

PROBLEMAS RESUELTOS

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

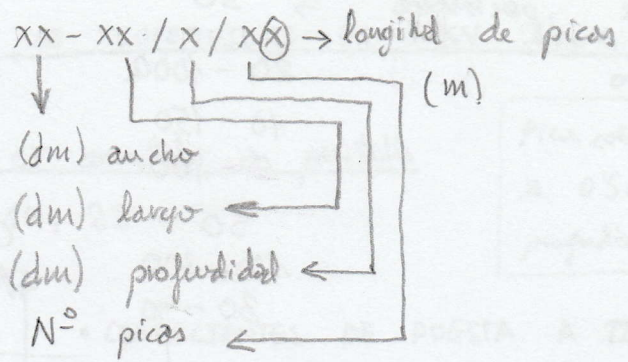
METODO UNESA & IBERDROLA



ELOY BELTRAN BELTRAN

FEB 2015

• CONFIGURACION ELECTRODOS UNESA



- CUADRADO Y RECTANGULO

AZ-3 - AZ-31

- PICAS EN HILERA:

AZ-32 - AZ-35

X / X ⊗ → longitud de picas (m).

↳ N° de picas en hilera.

↳ Profundidad en (dm).

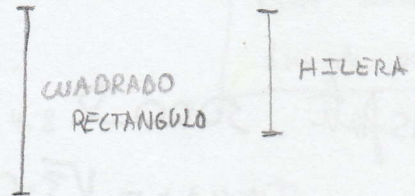
Unidos por un conductor horizontal.
Depende de la distancia entre picas.

• PARAMETROS O COEFICIENTES DE LA PUESTA A TIERRA UNESA

-(K_r) Resistencia Ω/Ω·m

-(K_p) Tension de pica V/(Ω·m)·A

-(K_c=K_p placa) Tension de contacto exterior V/(Ω·m)·A



MAS DESFAVORABLE:

CONFIGURACION ELECTRODOS IBERTROLA

K_r' = 0'088 con Pant CONEXION PANTALLAS
K_r' = 0'128 sin Pant

• MT 2.11.33 DE CT HASTA 30KV.

- UN ≤ 20KV	MAXIMO VALOR RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	R _T = 50 Ω DESC
- UN = 30KV	MAXIMO VALOR RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	R _T = 100 Ω CONEC
		R _T = 30 Ω DESC
		R _T = 60 Ω CONEC

- CT PREFABRICADOS DE HORMIGON DE SUPERFICIE UN ≤ 20KV:

PANTALLAS CONECTADAS A UN APOYO:

- UN = 20KV I_{IFP} = 2228A
- UN = 20KV I_{IFP} = 1000A
- UN ≤ 20KV I_{IFP} = 500A N° de CT conectados
- UN = 20KV I_{IFP} = 2228A → 2, 4, 8
- UN = 20KV I_{IFP} = 1000A → 1, 2, 4
- UN = 20KV I_{IFP} = 500A → 1, 2
- UN < 20KV → 1

PANTALLAS CONECTADAS A UN CT:

Depende de la

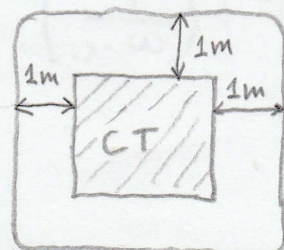
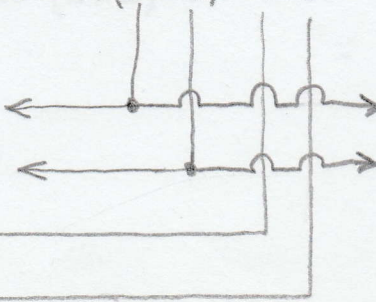
designación del electrodo CPT-CT-A (□ x □) + 8PZ

Ancho en metros del anillo

Largo en metros del anillo

N° de picas

Longitud de picas



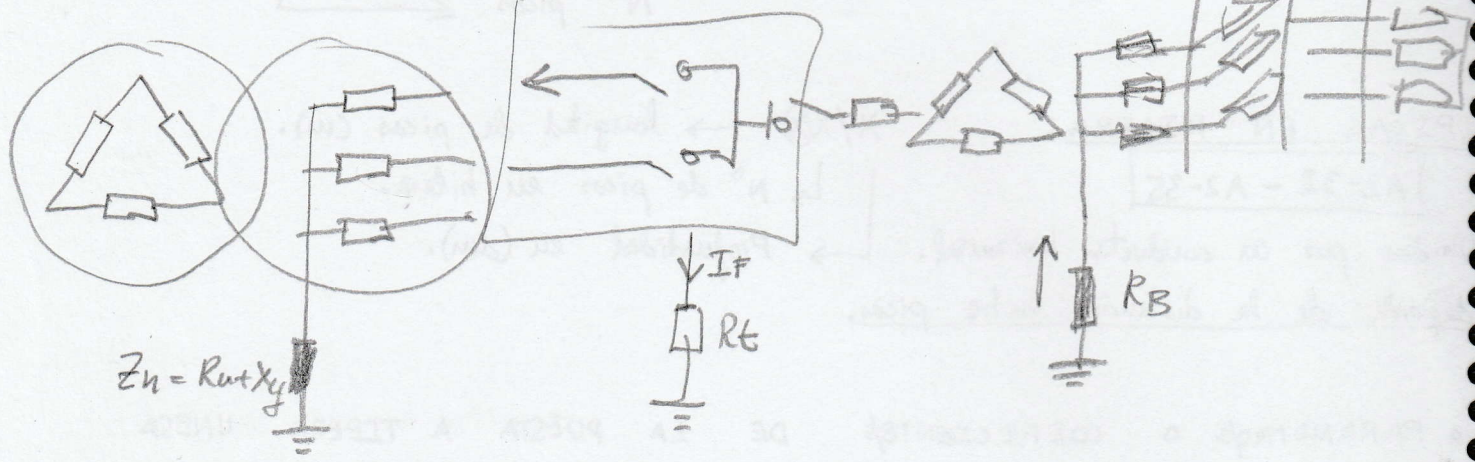
CT 2x3
Configuración electrodo
4x5

Tensões parâmetros → 30

- LTWO 20 - 100Ω
- Hues 10 - 150
- 5 - 100
- 50
- 100 - 200
- 30 - 40

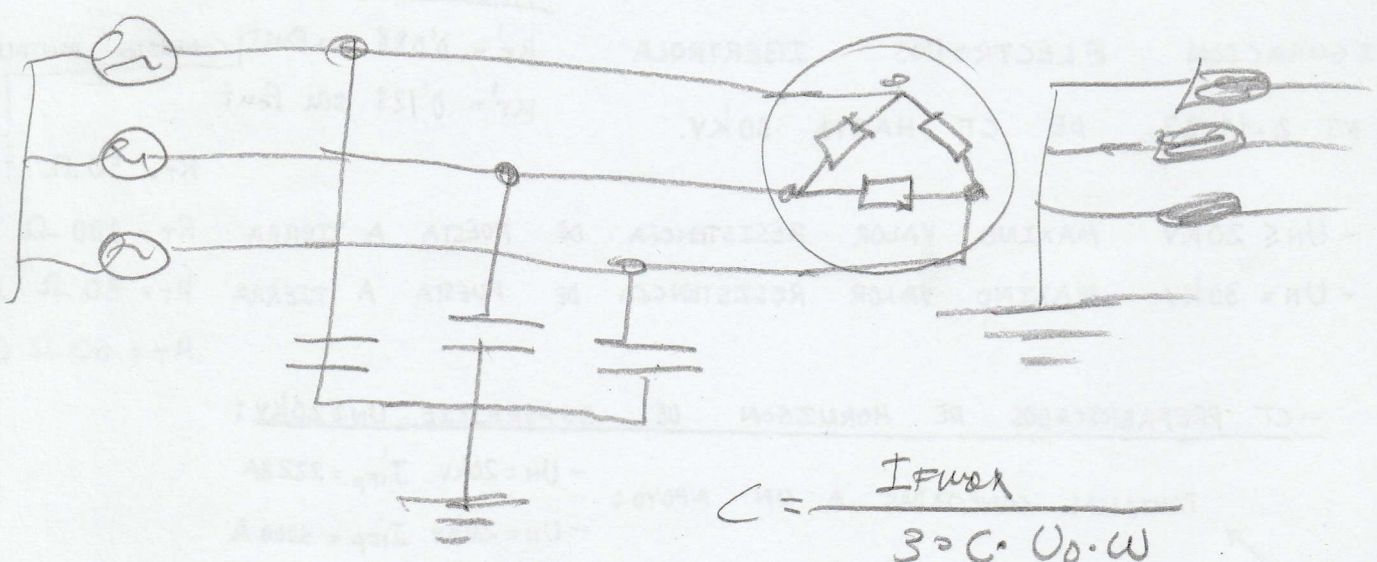
Celdas.
μT

BT



Asfeto 5000 Ω

$$I_{FMAX} = \sqrt{3} \cdot C \cdot U_0 \cdot \omega \cdot C$$



$$C = \frac{I_{FMAX}}{3 \cdot C \cdot U_0 \cdot \omega}$$

$$I_F = \frac{3 \cdot C \cdot U_0}{\sqrt{(3 \cdot R)^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}}$$

- CT PREFABRICADOS DE HORMIGON DE SUPERFICIE UN = 30kV I'IFP < 5000A

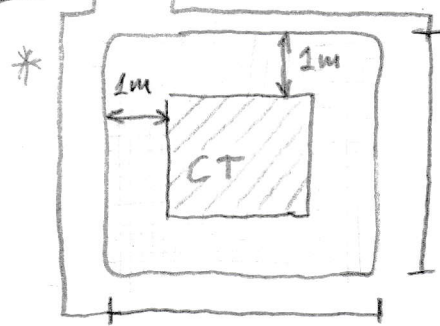
CON CALZADO

N° de CT conectados a pantallas

ρ_{max} → CPT-CT-A (□ x □) + 8P2 → 3, 7, 14, 22

Picos enterrados a 0'5m de profundidad

Depende de la configuración del electrodo



- COEFICIENTES DE PUESTA A TIERRA
- (kr) Resistencia $\Omega / \Omega \cdot m$
- (kp.t-t) Tensión de paso $V / (\Omega \cdot m) \cdot A$
- (kp.a-t) Tensión de paso de acero "

- CT PREFABRICADO SUBTERRANEO (CTPS) UN ≤ 20kV Pantallas conectadas a un CT

CON Y SIN CALZADO

N° de CT conectados

- ρ_{max} → UN ≤ 20kV I'IFP = 500A → 1
- UN = 20kV I'IFP = 1000A → 1, 3
- UN = 20kV I'IFP = 2228A → 1, 2, 4, 8

Picos enterrados a 1m de profundidad

Depende de la designación del electrodo

→ CPT-CT-A (□ x □) + 8P lo mismo *

Pantallas conectadas CT.

- CT PREFABRICADO DE HORMIGON SUBTERRANEO UN = 30kV I'IFP < 5000A

CON Y SIN CALZADO

N° de CT conectados

ρ_{max} → CPT-CT-A (□ x □) + 8P → 3, 7, 14, 22 lo mismo *

- CT DE INTERPERSE COMPACTO (CTIC) UN ≤ 20kV ; Pantallas conectadas a un apoyo.

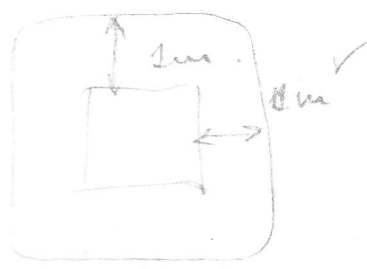
CON Y SIN CALZADO

- ρ_{max} → UN = 20kV I'IFP = 2228A
- UN = 20kV I'IFP = 1000A
- UN ≤ 20kV I'IFP = 500A

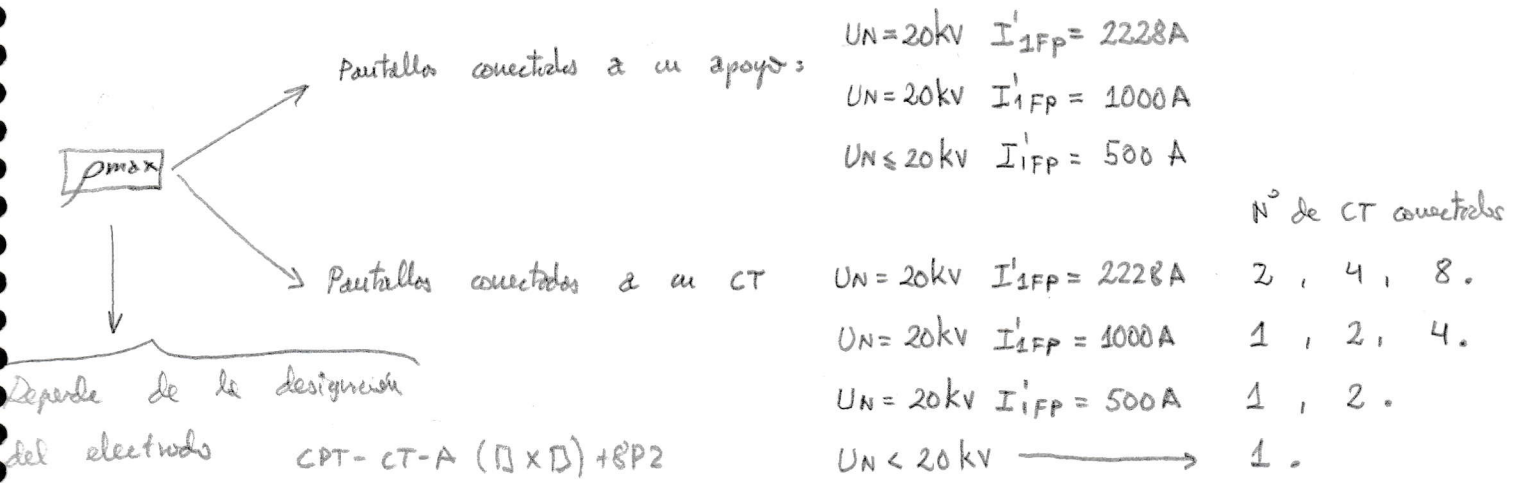
Depende de la designación del electrodo

CPT-CT-A - (□ x □) + 8P2

ρ_{max} : se considera la puesta a tierra del apoyo para el par caso una resistencia de puesta a tierra de 20Ω o entre un apoyo con una resistencia de puesta a tierra según MT 2.23.35



- CT INTEGRADO DE INTENSIDAD Y CENTRO DE TRANSFORMACION COMPACTO EN EDIFICIO PREFABRICADO DE SUPERFICIE



• MT 2.11.34 CT EN EDIFICIO DE OTROS USOS HASTA 30kV:

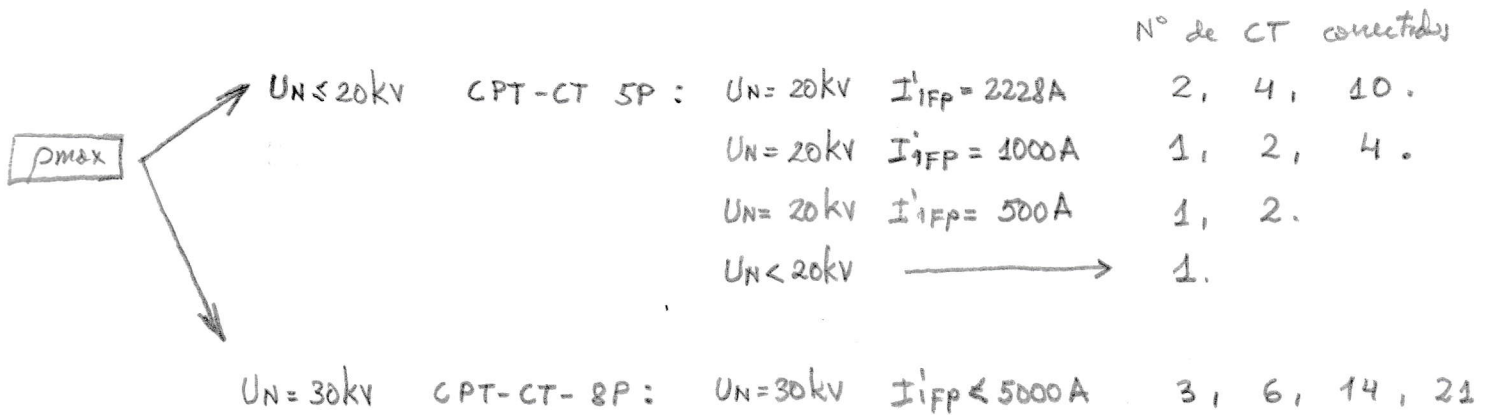
Configuración electrodos	UN	CT Type	Profundidad
→	UN ≤ 20kV	CPT - CTL - 5P2	0'5 m
	UN = 30kV	CPT - CTL - 8P2	0'8 m

CTL: CT tipo lanja

UN ≤ 20kV	VALOR MAXIMO PUESTA TIERRA	$R_t = 100 \Omega$
UN = 30kV	VALOR MAXIMO PUESTA TIERRA	$R_t = 60 \Omega$

Distancia entre picos 3m

- CPT - CTL - 5P $K_r = 0'0852 \Omega / \Omega \cdot m$
- CPT - CTL - 8P $K_r = 0'0556 \Omega / \Omega \cdot m$



- COEFICIENTES (K_r) Resistencia de puesta a tierra.
- (K_p) Coeficiente de tensión de paso.

• DISTANCIAS MINIMAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DESDE EL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA AL EDIFICIO:

UN ≤ 20kV	15X15	20X20	25X25	100X100	5 PICAS	PAG MT 2.11-34
UN = 30kV	15X15	20X20	25X25	100X100	8 PICAS	31/38 → 35/38

• INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA UNESA

- NEUTRO AISLADO:

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

- L_a = longitud de línea aérea en kilómetros. - $C_a = 0.006 \mu\text{F}/\text{km}$
- L_b = longitud de línea subterránea en kilómetros. - $C_c = 0.25 \mu\text{F}/\text{km}$
- $W = 2\pi f$; R_t = resistencia de la puesta a tierra del centro $R_t = K_r \cdot \rho$

$I_d >$ Valor de arranque de las protecciones.

- NEUTRO A TIERRA:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \approx \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + \left(\frac{X_n}{3}\right)^2}}$$

- R_n = resistencia del neutro - X_n = reactancia de la puesta a tierra $\vec{Z} = R_n + X_n j \Omega$
- $R_t = K_r \cdot \rho$

• INTENSIDAD MAXIMA DE DEFECTO A TIERRA: UNESA

- NEUTRO AISLADO:

$$I_{d\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot U (W \cdot C_a \cdot L_a + W \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + (W \cdot C_a \cdot L_a + W \cdot C_c \cdot L_c)^2}}$$

- NEUTRO A TIERRA:

$$I_{d\max} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_n^2 + X_n^2}}$$

• TENSION DE CONTACTO QUE PASA POR LA INSTALACION UNESA

- $V_c' = K_p(\text{acc}) \cdot \rho \cdot I_d$ siendo ρ la resistividad del terreno

• TENSION DE PASO QUE PASA POR LA INSTALACION UNESA

- $V_p' = K_p \cdot \rho \cdot I_d$

CONDICION $V_c' < V_c$ $V_p' < V_p$ CUMPLEN LAS TENSIONES

• TENSION DE CONTACTO MAXIMA EN EL SER HUMANO UNESA

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

siendo k y n constantes en función del tiempo del defecto, 1000Ω Resistencia del cuerpo humano.

TABLA 2 PAG 9

• TENSION DE PASO MAXIMA CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO UNESA

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

TABLA 1 PAG 8

• TENSION DE PASO DE ACCESO MAXIMA CON UN PIE EN ACERA Y OTRO DENTRO

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

siendo $\rho'_s = 3000 \Omega \cdot m$ ACERA DE HORMIGÓN

TABLA 3 PAG 10

• TENSION DE CONTACTO APLICADA AL CUERPO HUMANO UNESA

$$V_{ca} = \frac{k}{t^n}$$

GRAFICO 1 PAG 5

• TENSION DE PASO APLICADA AL CUERPO HUMANO UNESA

$$V_{pa} = \frac{10k}{t^n}$$

• TENSION DE DEFECTO UNESA (VERIFICACION NIVEL DE AISLAMIENTO)

$$- V_d = R_t \cdot I_d$$

• Para evitar que la sobretensión que aparece en AT deteriore los elementos de BT $V_d \leq 10000V$ CUMPLE

$$- V_{bt} = R_t \cdot I_{dbt}$$

• Para evitar deterioro de usuarios en BT la máxima ddp

$$V_{bt} \leq 1000V$$

$$\text{Servicio} \leq 24V : R_t = 37 \Omega / I_d = 0.65A$$

TIERRA DE SERVICIO

• TENSION INDUCIDA A LOS ELECTRODOS BT UNESA

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

siendo D distancia entre electrodos de protección.

• INTENSIDAD DE DEFECTO IBERDROLA: MT 2.11.33

- SIN CONSIDERAR CONEXIONES A PANTALLA

$$I_{1FP} = \frac{1.1 U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + X_{LTH}^2}}$$

$R_T = K_r \cdot \rho_s$ ¿CUMPLE? → PAG 15/51
 $X_{LTH} \Rightarrow I_{1FP}$ PAG 17/51

• $I_E = I_{1FP}$
 • $Y_E = 1$

- CONSIDERANDO CONEXIONES A PANTALLA

$R_T = K_r \cdot \rho_s$

$$I_{1FP} = \frac{1.1 U_n}{Y_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{Y_E}\right)^2}}$$

$Y_E = \frac{R_{TOT}}{R_T}$

$R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}}$

$R_{pant} = \frac{\rho \cdot K_r'}{N_{CT5}^0}$

K_r' dato mas desfavorable explicado en electrodos

{ Depende de I_{1FP} de U_n o del tipo de puesta a tierra elegido } $\leq X_{LTH} = \text{PAG 17/51}$

• IBERDROLA NO HAY TENSION DE CONTACTO ENTRE OPERARIO Y CT.

• TENSION DE CONTACTO APLICADA: IBERDROLA PAG 9/51

- U_{ca} SEGUN TABLA en función de la duración del defecto. (t)

• TENSION DE PASO APLICADA: IBERDROLA PAG 10/51

- $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$

• TENSION DE PASO QUE PASA POR LA INSTALACION (dos pies en el terreno)

$U_{p1} = K_{p1-t} \cdot \rho_s \cdot I_E$ siendo $I_E = Y_E \cdot I_{1FP}$

• TENSION DE PASO DE ACCESO QUE PASA POR LA INSTALACION: (Un pie en la arena y otro dentro)

$U_{p2} = K_{p2-t} \cdot \rho_s \cdot I_E$ siendo $I_E = Y_E \cdot I_{1FP}$

• TENSION DE CONTACTO APLICADA LIBRO T-2 PAG 4: - U_{ca}

• TENSION DE CONTACTO MAXIMA POR LA INSTALACION:

$$- U_c' = k_c \cdot \rho \cdot I_d \quad T-2 \text{ PAG 26}$$

• TENSION DE CONTACTO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO: CALZADO

$$- U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{\frac{Ra_1}{2} + 1'5 \rho_s}{1000} \right)$$

• TENSION DE PASO APLICADA: $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$ LIBRO T-2 PAG 5

• TENSION DE PASO MAXIMA POR LA INSTALACION

$$U_p' = k_p \cdot \rho \cdot I_d \quad T-2 \text{ PAG 26}$$

• TENSION DE PASO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO CALZADO

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot Ra_1 + 6 \rho_s}{1000} \right) \quad T-2 \text{ PAG 8}$$

Teniendo en cuenta que en los casos en que el terreno se recubra de una capa adicional de elevada resistividad, se multiplicará el valor de la resistividad de la capa del terreno adicional, por un coeficiente reductor. El coeficiente reductor es:

$$C_s = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2h_s + 0'106} \right]$$

h_s = espesor de la capa superficial en metros

ρ^* = resistividad superficial.

• TENSION DE PASO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO ENCIMA DE UNA CAPA ADICIONAL CALZADO

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot Ra_1 + 6 \rho_s \cdot C_s}{1000} \right)$$

Generalmente homogéneo.

- TENSION DE PASO DE ACCESO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO CON UN PIE EN LA ACERA Y OTRO EN EL TERRENO CALZADO

$$U_{pacc} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{1000} \right)$$

- TENSION DE PASO DE ACCESO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO CON UN PIE EN LA CAPA ADICIONAL DE LA ACERA Y OTRO EN EL TERRENO CALZADO:

$$U_{pacc} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^* \cdot C_c}{1000} \right)$$

- TENSION DE DEFECTO

$$U_d = R_t \cdot I_d$$

$$U_{dBT} \geq U_d \rightarrow 1000 \geq U_d$$

$$U_{dAT} \geq U_d \rightarrow 10000 \geq U_d$$

I_d debe superar el valor mínimo de atracción de los proteccion

$I_d >$ Intensidad de anclaje de los proteccion.

- TENSION INDUCIDA POR EL ELECTRONO

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

- TENSION DE CONTACTO $\rho > 100 \Omega \cdot m$ ESQUEMA TT 1200V $t_{cc} \leq 5s$

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

$$I_{adm} \cdot R_t \leq \frac{K}{2h} \left(1 + \frac{45\rho_s}{1000} \right)$$

y de los muros a la instalación de BT.

• CORRIENTE QUE FLOVE A TRAVES DEL CUERPO

$$-I_B = \frac{U_c}{Z_b} = \frac{U_c}{Z_b + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2}} \rightarrow \frac{U_c}{Z_b + \frac{R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{2}} = \frac{U_c}{Z_b + \frac{R_{a1} + 6\rho_s}{2}}$$

• RESISTENCIA DE CONTACTO A PIE

$$-R_{\text{contacto a pie}} = 1'6 \frac{\rho_s}{p} = 1'6 \frac{\rho_s}{0'57} = 2'8 \rho_s \approx 3 \rho_s$$

METODO WENNER, RESISTIVIDAD APARENTE (PROMEDIO)
SUELO UNIFORME

$$\rho = \frac{4\pi a \frac{V}{I}}{\left[1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \right]}$$

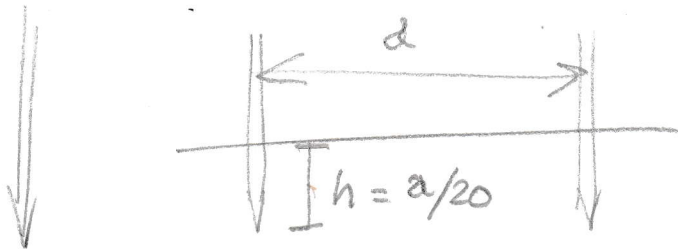
a = Distancia entre electrodos (m)

b = Profundidad de enterramiento de los electrodos (m)

V = Tensión media entre los electrodos

I = Intensidad inyectada entre los electrodos

* Si la profundidad de electrodos enterrados es pequeña en comparación con la separación de éstos $a > 20h$



$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} = 2\pi a R \text{ (S.m)}$$

Si el valor de la resistencia de puesta a tierra única (R_T) es lo suficientemente baja para que se cumpla que la tensión de puesta a tierra U_T sea menor que la tensión de contacto admisible definida

$$I_{\text{adm}} \cdot R_T \leq \frac{K}{2h} \left(1 + \frac{1'5 \rho_s}{1000} \right)$$

y de los muros a la instalación de BT.

SE PODRAN UNIR AMBAS PUESTAS A TIERRA

• DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS UNESA

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

Como la tensión inducida no puede ser mayor a 1000V

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi \cdot 1000}$$

TABLA 6 PAG 22

$$\rho \geq \frac{2000 R}{I_d}$$

• EN CASO DE MALLA: UNESA

$$V_d = R_m \cdot I_d \leq 1000V \quad \text{siendo } R_m \text{ resistencia de la malla}$$

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

siendo r de un radio de un círculo con misma área que la malla.

L = longitud total de los cables de la malla con cubierta conductora en metros

L' = longitud total de los picos verticales incluidos en la malla en metros

• MALLAZO EN EDIFICIOS
CUBRE EL EDIFICIO

RETICULA
0'3 x 0'3 m

cubierta con capa de hominión de 10cm de espesor como mínimo.

• MALLAZO EN APOYOS
CUBRE 1m perimetral

RETICULA
0'3 x 0'3m

cubierta con capa de hominión de 20cm de espesor como mínimo, y hasta 1'2m de las aristas del apoyo.

• RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA Y LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO:

- Resistencia de tierra $(R_t) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$

L = longitud de la pica

d = diámetro de la pica

- Tensión del punto $(U_x) = \frac{I_d \cdot \rho}{2\pi L} \cdot \ln\left(\frac{L + \sqrt{x^2 + L^2}}{x}\right)$

x = distancia de la pica al punto x .

• TIEMPO DE ACTUACION UNESA:

$$t = \sqrt{\frac{n \cdot K}{V_{ca}}}$$

• TENSION DE PASO MAXIMA CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO QUE AGUANTA EL SER HUMANO: IBERTROLA 2.11.33 CON CALZADO

$$U_{p1} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 p_s}{1000} \right)$$

$$R_{a1} = 2000 \Omega$$

• TENSION DE PASO DE ACCESO MÁXIMA CON UN PIE EN LA ACERA Y OTRO DENTRO QUE AGUANTA EL SER HUMANO. IBERTROLA 2.11.33. CALZADO

$$U_{p2} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2R_{a1} + 3p_s + 3p_s^*}{1000} \right)$$

siendo R_{a1} = la resistencia del calzado

$$R_{a1} = 2000 \Omega$$

p_s^* = resistividad del hormigón.

• TENSION DE PASO MAXIMA CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO QUE AGUANTA EL SER HUMANO DESCALZO: IBERTROLA 2.11.33

$$U_{p1} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot p_s}{1000} \right)$$

• TENSION DE PASO DE ACCESO MAXIMA CON UN PIE EN LA ACERA Y OTRO DENTRO QUE AGUANTA EL HUMANO DESCALZO: 2.11.33

$$U_{p2} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{3p_s + 3p_s^*}{1000} \right)$$

$$\text{siendo } U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$$

• CONDICION DE IBERTROLA: $U_{p1}' < U_{pa}$ $U_{p2}' < U_{pa}$

• CONDICION DEL CUERPO HUMANO: $U_{p1}' < U_{p1}$ $U_{p1}' < U_{p1}$

• TENSION DE CONTACTO APLICADA EN EL CUERPO HUMANO IBERTROLA:

En función del tiempo de defecto PAG 19/54 MT 2.11.33

- $U_N \leq 20 \text{ kV}$

Desconexión a tierra	$I_{1F} \cdot t = 400$	$t = \frac{400}{I_{1F}}$
Conexión a tierra	$I_{1FP} \cdot t = 400$	

- $U_N = 30 \text{ kV}$

Desconexión a tierra	$I_{1F} \cdot t = 2200$	$t = \frac{2200}{I_{1F}}$
Conexión a tierra	$I_{1FP} \cdot t = 2200$	

$U_{ca} =$ Interpolación según (t) en PAG 9/15 \rightarrow MT 2.11.33

• TENSION DE CONTACTO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO CALZADO IBERTROLA

? $U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 6P_s}{2 \cdot Z_b}\right)$ $U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2R_a + 6P_s}{Z_b}\right)$ ✓ DOS PIES EN TERRE

• TENSION DE CONTACTO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO DESCALZO IBERTROLA

$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{6P_s}{Z_b}\right)$ DOS PIES EN TERRENO

• TENSION DE DEFECTO O TENSION QUE APARECE EN LA INSTALACIÓN

$V = I_{1FP} \cdot R_{TOT}$ $V \leq 10000 \text{ V}$ CUMPLE

• REACTANCIA EQUIVALENTE THEVENIN SEGUN I'_{1FP} máxima de defecto.

$$X_{LTH} = \left(\sqrt{\left(\frac{1'1 U_N}{Y_E \cdot \sqrt{3} \cdot I'_{1FP}} \right)^2 - R_T^2} \right) \cdot Y_E$$

* cuando es $I_{d \text{ máxima}}$ no hay R_{tenes} CACHORROS SINCOPE

$I_{d \text{ max}} \text{ Red } \cdot X_{LTH}$

I'_{1FP}

CON RESISTENCIA EN NEUTRO

$$X_{LTH} = \left(\sqrt{\left(\frac{1'1 U_N}{Y_E \cdot \sqrt{3} \cdot I'_{1FP}} \right)^2 - (R_T + R_n)^2} \right) \cdot Y_E$$

• REACTANCIA DE FASE DEL LIBRO:

$$X_n = \sqrt{\left(\frac{U}{I_d \cdot \sqrt{3}}\right)^2 - (R_n + R_t)^2} \quad \text{total } X_n \cdot 3 = X_T$$

• TIEMPO DEPENDIENTE RELÉ:

$$t = \frac{k'}{k'' \cdot 1}$$

siendo $k = \frac{I_d}{I_a}$

$I_a =$ intensidad de arranque

UNESA.

• MODELO SUBTLO A DOS CAPAS:

Shunde: $p_1 =$ resistividad capa superficial $p_2 =$ resistividad capa mas profunda

Se define una relación entre a/h con la curva de resistividad aparente para donde (a) distancia entre picas y (h) la profundidad de las mismas.

SE SABE A LA IZQUIERDA, SEGUN DISTANCIA ENTRE PICAS (a) PAG 51 T-2

Se estima $\frac{p_2}{p_1} \rightarrow \frac{(D_2)}{p_2} \rightarrow$ A LA IZQUIERDA

$a' =$ te lo dan

LACURVA A LA DERECHA PAG 52 T-2

ABAJO $a/h = ()$

DAFO DEL EJERCICIO
 $\frac{a'}{h} =$ Profundidad de entumamiento del sistema de tierras.

DETERMINACION SECCION.

$$\frac{I_{cc}}{S} = \frac{k}{\sqrt{t_{cc}}}$$

• TENSION DE PASO MAXIMA DE LA INSTALACION:

$$U_{p1}' = k_p \cdot \rho \cdot I_E \rightarrow I_E = \gamma_E \cdot I_{1FP}$$

• TENSION DE PASO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO DESCALZO CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO:

$$U_{p1} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{6 \rho_s}{1000} \right) \quad \rho_s = \text{resistividad del terreno:}$$

• TENSION DE PASO DE ACCESO MAXIMA QUE AGUANTA EL SER HUMANO DESCALZO CON LOS DOS PIES EN EL TERRENO:

$$U_{p2} = U_{pacc} \cdot \left(1 + \frac{6 \rho_s}{1000} \right) \quad \rho_s = \text{resistividad del hormigón}$$

$$U_{pacc} = I_E \cdot R_T \rightarrow I_E = \gamma_E \cdot I_{1FP}$$

• CONDICION IBERDROLA $\rightarrow U_{p1}' < 10 \cdot U_{ca} \quad U_{pacc} < 10 \cdot U_{ca}$

• CONDICION DEL CUERPO HUMANO $U_{p1}' < U_{p1} \quad U_{pacc} < U_{p2}$

Se proyecta un Centro de Transformación de compañía Iberdrola. El Centro de Transformación está dispuesto en un edificio prefabricado de superficie construida con hormigón con dimensiones de $2 \times 3 \text{ m}$, por otro lado se sabe que la red de alimentación es de 20 kV y que alimenta además a 8 CT's y en la subestación está puesta el neutro a tierra a través de una reactancia trifásica en zig-zag de 500 A . Aplicando los criterios definidos por el NT 2:11:33-2004, y siendo la resistividad del terreno de $700 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$. Determinar:

- 1º) La corriente de defecto a tierra y del tiempo de eliminación de éste defecto.
- 2º) Tipo de puesta a tierra según código Iberdrola para la puesta a tierra de protección.
- 3º) Cálculo de los tensiones de paso admisibles en el exterior de la instalación.
- 4º) Comprobación de que las tensiones de paso calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles.
- 5º) Diseño de la puesta a tierra de servicio.
- 6º) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio.
- 7º) Verificación del nivel de aislamiento de los materiales de Baja tensión.

- Posdata -

El señor Fayos no dice el espesor del hormigón, por lo que se asume $10 \text{ cm} = (0,1 \text{ m}) = 1 \text{ s}$ según B05

FALLO

Jay Beltrán Beltrán

(1) A.3.1 Centro prefabricado de superficie:

I_{IFP} con el neutro puesto a tierra y con conexión a pantallas:

$$I_{IFP} = \frac{U_n \cdot 1'1}{K_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{I_E}\right)^2}} \quad \text{siendo} \quad I_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} \quad K_E \neq 1 \rightarrow I_E \neq I_{IFP}$$

$$R_{pant} = \frac{\rho \cdot k_r'}{N_{CT}^2} \quad R_T = k_r \cdot \rho_s \quad R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}}$$

Nuestra tienda con un CT de 2K3 es de 5x4 según (21/51)

Por tanto: CPT-CT-A (4x5) + 8P2 según (33/51) $K_r = 0'07643 \Omega / \Omega m$

$$K_p = 0'01613 V / (\Omega m) A$$

Siendo k_r' la más desfavorable por descender el estado de los tierras de las otras CT's correspondientes a los Rpantallas $k_r' = 0'088 \Omega / \Omega m$ $K_{pant} = 0'03768 V / \Omega m A$

$$R_T = k_r \cdot \rho_s \rightarrow R_T = 0'07643 \cdot 700 = 53'5 \Omega < 100 \Omega \quad \text{según (15/51) para } U_N \leq 20kV \text{ conexión a pantallas}$$

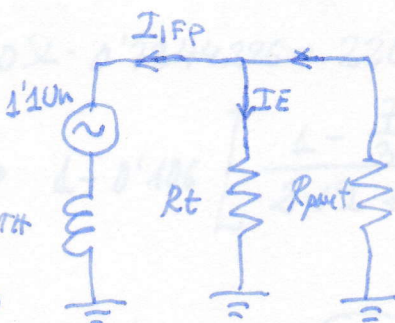
$$R_{pant} = \frac{\rho \cdot k_r'}{N_{CT}^2} = \frac{700 \cdot 0'088}{8} = 7'7 \Omega$$

¡ CUMPLE !

$$R_{TOT} = \frac{53'5 \cdot 7'7}{53'5 + 7'7} = 6'73 \Omega$$

$$I_E = \frac{6'73}{53'5} = 0'125794$$

X_{LTH} 500A zigzag según (17/51) $25'4 \Omega$



$$I_{IFP} = \frac{1'1 \cdot 20000}{0'125794 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{53'5^2 + \left(\frac{25'4}{0'125794}\right)^2}} = 483'387 A$$

El tiempo de eliminación del defecto según (19/51) para $U_N \leq 20kV$

$$t = \frac{400}{I_{IFP}} = \frac{400}{483'387} = 0'82749 s$$

2) El tipo de pasta a tierra es.

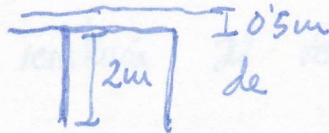
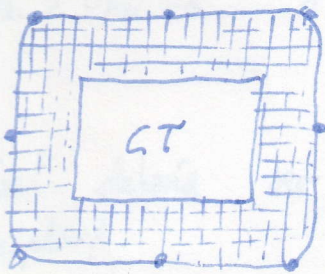
CPT-CT-A (4x5) + 8 P2 8 pías de 2 metros antenas 0'5 m

Cable desubiado

$S = 50 \text{ mm}^2 \varnothing$

$\varnothing = 14 \text{ mm}$

Especificaciones prev.



3) Tensión de paso admisible en la instalación:

$$U_{p1} = K_{pt} I_E \cdot \rho_s \Rightarrow U_p = 0'01613 \cdot 60'807 \cdot 700 = 686'574 \text{ V Tensión paso}$$

$$\text{Siendo } I_E = I_{1FP} \cdot P_E \rightarrow I_E = 483'887 \text{ A} \cdot 0'125794 = 60'807 \text{ A}$$

$$U_{p2} = K_{pa-t} \cdot I_E \cdot \rho_s \rightarrow U_{p2} = 0'03768 \cdot 60'807 \cdot 700 = 1603'84 \text{ V Tensión paso direct.$$

$$U'_{p2} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_d + 3 \rho_s + 3 \rho_s^*}{1000} \right) \quad U_{pa} = 10 \cdot U_c$$

$$\rho_s^* = \rho_s (\text{homogéu}) \cdot G_c \rightarrow \rho_s^* = 3000 \Omega \cdot 0'7344226 = 2203'268 \Omega$$

$$G_c = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{\rho_s}{\rho_s^*}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right] \rightarrow 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{700}{3000}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right] = 0'7344226$$

Por otro lado según la tensión de corte U_c (9/51) $t = 0'82749 \text{ s}$

$$\frac{0'8 \text{ s} - 0'9 \text{ s}}{146 \text{ V} - 126 \text{ V}} = \frac{0'82749 \text{ s} - 0'9 \text{ s}}{x - 146 \text{ V}} = \frac{1}{\frac{0'8 - 0'9}{146 - 126} \cdot \frac{1}{0'82749 - 0'8}} = x - 146$$

$$x = 146 + \frac{1}{-\frac{500}{2749}} = 140'502 \text{ V} \rightarrow U_{pa} = 10 \cdot 140'502 \text{ V} = 1405'02 \text{ V}$$

$$U_{p2}' = 1405'02 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 700 + 3 \cdot 2203'26 \cdot 10^{-3}}{2000} \right) = 19262'54V$$

$$U_{p2}' > U_{p2} \rightarrow 19262'54V > 1405'02V \text{ Cumple}$$

¿Cuál debería ser la resistencia al tenerse para que dejara de cumplir?

$$U_{p2} = 19262'54V \rightarrow k_{pat} \cdot I_E \cdot p_s? \text{ como } I_E \text{ depende intrínsecamente de } p_s$$

$$I_E = (I_E)_{IIFP} \rightarrow I_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} \cdot I_{IIFP} \rightarrow I_E = \frac{R_T \cdot R_{paralelos}}{R_T + R_{paralelos}} \cdot I_{IIFP}$$

$$I_E = \frac{K_r \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}$$

por otro lado I_{IIFP} depende de V_E y R_T

$$I_E = \frac{K_r \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)} \cdot \frac{U_n \cdot 4'1}{K_r \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}$$

$$= \frac{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}{K_r \cdot p_s} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(K_r \cdot p_s \right)^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)} \right)^2}$$

la ecuación quedaría:

$$19262'54 = 0'03768 \cdot \frac{K_r \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)} \cdot \frac{K_r \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(K_r \cdot p_s \right)^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{K_r \cdot p_s + \left(\frac{p_s \cdot K_r'}{N_{CT's}} \right)} \right)^2}$$

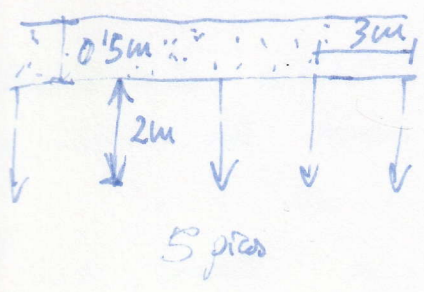
¿ p_s ?

$$Reducción = U_{p2} = k_{pat} \cdot I_E \cdot p_s$$

5) Tierra de servicio nos remite al MT 2.11.34 de otros usos

Según (12/38) para $UN \leq 20kV \rightarrow CPT-CTA-5P$

5) pica en serie enterrado 0.5m de 2m de longitud con una distancia de 3 metros entre ellos. ϕ 14mm con cable desnudo de 50mm²



el máximo valor de la resistencia de la piqueta a tierra según (12/38) de ser mayor que $R_{PA-SERVICIO}$

$R_{PA-SERVICIO} = K_r \cdot p_s$ siendo K_r según (29/38) para $UN \leq 20kV$ de $UN \leq 20kV$
 $K_r = 0.0852 \Omega/m$

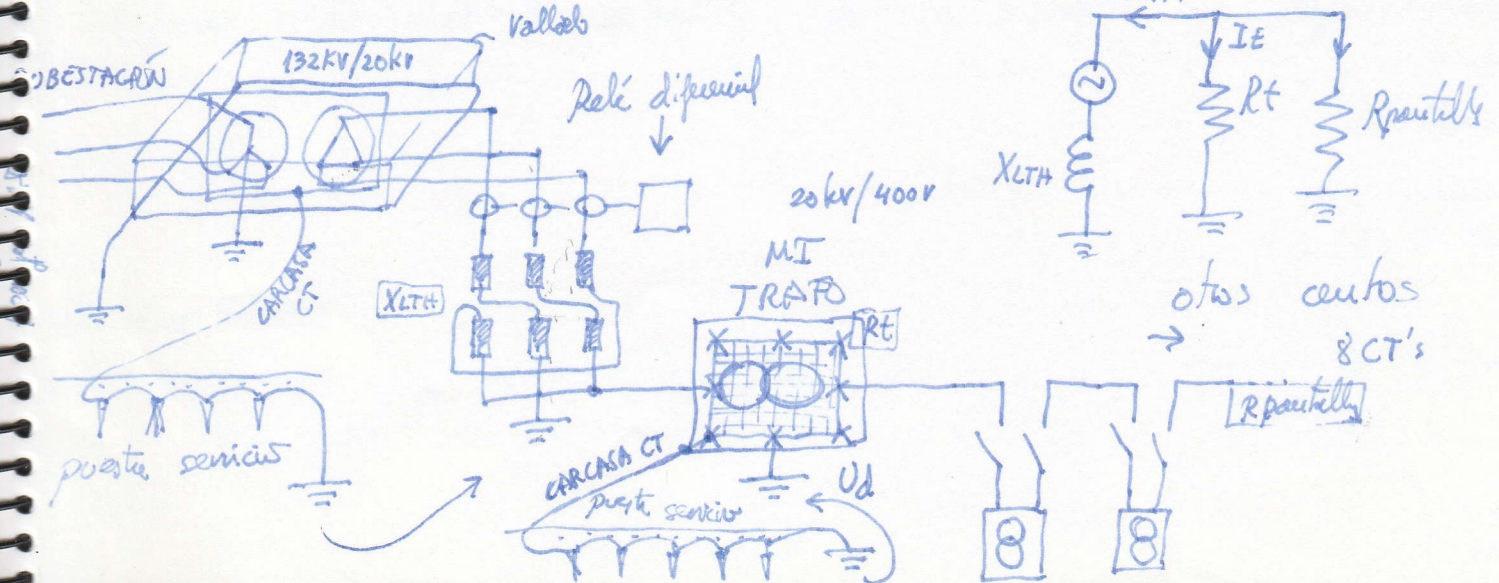
$R_{PA-SERVICIO} = 0.0852 \cdot 700 = 59.64 \Omega > 400$ por tanto la tensión vendrá definida por la corriente, impuesta por el diferencial \sim Relé.
 $U_d = I_{in} R_{PA-S}$

$U_d = 0.03 \cdot 59.64 = 1.7V$

$U_d = 0.3 \cdot 59.64 = 17.89V \rightarrow$ Diferencial de 300mA $17.89V \sim 24V$

5) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio.

(15/51) $\rightarrow D \geq \frac{P \cdot I_E}{2000 T_U} \rightarrow D \geq \frac{700 \cdot 60 \cdot 807}{2000 \cdot T_U} \rightarrow D \geq 6.77m$



7.) Verificación del nivel de aislamiento,

$$V = I_{pp} \cdot R_{TOT} \Rightarrow V = 483'387A \cdot 6'73 = 3253 < 10.000$$

$$V = I_E \cdot R_T \Rightarrow V = 60'8071A \cdot 53'5 = 3252'8V < 10.000$$

El nivel de transmisión y en la estructura de punto al punto
de la zona de obra de una estructura de 5-6 m.

La certificación depende por el RT 2 14-33-2014 y sobre la
del tema 390.2 m. Retención

de acuerdo de datos a hora y del tiempo de duración del
aport

de la parte a hora según el tipo de trabajo para la parte
de nivel de protección.

de los tiempos de paso establecidos en el interior de la
estructura.

de que los tiempos de paso establecidos en relación a la
de las mismas estructuras.

de la parte a hora de trabajo

de las mismas estructuras sobre nivel de protección y hora de trabajo

de nivel de aislamiento de las estructuras de Baja tensión

de las mismas estructuras

de las mismas estructuras

de las mismas estructuras

Se proyecta un Centro de Transformación de Compañía de Iberdrola. El Centro de Transformación estará dispuesto en un edificio prefabricado de superficie construida en hormigón de dimensiones $3 \times 5,5$ m, por otro lado se sabe que la red de alimentación es de 30kV y que alimenta además a 14 Centros de Transformación y en la subestación está puesta el neutro a través de tierra a través de una reactancia de ~~5,82~~.

Aplicando los criterios definidos por el MT 2.11.33 - 2014 y siendo la resistividad del terreno $390 \Omega \cdot m$. Determinar

- 1º) La corriente de defecto a tierra y del tiempo de eliminación del defecto.
- 2º) Tipo de puesta a tierra según códigos Iberdrola para la puesta a tierra de protección.
- 3º) Cálculo de las tensiones de paso admisibles en el exterior de la instalación.
- 4º) Comprobación de que las tensiones de paso calculados son inferiores a los valores máximos admisibles.
- 5º) Diseño de la puesta a tierra de servicio
- 6º) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio
- 7º) Verificación del nivel de aislamiento de los materiales de Baja tensión.

18-Marzo-16

Iloy Beltrán Beltrán. 7

1) Cunto prefabricado de superficie la intensidad máxima del defecto I_{1FP} tiene que ser menor a 5000A, para $U_N \approx 30kV$ según (35/51).

Puesto que el neutro de la subestación esté puesto a tierra y se consideren conexiones a pantallas, la Resistencia del terreno R_t (del propio centro) no superará los 60Ω según tabla (15/51) para $U_N = 30kV$

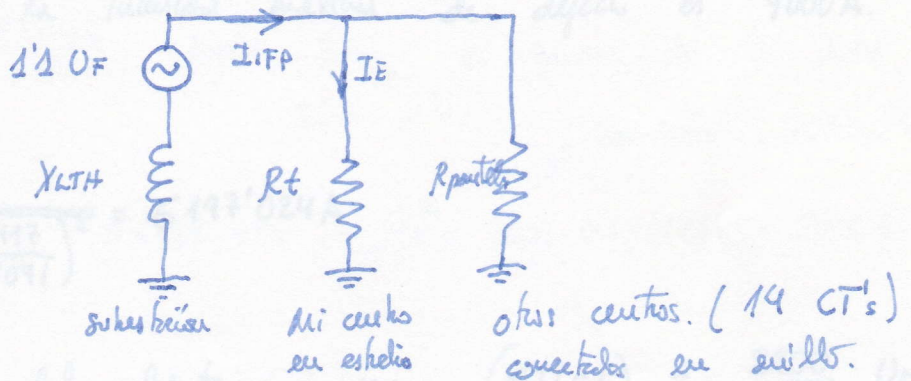
La intensidad del defecto viene dada por la siguiente expresión:

$$I_{1FP} = \frac{1'1 \cdot U_N}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}}$$

Desde la conexión a pantallas dice $r_E \neq 1$ según (27/51), por tanto $I_E \neq I_{1FP}$ según (22/51), y con el siguiente esquema: (27/51)

donde $r_E = \frac{R_{TOT}}{R_t}$

R_{TOT} es la suma de las resistencias en paralelo



$$R_{TOT} = \frac{R_t \cdot R_{pantallas}}{R_t + R_{pantallas}}$$

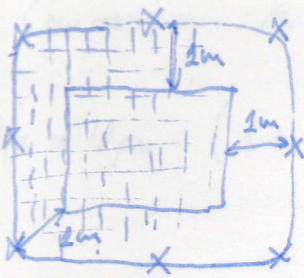
Siendo R_t , la Resistencia del terreno de mi centro $R_t = k_r \cdot \rho_s$ y $R_{pantallas}$, la Resistencia de las pantallas de los otros centros de transformación. ~~de pantallas~~

$$R_{pantallas} = \frac{\rho_s \cdot k_r'}{N_{CT's}^2}$$

pero como no se el estado de las tierras de los otros CT's escoge el Coeficiente (k_r') mas desfavorable. $k_r' = 0'088 \Omega/\text{km}$

En cuanto a los coeficiente (k_r), otros que servirán mas adelante.

según de las tablas, en nuestra caso (35/51), donde se puede observar que $\rho_{max} (\Omega \cdot m)$ para 14 CT's no supera los 400 $\Omega \cdot m$, siendo nuestra resistividad de 390 ($\Omega \cdot m$), para la elección de la configuración de puesta a tierra según (21/51) habrá 1m circundante a las dimensiones del edificio e irán enterrados 8 picos de 2 metros de longitud, siendo esta 8 picos repartidos equidistantemente en un rectángulo alrededor del Centro de transformación, conectados entre sí por cable de $S = 50 \text{mm}^2$, los picos $\phi = 14 \text{mm}$, por tanto la configuración de la puesta a tierra es la siguiente.



y por tanto para la configuración de frenos a ser 5×7.5 , donde según 35/51 los coeficientes son:

$$K_r = 0.06279 \quad K_{p-t} = 0.01250 \quad K_{p-a-t} = 0.03027$$

$$\frac{R}{2m} \quad \frac{V}{(2m)A} \quad \frac{V}{(2m)A}$$

Así mismo $\Rightarrow R_t = 0.06279 \cdot 390 = 24.5 \Omega$

$$R_{TOT} = \frac{24.5 \cdot 2.45}{24.5 + 2.45} = 2.23 \Omega$$

$$R_{pantallas} = \frac{390 \cdot 0.088}{14} = 2.45 \Omega$$

$\epsilon = \frac{2.23}{24.5} = 0.0910$, por otro lado, la reactancia equivalente del medio es ~~5.7Ω~~ no 5.2Ω , $X_{LTH} = 5.7 \Omega$ (17/51), y la intensidad máxima de defecto es 9000 A.

$$I_{1FP} = \frac{1.1 \cdot 30000}{0.091 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{24.5^2 + \left(\frac{2.117}{0.091}\right)^2}} = 6197.024 A$$

El tiempo de eliminación del defecto es según (27/51) $t = \frac{2200}{I_{1FP}} \quad U_N = 30kV$

$$t = \frac{2200}{6197.024} = 0.355 \text{ segundos.}$$

2) Según (35/51) CPT-CT-A-(5x7.5)+8P2. principalmente alrededor del edificio se hallan 8 picos de 2m de longitud y 14mm de diámetro sostenidos 0.5m por ser de superficie.

3) Las tensiones de pico máximas admitidas por la instalación son:

$$U_{p1} = K_p \cdot I_E \cdot p_s \quad \text{siendo} \quad I_E = I_{1FP} \cdot \epsilon \rightarrow I_E = 6197.024 \cdot 0.091 = 563.93 A$$

$$U_{p1} = 0.01250 \cdot 563.93 \cdot 390 = 2749.15 V \quad (\text{Tensión de pns})$$

$$U_{p2} = K_{pat} \cdot I_E \cdot p_s \Rightarrow U_{p2} = 0.03027 \cdot 563.93 \cdot 390 = 6657.36 V \quad (Pnw - accens.)$$

1) Composición de las tensiones:

$$U_{p2} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_a + 3 \rho_s + 3 \rho_s^*}{1000} \right)$$

siendo $U_{pa} = 10 \cdot U_{contacto}$, la tensión de contacto (U_c) es según $t = 0'355s$, una interpolación según 9/51.

$$t = 0'4s \quad U_c = 310V$$

$$t = 0'3s \quad U_c = 420V$$

$$\frac{0'3 - 0'4}{420 - 310} = \frac{0'355 - 0'3}{x - 420} \rightarrow$$

$$\frac{1}{\frac{0'3 - 0'4}{420 - 310}} = x - 420 \rightarrow x = 420 - \frac{121}{2} = \frac{719}{2} = 359'5V \rightarrow U_{pa} = 10 \cdot 359'5$$

$$R_a = 2000\Omega \quad \rho_s = 390\Omega \cdot m \quad \rho_s^* = \rho_{phenolico} \cdot C_s$$

siendo $C_s = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{\rho_s}{\rho_{phenolico}}}{2k_s + 0'106} \right]$ según B0E, el espesor de la placa es $10cm = k_s$ $\rho_{phenolico} = 3000\Omega \cdot m$

$$C_s = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{390}{3000}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right] = 0'69862745 \rightarrow \rho_s^* = 3000 \cdot 0'69862745 = 2095'8823\Omega \cdot m$$

$$U_{p2} = 3595 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 390 + 3 \cdot 2095'8823}{1000} \right) = 44785'24V > U_{p2} \text{ CUMPLE!}$$

2) Nos vamos al MT 2.11.34 otros usos. según (12/38) \rightarrow sea 8 pios de 2mm en serie sostenidos 0'8m $R_t < 60\Omega$.

$$R_{sostenido} = k_r \cdot \rho_s \rightarrow k_r = 0'0556 \Omega / \Omega \cdot m \rightarrow R_t = 0'0556 \cdot 390 = 21'684\Omega$$

$$U_d = I_{diferencial} \cdot R_t \rightarrow U_d = 0'03 \cdot 21'684 = 0'65V$$

$$U_d = 0'3 \cdot 21'684 = 6'5V \quad \text{diferencial } 300mA$$

$$6'5V < 24V$$

3) Distancia mínima necesaria $D \geq \frac{\rho \cdot I^2}{2000\pi} = \frac{390 \cdot 563'93}{2000\pi} = 35 \text{ metros.}$

4) Verificación de los niveles de aislamiento:

$$V = I_{IFP} \cdot R_{TOT} = 6197'024 \cdot 2'23 = 13819'36V > 10'000V \text{ NO CUMPLE.}$$

Se proyecta un Centro de transformación de Empresa Iberdrola. El Centro de transformación estará dispuesto en un edificio prefabricado subterráneo, construido de hormigón de dimensiones $8 \times 3'5$ m. por otro lado se sabe que la red de alimentación es de 30kV y que alimentan además a 4 CT's y en la instalación de la subestación está puesto el vector a través de una reactancia de $5'2 \Omega$.

Aplicando los criterios definidos por el NT 2.11.33-2014 y siendo la resistencia del terreno 390Ω . Determinar:

- 1) La corriente de defecto a tierra y el tiempo de eliminación del defecto.
- 2) Tipo de puesta a tierra según códigos de Iberdrola para la puesta a tierra de protección.
- 3) Cálculo de las tensiones de paso admisibles en el exterior de la instalación.
- 4) Comprobación de que las tensiones de paso admisibles sean inferiores a los valores máximos admisibles.
- 5) Diseño de la puesta a tierra de servicio.
- 6) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio.
- 7) Verificación del nivel de aislamiento de los materiales de Baja tensión.

La corriente del defecto, (considerando la conexión a puntallas y unido de la subestación a tierra) sea

$$I_{IFP} = \frac{I' \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} \quad (K_r) \text{ según } (36/51) \text{ hasta } (400 \text{ km}) \text{ CT's.}$$

$$R_T = K_r \cdot \rho_s \rightarrow R_T = (10 \times 5'5) \mu \Rightarrow R_T = 0'05223 \cdot 390 = 20'37 \Omega$$

$$R_{\text{puntallas}} = \frac{0'088 \cdot 390}{4} = 8'58 \Omega \quad \left[\text{La más desfavorable es } 0'06437 \right]$$

$$R_{\text{TOT}} = \frac{20'37 \cdot 8'58}{20'37 + 8'58} = 6'037 \Omega$$

$$r_E = \frac{6'037}{0'29637} = 20'37 \Omega$$

$$X_{LTH} = 5'7 \Omega \quad \text{no } 5'2 \Omega$$

$$I_{IFP} = \frac{20000 \cdot 1'1}{0'29637 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{20'37^2 + \left(\frac{5'7}{0'29637}\right)^2}} = 1529'815 \text{ A} \quad 1704'82 \text{ A}$$

$$\text{El tiempo } t = \frac{400}{1529'815} = 0'26147 \text{ s} \rightarrow 0'234629 \text{ s}$$

$$CPT - CT - A - (5'5 \times 10) + 8 P2$$

$$U_{p1} = K_p \cdot \rho_s \cdot I_E \rightarrow I_E = I_{IFP} \cdot r_E \rightarrow I_E = 1529'815 \cdot 0'29637 = 453'4 \text{ A}$$

$$U_{p1} = 0'00648 \cdot 390 \cdot 400 = 1010'88 \text{ V}$$

$$U_{p2} = K_{pa-t} \cdot \rho_s \cdot I_E \rightarrow U_{p2} = 0'02484 \cdot 390 \cdot 400 = 3875'04 \text{ V}$$

$$U_{p2}' = U_{pa} - \dots \quad U_{pa} = 10 \cdot U_c \quad U_c? \quad \text{Interpolamos.}$$

$$\frac{0'2 - 0'3}{528 - 420} = \frac{0'26147 - 0'2}{x - 528} \rightarrow \frac{1}{\frac{0'2 - 0'3}{528 - 420}} = x - 528$$

$$x = 528 - 66'3876 = 461'6124 \text{ V} = U_c \rightarrow U_{pa} = 4616'124 \text{ V}$$

$$U_{p2}' = 4616'124 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 390 + 3 \cdot 2095'8823}{1000} \right) = 57506'04V.$$

$$\beta_s = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{390}{3000}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right] = 0'69362748 \rightarrow \beta_s = 3000 \cdot 0'69362748 = 2095'8823$$

$$U_{p2}' > U_{p2} \quad \underline{\text{Cumple}} \rightarrow 57506'04 > 3875'04V.$$

$$R_{TSERVICIO} = K \cdot \rho_s \rightarrow 0'0852 \cdot 390 = 33'228 \Omega.$$

$$U_d = I_{diferencial} \cdot R_t \Rightarrow U_d = 0'03 \cdot 33'228 \Omega = 1V$$

$$u_d = 0'3 \cdot 33'228 \Omega = 10V > 24 \text{ cumple } \underline{\text{Reservil. secund.}}$$

Distancia mínima necesaria entre pas técnico y la de to CT.

$$D \geq \frac{390 \cdot 400}{2000 \Omega} = 24'82817m \sim 25 \text{ metros.}$$

$$\text{Nivel de aislamiento} \Rightarrow V < I_{fp} \cdot R_{TOT} = 1529'815 \cdot 6'037 = 9235'5V$$

$$9235'5V < 10000V \quad \text{cumple nivel aislamiento.}$$

Preguntas = ¿pasa o sea ¿sobresalen?

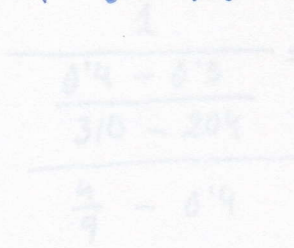
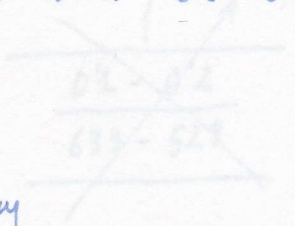
Se proyecta un Camión de Transmisión de Compañía de Iberchala. El Camión de transmisión está dispuesto e integrado a la intersección en 20kV, con una configuración de homín de 2x2, por otro lado se sabe que la red de alimentación es de 20kV y que alimenta a 8 CT's y en la subestación está puesta el neutro a tierra a través de zigzag 1000A.

Aplicados los criterios por MT... siendo la tensión 647 V.m.

- 1º) La corriente del defecto a tierra y del tiempo de eliminación del defecto:
- 2º) Tipo de puesta a tierra según código Iberchala para la puesta a tierra de protección:
- 3º) Cálculo de las tensiones de paso admisibles en el exterior de la instalación:
- 4º) Comprobación de que las tensiones de paso calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles:
- 5º) Diseño de la puesta a tierra de servicio:
- 6º) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio:
- 7º) Verificación del nivel de aislamiento, de los materiales de Baja tensión:

Elly Beltran Beltray

Elly Beltray



$$\left[\frac{1 - \frac{647}{3000}}{2 \cdot 0.6 + 0.406} \right] \Rightarrow 0.92830 \cdot 3000 = 2784.9$$

$$U_{p} = 20214 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 647 + 3 \cdot 2784.9}{2000} \right) = 35478.214 \text{ V} > 2782 \text{ V} \text{ cumple}$$

$$U_{p} = 0.0852 \cdot 647 = 55.2244 \quad U_{d} = 0.9 \cdot 55.2244 = 16.53 \text{ V} \text{ cumple } 2000 \text{ V}$$

$$I_{IFP} = \frac{1'1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} \quad (K_r) = 0'08164. \quad p_s = 647 \Omega_{cm}$$

$$(K_{pt-t}) = 0'01751.$$

$$(K_{p2-t}) = 0'04056.$$

Al ter 2x2 → 4x4

$$R_T = 647 \cdot 0'08164 = 52'82108 \Omega$$

$$R_{TOT} = \frac{52'82108 \cdot 7'104}{52'82108 + 7'104} = 6'1773 \Omega$$

$$R_{paralelos} = \frac{0'08784 \cdot 647}{8CT's} = 7'104 \Omega$$

$$r_E = \frac{6'1773}{52'82108} = 0'1169476 \quad X_{LTH} = 12'7 \Omega$$

$$I_{IFP} = \frac{1'1 \cdot 20000}{0'1169476 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{52'82108^2 + \left(\frac{12'7}{0'1169476}\right)^2}}$$

$$I_{IFP} = 900A$$

$$t = \frac{400}{900} = \frac{4}{9} s$$

$$2^a) \quad CPT-CT-A (4x4) + 8P2 \rightarrow I_E = 900 \cdot 0'1169476 = 105A$$

$$3^a) \quad U_{p1} = 0'01751 \cdot 647 \cdot 105'25 = 1192'374V$$

$$U_{p2} = 0'04056 \cdot 647 \cdot 105'25 = 2762' V$$

$$1) \quad U_C = \frac{1}{\frac{0'1 - 0'2}{633 - 528}} = \frac{1}{\frac{0'4 - 0'5}{310 - 204}} = X - 310 \rightarrow X = 262'89V$$

$$\frac{4}{9} - 0'4$$

$$X = C_s = 1 - 0'106 \left[\frac{1 - \frac{647}{3000}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right] \Rightarrow 0'72830 \cdot 3000 = 2184'9$$

$$U_{p2}' = 2628'4 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 647 + 3 \cdot 2184'9}{1000} \right) = 35478'84V > 2762' V \text{ CUMPLE.}$$

$$5) \quad R_{SERVICIO} = 0'0852 \cdot 647 = 55'1244 \quad U_d = 0'9 \cdot 55'1244 = 16'53V \text{ Difusor } 300mA.$$

2) Distancia mínima = $D \geq \frac{647 \cdot 105'25}{2000 \pi} = 10'83m \sim 10'84m$

3) $V = I_{zfp} \cdot R_{TOT} \Rightarrow 900 \cdot 6'1773 = 5560V < 10000$ CUMPLE:

Este sistema posee una dimensión de $4 \times 4m$, otro de $4 \times 2m$, otro de $4 \times 2m$ y otro de $5 \times 2m$.

Según las citadas dependencias por el MT 2.14.33-2014 y siendo máxima del turno 400 Sem por un turno en sábado, y para cubrir estas las unidades al turno son las más disponibles de los CTs ($6 \times 2m$) y ($5 \times 2m$) = 1000 Sem minutos que para los turnos $700 Sem$ $4 \times 2m$ = 680 Sem.

de acuerdo de depote a hora y del tiempo de eliminación del depote.

de parte a hora según el día sábado por parte a hora de trabajo.

de los turnos de por sábado en el sector de la instalación.

de que los turnos de por sábado son referidos a los otros turnos de sábado.

de la parte a hora de horas.

de acuerdo a norma sobre hora de protección y hora de emisión.

de acuerdo al nivel de aislamiento de la instalación de Baja Tensión.

de acuerdo a norma.

Se proyecta un centro de transformación de Compañía Iberdrola.

El Centro de transformación estará dispuesto en un edificio prefabricado de superficie cubierta con hormigón de dimensiones $2 \times 3'5$, por otro lado se sabe que la red de alimentación es de 20kV y que alimenta además a 4 Centros de Transformación con tierras conocidas a partir de su configuración de tierras UNESA. En las subestación está puesta al neutro a través de tierra con una reactancia de $5'2 \Omega$. $h_s = 0'2 \text{ m}$. BOE

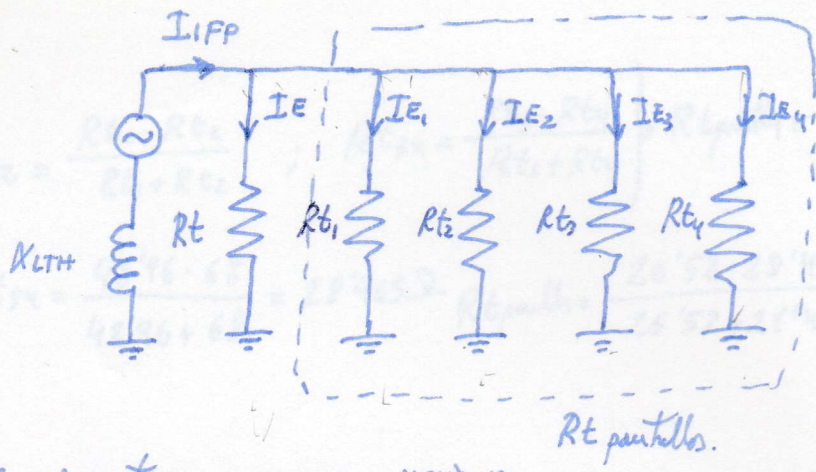
Los 4 CT's restantes parecen con dimensiones de $4 \times 4 \text{ m}$, otro de $6 \times 2 \text{ m}$, otro de 4×2 y otro de $5 \times 2 \text{ m}$.

Aplicando los criterios definidos por el MT 2.11.33 - 2014 y siendo la resistividad del terreno $400 \Omega \text{ m}$ para un centro en exterior, y para los demás centros las resistividades al terreno son las más desfavorables para los CT's ($6 \times 2 \text{ m}$) y ($5 \times 2 \text{ m}$) $\rightarrow 1000 \Omega \text{ m}$ mientras que para los $4 \times 4 \text{ m} \rightarrow 700 \Omega \text{ m}$ $4 \times 2 \text{ m} \rightarrow 680 \Omega \text{ m}$.

- 1º) La corriente de defecto a tierra y del tiempo de eliminación del defecto.
- 2º) Tipo de puesta a tierra según códigos Iberdrola para puesta a tierra de protección.
- 3º) Cálculo de las tensiones de paso admisibles en el exterior de la instalación.
- 4º) Comprobación de que las tensiones de paso calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles.
- 5º) Diseño de la puesta a tierra de servicio.
- 6º) Distancia mínima necesaria entre tierra de protección y tierra de servicio.
- 7º) Verificación del nivel de aislamiento de los materiales de Baja Tensión.

José Beltrán A. Beltrán

$$I_{1FP} = \frac{1'1 \cdot V_n}{I_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{V_E}\right)^2}}$$



Para saber $R_{pantallas}$ vamos a tener que averiguar R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} y R_{T4} por el método ONESA.

El primer CT tiene unas dimensiones 4×4 con $\rho_s = 700 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$. el anillo perimetral será un rectángulo de 8 pines sostenido a una profundidad de $0'5 \text{ m}$ con una longitud por pino de 2 metros (como en Iberchale).

El anillo pasa a ser 6×6 metros y según **(A2-23)** código ONESA 60-60/5/82 $K_r = 0'064$ — $K_p = 0'0134$ — $K_{pac} = 0'0285$, $\rho_s = 700 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

$$R_{T1} = 0'064 \cdot 700 = 44'8 \text{ } \Omega$$

El segundo CT tiene unas dimensiones de $6 \times 2 \text{ m}$ → el anillo será $8 \times 4 \text{ m}$ con los mismos características, 8 pines de 2 m sostenidos $0'5 \text{ m}$ en rectángulo. pero con una resistividad del terreno de $1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, según **(A2-31)** el código ONESA 80-40/5/82 $K_r = 0'065$ — $K_p = 0'0134$ — $K_{pac} = 0'0284$ $\rho_s = 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$

$$R_{T2} = 0'065 \cdot 1000 = 65 \text{ } \Omega$$

El tercer CT tiene unas dimensiones de 4×2 → el anillo será de $6 \times 4 \text{ m}$ con los mismos características, 8 pines, de 2 m , $0'5 \text{ m}$ con una resistividad del terreno $680 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ con el código ONESA 60-40/5/82 $K_r = 0'072$ $K_p = 0'0154$ $K_{pac} = 0'0321$ $\rho_s = 680 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

$$R_{T3} = 0'072 \cdot 680 = 48'96 \text{ } \Omega$$

El último trazo tiene unas dimensiones de $5 \times 2 \text{ m}$ → el anillo de $7 \times 4 \text{ m}$. código ONESA 70-40/5/82 $K_r = 0'068$ $K_p = 0'0143$ $K_{pac} = 0'0302$

$$R_{t4} = 0'068 \cdot 1000 = 68 \Omega$$

Reducimos el esquema $R_{t12} = \frac{R_{t1} \cdot R_{t2}}{R_{t1} + R_{t2}} ; R_{t34} = \frac{R_{t3} \cdot R_{t4}}{R_{t3} + R_{t4}} \left. \vphantom{\frac{R_{t1} \cdot R_{t2}}{R_{t1} + R_{t2}}} \right\} R_{t\text{paralelo}} = \frac{R_{t12} \cdot R_{t34}}{R_{t12} + R_{t34}}$

$$R_{t12} = \frac{44'8 \cdot 65}{44'8 + 65} = 26'52 \Omega \quad R_{t34} = \frac{48'96 \cdot 68}{48'96 + 68} = 28'465 \Omega \quad R_{t\text{paralelo}} = \frac{26'52 \cdot 28'465}{26'52 + 28'465} = 13'73 \Omega$$

$$R_{t\text{paralelo}} = 13'73 \Omega //$$

Pero en el peor de los casos se puede aplicar $R_{t\text{paralelo}} = \frac{kr' \cdot \rho_s}{NCTIS}$ siendo ρ_s la resistividad media de los centros y $kr' = 0'088$, pero se comprueba

$$\rho_s \text{ media} = \frac{1000 + 1000 + 700 + 680}{4} = 845 \Omega \text{m} \quad \frac{0'088 \cdot 845}{4} = 18'6 \Omega > 13'73 \Omega, \text{ por tanto}$$

el $13'73 \Omega$ está dentro de los valores admisibles.

Ahora procederemos a calcular nuestra curva... de dimensiones $2 \times 3'5$ que será un suelo de $4 \times 5'5$ Código Itechale CPT-CT-A-(4x5'5)+8P2

$$k_r = 0'07414 \quad k_{p \neq t} = 0'01555 \quad k_{p=t} = 0'03643 \quad \rho_s = 400 \Omega \text{m}$$

$$R_t = 0'07414 \cdot 400 = 29'656 \Omega \quad R_{\text{paralelo}} = 13'73 \Omega \quad R_{TOT} = \frac{29'656 \cdot 13'73}{29'656 + 13'73}$$

$$R_{TOT} = 9'38 \Omega \sim 9'385 \Omega \quad k_E = \frac{9'385}{29'656} = 0'31646153$$

$$k_{LTH} = 5'7 \Omega // \text{ no } 5'2 \Omega \rightarrow I_{IFP} = \frac{1'1 \cdot 20000}{0'31646153 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{29'656^2 + \left(\frac{5'7}{0'31646153}\right)^2}} = 1156'77 \text{ A}$$

El tiempo del defecto sea

$$t = \frac{400}{1156'77} = 0'3458 \text{ s} \quad \text{Para potencia } 52 \Omega \quad 2228 \text{ A} > 1156'77 \text{ A}$$

WUMPLE

$$I_E = I_{IFP} \cdot k_E \Rightarrow 1156'77 \text{ A} \cdot 0'31646153 = 366'073 \text{ A}$$

$$\text{Por los otros centros } I_{E1} + I_{E2} + I_{E3} + I_{E4} = (1 - k_E) \cdot I_{IFP} = 790'6968 \text{ A}$$

$44'8 + 65 + 48'96 + 68 = 226'76$ en proporción se tocará cada uno de los centros

$$1 = \frac{44'8}{226'76} = (1 - 0'197565) = 0'8024$$

$C_1 = 19'7565\%$ de la resistencia total

Contra menos R_t mas $I_T = \frac{V}{R}$

$C_2 = 28'664\%$ de la resistencia total

$C_3 = 21'5911\%$ "

$C_4 = 29'9876\%$ "

Haciendo mentiras dejamos que el porcentaje es 25%

Haciendo la media, se sabe que por cada CT la IE = 197'5A. ya que todos valen 25% de ese 790'69A.

$$U_{p1} = 0'01555 \cdot 366'073 \cdot 400 = 2276'976V$$

$$U_{p2} = 0'03643 \cdot 366'072 \cdot 400 = 5334'40V$$

$$C = X = 420 - \frac{1}{\frac{0'3 - 0'4}{420 - 310}} = 369'62V$$

$$C_s = 1 - 0'106 \cdot \left[\frac{1 - \frac{400}{3000}}{2 \cdot 0'1 + 0'106} \right]$$

$$C_s = 0'699782 \cdot 3000 = 2099'2100 \text{ } \Omega$$

$$U_{p2}' = 3696'2 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 2100}{2000} \right) = 46195'25V \gg 5334'4V.$$

$$U_{TSERVICIO} = 0'0852 \cdot 400 = 34'082 \cdot 0'3 = 10V > 24V. \text{ Diferencial } 300mA.$$

$$D7) \frac{400 \cdot 366'072}{2000 \Omega} = 23'3 \text{ metros}$$

$$V = 1156'77 \cdot 9'385 = 10856V > 10.000 \text{ NO CUMPLE}$$

$$V = I \cdot R \rightarrow I_E \cdot R_t \rightarrow 366'072 \cdot 29'656 = 10856V > \text{QUE NO CUMPLE}$$

Otros cables cumplen? $197'5 \cdot 44'8 = 8848V < 10000 \text{ CUMPLE.}$

$$197'5 \cdot 65 = 12837'5V > 10000 \text{ NO CUMPLE}$$

$$197'5 \cdot 48'96 = 9669'6 < 10000 \text{ CUMPLE.}$$

$$197'5 \cdot 68 = \text{NO CUMPLE}$$

P1.1 Un centro de transformación posee un transformador de 20/0.42 kV, en edificio prefabricado de hormigón de 5x3 metros. La resistividad del terreno sobre el que se ha construido es de 380 $\Omega \cdot m$. La puesta a tierra de protección está constituida por un rectángulo de 5x3 metros alrededor del CT con un conductor de cobre de 50 mm² de sección, enterrado a una profundidad de 0.8 metros y 4 picas verticales de 8 metros de longitud y 14 mm de diámetro situadas en los cuatro vértices del rectángulo, estando el resto de la subestación aislado de tierra. Determinar:

1) Código de los electodos de la configuración de la puesta a tierra de protección y valores de los coeficiente

→ 2) Intensidad de defecto a tierra, sabiendo que la línea de alimentación de 20 kV pertenece a una red que parte de una misma subestación con un total de línea aérea de 20 km y una longitud de línea subterránea de 4 km
 ¿Se puede utilizar guías?

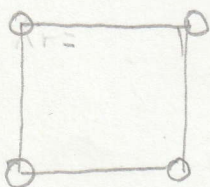
→ 3) Tensiones de paso y contacto máximas para la configuración elegida y tensiones de paso y contacto admisibles para un tiempo de duración del defecto de 0.3 segundos.

4) Tensión de defecto:

1) Para saber el código de electodos, nos vamos a el método UNESA, y allí en el anexo 2, página 2 tenemos un índice que recoge las configuraciones geométricas.

Nuestro rectángulo recae sobre la página 15 del citado anexo.

Asínticamente, nos fijamos a la profundidad que está enterrado, en nuestra caso un rectángulo de 5x3 a 0.8 m de profundidad de 4 picas verticales, cuya longitud es de 8 metros = L_p .



Esta es la configuración • Resistencia $K_r = 0.054 \Omega / (\Omega \cdot m)$

• Tensión de paso $K_p = 0.0079 \cdot V / (\Omega \cdot m) \cdot A$

• Tensión de contacto $K_c = K_p(\alpha) = 0.0203 \cdot V / (\Omega \cdot m) \cdot A$

Código de la configuración 50-30/8/48

2) La corriente de defecto se halla de la siguiente manera. PAGINA (14)

Si nos dicen que el hombre está aislado de tierra, la intensidad de defecto:

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

siendo U la tensión compuesta en voltios.

$W = 2\pi f$, C_a = capacidad homopolar de la línea aérea, que será talo que el proyectista determine otros valores, de $0'006 \mu F/km$

C_c = capacidad homopolar de los cables sobtenuesos, que será talo que el proyectista determine otros valores, de $0'25 \mu F/km$

L_a = longitud de la línea aérea; L_c = longitud de la línea sobtenuesos

R_t = resistencia de puesta a tierra de protección del centro, en ohmios, que se calcula $R_t = K_r \cdot \rho \rightarrow R_t = 0'054 \cdot 380 = 20'52 \Omega$, siendo ρ resistividad.

I_d = intensidad máxima de defecto a tierra.

I_d = intensidad máxima de defecto a tierra en el centro considerado.

$$I_d = \frac{\sqrt{3} \cdot 20000 (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 20 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 4)}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 20 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 4)^2 \cdot (3 \cdot 20'52)^2}} = 12'186 A //$$

3) los valores de la tensión de contacto máxima que puede soportar persona.

PAG 4

$$V_{max} = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1'5 P_s}{1000}\right) \quad \text{y la tensión de contacto que pasa por el CT}$$

$$V_{c \leq V_c} = K_p(a \cdot c) \cdot \rho \cdot I_d, \quad \text{si } V_c \leq V_{max} \quad \text{CUMPLE}$$

siendo $K = 72$ según página 3 para tiempos de $0'1$ a $0'9$ y $n = 1$.

La ten máxima aplicable al ser humano $V_{max} = \frac{72}{0'3^1} \cdot \left(1 + \frac{1'5 \cdot 380}{1000}\right) = 376'8 V$
entre mano y pies. También en página (9) GRÁFICO.

La tensión de contacto que pasa por el CT = $V_c = 0'0203 \cdot 380 \cdot 12'186 = 94 V$

$$V_c \leq V_{max} \quad 94 V \leq 376'8 V \quad \text{CUMPLE}$$

Cumple la tensión de contacto máxima que aparece.

Mientras que la tensión de pago según página 4 es $V_p = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6Ps}{1000}\right)$

Donde $V_{pmax} = \frac{10 \cdot 72}{0'31} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 380}{1000}\right) = 7872V$ también según página (8) GRAFICO

Y la tensión que pasa por el CT en caso de un defecto es

$$V_p = K_p \cdot P_s \cdot I_d \rightarrow V_p = 0'0079 \cdot 380 \cdot 12'186 = 36'58V$$

$$V_p \leq V_{pmax} \rightarrow 36'58 \leq 7872 \quad \text{SI CUMPLE}$$

4) la tensión de defecto $V_d = R_T \cdot I_d \rightarrow V_d = 20'52 \cdot 12'186 = 250'05V //$

también en la página 5, - $\frac{K}{t^n}$

*NOTA) $V_p(occ)$, si la resistencia es distinta para cada pie $\frac{10K}{t^n} \left(\frac{3Ps + 3Ps' + 1}{1000} \right)$

→

P2. Un sistema de puesta a tierra de un centro de transformación está formado por, la puesta a tierra de herrajes, varas o puesta a tierra de protección y a la puesta a tierra de tierras o del neutro transformador.

La puesta a tierra de herrajes se puede realizar conforme a los recomendaciones CNEC (RU), en forma de un chodo de 3×3 metros siendo el resto de parámetros:

- Sección del conductor 50 mm^2
- Longitud de las pizas: 2 m
- Diámetro de los picos 14 mm
- Número de pizas: 4
- Profundidad $0'5 \text{ m}$

Siendo la resistividad del terreno de $100 \Omega \cdot \text{m}$; el transformador se conectará en régimen TT, de $20/0'42 \text{ kV}$, tiempo de eliminación de un defecto por los dispositivos de protección de la subestación que lo alimenta $0'5$ segundos $n=72$ $u=1$ Determinar

1) Códigos de la configuración y los parámetros característicos k_r = (Resistencia de puesta a tierra), k_p = (tensión de paso máxima), k_c = (tensión de contacto exterior máxima):

2) El valor de la resistencia de la puesta a tierra para los herrajes:

3) La corriente de defecto:

4) la tensión de paso máxima en el exterior de la instalación.

5) la tensión de paso admisible en el exterior de la instalación.

6) la tensión de contacto máxima en el exterior de la instalación.

7) la tensión de contacto admisible en el exterior de la instalación

8) ¿Son correctos los valores obtenidos?

9) Tensión de defecto en una vara metálica: ¿Porque no es igual V_{ed}

10) Para efectuar la/s veras de puesta a tierra (pat) de baja tensión será necesario hincar piquetas, pero, ¿a que distancia deberían estar de esta puesta a tierra?

11) Distancia mínima a que deberían estar la (pat) del neutro del transformador, para que no existan tensiones inducidas en el neutro, esta puesta al existir un defecto en la puesta a tierra de protección.

NOTA: Se conoce que en la subestación el neutro está puesto a tierra a través de una resistencia de $R_N = 20 \Omega$; $X_N = 0 \Omega$

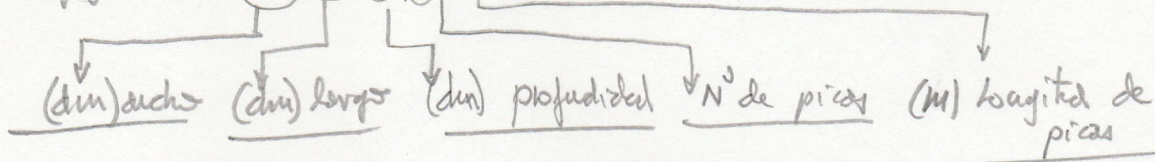
1)

Nos vamos al método UNEFA: ANEXO 2, PAG 2 $\rightarrow 3 \times 3 \text{ m} \rightarrow$ A2-PAG 8
 Profundidad de 0'5 metros. N° de picos = 4, $L_p = 2$ metros, tenemos los parámetros

(Resistencia) $K_r = 0'110 \Omega/(\Omega \cdot \text{m})$ (Tensión de paso) $= K_p = 0'0258 \text{ V}/(\Omega \cdot \text{m}) \text{ A}$

Tensión de contacto exterior $K_p = K_p \cdot \rho = 0'0563 \text{ V}/(\Omega \cdot \text{m}) \text{ A}$,

El código de la configuración = $(30)(30)(5)(4)2$ siendo



2) Según la página

$$R_{EP} = K_r \cdot \rho = 0'11 \cdot 100 = 11 \Omega$$

3) La corriente de defecto: es según la página 14 para neutro a tierra

$$I_d = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} = \text{siendo } R_n \text{ la resistencia del neutro y } R_t \text{ la del terreno.}$$

Siendo $R_t = K_r \cdot \rho = 0'11 \cdot 100 = 11 \Omega$ y $R_n = 20 \Omega$ y $X_n = 0 \Omega$

$$I_d = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(20 + 11)^2 + (0)^2}} = 372'484 \text{ A}$$

4)

4) la tensión de paso máxima en el exterior de la instalación:

$$V_p' = K_p \cdot \rho \cdot I_d \rightarrow V_p' = 0'0258 \cdot 100 \cdot 372'5 = 961'05 \text{ V.}$$

5) la tensión de paso admisible en el exterior de la instalación $K = 72 \cdot 0'1 - 0'04$

$$V_p = \frac{10K}{t^h} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0'5^1} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 100}{1000}\right) = 2304 \text{ V} // \text{ también en el } \rho \text{ ver PAG } (8)$$

Como $V_p' < V_p \rightarrow 961'05 < 2304$

6) la tensión de contacto máxima en el exterior de la instalación:

$$V_c' = K_c \cdot \rho \cdot I_d \rightarrow V_c' = 0'0563 \cdot 100 \cdot 372'5 = 2097'1V$$

7) la tensión de contacto admisible en el exterior de la instalación:

$$V_c = \frac{K}{t^n} \cdot \left(\frac{1'5 \cdot A_s}{1000} \right) = \frac{72}{0'51} \cdot \left(\frac{1'5 \cdot 100}{1000} \right) = 165'6V \quad \text{PAGINA 9 ~~12~~}$$

Como $V_c' < V_c$ NO SE CUMPLE es necesario rediseñar o tomar medidas de seguridad.
OPCIONES: 3

1° El suelo o pavimento se debe aislar de tierra las zonas peligrosas, mediante goma de neopreno.

2° Realizar conexiones equipotenciales entre la zona de acceso y el resto de elementos conductores accesibles desde el CT.

3° Los puentes y rejillos metálicos que den al exterior del centro, no tendrán contacto con zonas susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías y también se colocan en mallas $0'3 \times 0'3$, electrosoldado $\phi 4mm$ homocipon HM-150 10mm de espesor.

4) Tensión de defecto $V_d = R_t \cdot I_d \rightarrow V_d = 11 \cdot 372'5 = 4097'3V //$ SEGUN PAG 7

Y también gráficos? PAG 5 pas este gráfico a para AT, y como la diferencia de potencial que puede aparecer entre el neutro de BT y una tierra separada o ajena, no debe ser superior a 1000V.

$$\frac{4097'3V}{1000} =$$

$$V_d = \frac{K}{t^n} \neq R_t \cdot I_d$$

Esta tensión de defecto indica la tensión mínima que deberán resistir los materiales de baja tensión que formen parte del CT (es el nivel de aislamiento) a frecuencia industrial durante un minuto, será capaz de soportar tensión como mínimo de 4'1 kV.

10) Para que los tomas de tierra de los marcos de un centro de transformación sean independientes con respecto a la puesta a tierra de BT, se cumplirá que la resistividad por la intensidad de defecto sea inversamente proporcional a $2\pi \cdot r \cdot 1200V$, para regímenes de distribución de TT, siempre que el tiempo de eliminación del defecto sea inferior a 5 segundos, y la P_s no sea elevada

- Como mínimo esta distancia D será mayor a 15 metros según (ITC-BT-18/11) según página UNEJA- 21

$$D = \frac{P \cdot I_d}{2\pi \cdot U} \quad U = 0,8 \cdot 1500 = 1200V \quad D = \frac{100 \cdot 372,5}{2\pi \cdot 1200} = 4,9m$$

11) $D \geq 15m$ ES MENOR QUE 15m cumple

Distancia

$$D \geq \frac{P \cdot I_d}{2\pi \cdot U} = \frac{100 \cdot 372,5}{2\pi \cdot 1000} = 5,9m$$

La tensión máxima 1KV

A partir de esta distancia el proyectista definirá la disposición de las puestas a tierra de protección y de servicio sabiendo que el primer tramo de línea de puesta a tierra de servicio se realiza con cable aislado de 0,6/4 kV.

P1.3 Se proyecta un centro de transformación de abando y se elige un CT prefabricado de hormigón con dimensiones 4'55 x 2'55 m. Este centro de transformación está conectado a una red de Iherbala y se sabe que el neutro del transformador de alimentación a la red de 20kV está unido a tierra a través de una impedancia de $Z = 0 + 25'4 j \Omega$, estando definida la característica de actuación de los proteccion para el caso de faltas a tierra por la expresión $I_d \cdot t = 400$ siendo la corriente de arranque de dicho rele de 50A, por otro lado se ha determinado por el método de Werner que la resistividad del terreno es de 300 Ωm .

Para el diseño de los sistemas de puesta a tierra se ha elegido el método UNESA y se ha optado para la tierra de protección por un sistema 50-30/5/82, mientras que para la tierra de servicio se ha utilizado un sistema 5/62, por último el material eléctrico empleado en BT admite una sobretensión de 10kV. Determinar siguiendo los puntos indicados en el método UNESA la forma de los sistemas de puesta a tierra elegidos.

1) INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO

$\rho_s = 300 \Omega m$ con telonmetro. $4'55 \times 2'55 \approx 5 \times 3 \rightarrow 50-30/5/82$
 $k_r = 0'082$ $k_p = 0'0182$ $k_{p(cc)} = 0'0371$

2) DETERMINACION DE LAS CORRIENTES MAXIMAS DE PUESTA A TIERRA

$I_{dmax} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_n} \rightarrow I_d = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{25'4^2}} = 454'6 A$

$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_n^2}} \rightarrow I_d = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{5'46^2 + 25'4^2}} = 444'45 A$

$R_t = k_p \cdot \rho_s = R_t = 0'0182 \cdot 300 = 5'46 \Omega$

I_{dmax} $I_d \cdot t = 400 \rightarrow t = \frac{400}{I_{dmax}} = \frac{400}{454'6} = 0'88 s$

I_d $t = \frac{400}{I_d} = \frac{400}{444'45} = 0'9 s$

3 RECALCULO DE LA INSTALACION DE TIERRA: para 5/62

6 SEIS ??? NO PUEDE.

4) CALCULO RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRA:

5) CALCULO DE LAS TENSIONES DE PASO EN EL EXTERIOR

$$\bullet V_p' = K_p \cdot \rho \cdot I_d \rightarrow V_p' = 0'0182 \cdot 300 \cdot 444'45 = 2426'697 \text{ V} //$$

$$V_{pa} = V_c = V_p = \frac{10 \cdot 72}{0'9} \cdot \left(\frac{6 \cdot \rho_s}{1000} + 1 \right) = \frac{720}{0'9} \cdot \left(1 + \frac{1800}{1000} \right) = 2240 \text{ V} //$$

$$V_p' < V_p = 2426'697 < 2240 \text{ NO CUMPLE} //$$

$$\bullet V_{pa} = V_c = K_c \cdot \rho \cdot I_d \rightarrow V_{pa} = V_c' = 0'0371 \cdot 300 \cdot 444'45 = 4946'7285 \text{ V} //$$

$$V_c' < V_c \Rightarrow V_c = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1'5 \cdot \rho_s}{1000} \right) \rightarrow V_c = \frac{72}{0'9^2} \cdot \left(1 + \frac{1'5 \cdot 300}{1000} \right) = 116 \text{ V}$$

$$V_c' < V_c \rightarrow 4946'7285 \text{ V} < 116 \text{ V} \text{ NO CUMPLE} //$$

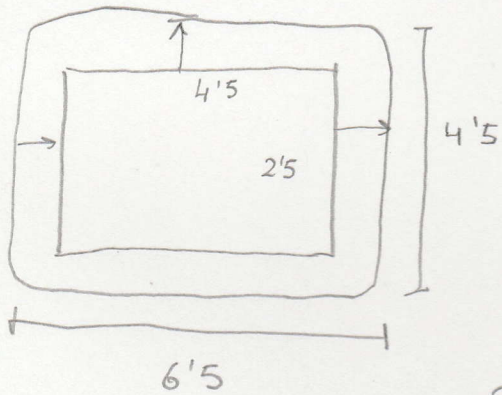
Disear el sistema de puesta a tierra de proteccion de un centro de transformacion subteraneo, de dimensiones en planta, 2'5m x 4'5m.

DATOS NECESARIOS:

- Tension nominal de la linea $U_n = 30 \text{ kV}$
- Intensidad maxima de falta a tierra $I_{IF} = 5000 \text{ A}$
- Resistividad del terreno: $\rho = 500 \text{ } \Omega \text{m}$
- Caracteristicas de actuacion de las protecciones $I'_{IFp} \cdot t = 2200$
- Tipo de pantallas de los cables: Conectada a un CT
- Numero de CTs conectados a tierras de pantallas $N = 18$.
- Electrodo utilizado:

CON CALZADO

para $U_n = 30 \text{ kV}$ segun PAG 38/51 para (CTPS)



CPT-CT-A-(4'5x6'5)+8P2

$K_r = 0'06437 \text{ } \Omega / \Omega \text{m}$

$K_{p\text{tt}} = 0'00847 \text{ V} / \Omega \text{m(A)}$

$K_{p\text{at}} = 0'03137 \text{ V} / \Omega \text{m(A)}$

$N = 18$

$N = 14 \text{ } 400 \text{ } \Omega \text{m}$

$N = 22 \text{ } 600 \text{ } \Omega \text{m}$

Podemos concluir que $\rho = 500 \text{ } \Omega \text{m}$ está dentro de los valores para $N = 18 \text{ CTs}$.

$I'_{IFp} < 5000 \text{ A}$ y que para

$I'_{IFp} \cdot t = 2200$ segun PAG 27/51 y 19/51 $U_n = 30 \text{ kV}$.

Como desconocemos como está la puesta a tierra, como $K_r' = 0'088 \text{ } \Omega / \Omega \text{m}$ que es el dato más desfavorable.

• Resistencia de tierra del CT:

60 > 35 PAG 41

$\rightarrow R_T = \text{Resistencia de tierra del CT} \Rightarrow R_T = K_r \cdot \rho \rightarrow R_T = 0'06437 \cdot 500 = 32'185 \text{ } \Omega //$

$\rightarrow R_{pant} = \text{Resistencia de pantallas} \Rightarrow R_{pant} = \frac{\rho \cdot K_r'}{N} \rightarrow R_{pant} = \frac{500 \cdot 0'088}{18} = 2'444 \text{ } \Omega //$

$\rightarrow \text{Resistencia total} \Rightarrow R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}} \Rightarrow R_{TOT} = \frac{32'185 \cdot 2'44}{32'185 + 2'44} = 2'268 \text{ } \Omega //$

$$r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} = \frac{2'268}{32'185} = 0'07$$

como $R_T < p_{max}$ de la PAG 38/51 $32'185 < 500$ cumple el criterio

La reactancia equivalente de la subestación según PAG 46/51 la pone $X_{LTH} = 3'81 \Omega$ de donde no lo se, pero la pone.

Como me dicen que el CT está conectado a las puntillas de tierra

$$I'_{2F} = \frac{1'1 \cdot 0 \text{ MVA}}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} \rightarrow \frac{1'1 \cdot 30000}{0'07 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{32'18^2 + \left(\frac{3'81}{0'07}\right)^2}} = 4304'425 \text{ A} //$$

Cump... $X_{LTH} = 3'81 \Omega$ ¿Como la saco?

• Determinación de la tensión de pico máxima que aparece en la instalación

a) Con los dos pies en el terreno:

Res:

$$U'_{p1} = k_{ptt} \cdot \rho \cdot I_E \quad \text{siendo } I_E = r_E \cdot I'_{2F} \rightarrow I_E = 0'07 \cdot 4304'425 = 301'3097$$

$$U'_{p1} = 0'00847 \cdot 500 \cdot 301'3097 = 1276'047 \text{ V} //$$

b) Con un pie en la cen y el otro en el terreno:

$$U'_{p2} = k_{pat} \cdot \rho \cdot I_E \rightarrow \text{siendo } I_E = r_E \cdot I'_{2F} \rightarrow U'_{p2} = 0'03137 \cdot 500 \cdot 301'3097 = 4726'0426 \text{ V} //$$

• Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona:

c) Con los dos pies en el terreno:

$$U_{pa1}' = \frac{U_{p1}'}{1 + \frac{3R_{a1} + 6\rho_s}{Z_b}} \Rightarrow U_{pa1}' = \frac{1276'047}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 6 \cdot 500}{1000}} = 159'5V //$$

d) Con un pie en la cara y el otro en el terreno:

$$U_{pa2}' = \frac{U_{p2}'}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3 \cdot \rho_s^*}{Z_b}} \Rightarrow U_{pa2}' = \frac{4726'0426}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 500 + 3 \cdot 3000}{1000}} = 304'9V //$$

• Determinación de la densidad de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones).

$$t = \frac{2200}{I_{1F}} \Rightarrow t = \frac{2200}{4304'425} = 0'511s$$

- Determinación de la tensión de paso admisible establecida: RCE

$$\text{Como } U_{pa} = 10 \cdot U_{ca} \rightarrow 10 \cdot U_{ca} \rightarrow 10 \cdot 204 = 2040V$$

SIN CALZADO

DAG

- Al mismo electrolito a utilizar: CPT-CT-A-(4'5 x 6'5) + 8 P2
- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona

e) Con los dos pies en el terreno:

$$U'_{pa1} = \frac{U_{p2}}{1 + \frac{6Ps}{Zb}} \rightarrow \frac{1276'047}{1 + \frac{6 \cdot 500}{1000}} = 319V //$$

f) Con un pie en la tierra y el otro en el terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U_{p2}}{1 + \frac{3Ps + 3Ps^*}{Zb}} = \frac{4726'6426}{1 + \frac{3 \cdot 500 + 3 \cdot 3000}{1000}} = 411V //$$

Como $U_{pa} = 10U_{ca} \dots 2060 > \dots$

- Tensión que aparece en la instalación $V = I_{1F}' \cdot R_{TOT} \Rightarrow V = 4304'425 \cdot 2'268$

$$V = 9762'436V // < 10000V ?$$

Se debe proyectar una instalación de puesta a tierra de los apoyos de una línea aérea sin cables de tierra, y de tensión nominal, $U_n = 20 \text{ kV}$, en la que existen tantos apoyos frentales como no frentales, suponiendo que el terreno tiene una resistividad media $\rho = 400 \Omega \cdot \text{m}$ y que la cimentación de los apoyos es un dabo de hormigón de $1'2 \times 1'2 \text{ m}$

A continuación se estudiarán dos situaciones distintas:

• CASO 1: NEUTRO DEL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACION PUESTO A TIERRA:

- La línea parte de una subestación en la que el transformador está dispuesto a tierra a través de una reactancia de valor, $X_n = 5'7 \Omega$. Por otra parte, las protecciones de sobrecorriente homopolar actúan en tiempos menores que los indicados por la curva $I_{F1} \cdot t = 400$
- El transformador de la subestación del que parte la línea tiene una potencia nominal de 25 MVA y una tensión de cortocircuito del 10%

• CASO 2: NEUTRO AISLADO

- La línea parte de una subestación en la que el transformador tiene su neutro aislado de tierra. Dicho transformador alimenta 20 km de líneas subterráneas y 10 km de líneas aéreas. El tiempo de actuación de las protecciones con relés direccionales de impedancia homopolar es fijo, con un valor de 0'3 segundos, a partir de una intensidad de ensayo de 0'5 A.

CASO 1: • Diseñemos preliminarmente la puesta a tierra mediante un electrodo en forma de pica, de 2 m de longitud.

$$R = \frac{\rho}{L} = \frac{400 \Omega \cdot \text{m}}{2 \text{ m}} = 200 \Omega //$$

- Teniendo en cuenta que el neutro del transformador de la subestación está puesto a tierra por una reactancia, se puede calcular la intensidad de defecto según

$$\rightarrow I_{F1} = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_n^2 + (R_n + R)^2}} \rightarrow I_{F1} = \frac{1'1 \cdot 20\,000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{5'7^2 + (0 + 200)^2}} = 63'48 \text{ A} //$$

Teniendo en cuenta la impedancia del transformador: q que

$$\vec{I}_{F1} = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{3 \cdot \vec{Z}_n + 3 \cdot R} \rightarrow \text{siendo } \vec{Z}_n = R_n + j \cdot X_n, \text{ siendo } X_n = \frac{U_{cc} \cdot U_n^2}{S_{nom}}$$

$$\text{Quedando } \vec{I}_{F1} = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{3 \cdot \vec{Z}_n + 2 \cdot j \cdot \frac{U_{cc} \cdot U_n^2}{S_{nom}} + 3R} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1'1 \cdot 20000}{3 \cdot 5'7j + 2 \cdot \frac{0'1 \cdot 20000^2}{25 \cdot 10^6} + 3 \cdot 200} = 63'47A //$$

Algo menor, así que, utilizaremos el dato anterior, es mas desfavorable y mas simple de utilizar.

$$I_{1F}' = 63'48A //$$

El tiempo de actuación de la protección será: $t = \frac{400}{I_{1F}'} \rightarrow t = \frac{400}{63'48} = 6'3 \text{ seg}$

Al tratar de apoyos no fijos, la única condición es garantizar la actuación de las protecciones por lo tanto el tiempo es menor que 10s y es válido ya que la probabilidad de tocar al ser no fijos es muy baja en esos 10 segundos.

APOYO \Rightarrow • Se realiza un diseño con electrodos normalizados con unida de 3'2m x 3'2m

CON CALZADO

$k_r = 0'113 \Omega / \Omega m \rightarrow$ Calculamos la resistencia de puesta a tierra:

$$R = k_r \cdot p \Rightarrow R = 0'113 \cdot 400 = 45'2 \Omega //$$

• Calculamos la intensidad de defecto $I_{F1}' = \frac{1 \cdot 1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_n^2 + R^2}}$

$$I_{1F}' = \frac{1'1 \cdot 20000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{5'7^2 + 45'2^2}} = 278'8A //$$

• El tiempo de actuación de las protecciones $t = \frac{400}{I_{1F}'} \rightarrow \frac{400}{278'8} = 1'43s //$

A partir de la tensión de contacto aplicada se puede calcular la máxima tensión de contacto admisible para la instalación: $U_a = 95V$

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(\frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1'5 \frac{2000}{1000}}{1000} + 1 \right) \rightarrow U_c = 95 \cdot \frac{\frac{2000}{2} + 1'5 \cdot 400}{1000} = 247V //$$

Por otro lado $k_c = 0.035 \text{ V}/(\Omega \cdot \text{A})$

- la tensión de contacto presente en la instalación es

$$U_c' = k_c \cdot \rho \cdot I_F' = 0.035 \cdot 400 \cdot 278.8 = 3891 \text{ V} //$$

$$U_c' < U_c \rightarrow 3891 \text{ V} < 247 \text{ V} \quad \text{NO CUMPLE}$$

- la tensión de paso aplicada admisible se obtiene $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$

$$U_{pa} = 10 \cdot 95 = 950 \text{ V} //$$

- la tensión de paso admisible con los dos pies en el terreno es:

$$U_{p1} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_a + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right] \Rightarrow U_p = 950 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 6 \cdot 400}{1000} \right) = 7030 \text{ V} //$$

- la tensión de paso de alarma para dos pies en el terreno y otro en la cord:

$$U_{p2} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_a + 3 \cdot \rho_s + 3 \cdot \rho_s^*}{1000} \right] \Rightarrow U$$

$$U_{p2} = 950 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 3000}{1000} \right) = 14400 \text{ V} //$$

- las máximas tensiones de paso $k_{p1} = 0.023 \text{ V}/(\text{A} \cdot \Omega \cdot \text{m})$

$$U_{p1}' = k_{p1} \cdot \rho \cdot I_F = 0.023 \cdot 400 \cdot 278.8 = 2564.96 \text{ V} //$$

$$U_{p2}' = k_{p2} \cdot \rho \cdot I_F = 0.065 \cdot 400 \cdot 278.8 = 7249 \text{ V} //$$

$$U_{p1}' < U_p \quad U_{p2}' < U_p \quad 2564.96 < 7030 \quad ; \quad 7249 < 14400$$

SI CUMPLE

APOYO

SIN CALZADO

Al utilizarse las medidas adicionales de seguridad, (deca equipotencial), la tensión de contacto presente en la instalación se puede considerar nula y solo hay que comprobar la tensión de paso admisible, tanto en el terreno como de acero.

• Tensión de paso admisible con los dos pies en el terreno:

$$U_{p1} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1000}\right) \Rightarrow U_{p1} = 950 \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 400}{1000}\right) = 3230V //$$

• Tensión de paso admisible de acero en caso un pie en el terreno y otro en la acera.

$$U_{p2} = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_s + 3 \cdot \rho_s^*}{1000}\right) \Rightarrow U_{p2}' = 950 \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 400 + 3 \cdot 3000}{1000}\right) = 10640V$$

• Los valores de la tensión de paso que pueden aparecer en una instalación son los ya calculados anteriormente

$$U_{p1}' < U_{p1} ; U_{p2}' < U_{p2} \quad \left. \begin{array}{l} U_{p1}' = 2565V \\ U_{p2}' = 7249V \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} 2565V < 3230 \\ 7249V < 10640 \end{array} \right\} \text{SI CUMPLE}$$

CASO 2: Transformador con neutro aislado:

CÓN CALZADO

Se utiliza un diámetro preliminar mediante un electrodo en forma de placa de 2m

$$\rho = 400 \Omega m \rightarrow R = \frac{\rho}{2} \rightarrow \frac{400}{2} = 200 \Omega //$$

• La Intensidad de defecto a tierra aplicando $I_F = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n (W \cdot C_a \cdot L_a + W \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + (W \cdot C_a \cdot L_a + W \cdot C_c \cdot L_c)^2 \cdot (3 \cdot R)^2}}$
Ya que el neutro está aislado.

Se tiene que $C_a = 0'006 \mu F/km$ $W = 2\pi f$ $L_c = 20 km$
 $C_c = 0'25 \mu F/km$ $L_a = 10 km$

$$I_F = \frac{\sqrt{3} \cdot 11 \cdot 20000 \cdot (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 20)}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 20)^2 \cdot (3 \cdot 200)^2}} = 43'8 A //$$

Para Apoyo fuentado

$$R = k_r \cdot \rho \Rightarrow R = 0'113 \cdot 400 = 45'2 \Omega$$

La corriente de falta sera:

$$I_F = \frac{\sqrt{3} \cdot 11 \cdot 20000 \cdot (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 20)}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0'006 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0'25 \cdot 10^{-6} \cdot 20)^2 \cdot (3 \cdot 45'2)^2}} = 59'2 \text{ A} //$$

- El tiempo de retraso de los proteccion es 0'3 segundos.

Por lo tanto $0'3s \rightarrow U_{ca} = 420V$

• Tension de contacto aplicada = $U_{ca} = 420V$

• Tension maxima de contacto admisible para la instalacion es de:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1'5 A_s}{Z_b} \right) \Rightarrow U_c = 420 \cdot \left(1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1'5 \cdot 400}{1000} \right) = 1092V //$$

• Tension de contacto maxima presente en la instalacion:

$$U_c' = k_c \cdot \rho \cdot I_F \rightarrow U_c' = 0'035 \cdot 400 \cdot 59'2 = 829V //$$

$$U_c' < U_c \rightarrow \text{CUMPLE} \rightarrow 829 < 1092V \rightarrow \text{CUMPLE.}$$

• SIN CALZADO se mantienen los datos anteriores

$$R = 45'2 \Omega ; I_F = 59'2 \text{ A}$$

$$t = 0'3s ; U_{ca} = 420V$$

• Tension maxima de contacto admisible para la instalacion:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1'5 \rho_s}{Z_b} \right) \Rightarrow U_c = 420 \cdot \left(1 + \frac{1'5 \cdot 400}{1000} \right) \Rightarrow U_c = 672V //$$

$U_c' < U_c \rightarrow 829 < 672V$ NO CUMPLE, una soluci3n seria construir una zorra perimetral de 1'25m alrededor del apoyo

$$\rho_s = 3000 \Omega \text{ m}$$

$$U_c = 420 \cdot \left(1 + \frac{1'5 \cdot 3000}{1000} \right) = 2310 \rightarrow 829 < 2310V \text{ SI CUMPLE}$$

• Tensiones de paso de la instalación

$$U_{pa} = 10 \text{ kV} \Rightarrow U_{pa} = 10 \cdot 420 = 4200 \text{ V}$$

• Tensión de paso admisible con los dos pies en el tenedor:

$$U_{p_1} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{6 \cdot P_s}{1000} \right] \rightarrow U_{p_1} = 4200 \cdot \left[1 + \frac{6 \cdot 400}{1000} \right] = 14280 \text{ V}$$

• Tensión de paso de exceso admisible con un pie en el tenedor y otro en la zanja:

$$U_{p_2} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{3P_s + 3P_s^*}{1000} \right] \rightarrow U_{p_2} = 4200 \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot 400 + 3 \cdot 3000}{1000} \right] = 47040 \text{ V}$$

Por otra parte, la tensión de puesta a tierra del apoyo se puede calcular como:

$$U_E = R \cdot I_F \rightarrow U_E = 45'2 \cdot 59'2 = 2676 \text{ V}$$

$U'_{p_1} < U_{p_1}$; $U'_{p_2} < U_{p_2} \rightarrow$ Siendo U_{p_1} y U_{p_2} inadmisibles de U'_{p_1} y U'_{p_2}

CUMPLE

Diseñar el sistema de puesta a tierra de un centro de transformación prefabricado de hormigón, emplazado en la superficie, de dimensiones en planta 2m x 3m

Datos necesarios:

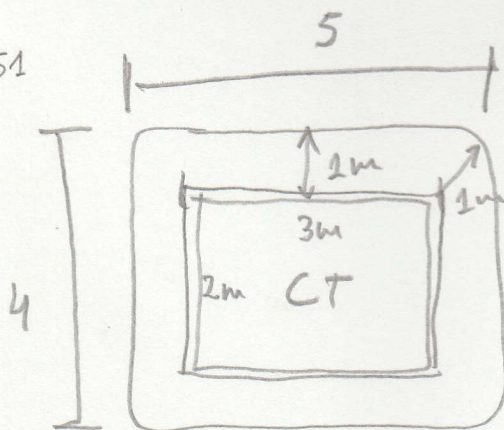
- Tensión nominal de la línea $U_N = 20 \text{ kV}$
- Intensidad máxima de falta a tierra $I_{F1} = 2228 \text{ A}$
- Resistividad al terreno $\rho = 700 \Omega \cdot \text{m}$
- Características de extensión de las propiedades de protección: $I_{F1} \cdot t = 400$
- Tipo de puntallas de los cables: Cableada a un CT
- Numero de CTs conectados a través de los puntallas: $N = 8$

Si logisimos entre datos del enunciado, según tabla para CTS en PAG 33/51 $N = 8 \text{ CTs} = \rho_{max} \cdot x = 700 \Omega \cdot \text{m}$ para $I_{F1} = 2228 \text{ A}$

$$U_N \leq 20 \text{ kV} \quad t = \frac{400}{I_{F1}}$$

La Resistencia XLTA se escoge a partir de I_{F1} , tabulada en PAG 17/51

PAG 21/51



Como sabes, el anillo debe estar a 1m colindante de el emplazamiento

ELECTRODO UTILIZADO PAG 33

CPT-CT-A-(4x5)+8P2

$$K_r = 0'07643 \Omega / \Omega \cdot \text{m} \quad K_p = 0'01613 \text{ V} / (\Omega \cdot \text{m}) \cdot \text{A}$$

$$K_{pant} = 0'05768 \text{ V} / (\Omega \cdot \text{m}) \cdot \text{A}$$

PAG 41

Como no se como estará el sistema de tierras con el mas des favorable

también: $K_r = 0'088 \Omega / \Omega \cdot \text{m}$

PAG 15/51

- Valor inferior al exigido $100 > 53'5 \rightarrow$ TABLAS 33/51

PAG 23/51

• Resistencia de tierra del CT: $R_T = K_r \cdot \rho_s \rightarrow R_T = 0'07643 \cdot 700 = 53'5 \Omega$

• Resistencia de puntalla = $R_{pant} = \frac{\rho \cdot K_r'}{N} \rightarrow R_{pant} = \frac{700 \cdot 0'088}{8} = 7'7 \Omega$ PAG 23/51

• Resistencia total: $R_{TOT} = \frac{R_T \cdot R_{pant}}{R_T + R_{pant}} = \frac{53'5 \cdot 7'7}{53'5 + 7'7} = 6'73 \Omega //$ 18/51 PAG

• Resistencia equivalente = $r_E = \frac{R_{TOT}}{R_T} \Rightarrow r_E = \frac{6'73}{53'5} = 0'1258 //$ 18/51 PAG

• Resistencia equivalente de la subestación según la PAG 17/51 la $I_{1FP} = 2228 A$ por lo tanto la reactancia a tierra sea $5'2 \Omega$ y la equivalente $X_{LTH} = 5'7 \Omega //$

• Cálculo de la intensidad de defecto: para conexión a tierra del neutro a la red? ?

19/51
27/51
33/51
46/51

$$I_{1FP} = \frac{1'1 \cdot U_n}{r_E \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + \left(\frac{X_{LTH}}{r_E}\right)^2}} = \frac{1'1 \cdot 20000}{0'125 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{53'5^2 + \left(\frac{5'7}{0'125}\right)^2}} = 1445'5 A //$$

Objetivo de evitar riesgo por tensión de contacto en el exterior...

No hay tensión de contacto ya que no hay diferencia de potencial entre el operario y el CT porque todo está a masa / o a tierra.

CON CALZADO

• Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación

a) Con dos pies en el terreno: el terreno: según PAG 21/54

$U_{p1} = K_p \cdot \rho_s \cdot I_E$ siendo $I_E = r_E \cdot I_{1FP}$ al ser un CT con puntallos
 conectados a tierra. siendo $I_E = 0'125 \cdot 1445'5 A = 180'6875 A$

$U_{p1} = 0'01613 \cdot 700 \cdot 180'6875 = 2040'142 V //$

b)

$$C_s = 1 - 0'106 \cdot \left(\frac{1-p}{1-p} \right)$$

b) Con un pie en la arena y el otro en el terreno:

$$U_{p2}' = I_{pat} \cdot \rho_s \cdot I_E \quad \text{siendo} \quad I_E = I_E \cdot I_{af}' = I_E = 0'125 \cdot 1445'5 = 180'6875 A$$

$$U_{p2}' = 0'03768 \cdot 700 \cdot 180'6875 = 4765'8135 V //$$

* $\rho_s =$

• Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona

c) Con los dos pies en el terreno: según PAG 10/51 * $\rho_s =$ homigeas

$$U_{pa} \quad U_{paccens}_1 = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b} \right] \quad \text{siendo dos pies en el mismo terreno } [\rho_s = \rho_s^*] \text{ por lo tanto}$$

$$\text{PAG } 22/51 \quad U_{paccens}_1 = \frac{U_{p1}'}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{Z_b}} \rightarrow U_{paccens} = \frac{2040'142}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 6 \cdot 700}{1000}} = 221'75 V$$

PAG 10/51

• Siendo $R_{a1} =$ Resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante
 $R_{a1} = 2000 \Omega$

• Siendo $Z_b =$ Impedancia del cuerpo humano - Se considera 1000Ω entre?
 $Z_b = 1000 \Omega$

d) Con un pie en la arena y el otro en el terreno:

$$U_{pa}_2' = \frac{U_{p2}'}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_s + 3\rho_s^*}{Z_b}}$$

$$U_{pa}_2' = \frac{4765'8135}{1 + \frac{2 \cdot 2000 + 3 \cdot 700 + 3 \cdot 3000}{1000}}$$

siendo ρ_s^* resistividad de la capa superficial del homigeas = $3000 \Omega m$, ya que la arena perimetral es de ese material normalmente.

$$U_{pa}_2' = 296'0132 V //$$

- Determinación de la densidad de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones).
- Según la PAG 9/51 y 19/51 para tensiones $U_N \leq 20\text{ kV}$ según PAG 27/51

$$t = \frac{400}{I_{1F}} \Rightarrow t = \frac{400}{1445'5} = 0'2767 \text{ seg}$$

- Determinación de la tensión de paso admisible establecida por el RCE

Como la tensión de paso debe ser 10 veces la tensión de contacto, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no sea superior a

$$U_{pa} = 10 \cdot U_{ca} \rightarrow U_{ca} = \text{para } 0'2767 \text{ s} \quad \begin{array}{l} U_{ca} \rightarrow 0'2 \text{ s} \rightarrow 528 \text{ V} \\ \text{PAG 9/51} \\ 0'3 \text{ s} \rightarrow 420 \text{ V} \end{array}$$

Interpolamos

$$U_{ca} 0'27 = 452'4 \text{ V}$$

$$U_{pa} = 10 \cdot 452'4 = 4524 \text{ V}$$

$$U_{pa1}' < U_{pa} \quad \text{y} \quad U_{pa2}' < U_{pa} \rightarrow 221'75 < 4524 \quad \text{y} \quad 296'0132 < 4524$$

AMBOS CUMPLEN

SIN CALZADO \rightarrow Utilizamos el mismo electrodo ya que cumple la Resistencia a tierra $100 > 53'5 \Omega$

- Determinación de la tensión máxima aplicada a la persona.

e) Con los dos pies en el terreno

$$U_{paso \text{ del } \underline{\text{paso}}} = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{\cancel{2R_{a1}} + 3P_s + 3P_s^*}{Z_b} \right]$$

$P_s^* = P_s$ los dos pies en el terreno \rightarrow 6 Ps

$$U_{pa1}' = \frac{U_{p1}'}{1 + \frac{6P_s}{Z_b}} = \frac{\text{SIN CALZADO } 2040'142}{1 + \frac{6 \cdot 700}{2000}} = 392'335 \text{ V} //$$

f) Con un pie en la arena y el otro en el terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{3\rho_s + 3\rho_s^*}{z_b}}$$

teugo el otro pie en la cen perimetral
de hormigón $\rho_s^* = 3000 \Omega m$

$$U'_{pa2} = \frac{4765'8135}{1 + \frac{3 \cdot 700 + 3 \cdot 3000}{1000}} = 393'8688 V //$$

Como $U'_{pa1} < U_p$ y $U'_{pa2} < U_p$ CUMPLEN / $392'335 < 4524 V$

$$393'8688 < 4524 V$$

Tensión que aparece en la instalación

¿Tensión de defecto? V_d ?

$$V = I'_{1FP} \cdot R_{TOT} \quad \text{segun la PAG 23/51}$$

$$V = 1445'5 \cdot 6'73 = 9728'215 V //$$

$$V \neq V$$

$$9728'215 < 10000 V \quad \text{COMPLE}$$

?

10 kV → material
Aislant