistividad $\rho = 200 \Omega \cdot m$ la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y contacto exteriores serán :

$$\begin{aligned} R_t &= 0,092 \rho = 18,4 \Omega \\ V'_p &= 1563 \text{ V} \\ V'_c &= 3430 \text{ V} \end{aligned}$$

ANEXO 4

**PROCESO DE JUSTIFICACION DEL ELECTRODO
DE PUESTA A TIERRA SELECCIONADO**

A N E X O 4.1

PROCESO DE JUSTIFICACION DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA SELECCIONADO (NEUTRO PUESTO A TIERRA)

0.- REFERENCIA DEL CT

* Código

* Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

* Tensión de servicio

$U =$ V

* Puesta a tierra del neutro

$R_n =$ Ω

$X_n =$ Ω

* Duración de la falta

☐ Desconexión inicial

☐ Relé a tiempo independiente

$t' =$ s

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K' =$

$n' =$

Intensidad de arranque

$I'_a =$ A

☐ Reenganche en menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

$t'' =$

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K'' =$

$n'' =$

Intensidad de arranque

$I''_a =$ A

* Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT

$V_{bt} =$ V

* Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad

☐ NO

☐ SI (ver justificación en apartado 7)

- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla

$S_m =$ m^2

- Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora

$L =$ m

- Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla

$L' =$ m

1.2.- Características del CT

- ☐ En edificio
☐ Aislado
☐ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = m
b = m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERISTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

ρ = $\Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} ; I_d >$
 $I'_a =$
 $I''_a =$
 $I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$
 $I_d =$ A
 $R_t =$ Ω

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{\text{}}{\text{}}$
 $K_r \leq \text{} \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = m
b' = m

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

☐ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

50 mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☐ 0,50 m

☐ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☐ 2

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☐ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☐ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{} \times \boxed{} \quad R'_t = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{}}{1,73 \sqrt{[\boxed{} + \boxed{}]^2 + \boxed{}^2}}$$

$$I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_p = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_d = \boxed{} \text{ V}$$

4.5.- Duración total de la falta

☐ Desconexión inicial :

☐ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{} \text{ s}$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{} \text{ A}$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} \quad t' = \boxed{} \text{ s}$$

☐ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

$t'' =$ s

$K'' =$

$n'' =$

$I''_a =$ A

$t'' =$ s

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\text{[]}}{\left[\frac{\text{[]}}{\text{[]}} \right]^{n''} - 1}$$

Duración total $t = t' + t''$

$t =$ s

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t.)

☐ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d \leq 1000$ V)

☐ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \pi} = \frac{\text{[]} \times \text{[]}}{6283}$$

$D \geq$ m

5.- VALORES ADMISIBLES

[Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)]

Para $t =$ s (según apartado 4.5 de este ANEXO)

<input type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64$ V	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50$ V	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \left[1 + \frac{6 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

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

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \left[1 + \frac{3 \cdot \boxed{} + 3 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

$$V_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☐ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☐ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_p = \boxed{} \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = \boxed{} \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = \boxed{} \text{ A}$	$>$	$I'_a = \boxed{} \text{ A}$ $I''_a = \boxed{} \text{ A}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

* Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

* Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}} \quad R'_m = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_m)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{}}{\sqrt{3} \sqrt{[\boxed{} + \boxed{}]^2 + \boxed{}^2}} \quad I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

ANEXO 4.2

PROCESO DE JUSTIFICACION DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA SELECCIONADO (NEUTRO AISLADO)

0.- REFERENCIA DEL CT

- * Código
- * Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

- * Tensión de servicio $U =$ V
- * Red aérea
- Longitud total $L_a =$ km
 - Capacidad $C_a =$ 0,006 $\mu F/km$
- * Red subterránea
- Longitud total $L_c =$ km
 - Capacidad $C_c =$ 0,25 $\mu F/km$
- * Duración de la falta
- ☐ Desconexión inicial
- ☐ Relé a tiempo independiente $t' =$ s
 - ☐ Relé a tiempo dependiente
- Constantes del relé $\left[\begin{array}{l} K' = \text{---} \\ n' = \text{---} \end{array} \right.$
- Intensidad de arranque $I'_a =$ A
- ☐ Reenganche en menos de 0,5 segundos
- ☐ Relé a tiempo independiente $t'' =$ s
 - ☐ Relé a tiempo dependiente
- Constantes del relé $\left[\begin{array}{l} K'' = \text{---} \\ n'' = \text{---} \end{array} \right.$
- Intensidad de arranque $I''_a =$ A
- * Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT $V_{bt} =$ V
- * Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad
- ☐ NO
 - ☐ SI (ver justificación en apartado 7)
 - Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla $S_m =$ m^2
 - Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora $L =$ m
 - Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla $L' =$ m

1.2.- Características del CT

- ☐ En edificio
☐ Aislado
☐ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a	=	<input type="text"/>	m
b	=	<input type="text"/>	m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERISTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

ρ = $\Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

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

$$I_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R_t)^2}}$$

I_d = A

R_t = Ω

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{\text{[]}}{\text{[]}}$$

$K_r \leq \frac{\text{[]}}{\Omega \cdot m}$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a'	=	<input type="text"/>	m
b'	=	<input type="text"/>	m

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

m

☐ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

50 mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☐ 0,50 m

☐ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☐ 2

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☐ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☐ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso V'_p y $V'_{p(acc)}$ del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{} \times \boxed{} \quad R'_t = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R'_t)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} (1'9 L_a + 78'5 L_c) U}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot L_a + 78'5 \cdot L_c)]^2 \cdot 9 \cdot (R'_t)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} [1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{}] \cdot \boxed{}}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{})]^2 \cdot 9 \cdot \boxed{}^2}}$$

$$I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_p = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{}$$

$$V'_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_d = \boxed{} \text{ V}$$

4.5.- Duración total de la falta

☐ Desconexión inicial :

☐ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{} \text{ s}$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{} \text{ A}$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} = \boxed{} \text{ s}$$

$$t' = \boxed{} \text{ s}$$

☐ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n''} - 1}$$

$t'' = \boxed{}$ s

$K'' = \boxed{}$
 $n'' = \boxed{}$

$I''_a = \boxed{}$ A

$t'' = \boxed{}$ s

Duración total $t = t' + t''$

$t = \boxed{}$ s

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t)

☐ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d \leq 1000$ V)

☐ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{\boxed{} \times \boxed{}}{6283}$$

$D \geq \boxed{}$ m

5.- VALORES ADMISIBLES

[Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)]

Para $t = \boxed{}$ s (según apartado 4.5 de este ANEXO)

<input type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64$ V	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50$ V	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \cdot \left[1 + \frac{6 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

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

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(\text{acc})} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot \boxed{} + 3 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

$$V_{p(\text{acc})} = \boxed{} \text{ V}$$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☐ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☐ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_p = \boxed{} \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(\text{acc})} = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{p(\text{acc})} = \boxed{} \text{ V}$

6.4.- Tensión de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = \boxed{} \text{ V}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

- * Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

- * Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}} \quad R'_m = \boxed{} \Omega$$

- * Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R'_m)^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \cdot (1'9 L_a + 78'5 L_c) U}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot L_a + 78'5 \cdot L_c)]^2 \cdot 9 \cdot (R'_m)^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} [1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{}] \cdot \boxed{}}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{})]^2 \cdot 9 \cdot \boxed{}^2}} \quad I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

- * Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

ANEXO 5

EJEMPLOS DE APLICACION

INDICE GENERAL

EJEMPLOS, VARIANTES CONSIDERADAS

- Neutro red AT a tierra					
* Mediante resistencia	x				
* Mediante inductancia		x		x	x
- Neutro red AT aislado			x		
- Tensión servicio AT					
* 20.000 V	x		x		x
* 25.000 V		x		x	
- Reconexión antes de 0,5 seg					
* Si			x	x	
* No	x	x			x
- Protección origen línea					
* Relé a tiempo dependiente				x	
* Relé a tiempo independiente	x	x	x	x	x
- Nivel de aislamiento bt del CT					
* 6.000 V			x		
* 8.000 V	x	x		x	x
- Red subterránea de suficiente conductibilidad		x			
- Tipo de CT					
* En edificio aislado				x	x
* En interior de otro destinado a otros usos	x	x			
* Sobre apoyo			x		
- Resistividad terreno					
* 100 Ohmios	x				
* 200 Ohmios		x			
* 250 Ohmios			x		
* 300 Ohmios				x	
* 350 Ohmios					x
EJEMPLO NUMERO	1	2	3	4	5
PAGINA	1	9	17	25	33

EJEMPLO 1

(Neutro puesto a tierra)

EJEMPLO 1
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A 5 - 2

0.- REFERENCIA DEL CT

* Código

* Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

* Tensión de servicio

$U = 20000 \text{ V}$

* Puesta a tierra del neutro

$R_n = 30 \Omega$

$X_n = 0 \Omega$

* Duración de la falta

☒ Desconexión inicial

☒ Relé a tiempo independiente

$t' = 0,5 \text{ s}$

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K' =$

$n' =$

Intensidad de arranque

$I'_a = 50 \text{ A}$

☐ Reenganche en menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

$t'' =$ s

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K'' =$

$n'' =$

Intensidad de arranque

$I''_a =$ A

* Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT

$V_{bt} = 8000 \text{ V}$

* Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad

☒ NO

☐ SI (ver justificación en apartado 7)

- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla

$S_m =$ m²

- Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora

$L =$ m

- Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla

$L' =$ m

EJEMPLO 1
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A 5 - 3

1.2.- Características del CT

- ☒ En edificio
☐ Aislado
☒ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = 5 m
b = 4 m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

$\rho = 100 \Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

La puesta a tierra constará de un electrodo horizontal, exterior al centro, al que se podrán añadir, en caso necesario, picas verticales, y que estará situado frente al acceso al CT y paralelo a la fachada.

Se dispondrá encima del electrodo pavimento de hormigón y baldosas.

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} ; I_d > \begin{matrix} I'_a = 50 \\ I''_a = \text{---} \end{matrix}$$
$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$
$$I_d = 118 \text{ A}$$
$$R_t = 67,7 \Omega$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{67,7}{100}$$
$$K_r \leq 0,677 \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = _____ m
b' = _____ m

EJEMPLO 1
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A 5 - 4

* Picas alineadas

☒ Sí

Separación entre picas

m

☐ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☒ 0,50 m

☐ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0

☒ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☒ 2

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

K_r = $\frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$

De la tensión de paso

K_p = $\frac{V}{(\Omega \cdot m)} (A)$

De la tensión de contacto exterior

K_c = $\frac{V}{(\Omega \cdot m)} (A)$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☒ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☒ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{0,201} \times \boxed{100} \quad R'_t = \boxed{20,1} \quad \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{20000}}{1,73 \sqrt{[\boxed{30} + \boxed{20,1}]^2 + \boxed{0}^2}}$$

$$I'_d = \boxed{230,7} \quad A$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0392} \times \boxed{100} \times \boxed{230,7} \quad V'_p = \boxed{904} \quad V$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_{p(acc)} = \boxed{} \quad V$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{20,1} \times \boxed{230,7} \quad V'_d = \boxed{4637} \quad V$$

4.5.- Duración total de la falta

☒ Desconexión inicial :

☒ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{0,5} \quad s$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{50} \quad A$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} = \boxed{} \quad s$$

$$t' = \boxed{} \quad s$$

EJEMPLO 1
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A 5 - 8

☐ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

$t'' =$ s

$K'' =$

$n'' =$

$I''_a =$ A

$t'' =$ s

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} - 1 \right]^{n''}} = \frac{\text{[]}}{\left[\frac{\text{[]}}{\text{[]}} - 1 \right]^{n''}}$$

Duración total $t = t' + t''$

$t =$ 0,5 s

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t.)

☐ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d = R'_t \cdot I'_d \leq 1000$ V)

☒ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{100 \times 230,7}{6283}$$

$D \geq$ 3,7 m

5.- VALORES ADMISIBLES

[Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)]

Para $t =$ 0,5 s (según apartado 4.5 de este ANEXO)

<input checked="" type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64$ V	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50$ V	—

EJEMPLO 1
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A 5 - 7

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{72}{0,5^1} \left[1 + \frac{6 \cdot 100}{1000} \right]$$

$V_p = 2304 \text{ V}$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{72}{0,5^1} \left[1 + \frac{3 \cdot 100 + 3 \cdot 3000}{1000} \right]$$

$V_{p(acc)} = 14832 \text{ V}$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☒ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☒ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = 904 \text{ V}$	\leq	$V_p = 2304 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = \text{—} \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = 14832 \text{ V}$

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = 4637 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 8000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = 230,7 \text{ A}$	$>$	$I'_a = 50 \text{ A}$ $I''_a = \text{---} \text{ A}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

* Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

* Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}} \quad R'_m = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_m)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{}}{\sqrt{3} \sqrt{[\boxed{} + \boxed{}]^2 + \boxed{}^2}} \quad I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

EJEMPLO 2

(Neutro puesto a tierra)

EJEMPLO 2
(Neutro puesto a tierra)

A5-10

ANEXO 5

0.- REFERENCIA DEL CT

* Código

* Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

* Tensión de servicio

$U = 25000 \text{ V}$

* Puesta a tierra del neutro

$R_n = 0 \Omega$

$X_n = 25 \Omega$

* Duración de la falta

☒ Desconexión inicial

☒ Relé a tiempo independiente

$t' = 0,5 \text{ s}$

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K' =$

$n' =$

Intensidad de arranque

$I'_a = \text{A}$

☐ Reenganche en menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

$t'' = \text{s}$

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé

$K'' =$

$n'' =$

Intensidad de arranque

$I''_a = \text{A}$

* Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT

$V_{bt} = 8000 \text{ V}$

* Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad

☐ NO

☒ SI (ver justificación en apartado 7)

- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla

$S_m = 2000000 \text{ m}^2$

- Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora

$L = 750 \text{ m}$

- Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla

$L' = 80 \text{ m}$

EJEMPLO 2
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-11

1.2.- Características del CT

- ☒ En edificio
☐ Aislado
☒ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = 4 m
b = 4 m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERISTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

$\rho = 200 \Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

- Población donde existen 20 centros interconectados mediante una red subterránea de A.T

- Se dispondrá una tierra única

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$$\left. \begin{array}{l} I_d R_t \leq V_{bt} ; I_d > \\ I'_a = \\ I''_a = \end{array} \right\} \begin{array}{l} I_d = \\ R_t = \end{array}$$
$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{\quad}{\quad}$$

$$K_r \leq \frac{\quad}{\quad} \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = m
b' = m

EJEMPLO 2
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-12

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

 m☐ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☐ 0,50 m☐ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0☐ 2☐ 3☐ 4☐ 6☐ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☐ 2☐ 4☐ 6☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{V}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☒ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☒ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{} \times \boxed{} \quad R'_t = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{}}{1,73 \sqrt{[\boxed{} + \boxed{}]^2 + \boxed{}^2}}$$

$$I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \quad V'_p = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{}$$

$$V'_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{}$$

$$V'_d = \boxed{} \text{ V}$$

4.5.- Duración total de la falta

☒ Desconexión inicial :

☒ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{0,5} \text{ s}$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{} \text{ A}$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} = \boxed{} \text{ s}$$

$$t' = \boxed{} \text{ s}$$

EJEMPLO 2
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-14

☐ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n''} - 1}$$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

$K'' = \boxed{}$
 $n'' = \boxed{}$

$I''_a = \boxed{} \text{ A}$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

Duración total $t = t' + t''$

$t = \boxed{0,5} \text{ s}$

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t.)

☒ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d \leq 1000 \text{ V}$)

☐ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{\boxed{} \times \boxed{}}{6283}$$

$D \geq \boxed{} \text{ m}$

5.- VALORES ADMISIBLES

Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)

Para $t = \boxed{} \text{ s}$ (según apartado 4.5)

<input checked="" type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64 \text{ V}$	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50 \text{ V}$	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \left[1 + \frac{6 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

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

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \boxed{} \left[1 + \frac{3 \cdot \boxed{} + 3 \cdot \boxed{}}{1000} \right]$$

$V_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☒ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☒ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_p = \boxed{} \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = \boxed{} \text{ V}$

EJEMPLO 2
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-16

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = \boxed{} \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = \boxed{} \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = \boxed{} \text{ A}$	$>$	$I'_a = \boxed{} \text{ A}$ $I''_a = \boxed{} \text{ A}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

* Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{2000000}}{3,14}} \quad r = \boxed{798} \text{ m}$$

* Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{200}}{4 \cdot \boxed{798}} + \frac{\boxed{200}}{\boxed{750} + \boxed{80}} \quad R'_m = \boxed{0,30} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_m)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{25000}}{\sqrt{3} \sqrt{[\boxed{0} + \boxed{0,3}]^2 + \boxed{25}^2}} \quad I'_d = \boxed{577,9} \text{ A}$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{0,3} \times \boxed{577,9} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{173} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

EJEMPLO 3

(Neutro aislado)

EJEMPLO 3
(neutro aislado)

ANEXO 5

A5-18

0.- REFERENCIA DEL CT

- * Código
- * Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

* Tensión de servicio

U = V

- Longitud total

L_a = km

- Capacidad

C_a = μF/km

* Red subterránea

- Longitud total

L_c = km

- Capacidad

C_c = μF/km

* Duración de la falta

☒ Desconexión inicial

☒ Relé a tiempo independiente

t' = s

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé _____

K' =

n' =

I'a = A

Intensidad de arranque

☒ Reenganche en menos de 0,5 segundos

☒ Relé a tiempo independiente

t" = s

☐ Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé _____

K" =

n" =

I"a = A

Intensidad de arranque

* Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT

V_{bt} = V

* Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad

☒ NO

☐ SI (ver justificación en apartado 7)

- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla

S_m = m²

- Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora

L = m

- Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla

L' = m

1.2.- Características del CT

- ☐ En edificio
☐ Aislado
☐ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = m
b = m

- ☒ Sobre apoyo
☒ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

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

3.- OBSERVACIONES

Protección por tensión homopolar por lo que no se indican intensidades de arranque de protecciones

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

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

$$I_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R_t)^2}}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_d = 12 \text{ A} \\ R_t = 497,5 \Omega \end{array} \right\}$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{497,5}{250}$$

$$K_r \leq 1,99 \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = m
b' = m

EJEMPLO 3
(neutro aislado)

ANEXO 5

A5-20

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

☒ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

50 mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☒ 0,50 m

☐ 0,80 m

* Número de picas

☒ 0

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☐ 2

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

20-20/5/00

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{0,216}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{0,0485}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{0,1470}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☐ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☐ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☒ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

EJEMPLO 3

(Neutro aislado)

ANEXO 5

A5-21

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso V'_p y $V'_{p(acc)}$ del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{0,216} \times \boxed{250} \quad R'_t = \boxed{54} \quad \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R'_t)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} (1'9 L_a + 78'5 L_c) \cdot U}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot L_a + 78'5 \cdot L_c)]^2 \cdot 9 \cdot (R'_t)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} [1'9 \cdot \boxed{175} + 78'5 \cdot \boxed{1}] \cdot \boxed{20000}}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot \boxed{175} + 78'5 \cdot \boxed{1})]^2 \cdot 9 \cdot \boxed{54}^2}}$$

$$I'_d = \boxed{14} \quad A$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0485} \times \boxed{250} \times \boxed{14} \quad V'_p = \boxed{170} \quad V$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,1470} \times \boxed{250} \times \boxed{14} \quad V'_{p(acc)} = \boxed{514} \quad V$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{54} \times \boxed{14} \quad V'_d = \boxed{756} \quad V$$

4.5.- Duración total de la falta

☒ Desconexión inicial :

☒ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{0,25} \quad s$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{} \quad A$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} = \boxed{} \quad s$$

$$t' = \boxed{} \quad s$$

EJEMPLO 3 (Neutro aislado)

ANEXO 5

A5-22

☒ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☒ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n''} - 1}$$

$t'' = \boxed{0,50} \text{ s}$

$K'' = \boxed{}$

$n'' = \boxed{}$

$I''_a = \boxed{} \text{ A}$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

Duración total $t = t' + t''$

$t = \boxed{0,75} \text{ s}$

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t.)

☒ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d < 1000 \text{ V}$)

☐ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{\boxed{} \times \boxed{}}{6283}$$

$D \geq \boxed{} \text{ m}$

5.- VALORES ADMISIBLES

[Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)]

Para $t = \boxed{0,75} \text{ s}$ (según apartado 4.5)

<input checked="" type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64 \text{ V}$	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50 \text{ V}$	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{72}{0,75^1} \left[1 + \frac{6 \cdot 250}{1000} \right]$$

$$V_p = 2400 \text{ V}$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{72}{0,75^1} \left[1 + \frac{3 \cdot 250 + 3 \cdot 3000}{1000} \right]$$

$$V_{p(acc)} = 10320 \text{ V}$$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☒ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☐ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = 170 \text{ V}$	\leq	$V_p = 2400 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = 514 \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = 10320 \text{ V}$

EJEMPLO 3 (Neutro aislado)

ANEXO 5

A5-24

6.4.- Tensión de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = 756 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 6000 \text{ V}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

- * Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

- * Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}} \quad R'_m = \boxed{} \Omega$$

- * Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} \cdot U (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)}{\sqrt{1 + (\omega C_a L_a + \omega C_c L_c)^2 (3R'_m)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} (1'9 \cdot L_a + 78'5 \cdot L_c) U}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot L_a + 78'5 \cdot L_c)]^2 \cdot 9 \cdot (R'_m)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} [1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{}] \cdot \boxed{}}{\sqrt{1 + [10^{-6} (1'9 \cdot \boxed{} + 78'5 \cdot \boxed{})]^2 \cdot 9 \cdot \boxed{}^2}} \quad I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

- * Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

EJEMPLO 4

(Neutro puesto a tierra)

EJEMPLO 4

(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

0.- REFERENCIA DEL CT

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

U	=	25000	V
---	---	-------	---

$$R_n = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \Omega$$
$$x_D = 25 \quad \Omega$$

☒ Desconexión inicial

t' = s

$$K' = 40$$

n'	=	2
------	---	---

$$I'_a = \boxed{60} \text{ A}$$

X	Reenganche en menos de 0,5 segundos
---	-------------------------------------

$$t'' = \boxed{0,5} \text{ s}$$
 $K'' =$

n° =

$$I_a = 60 \text{ A}$$
$$V_{bt} = 8000$$

☒ NO

☐ SI (ver justificación en apartado 7)
$$S_m = \boxed{} \text{ m}^2$$

L = m

L' M

EJEMPLO 4
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-27

1.2.- Características del CT

- ☒ En edificio
☒ Aislado
☐ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = 3 m
b = 3 m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

$\rho = 300 \Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} ; I_d > \left. \begin{array}{l} I'_a = 60 \\ I''_a = 60 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} I_d = 480,5 \text{ A} \\ R_t = 16,64 \Omega \end{array}$$
$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{16,64}{300} \quad K_r \leq 0,0554 \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = 3 m
b' = 3 m

EJEMPLO 4
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-28

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

m

☒ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

50 mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☒ 0,50 m

☐ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☒ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☐ 2

☐ 4

☐ 6

☒ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

30-30/5/88

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{0,050}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{0,0095}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{0,0146}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☒ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☒ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{0,050} \times \boxed{300} \quad R'_t = \boxed{15} \quad \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{25000}}{1,73 \sqrt{[\boxed{0} + \boxed{15}]^2 + \boxed{25}^2}} \quad I'_d = \boxed{495} \quad A$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0095} \times \boxed{300} \times \boxed{495} \quad V'_p = \boxed{1411} \quad V$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0146} \times \boxed{300} \times \boxed{495} \quad V'_{p(acc)} = \boxed{2168} \quad V$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{15} \times \boxed{495} \quad V'_d = \boxed{7425} \quad V$$

4.5.- Duración total de la falta

☒ Desconexión inicial :

☐ Relé a tiempo independiente

☒ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t' = \boxed{} \quad s$$

$$K' = \boxed{40}$$

$$n' = \boxed{2}$$

$$I'_a = \boxed{60} \quad A$$

$$t' = \boxed{0,6} \quad s$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{40}}{\left[\frac{\boxed{495}}{\boxed{60}} \right]^{\boxed{2}} - 1} = \boxed{0,6} \quad s$$

EJEMPLO 4 (Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-30

☒ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☒ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n''} - 1}$$

$t'' = \boxed{0,5} \text{ s}$

$K'' = \boxed{}$

$n'' = \boxed{}$

$I''_a = \boxed{60} \text{ A}$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

Duración total $t = t' + t''$

$t = \boxed{1,1} \text{ s}$

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t)

☐ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d \leq 1000 \text{ V}$)

☒ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{\boxed{300} \times \boxed{495}}{6283} \quad D \geq \boxed{23,6} \text{ m}$$

5.- VALORES ADMISIBLES

Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)

Para $t = \boxed{1,1} \text{ s}$ (según apartado 4.5)

<input type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input checked="" type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64 \text{ V}$	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50 \text{ V}$	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{78,5}{(1,1)^{0,18}} \left[1 + \frac{6 \cdot 300}{1000} \right]$$

$V_p = 2161 \text{ V}$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000} \right) = 10 \cdot \frac{78,5}{(1,1)^{0,18}} \left[1 + \frac{3 \cdot 300 + 3 \cdot 3000}{1000} \right]$$

$V_{p(acc)} = 8411 \text{ V}$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☒ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☒ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = 1411 \text{ V}$	\leq	$V_p = 2161 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = 2168 \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = 8411 \text{ V}$

EJEMPLO 4
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-32

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = 7425 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 8000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = 495 \text{ A}$	$>$	$I'_a = 60 \text{ A}$
			$I''_a = 60 \text{ A}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

- * Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

- * Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}}$$

$$R'_m = \boxed{} \Omega$$

- * Intensidad de defecto

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

$$I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

- * Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{}$$

$$\left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

EJEMPLO 5

(Neutro puesto a tierra)

EJEMPLO 5
(Neutro puesto a tierra)

A5-34

ANEXO 5

0.- REFERENCIA DEL CT

- * Código
- * Población

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

- * Tensión de servicio $U = 20000 \text{ V}$
- * Puesta a tierra del neutro $\left[\begin{array}{l} R_n = 0 \Omega \\ X_n = 30 \Omega \end{array} \right.$
- * Duración de la falta
- ☒ Desconexión inicial
- ☒ Relé a tiempo independiente $t' = 0,5 \text{ s}$
- ☐ Relé a tiempo dependiente
- Constantes del relé $\left[\begin{array}{l} K' = \text{ } \\ n'^2 = \text{ } \end{array} \right.$
- Intensidad de arranque $I'_a = 40 \text{ A}$
- ☐ Reenganche en menos de 0,5 segundos
- ☐ Relé a tiempo independiente $t'' = \text{ } \text{ s}$
- ☐ Relé a tiempo dependiente
- Constantes del relé $\left[\begin{array}{l} K'' = \text{ } \\ n'' = \text{ } \end{array} \right.$
- Intensidad de arranque $I''_a = \text{ } \text{ A}$
- * Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT $V_{bt} = 8000 \text{ V}$
- * Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad
- ☒ NO
- ☐ SI (ver justificación en apartado 7)
- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla $S_m = \text{ } \text{ m}^2$
 - Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora $L = \text{ } \text{ m}$
 - Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla $L' = \text{ } \text{ m}$

1.2.- Características del CT

- ☒ En edificio
☒ Aislado
☐ Destinado a otros usos

Dimensiones del local _____

a = 5 m
b = 3 m

- ☐ Sobre apoyo
☐ Sobre 1 apoyo
☐ Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERISTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno

$\rho = 350 \Omega \cdot m$

3.- OBSERVACIONES

4.- CALCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} : I_d > \left. \begin{array}{l} I'_a = 40 \\ I''_a = \text{---} \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} I_d = 277,6 \text{ A} \\ R_t = 28,8 \Omega \end{array}$$
$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{28,8}{350}$$

$$K_r \leq \frac{0,0822}{\Omega \cdot m}$$

* Dimensiones horizontales del electrodo _____

a' = 5 m
b' = 3 m

EJEMPLO 5
(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-38

* Picas alineadas

☐ Si

Separación entre picas

m

☒ No

* Sección del conductor de cobre desnudo

mm²

* Profundidad del electrodo horizontal

☐ 0,50 m

☒ 0,80 m

* Número de picas

☐ 0

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 6

☒ 8

* Longitud de las picas L_p (m)

☒ 2

☐ 4

☐ 6

☐ 8

* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)

- Parámetros característicos del electrodo :

De la resistencia

$$K_r = \frac{0,079}{\Omega \cdot m}$$

De la tensión de paso

$$K_p = \frac{0,0130}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

De la tensión de contacto exterior

$$K_c = \frac{0,0359}{(\Omega \cdot m) (A)}$$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

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

4.3.1.- CT interior

- a ☒ Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.
- b ☒ En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.
- c ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- d ☐ Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

- a ☐ Se colocará un mallazo que sobresalga 1 m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectará a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10 cm de espesor
- b ☐ Empleo de pavimentos aislantes
- c ☐ Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(acc)}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{0,079} \times \boxed{350} \quad R'_t = \boxed{27,65} \quad \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R'_t)^2 + X_n^2}} = \frac{\boxed{20000}}{1,73 \sqrt{[\boxed{0} + \boxed{27,65}]^2 + \boxed{30}^2}} \quad I'_d = \boxed{283} \quad A$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0130} \times \boxed{350} \times \boxed{283} \quad V'_p = \boxed{1288} \quad V$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0359} \times \boxed{350} \times \boxed{283} \quad V'_{p(acc)} = \boxed{3556} \quad V$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{27,65} \times \boxed{283} \quad V'_d = \boxed{7825} \quad V$$

4.5.- Duración total de la falta

☒ Desconexión inicial :

☒ Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{0,5} \quad s$$

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

$$\left[\begin{array}{l} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{array} \right.$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{40} \quad A$$

$$t' = \frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n'} - 1} = \boxed{} \quad s$$

$$t' = \boxed{} \quad s$$

EJEMPLO 5

(Neutro puesto a tierra)

ANEXO 5

A5-38

☐ Reenganche a menos de 0,5 segundos

☐ Relé a tiempo independiente

☐ Relé a tiempo dependiente :

Constantes del relé _____

Intensidad de arranque

$$t'' = \frac{K''}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} = \frac{\boxed{}}{\left[\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right]^{n''} - 1} = \boxed{} \text{ s}$$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

$K'' = \boxed{}$

$n'' = \boxed{}$

$I''_a = \boxed{} \text{ A}$

$t'' = \boxed{} \text{ s}$

Duración total $t = t' + t''$

$t = \boxed{0,5} \text{ s}$

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de b.t.)

☐ Sistema de puesta a tierra único ($V'_d \leq 1000 \text{ V}$)

☒ Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (Tabla 6 página 22) :

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \Pi} = \frac{\boxed{350} \times \boxed{283}}{6283}$$

$D \geq \boxed{15,8} \text{ m}$

5.- VALORES ADMISIBLES

Tablas 1 (página 8) y 3 (página 10)

Para $t = \boxed{0,5} \text{ s}$ (según apartado 4.5)

<input checked="" type="checkbox"/>	$0,9 \geq t > 0,1$	$K = 72$	$n = 1$
<input type="checkbox"/>	$3 \geq t > 0,9$	$K = 78,5$	$n = 0,18$
<input type="checkbox"/>	$5 \geq t > 3$	$\frac{K}{t^n} = 64 \text{ V}$	—
<input type="checkbox"/>	$t > 5$	$\frac{K}{t^n} = 50 \text{ V}$	—

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1000}\right) = 10 \cdot \frac{72}{0,5^1} \left[1 + \frac{6 \cdot 350}{1000}\right]$$

$V_p = 4464 \text{ V}$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1000}\right) = 10 \cdot \frac{72}{0,5^1} \left[1 + \frac{3 \cdot 350 + 3 \cdot 3000}{1000}\right]$$

$V_{p(acc)} = 15912 \text{ V}$

6.- COMPROBACION DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- ☒ Se han adoptado las medidas de seguridad "b" ó "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2, por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de contacto exterior

- ☒ Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1, por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- ☐ Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = 1288 \text{ V}$	\leq	$V_p = 4464 \text{ V}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = 3556 \text{ V}$	\leq	$V_{p(acc)} = 15912 \text{ V}$

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_d = 7825 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 8000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I'_d = 283 \text{ A}$	$>$	$I'_a = 40 \text{ A}$ $I''_a = \text{---} \text{ A}$

7.- JUSTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA RED DE CABLES SUBTERRANEOS

- * Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{\boxed{}}{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

- * Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \frac{\boxed{}}{4 \cdot \boxed{}} + \frac{\boxed{}}{\boxed{} + \boxed{}}$$

$$R'_m = \boxed{} \Omega$$

- * Intensidad de defecto

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

$$I'_d = \boxed{} \text{ A}$$

- * Tensión de defecto

$$V'_d = R'_m \cdot I'_d = \boxed{} \times \boxed{} \quad \left[\begin{array}{l} V'_d = \boxed{} \text{ V} \\ V'_d \leq 1000 \text{ V} \end{array} \right.$$

ANEXO 6

BIBLIOGRAFIA

W. Koch, "Erdungsmassnahmen für Höchstspannungsanlagen mit geerdetem Sterupunkt", Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 71. February 1950, pp 89-91.

E. Gross and R. Hollitch, "Grounding Grids for High-Voltage Stations III", AIEE Trans. Vol. 75, October 1956, pp 926-935

B. Thapar and K. Puri, "Mesh Potentials in High-Voltage Grounding Grids", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS. 86, February 1967, pp. 249-254.

P.L. Bucheri y otros, "Contributo al dimensionamento di dispersori di terra di forma semplice," L'energia elettrica, nº 7, 1970.

"IEEE Guide for Safety in Substation grounding", IEEE Std.80, 1976.

J. Nahman, "Irregularity correction factors for mesh and step voltages of grounding grids", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, n 1º, January 1980.

P.L.Bucheri y otro, "Characteristic performances of meshed earth structures in homogeneous ground: normalization in order to design earthing sytems". L'energia elettrica, nº 7-8, 1985

"Guía técnica sobre cálculo, diseño y medida de instalaciones de puesta a tierra en redes de distribución", UNESA, Diciembre 1985

E. Gallango, "Instalaciones de puesta a tierra en redes de distribución", Palma de Mallorca, Diciembre 1986.

