Sistemas de Puesta a Tierra en Instalaciones de Baja Tensión

CIE 20201020

Expectativas de logro:

Reconocer las funciones y objetivos de un sistema de puesta a tierra

Definir los parámetros que determinan la resistencia de un sistema de puesta a tierra

Analizar los esquemas de conexión a tierra

Simular la medición de sistemas de puestas a tierra

Definición

La puesta a tierra de una instalación comprende toda unión conductora ejecutada en forma directa, sin fusible ni protección alguna, y de sección suficiente entre las partes metálicas no activas de la instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el terreno

Definiciones

VEI 195-01-11

Puesta a tierra de protección: es la puesta a tierra de uno o más puntos de una red, de una instalación o de un equipo o material por razones de seguridad eléctrica.

VEI 195-01-13

Puesta a tierra de servicio: es la puesta a tierra de uno o más puntos de una red, de una instalación o de un equipo o material por razones *distintas* a las de seguridad eléctrica.

Función principal

Derivar a tierra las corrientes de cualquier naturaleza que se pueden originar, ya sea debidas a descargas atmosféricas (corrientes de alta frecuencia) o se trate de corrientes de falla por contacto accidental con conductores de mayor tensión (corrientes de defecto a frecuencia industrial).

Funciones principales

También tiene como funciones:

- ✓ Limitar la tensión ante condiciones de operación normales, de manera que cualquier equipo conectado al sistema, sólo esté sujeto a un cierto nivel de tensión relativo a tierra.
- ✓ Facilitar la operación de los dispositivos de protección, tales como fusibles, interruptores automáticos, con actuación termomagnética o electrónica, interruptores diferenciales o similares cuando hay un defecto simple que derive corriente a tierra

Resistencia de puesta a tierra

Comprende la suma de las siguientes partes:

- Resistencia del conductor
- Resistencia de contacto
- Resistencia del suelo

Resistencia del conductor

Se determina por los procedimientos usuales:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad [\Omega]$$

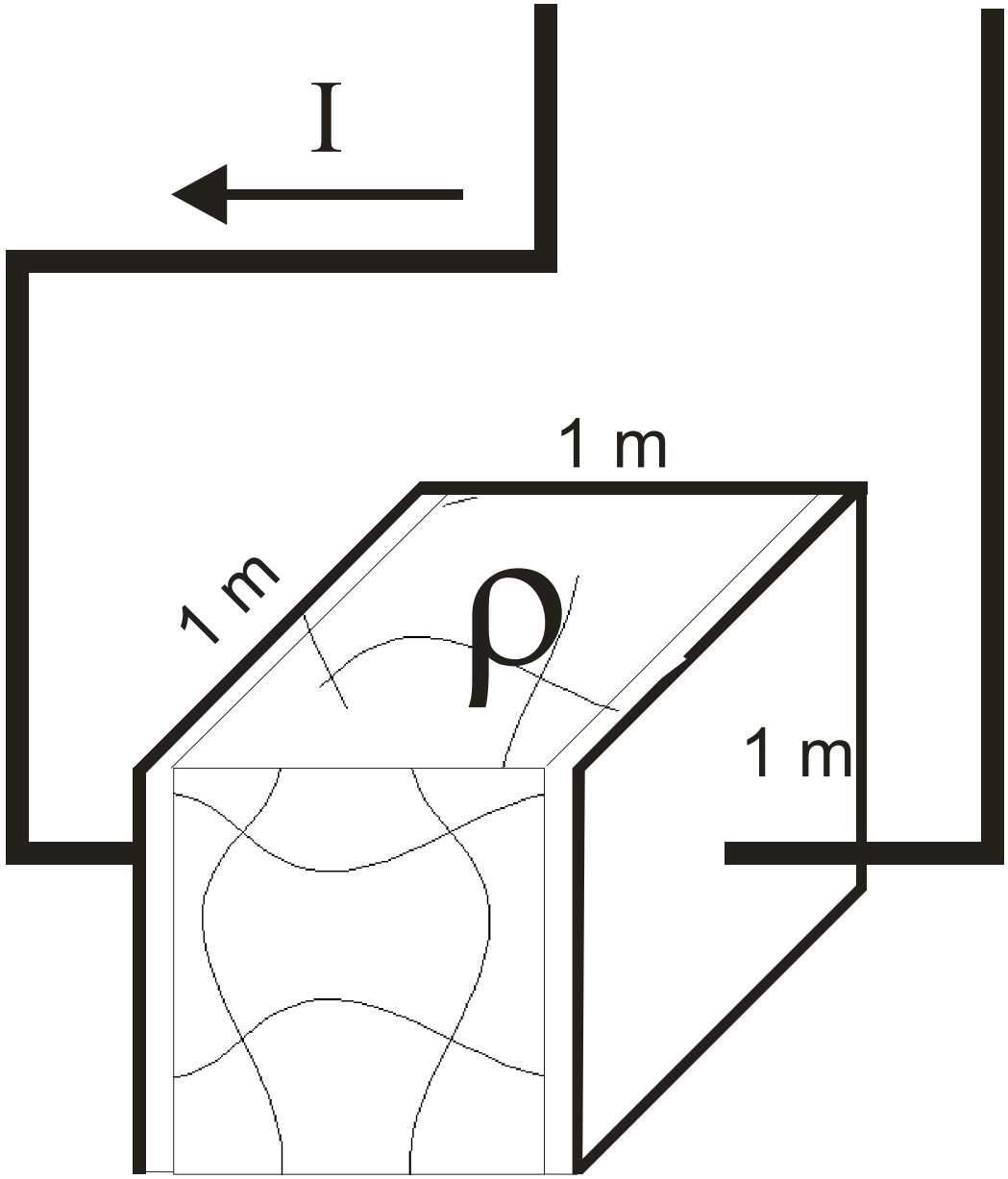
$$Cu: \quad \rho = \frac{1}{58} \left[\frac{\Omega \ mm^2}{m} \right]$$

$$Al: \quad \rho = \frac{1}{35} \left[\frac{\Omega \ mm^2}{m} \right]$$

Resistencia de contacto

Es la resistencia de contacto entre la superficie del electrodo y el terreno que lo rodea.

Resistividad del terreno



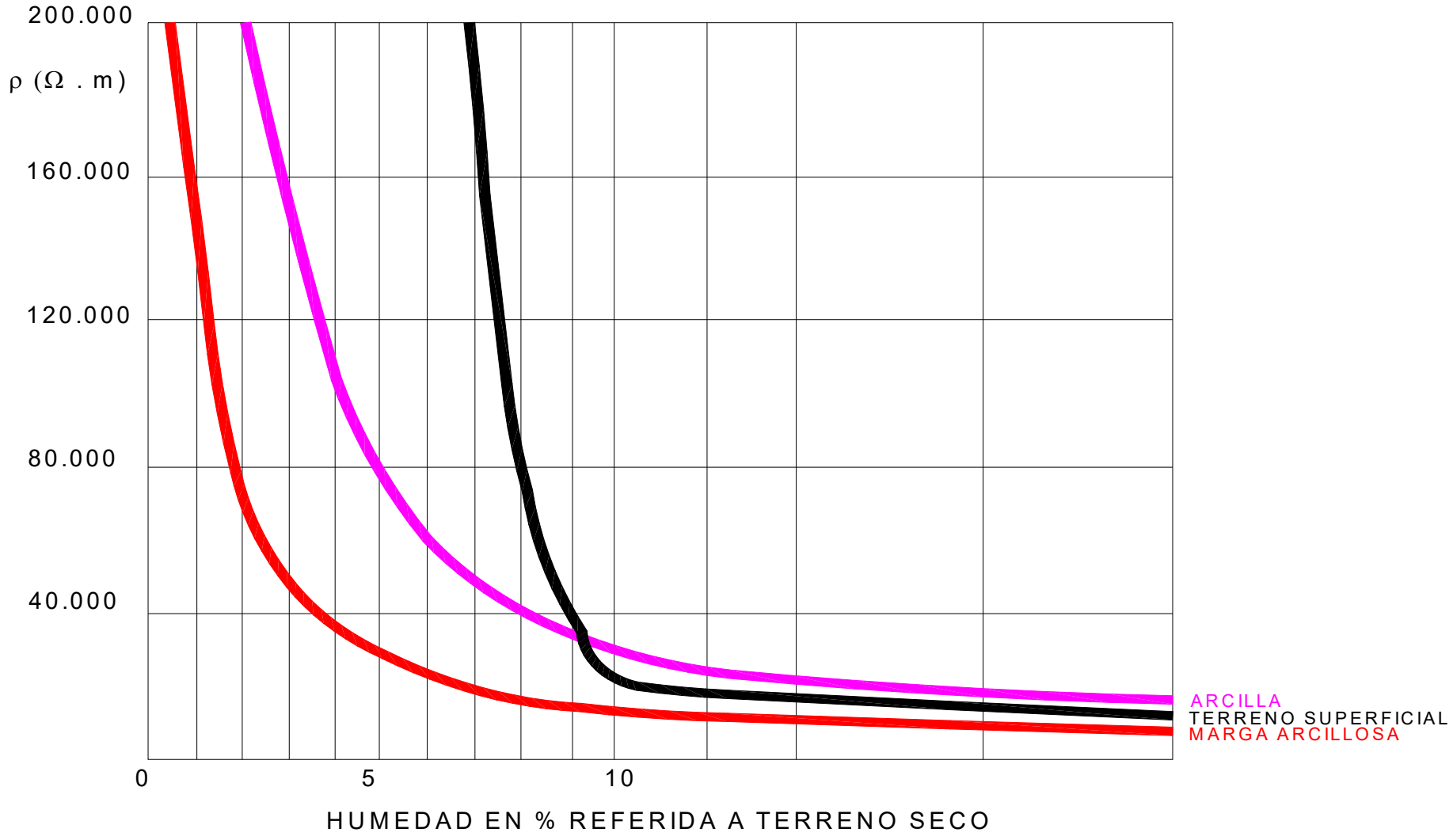
Influencias en la resistividad del terreno

- Naturaleza del terreno
- Humedad
- Temperatura
- Salinidad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales
- Factores de naturaleza eléctrica
- Compactación

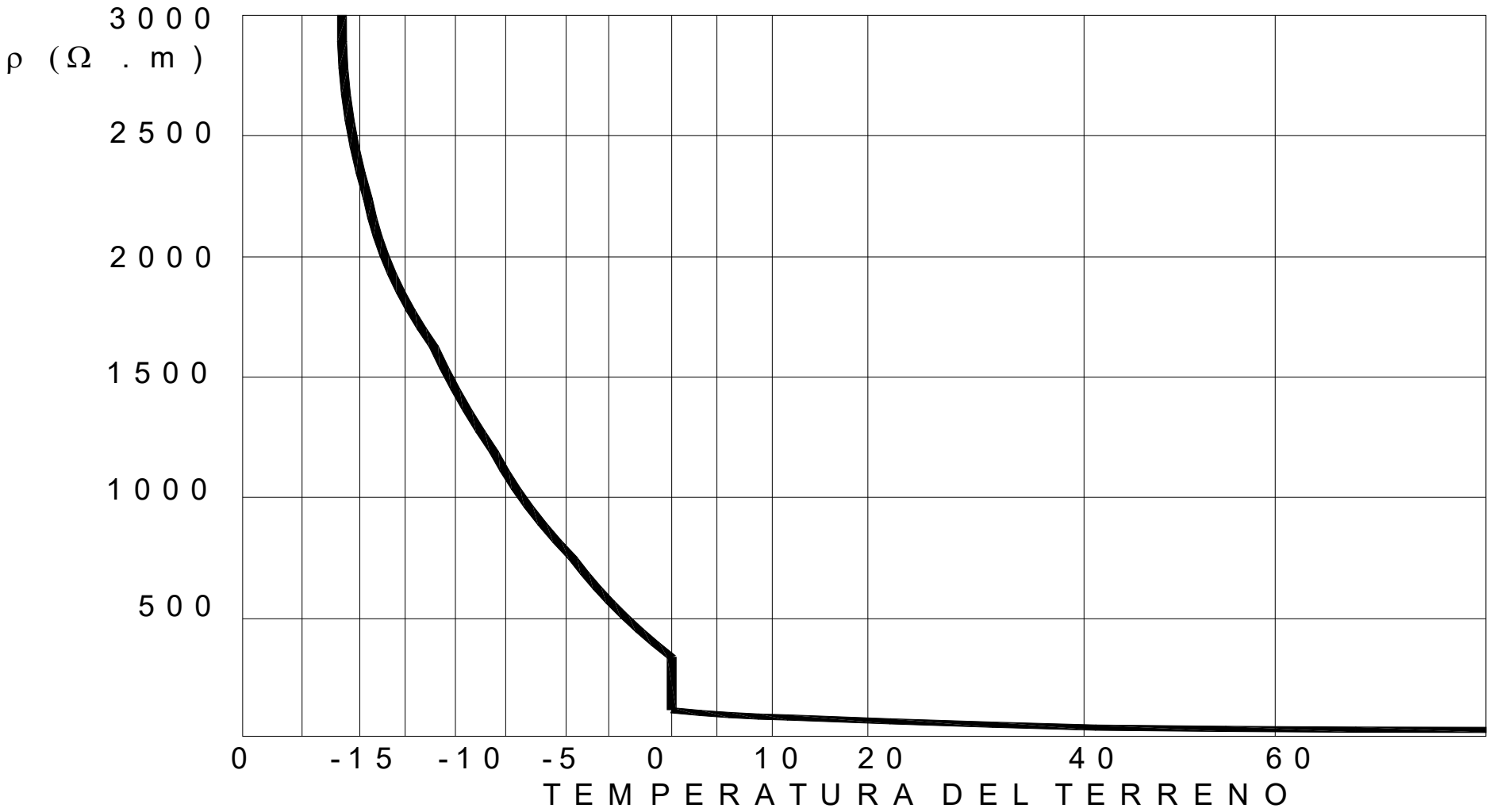
Naturaleza del terreno

TIPO DE SUELO	CONDICIONES CLIMÁTICAS			
	A Precipitaciones normales y abundantes (más de 500 mm por año)		B Precipitaciones escasas y condiciones desérticas (menos de 500 mm por año)	C Aguas subterráneas salinas
	Valor más probable	Gama de valores medidos	Gama de valores medidos	Gama de valores medidos
	Ωm	Ωm	Ωm	Ωm
Aluvial y arcillas livianas	5	*	*	1 a 5
Arcillas (excluyendo al aluvial)	10	5 a 20	10 a 100	3 a 10
Greda	20	10 a 20	50 a 300	3 a 10
Tierra calcárea porosa (por ejemplo greda)	50	30 a 100	50 a 300	3 a 10
Arenisca porosa	100	30 a 300	> 1000	10 a 30
Cuarzos y piedra caliza compacta y cristalina	300	100 a 1000	> 1000	30 a 100
Pizarras arcillosas y esquistos pizarrosos	1000	300 a 3000	> 1000	30 a 100
Granito	1000	300 a 3000	> 1000	30 a 100
Pizarras rajadizas, rocas ígneas	2000	> 1000	> 1000	30 a 100

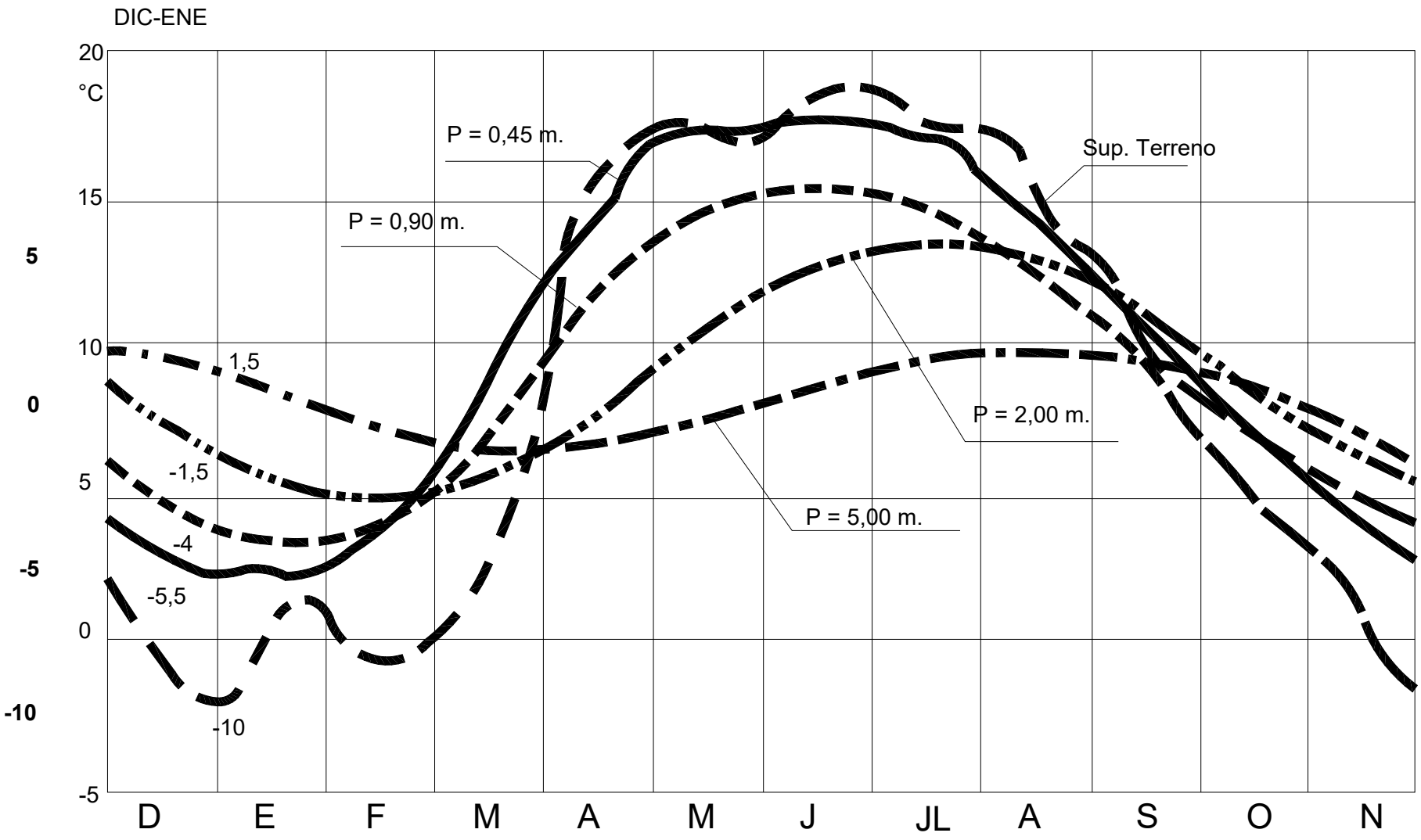
Humedad


200.000
ρ (Ω . m)
160.000
120.000
80.000
40.000
0
5
10
HUMEDAD EN % REFERIDA A TERRENO SECO
ARCILLA
TERRENO SUPERFICIAL
MARGA ARCILLOSA

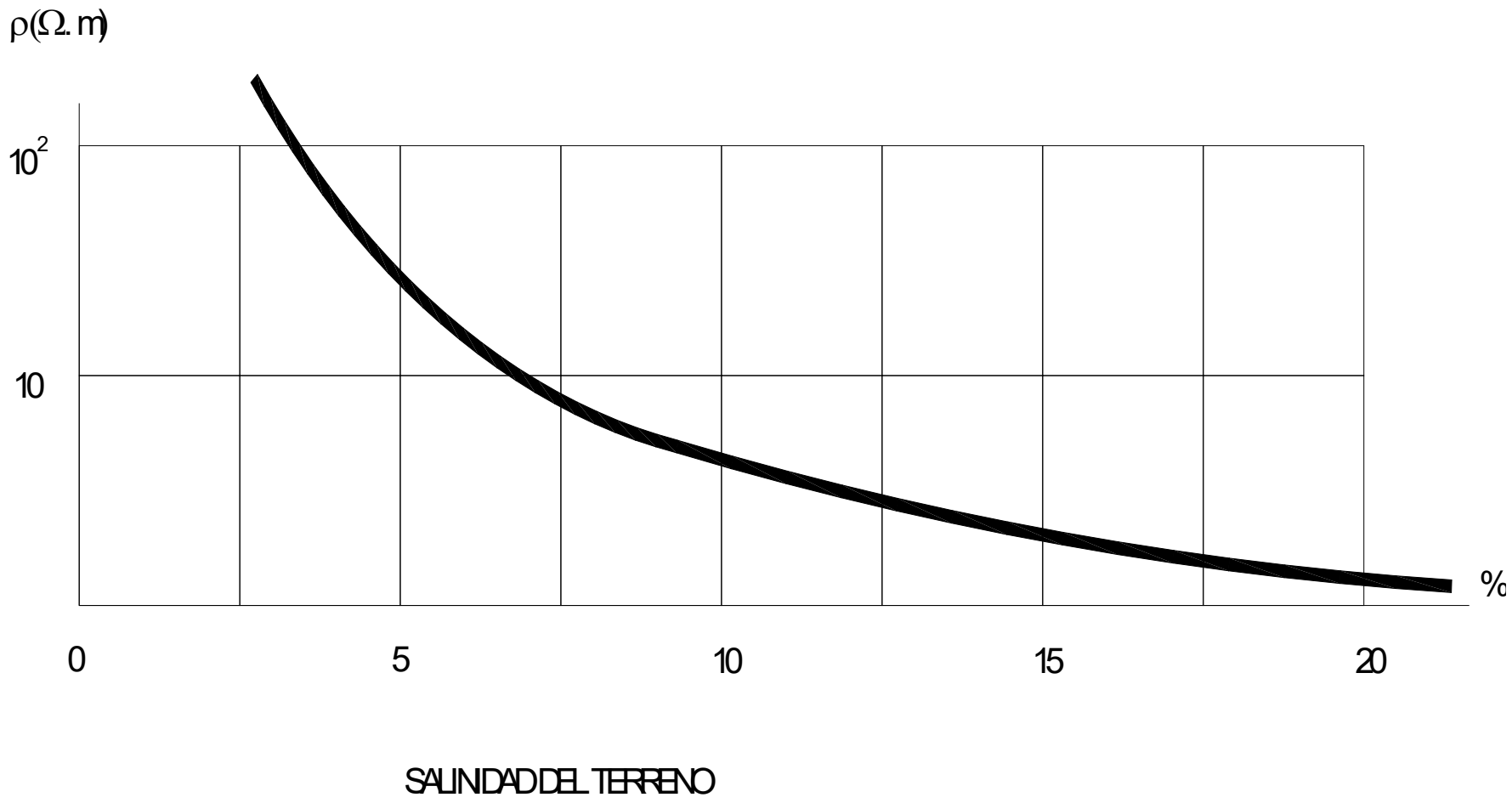
Temperatura



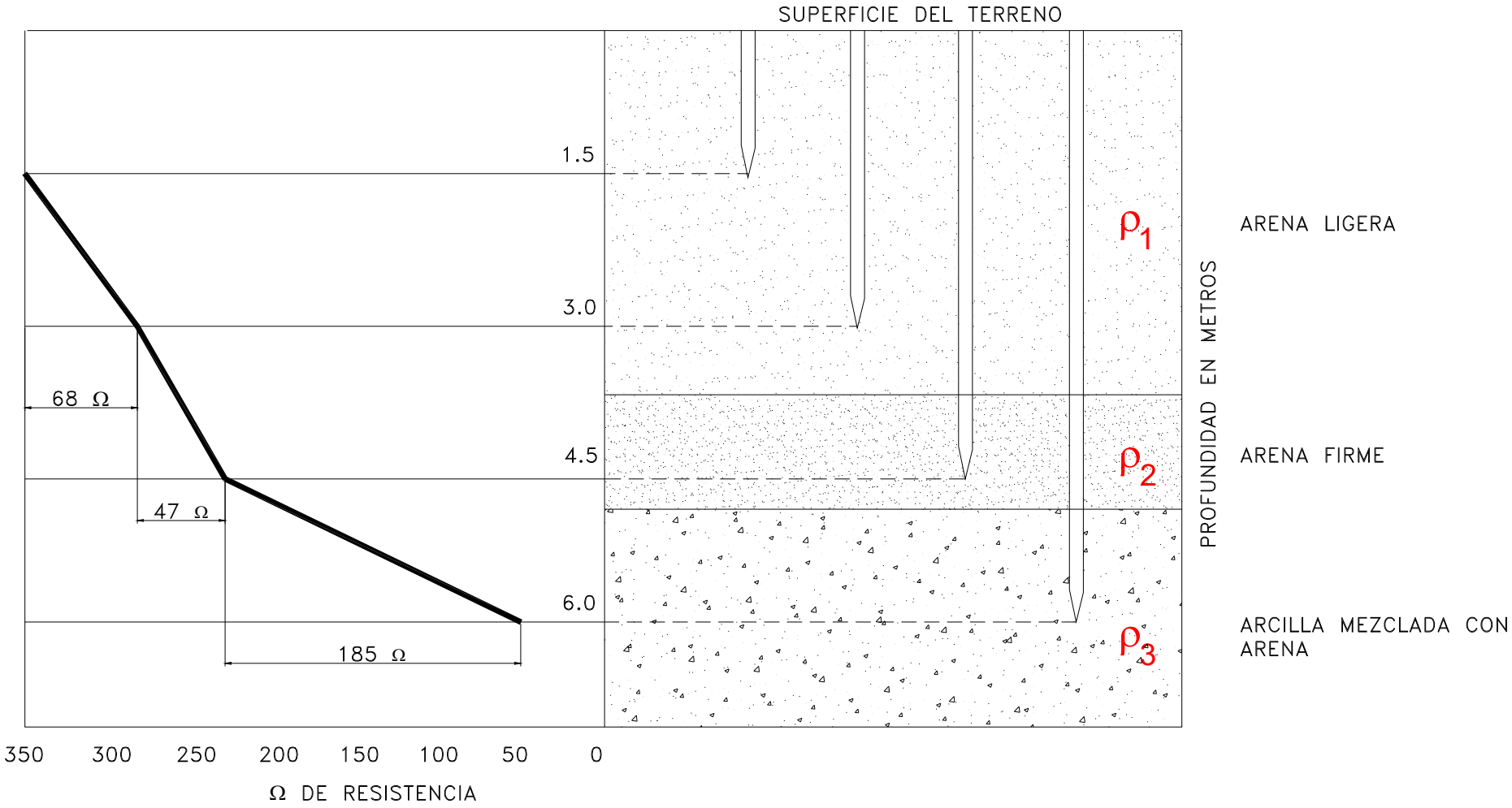
Temperatura



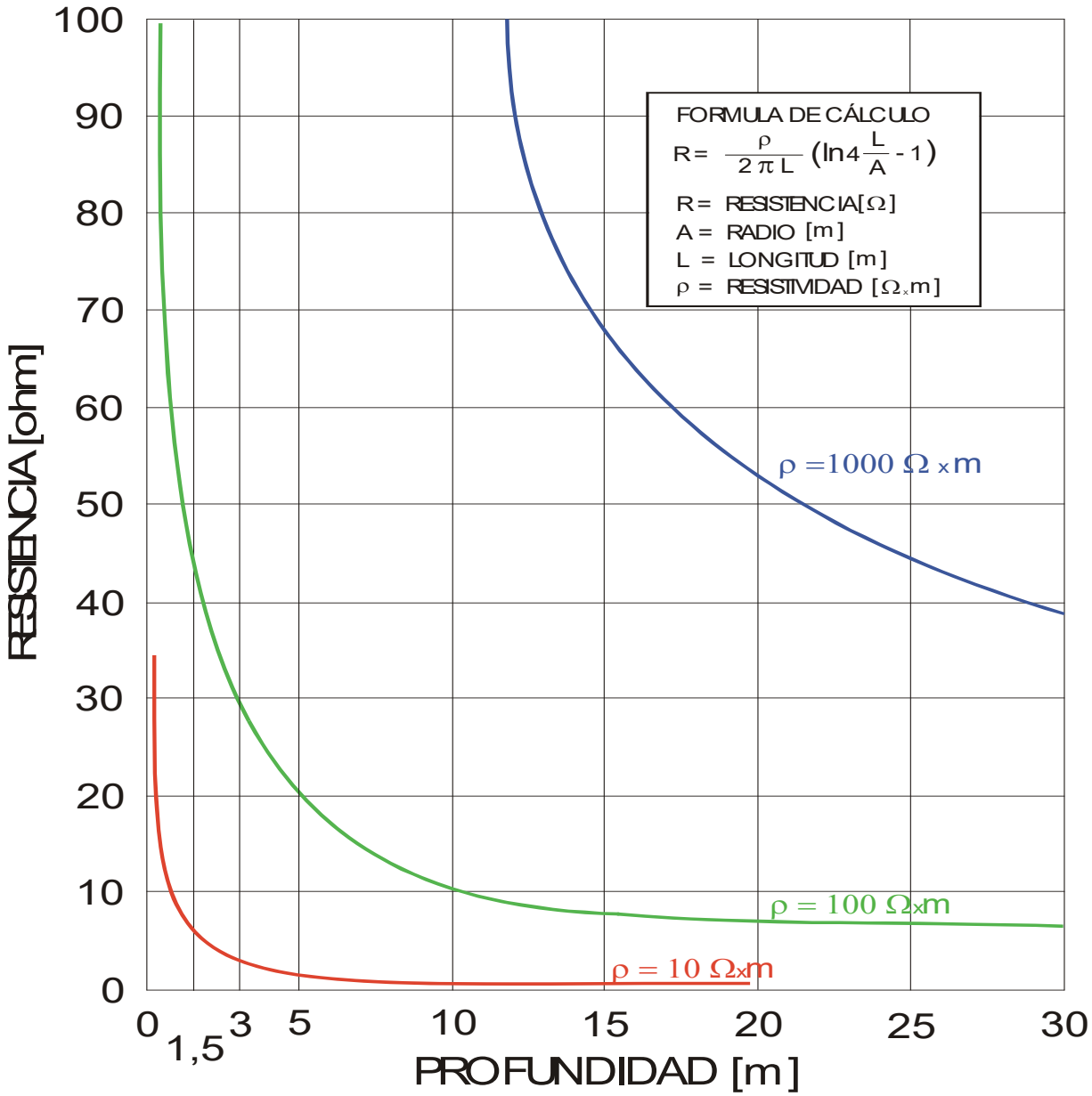
Salinidad



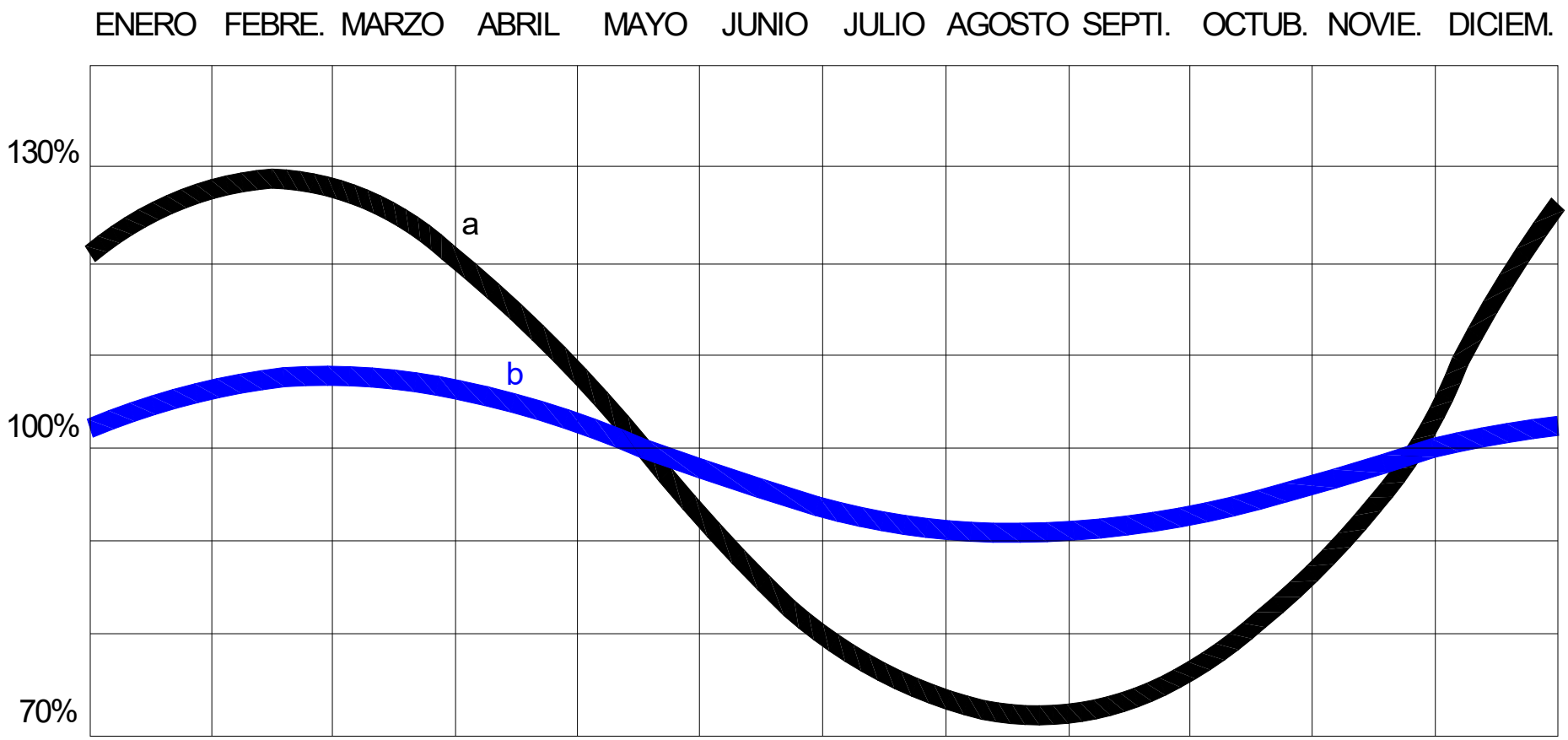
Estratigrafía



Profundidad de hincado



Variaciones estacionales



a: toma de tierra en superficie

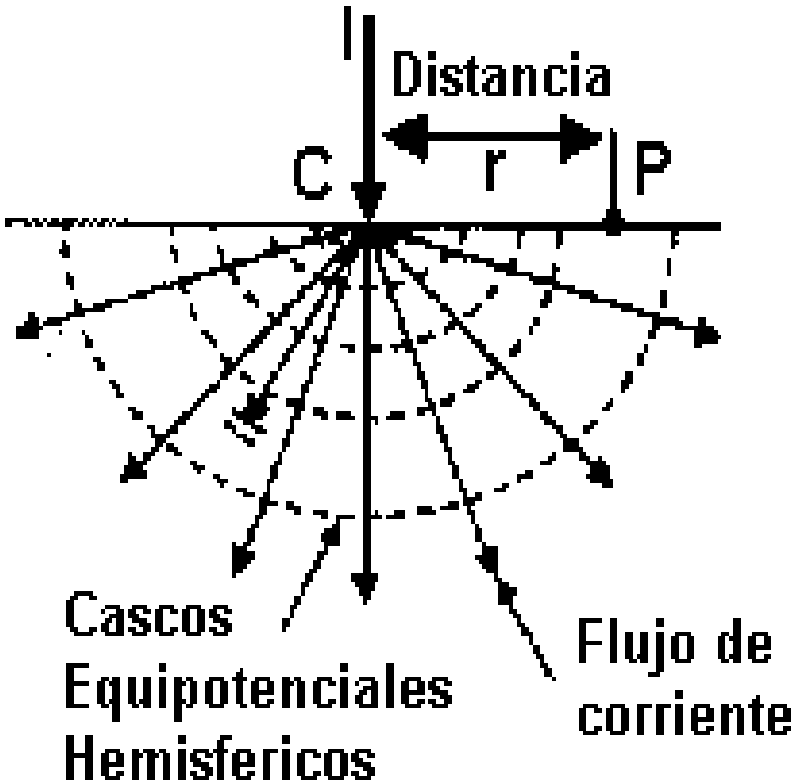
b: toma de tierra en profundidad

Factores de naturaleza eléctrica

- ✓ Gradiente de potencial
- ✓ Magnitud de la corriente de defecto
- ✓ Descargas atmosféricas directas

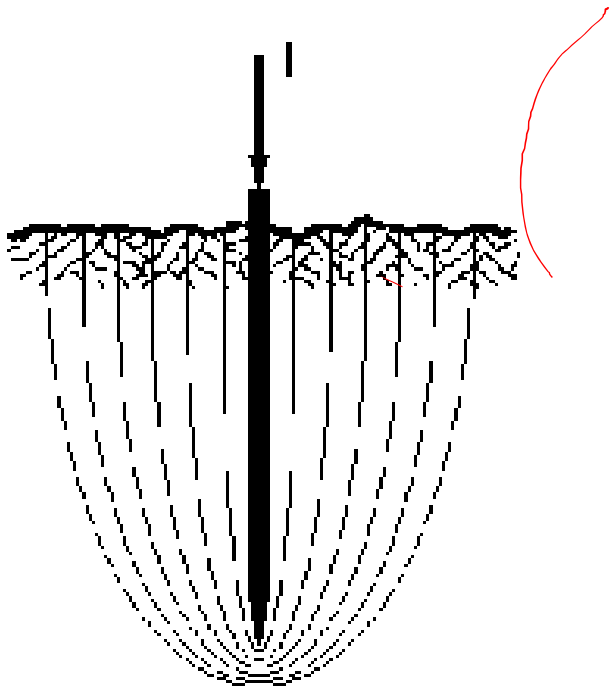
La resistividad del terreno disminuye con la compactación del mismo

Electrodo hemiesférico



$$R = \frac{\rho}{2\pi r}$$

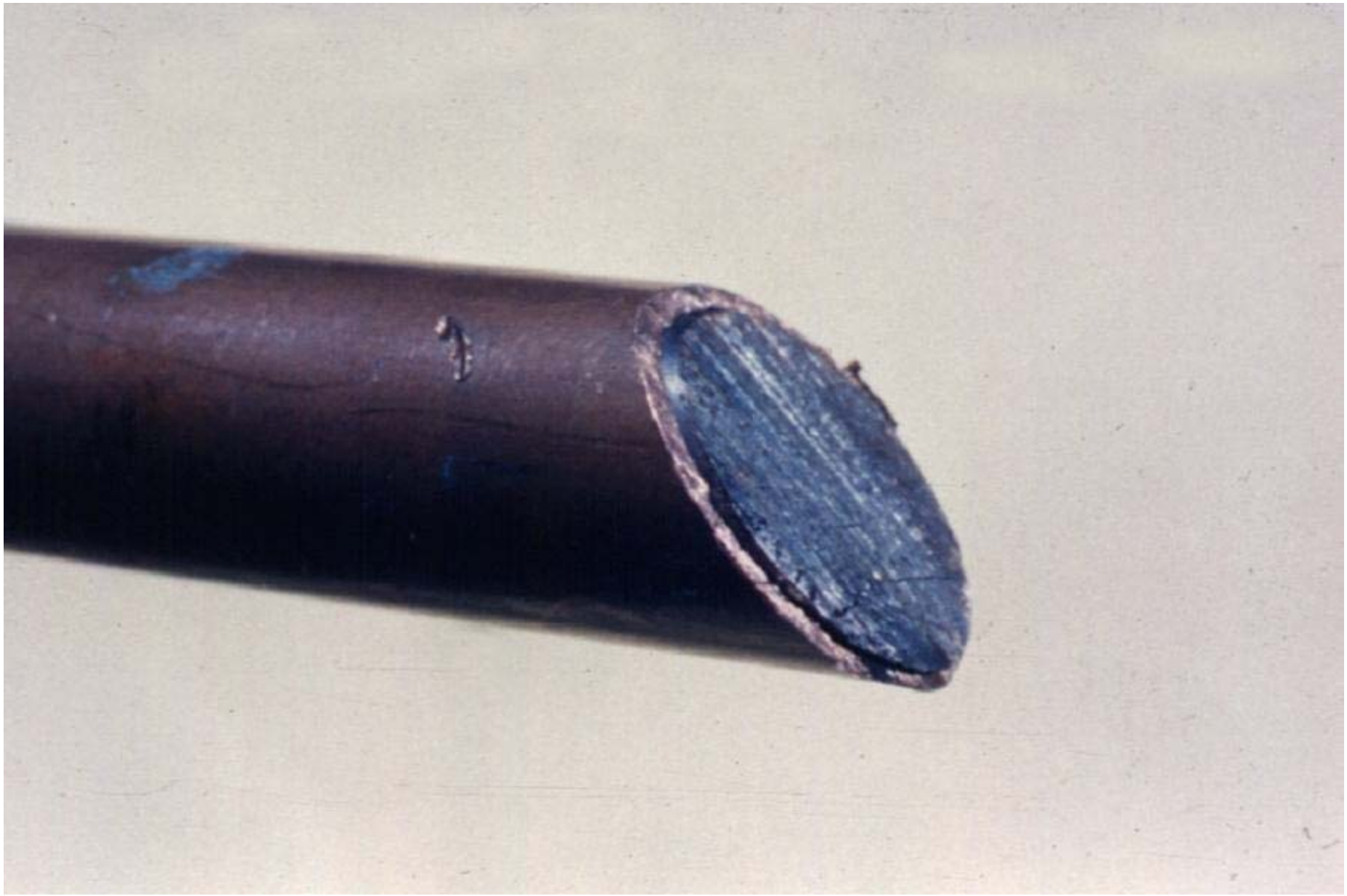
Electrodo IRAM 2309



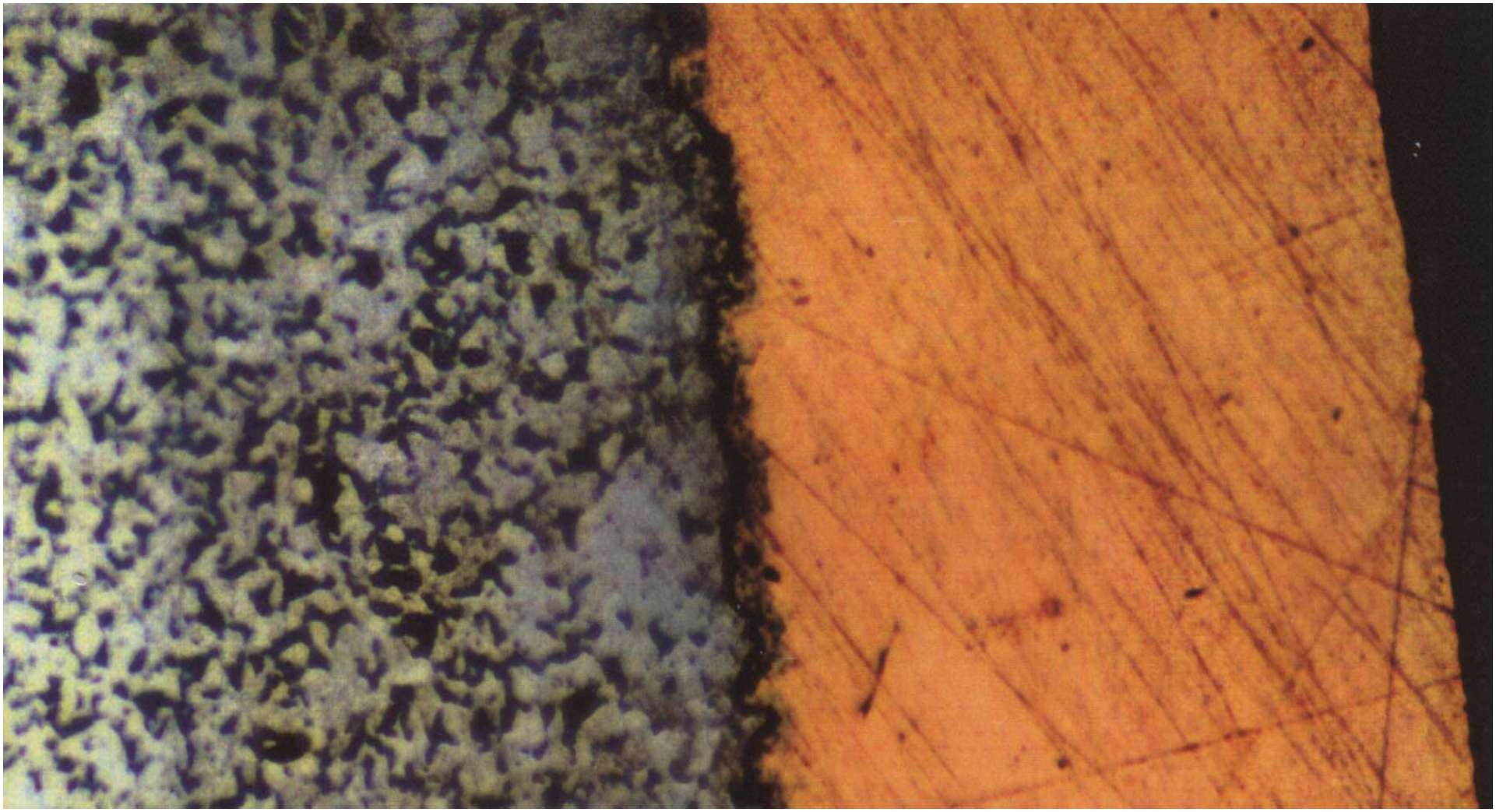
$$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{8l}{d} - 1\right)$$

$$R_{\mathrm{PAT}} = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{l}{r}$$

Electrodo IRAM 2309

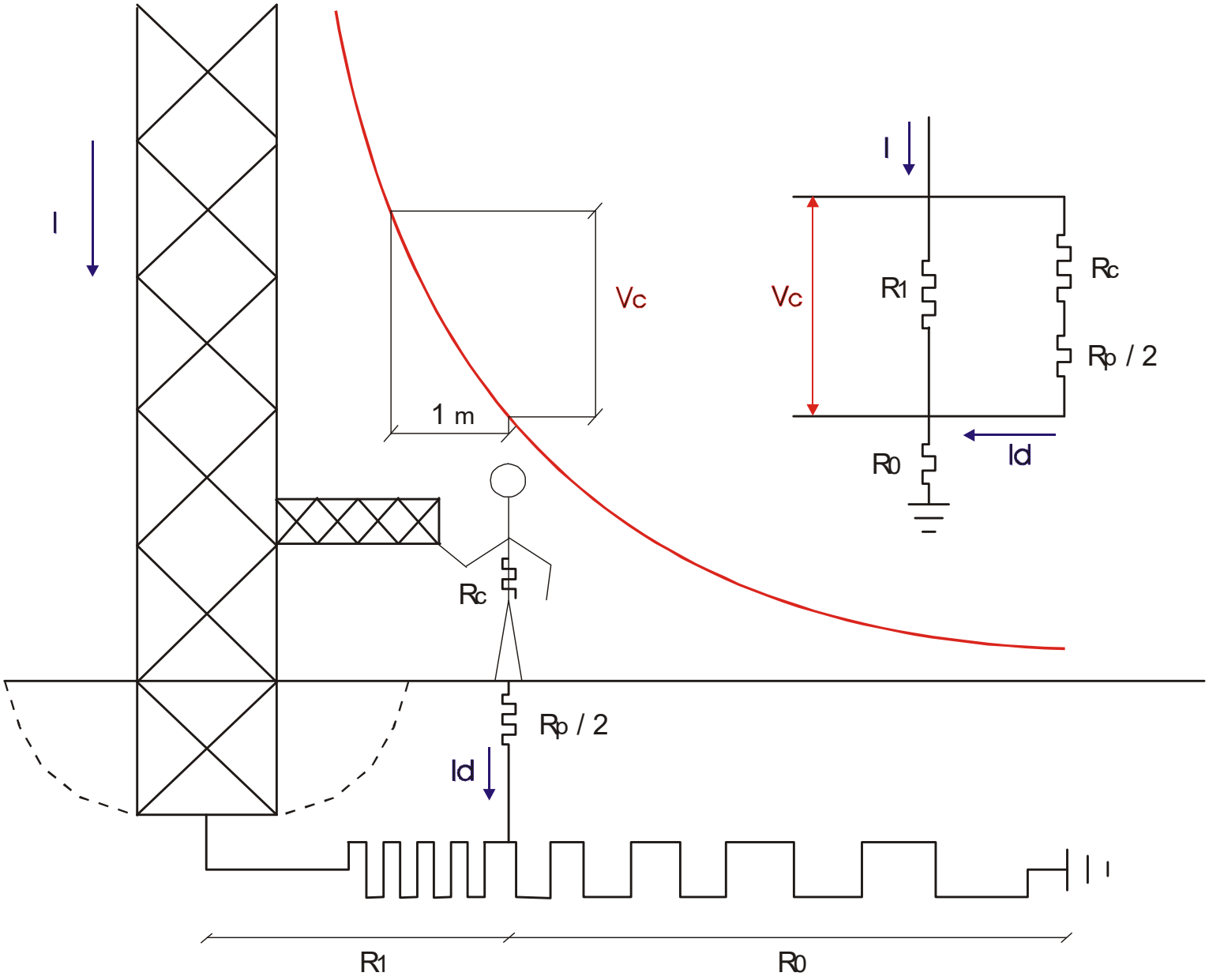


Electrodo IRAM 2309

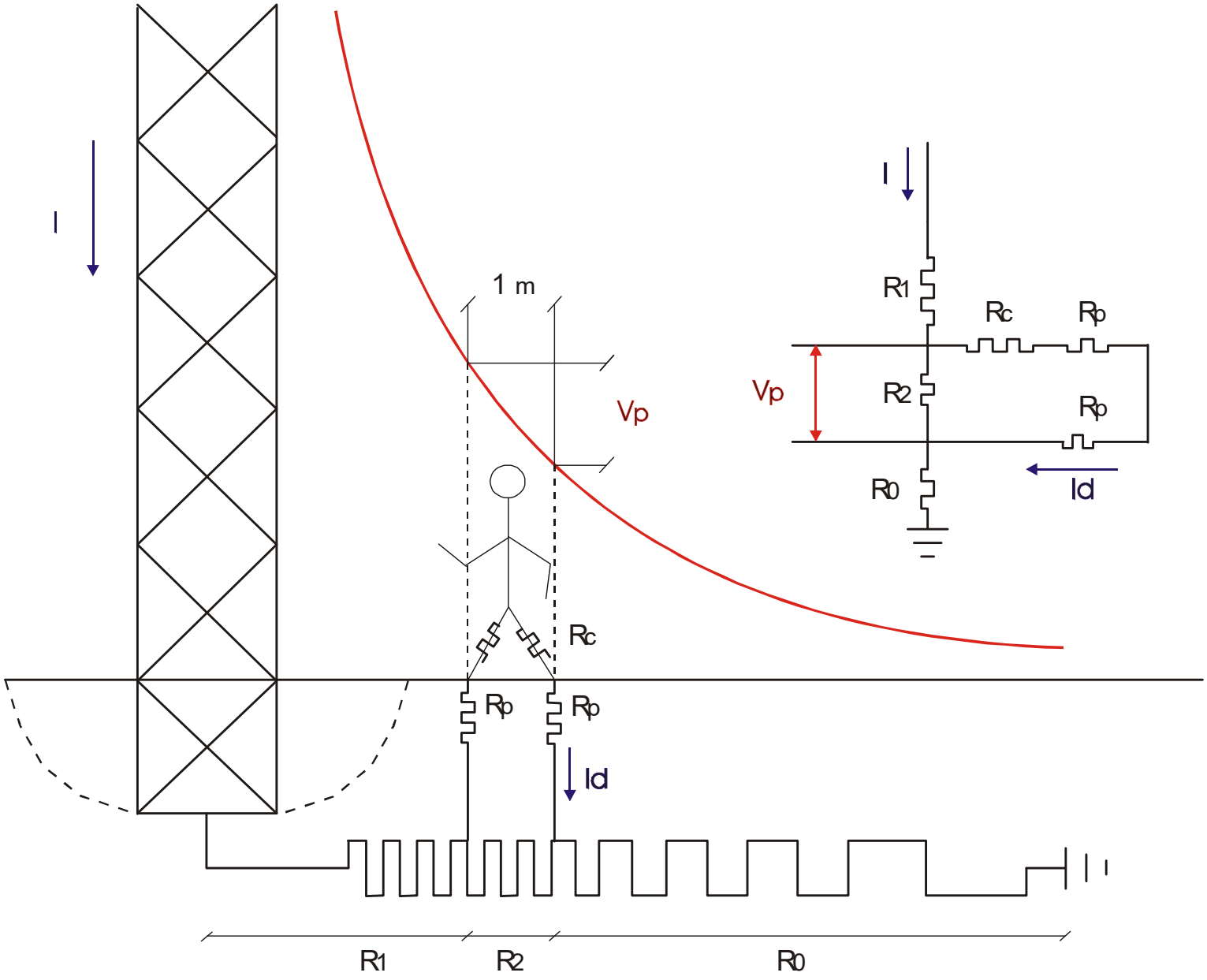


Electrodo no normalizado

Tensión de contacto



Tensión del paso



AEA 91140

Tensión de contacto presunta:

Es la tensión entre dos partes conductoras simultáneamente accesibles cuando estas partes NO están siendo tocadas por una persona o animal

Tensión límite convencional de contacto:

Máximo valor de la tensión de contacto presunta que se permite mantener por tiempo indefinido en condiciones especificadas de influencias externas

Radio equivalente

El radio equivalente de un electrodo de puesta a tierra es el radio de un electrodo hemiesférico que en igualdad de condiciones presenta igual resistencia de puesta a tierra (e igual o mayor tensión de paso)

Radio equivalente

$$R = \frac{\rho}{2\pi \mathrm{r}} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{r} = \frac{\rho}{2\pi R}$$

$$\mathrm{r_e} = \frac{l}{\ln \frac{l}{r}}$$

$$R_{\mathrm{PAT}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r}$$

Separación entre puestas a tierra

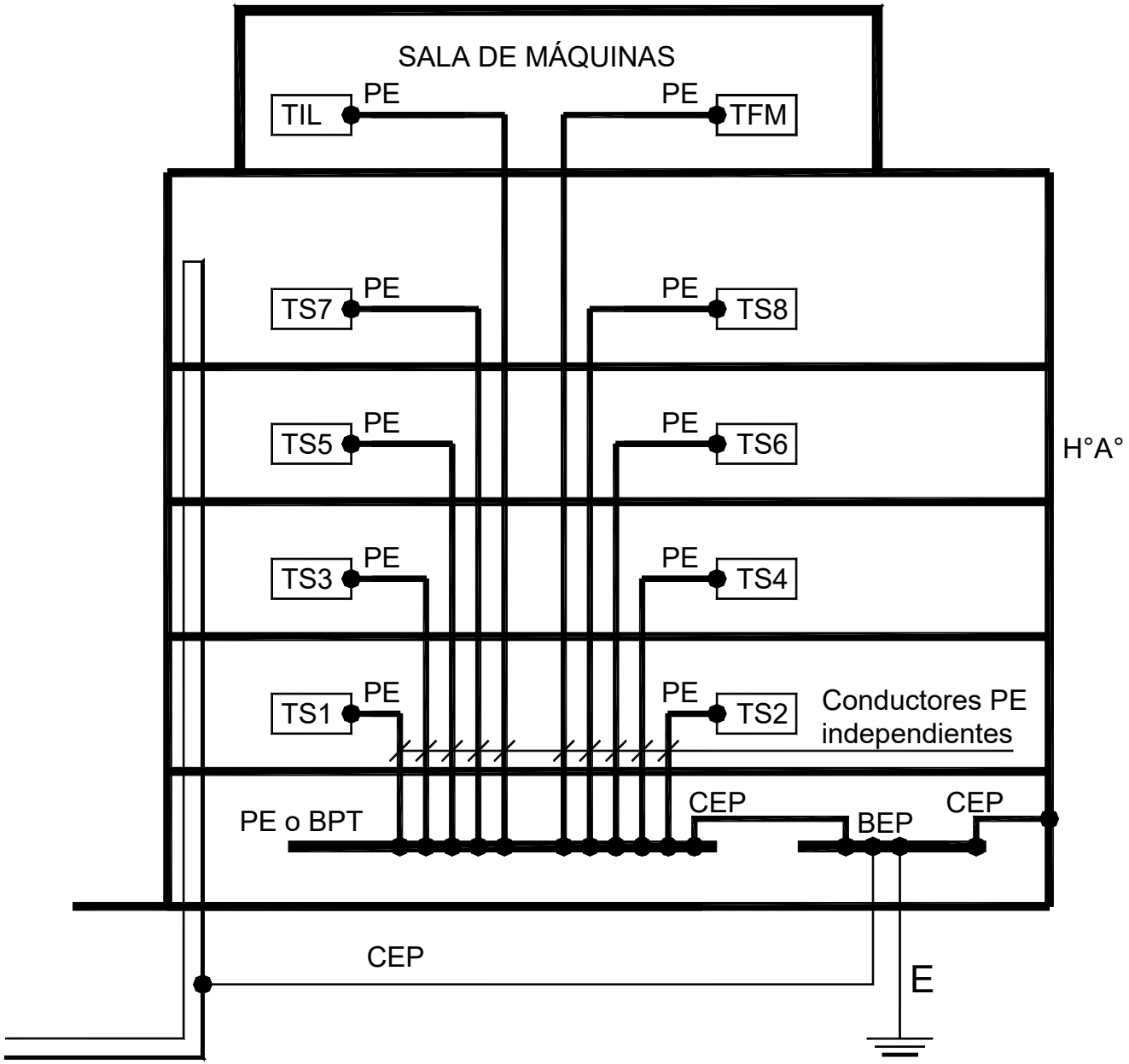
Designación comercial	Diámetro exterior [mm]	Longitud [m]	**10 re** [m]
1 / 2 “	12,6	1,5	3,2
		3	5,4
		4,5	7,6
		6	9,8
5 / 8 “	**14,6**	1,5	3,2
		3	**5,6**
		4,5	7,8
		6	10
3 / 4”	16,2	1,5	3,4
		3	5,8
		4,5	8
		6	10,2

Desconexión automática

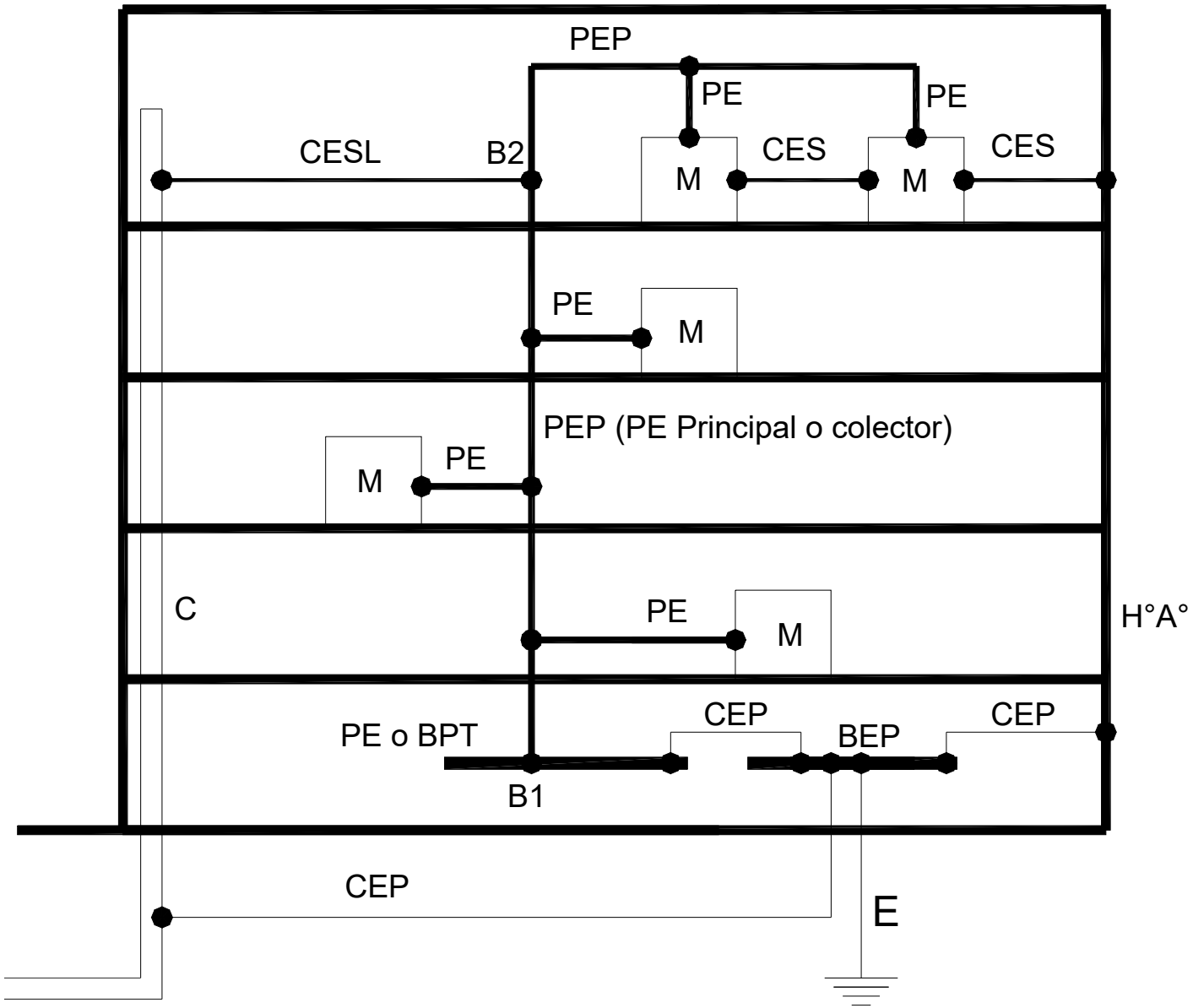
1 – Equipotencialidad del sistema

2 – Coordinación con un dispositivo de protección

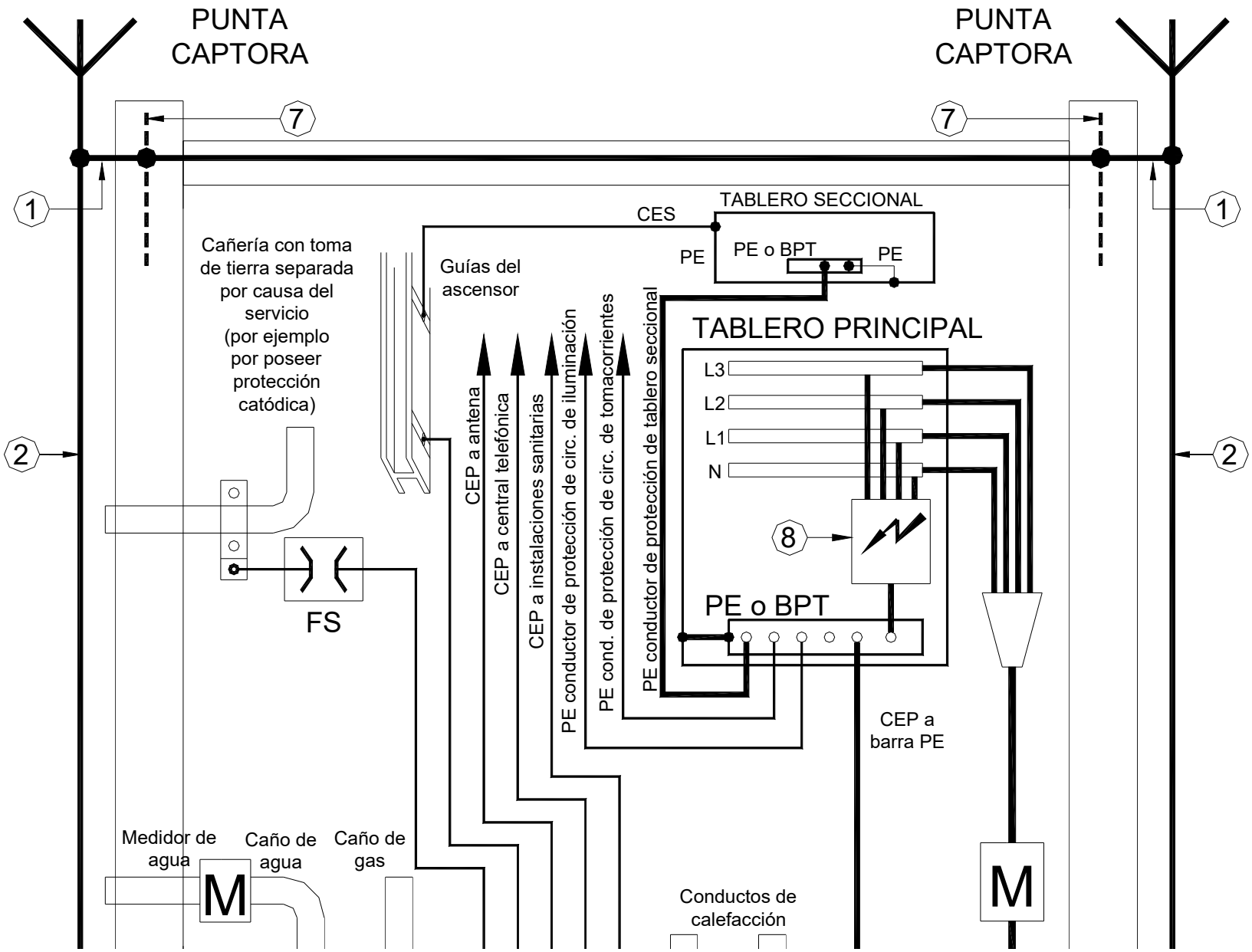
Equipotencialidad



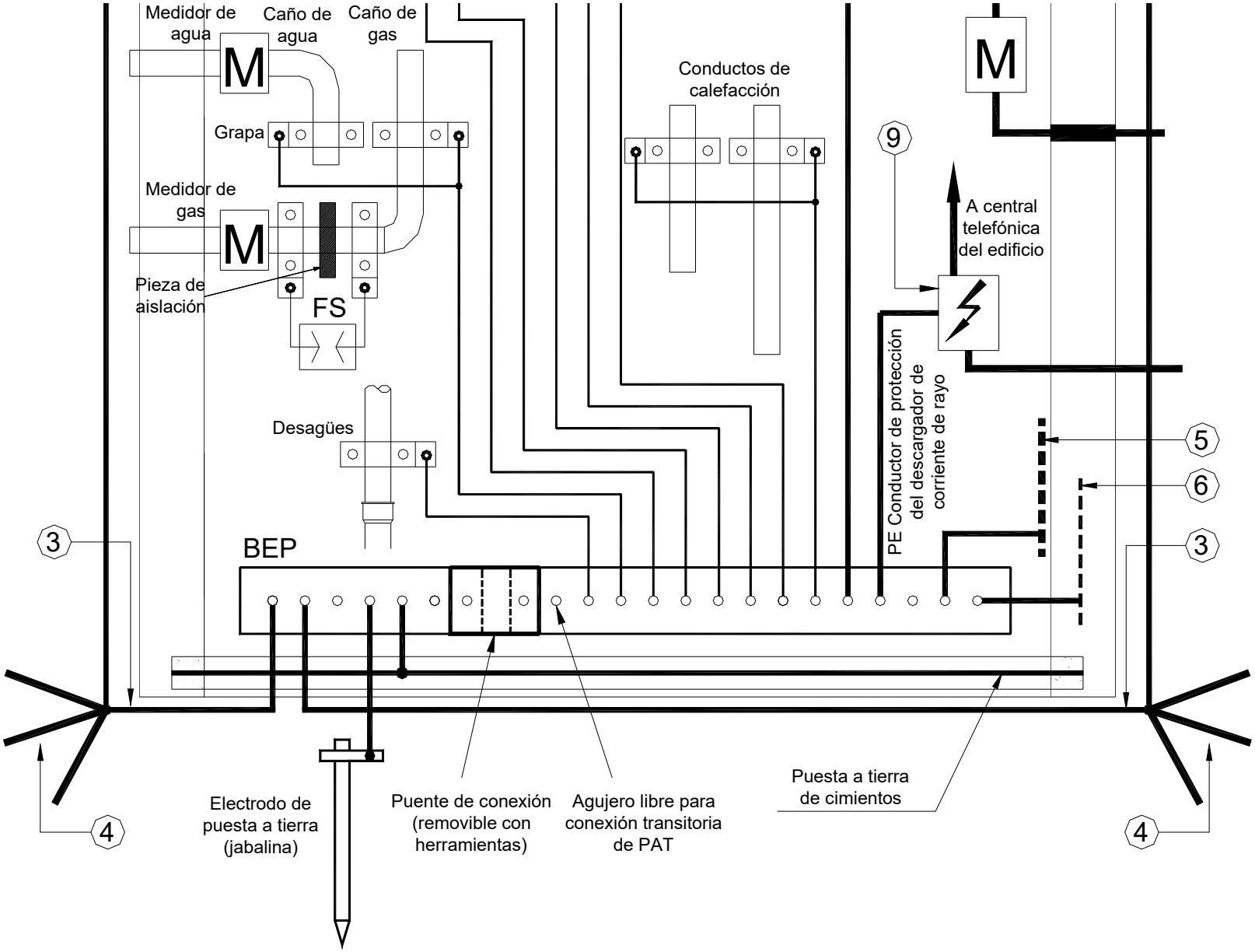
Equipotencialidad



Equipotencialidad



Equipotencialidad

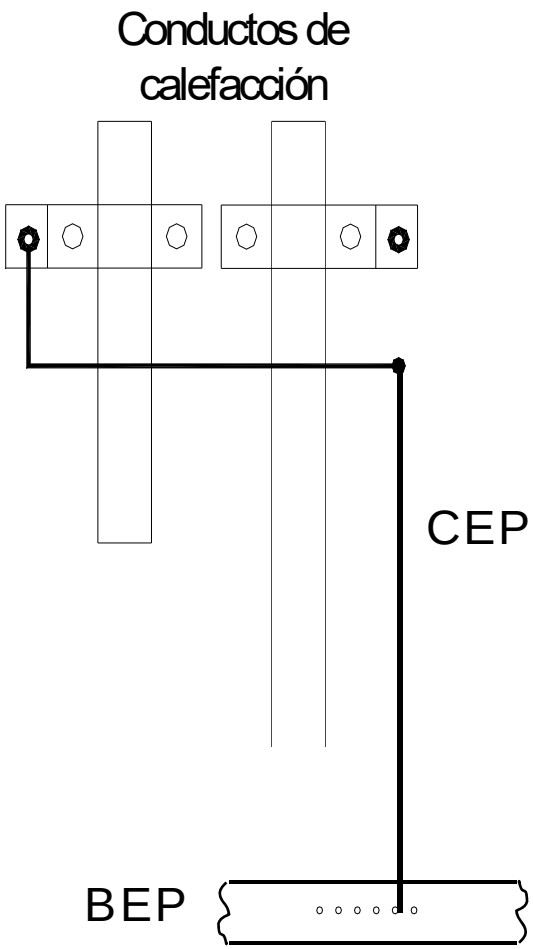


Secciones mínimas de conductores de puesta a tierra y protección

Sección de los conductores de línea de la instalación S [mm²]	**Sección nominal del correspondiente conductor de protección "S_{PE}" [mm²] y del conductor de puesta a tierra "S_{PAT}" [mm²]**	
	Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) es del mismo material que el conductor de línea	Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) no es del mismo material que el conductor de línea
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} x\, S$
$16 < S \leq 35$	16 (a)	$\frac{k_1}{k_2} x\, 16$ (a)
$S > 35$	$S/2$ (a)	$\frac{k_1}{k_2} x\, \frac{S}{2}$ (a)

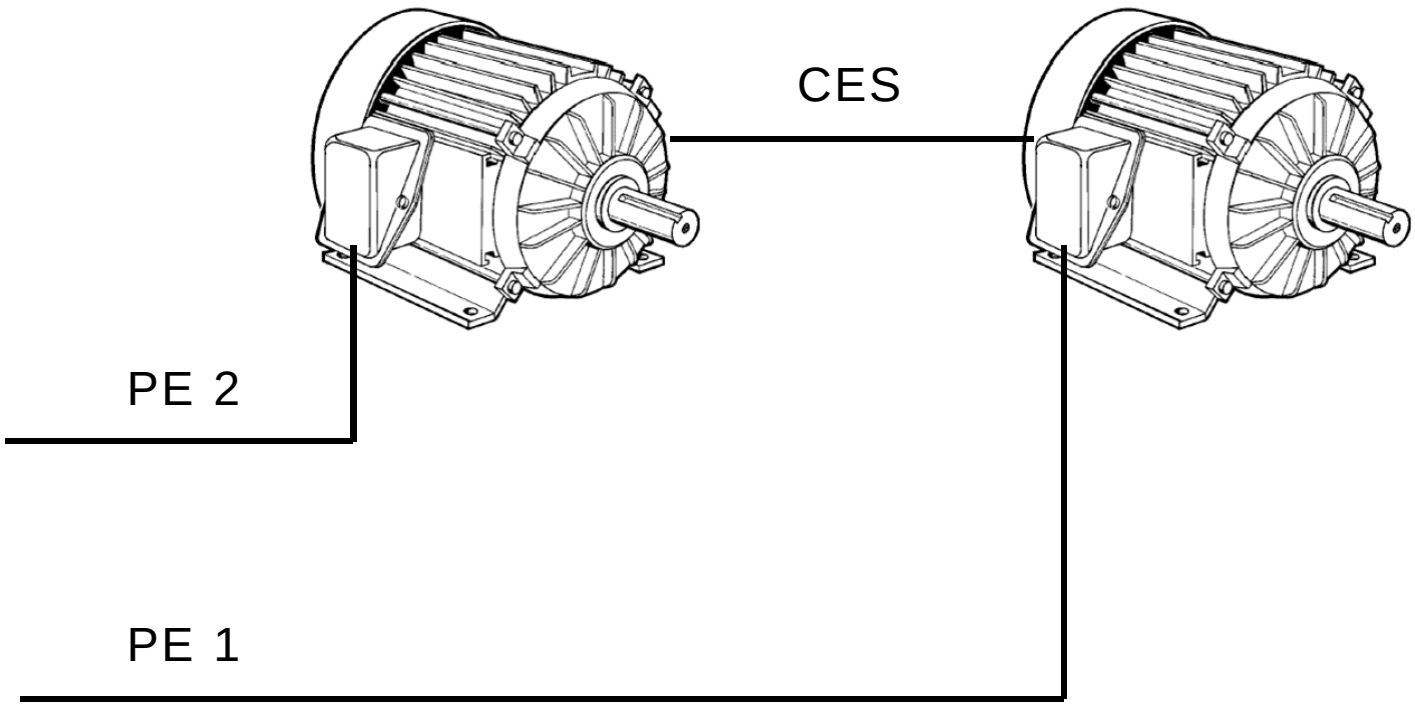
(a) Para el conductor PEN la reducción de la sección se permite sólo de acuerdo con las reglas de dimensionamiento del conductor neutro (ver Capítulo 52 de esta Reglamentación).

Sección de conductores de equipotencialidad principales



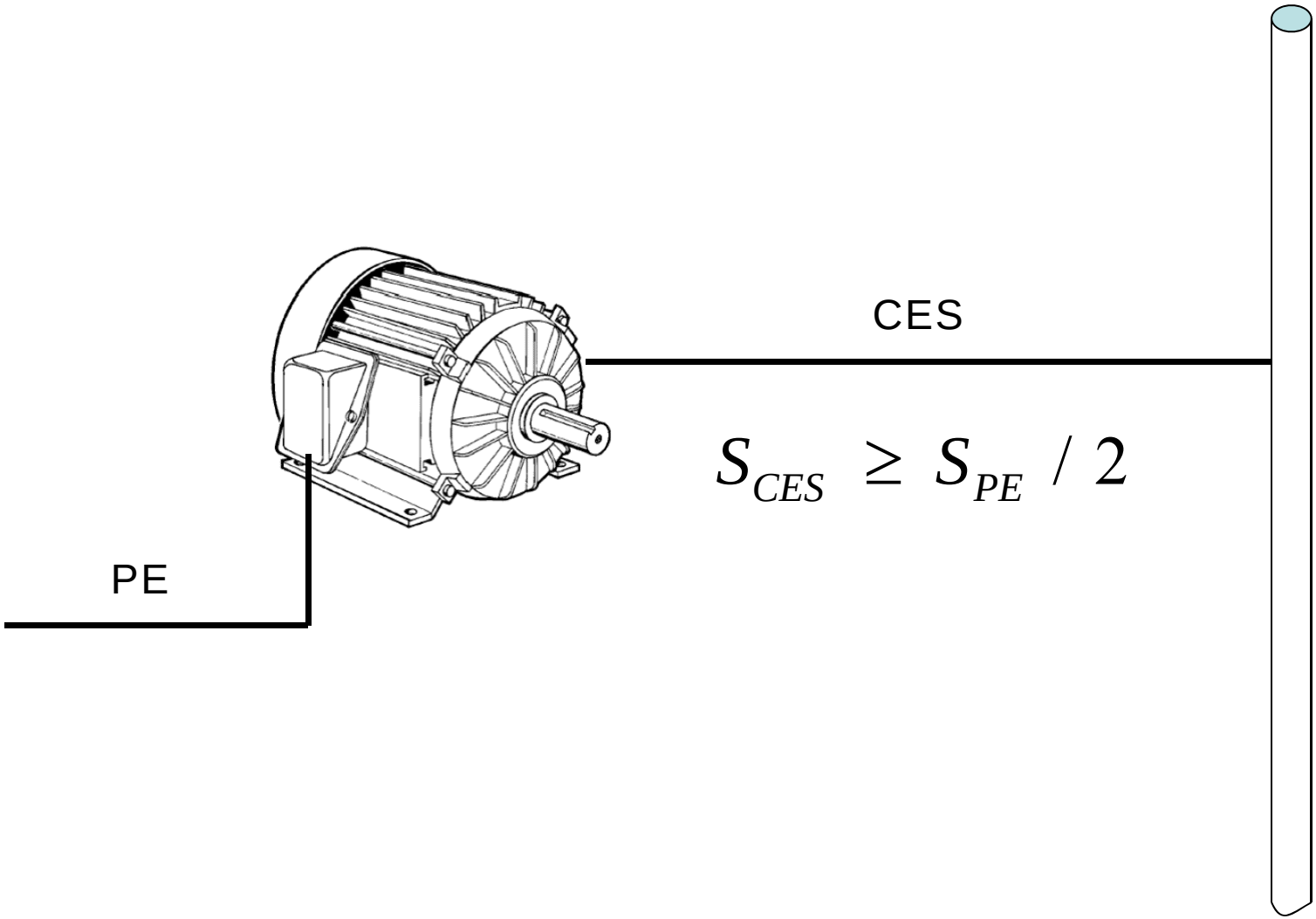
$$S_{CEP} \geq S_{PE} / 2$$

Sección de conductores de equipotencialidad suplementarios



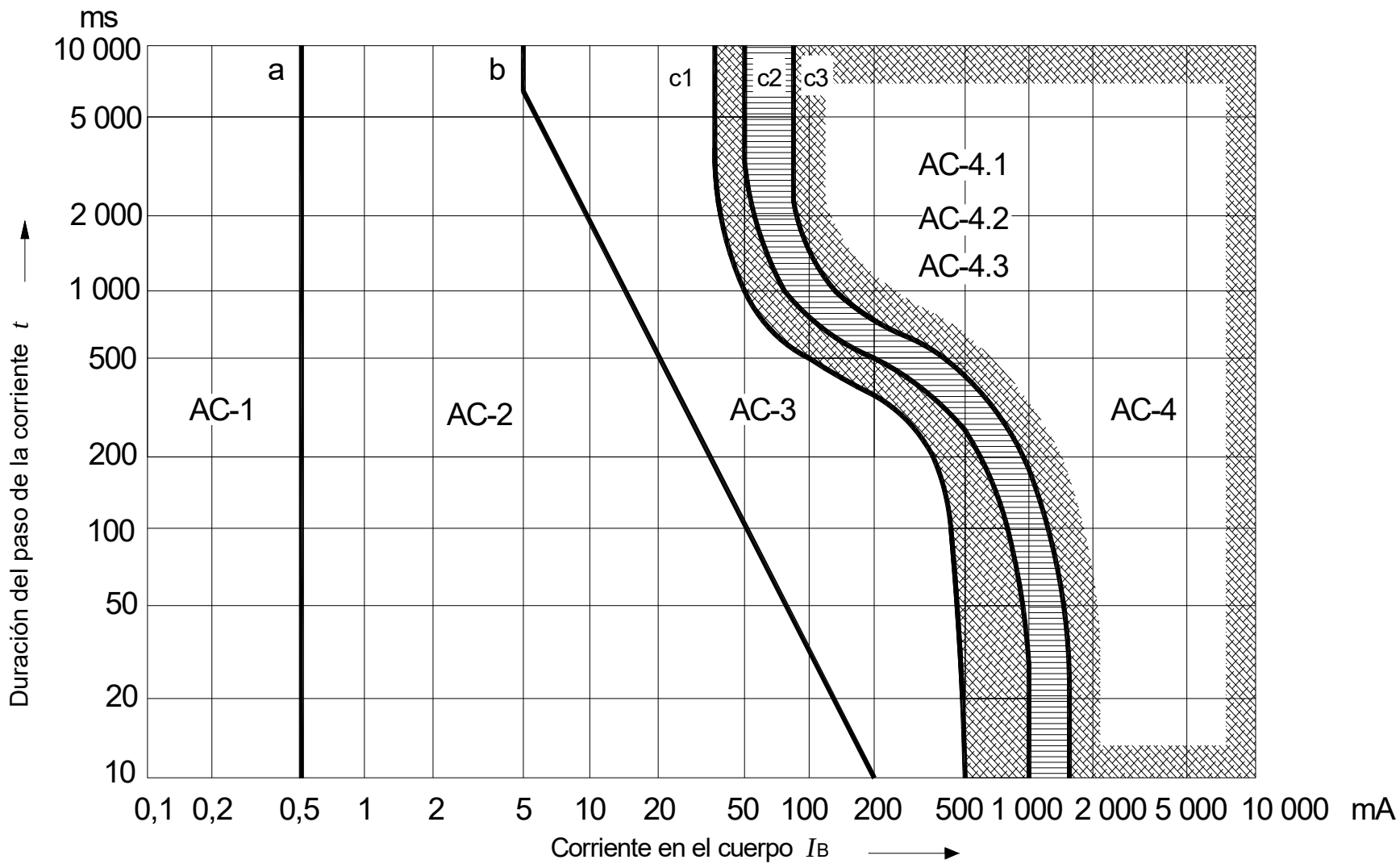
$$S_{CES} \geq S_{PE1} \text{ o } S_{PE2}$$

Sección de conductores de equipotencialidad suplementarios

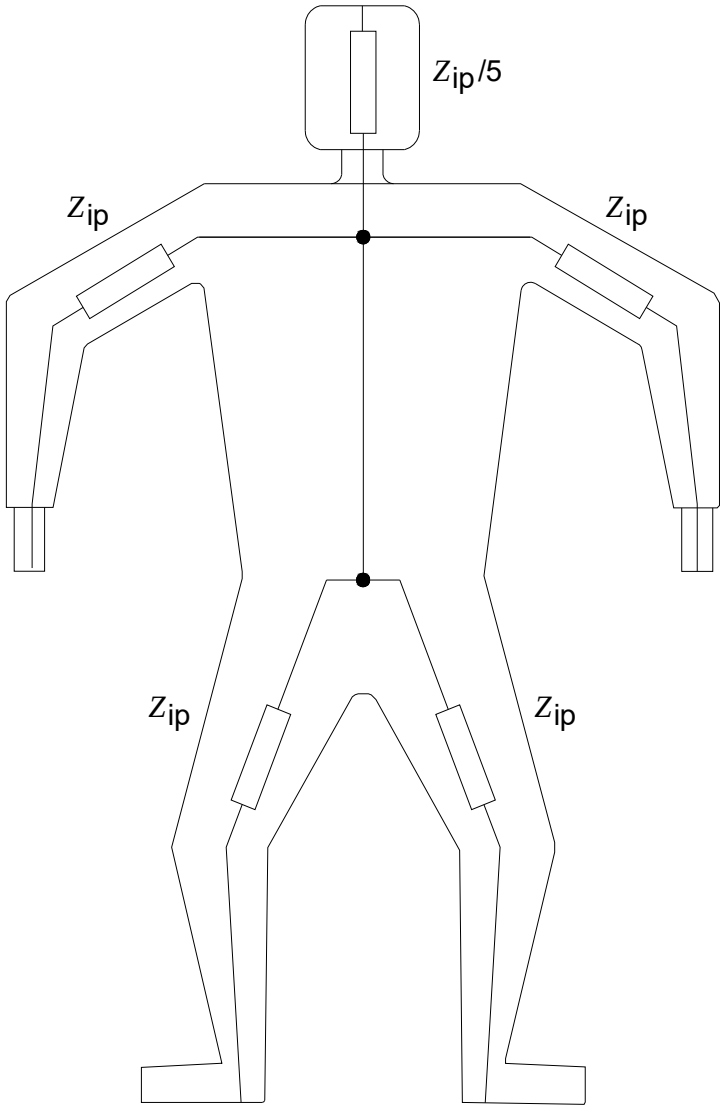


$$S_{CES} \geq S_{PE} / 2$$

AEA 90479-1:2020



Impedancia del cuerpo humano



$$Z_{T-tm2p} = 0{,}5\, Z_{T-h2m} + 0{,}25\, Z_{T-hs2m}$$

Impedancia del cuerpo humano

Tabla 2 de AEA 90479-1 – Impedancia total mano a mano a 50/60 Hz, para superficie de contacto grande en condición mojada			
Tensión de contacto [V]	Valores de la Z total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasadas por el:		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	1 175	2 175	4 100
50	1 100	2 000	3 675
75	1 025	1 825	3 275
100	975	1 675	2 950
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1000	575	775	1 050
Asintótico	575	775	1 050

Impedancia del cuerpo humano

Tabla 3 de AEA 90479-1 – Impedancia total mano a mano a 50/60 Hz, para superficie de contacto grande en condición mojada y salada			
Tensión de contacto [V]	Valores de la Z total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasadas por el:		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	960	1 300	1 755
50	940	1 275	1 720
75	920	1 250	1 685
100	880	1 225	1 655
125	850	1 200	1 620
150	830	1 180	1 590
175	810	1 155	1 560
200	790	1 135	1 530
225	770	1 115	1 505
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1000	575	775	1 050
Asintótico	575	775	1 050

Impedancia total del cuerpo humano

Tensión de contacto (V)	Impedancia total del cuerpo humano		
	$Z_{T \cdot h2m}$ (Ω)	$Z_{T \cdot hs2m}$ (Ω)	$Z_{T \cdot tm2p}$ (Ω)
25	1 175	960	827,50
50	1 100	940	785
75	1 025	920	742,50
100	975	880	707,50
125	900	850	662,50
150	850	830	632,50
175	825	810	615
200	800	790	597,50
225	775	770	580
400	700	700	525
500	625	625	468,75
700	575	575	431,25
1 000	575	575	431,25

Influencias externas

Ambiente seco

AD1

Despreciable

Presencia de agua

Medio ambiente

Influencias externas

Ambiente húmedo

AD2 y 3 ← Pulverización

Goteo vertical

Presencia de agua

Medio ambiente

Influencias externas

Ambiente mojado

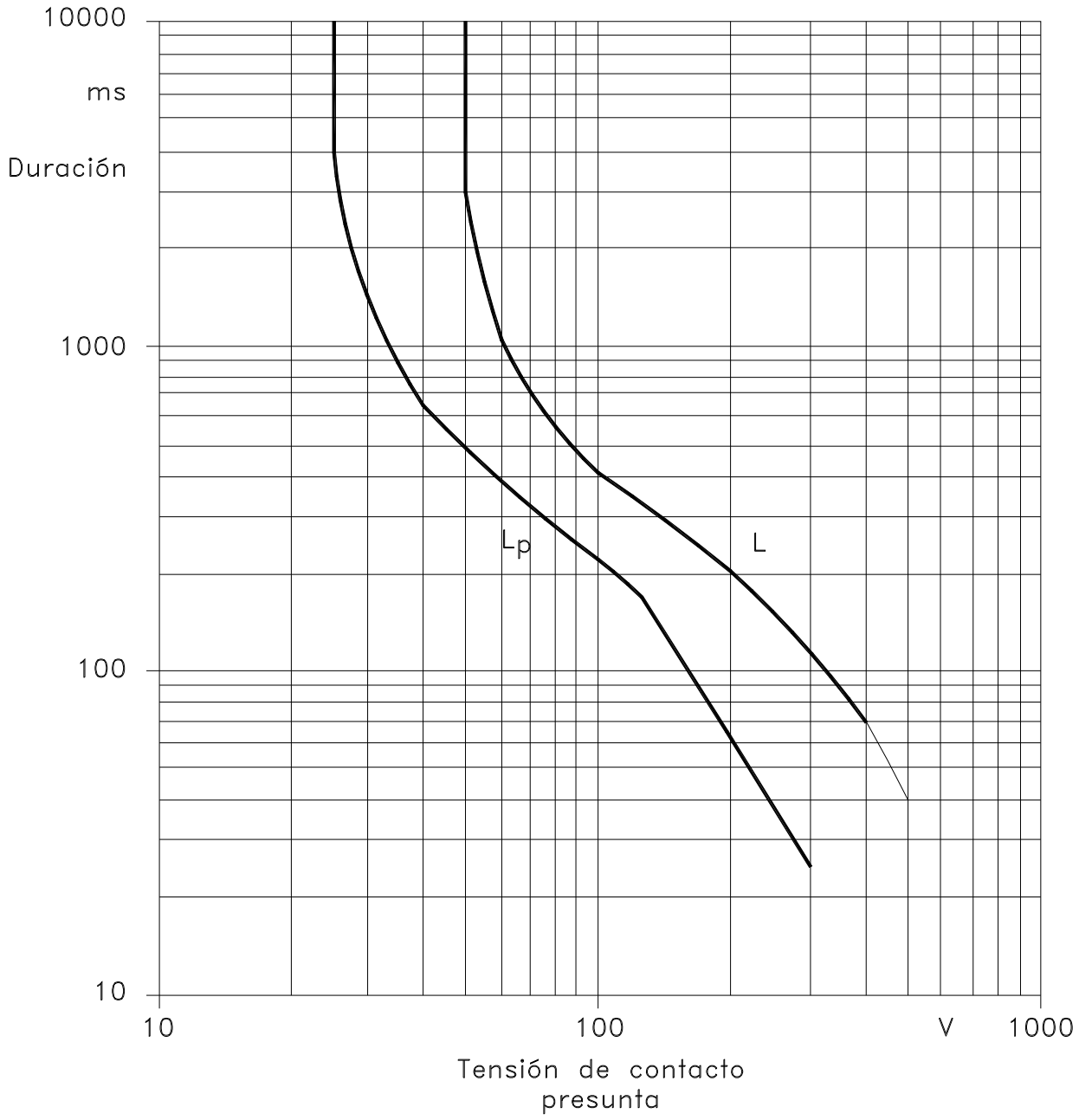
AD4 y 5 ← Chorros de agua

Salpicaduras

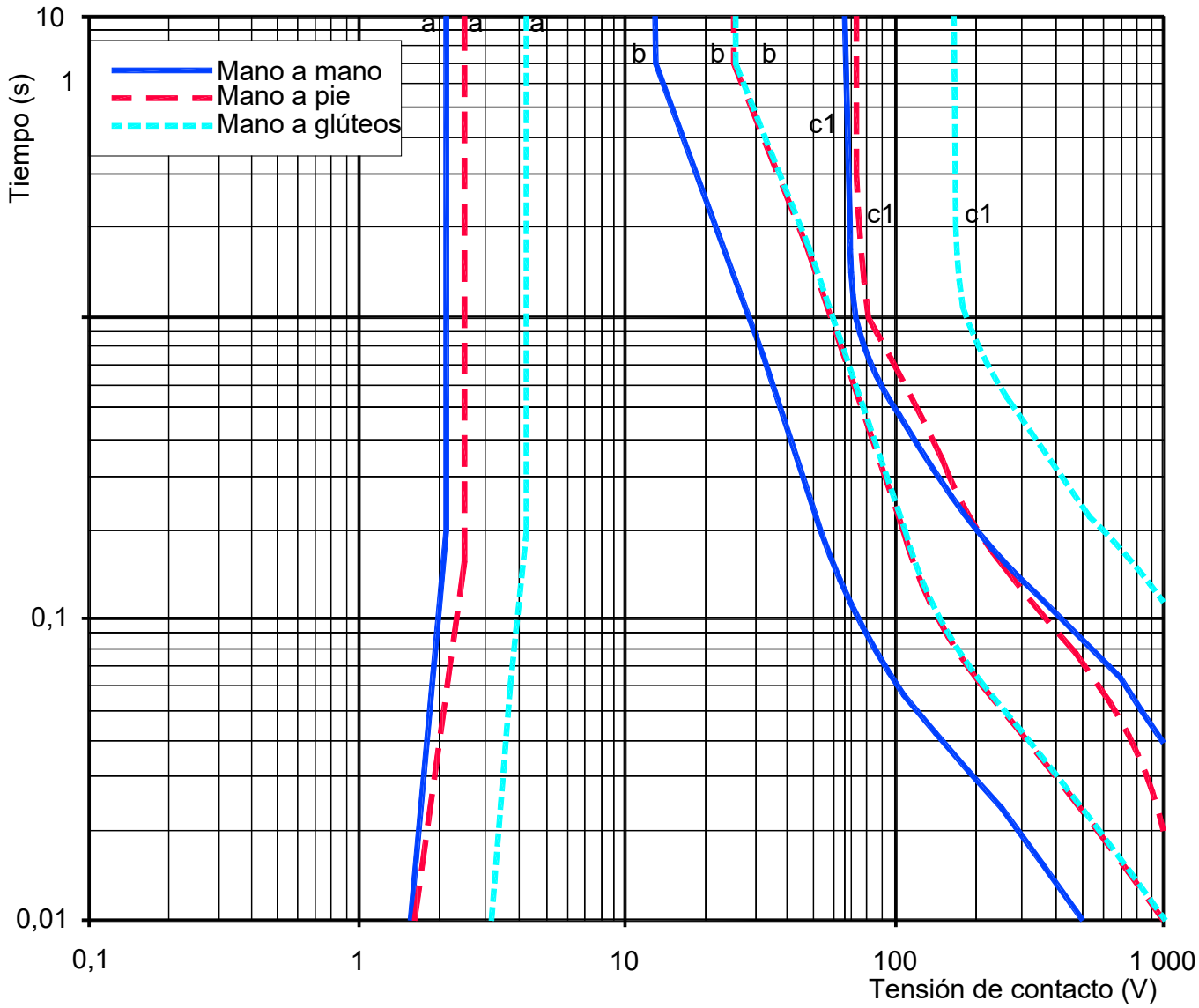
Presencia de agua

Medio ambiente

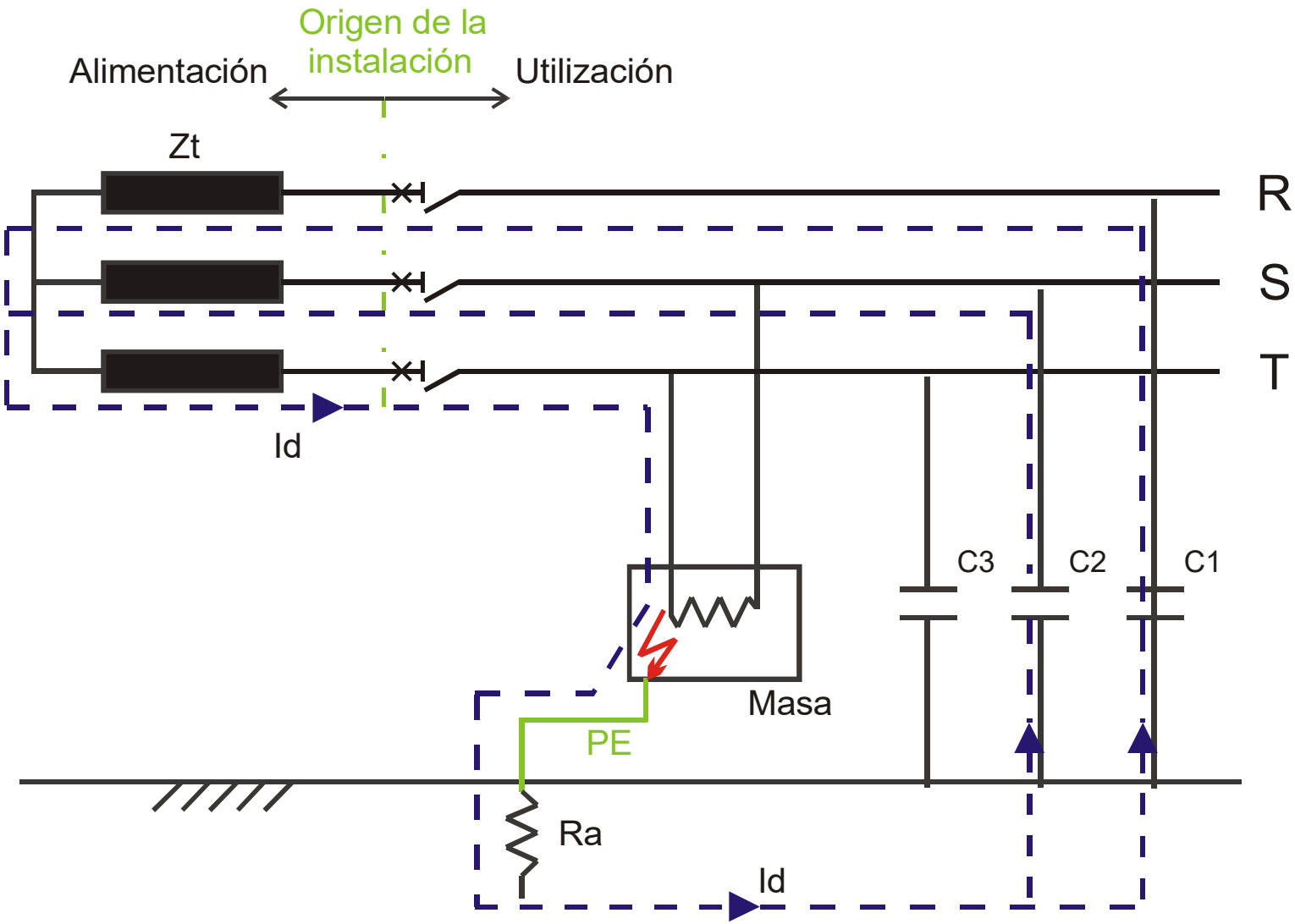
Tiempos de desconexión



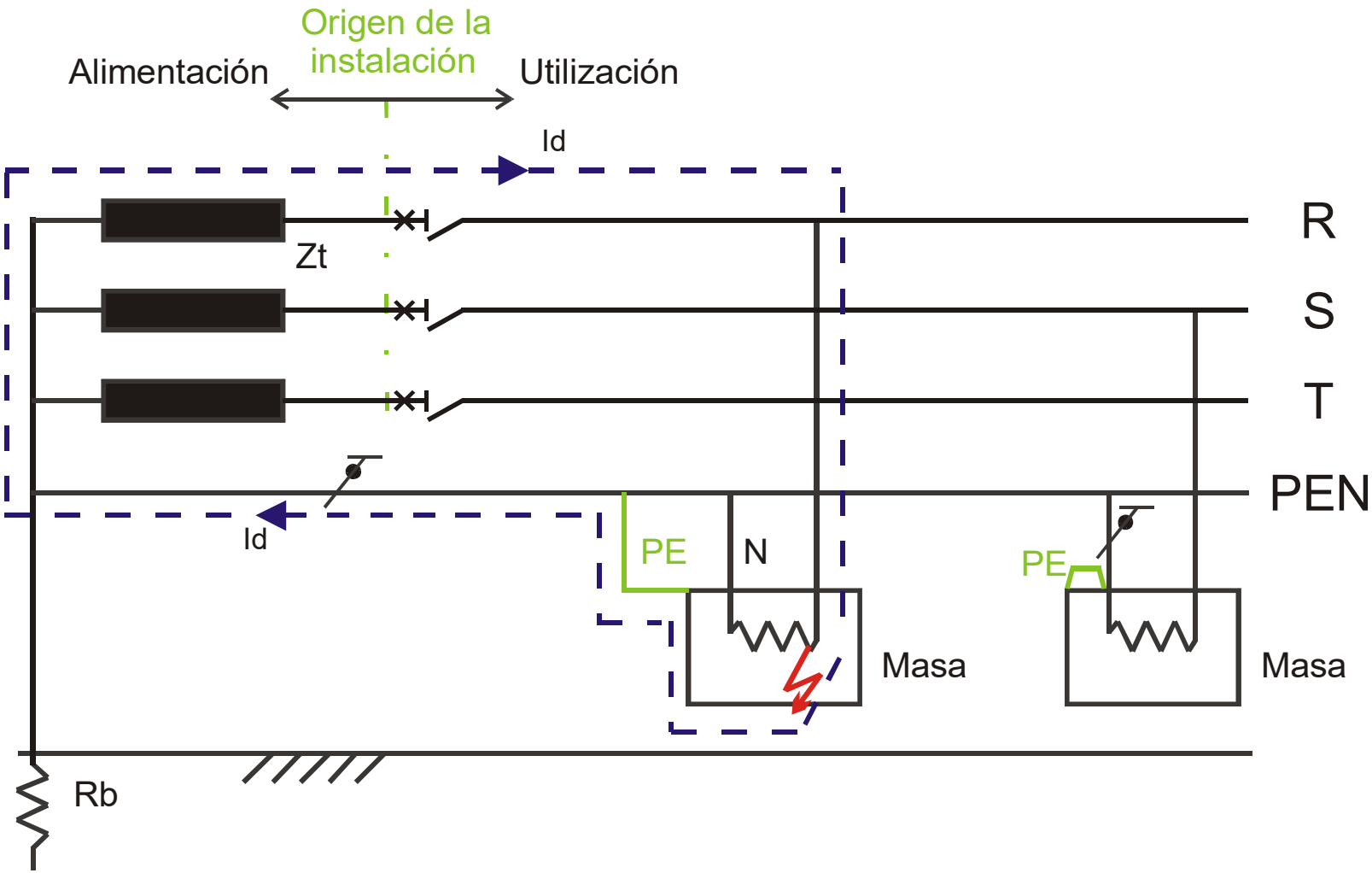
Tiempos de desconexión



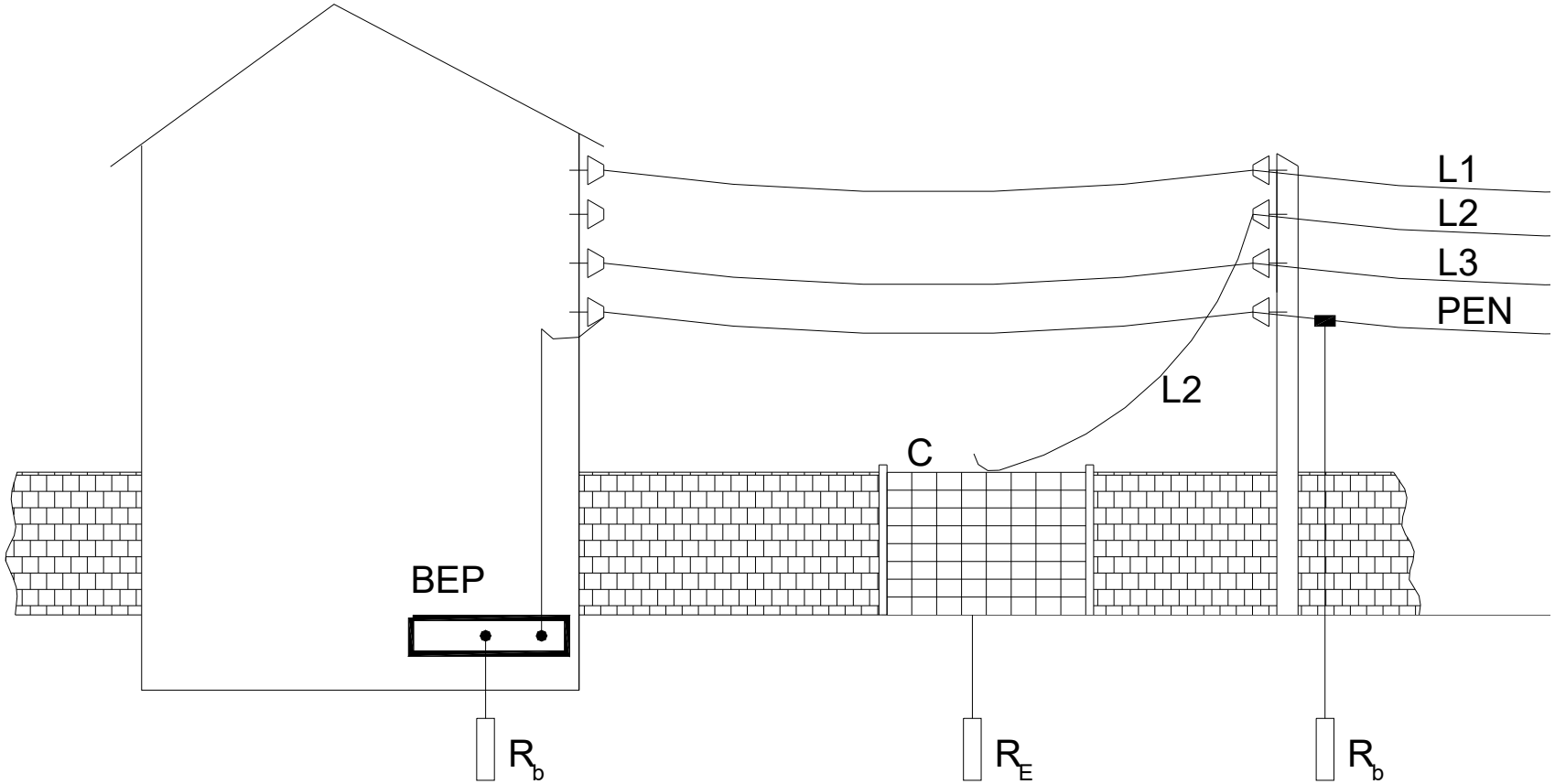
Lazo de falla esquema IT



Lazo de falla esquema TN-C



Falla en esquema TN-C

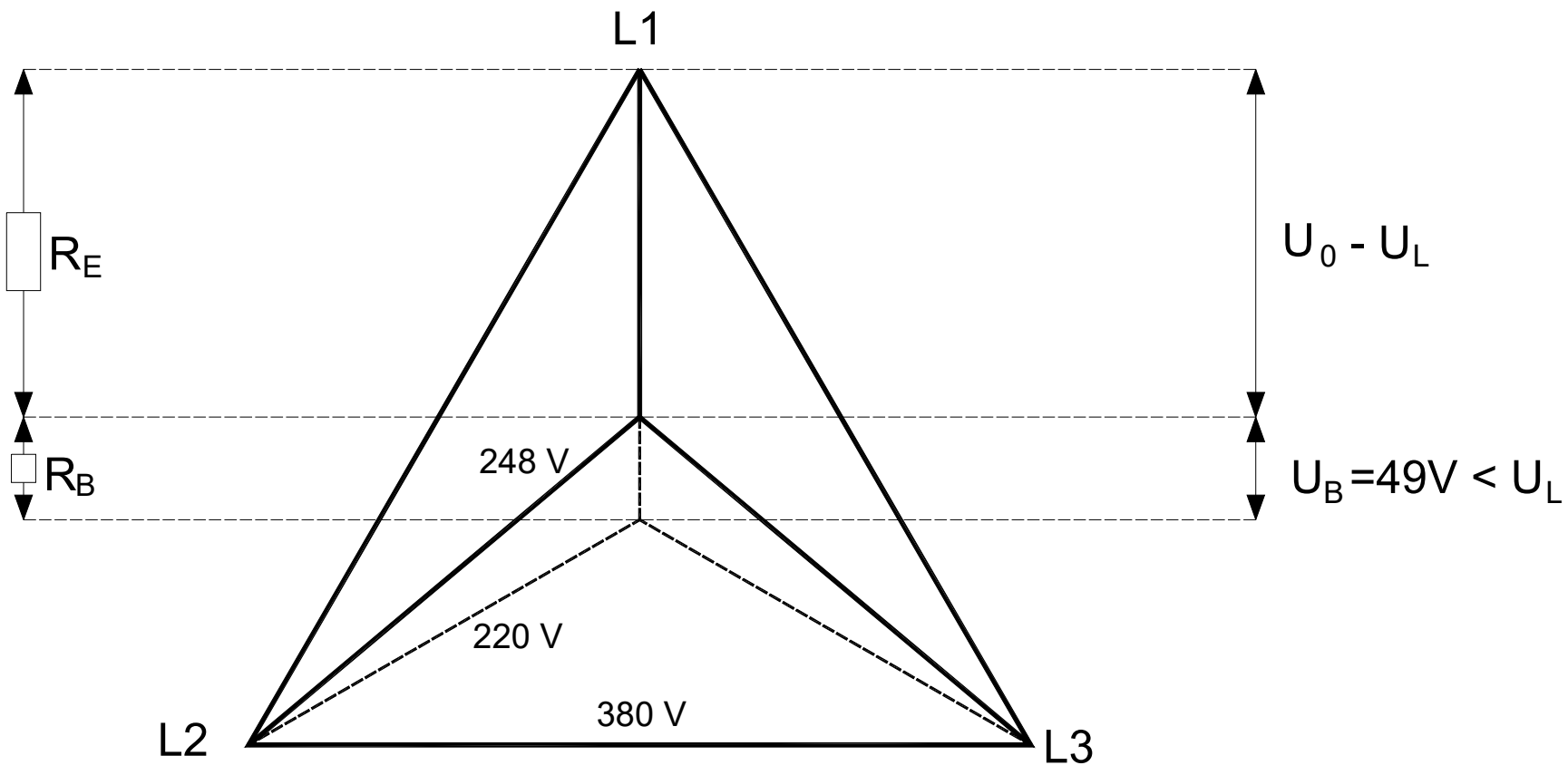


Resistencia de PAT en esquema TN-C

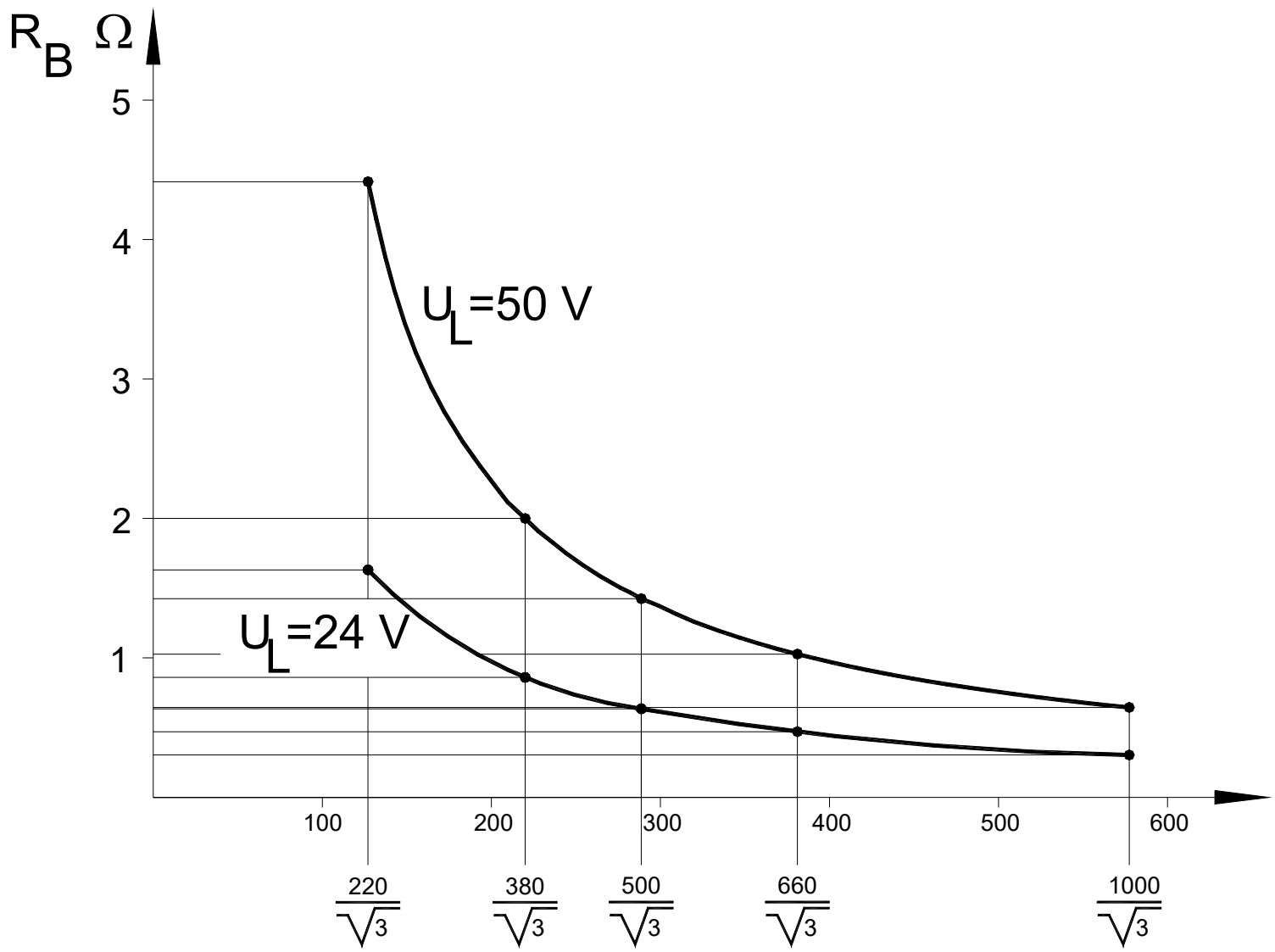
$$\frac{R_b\,(\Omega)}{R_E\,(\Omega)} \leq \frac{U_L\;(V)}{U_0\;(V) - U_L\;(V)}$$

$$\frac{R_b\,(\Omega)}{R_E\,(\Omega)} \leq \frac{24\,V}{U_0\;(V) - 24\,V}$$

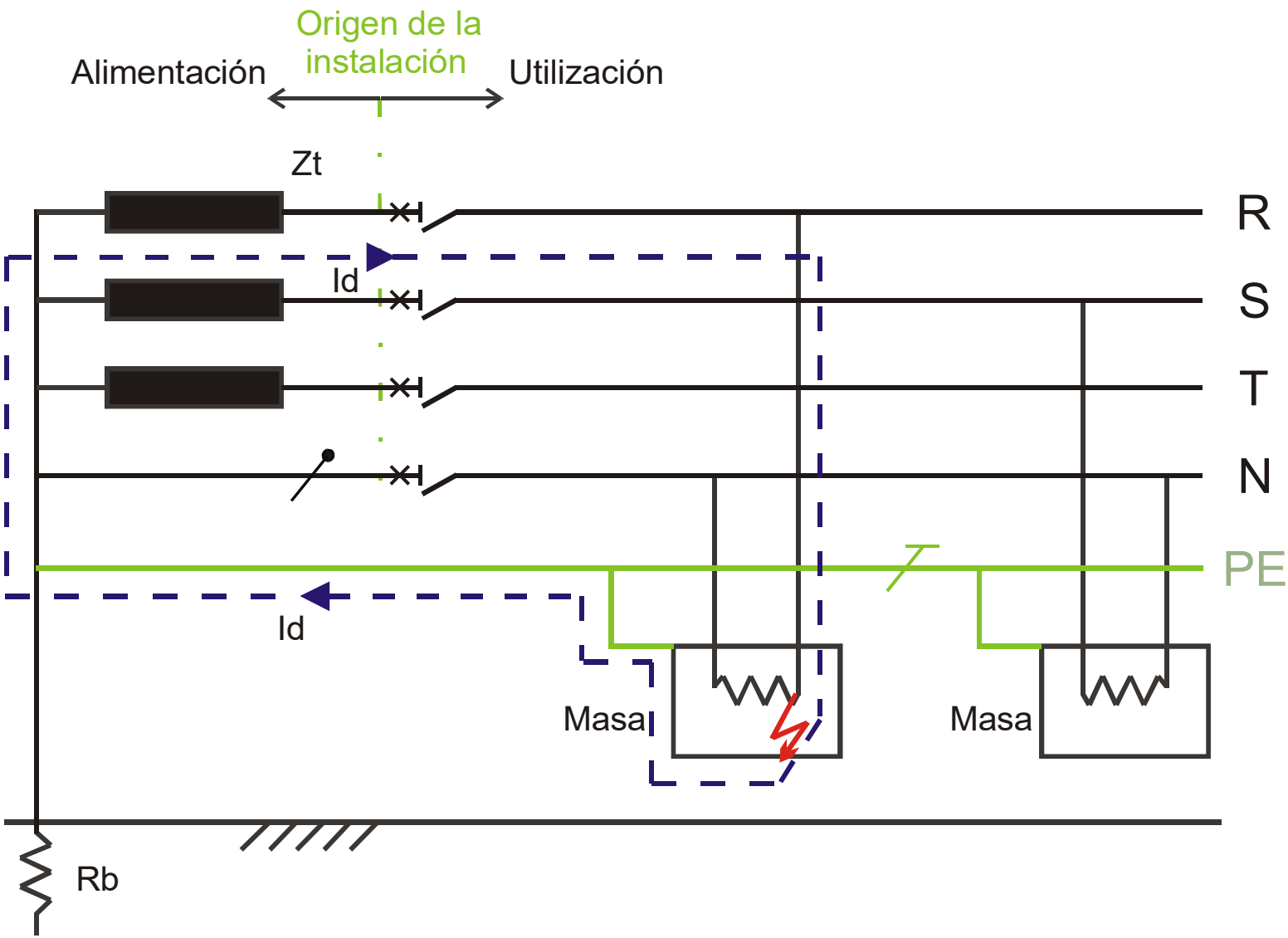
Balance de tensiones



Resistencia de puesta a tierra



Lazo de falla esquema TN-S



Lazo de falla esquema TN-S

$$I_a = \frac{0{,}8 . U_0}{R_{línea} + R_{PE}}$$

Si $$R_{línea} = R_{PE} = R \quad \Rightarrow \quad I_a = \frac{0{,}8 . U_0}{2\ R}$$

$$I_a = \frac{0{,}8 . U_0}{2 . 1{,}5 \dfrac{\rho L_{máx}}{s}} = \frac{0{,}8 . U_0 . S}{2 . 1{,}5 . \rho . L_{máx}}$$

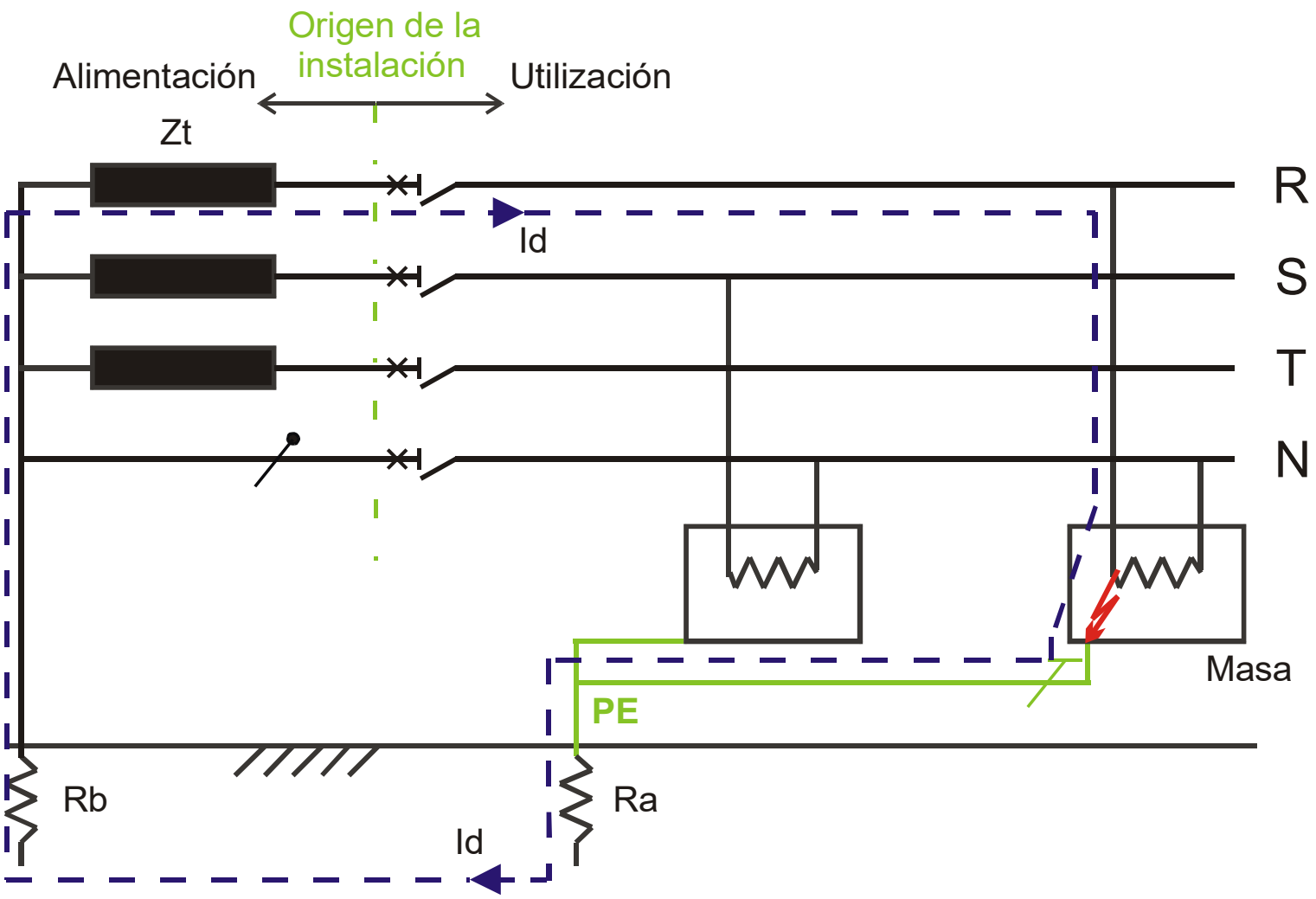
$$\Rightarrow \quad L_{máx} = \frac{0{,}8 . U_0 . S}{2 . 1{,}5 . \rho . I_a}$$

Correcciones

S (mm^2)	120	150	185	240	300
f Factor de reactancia	0,9	0,85	0,8	0,75	0,72

$$\Rightarrow \qquad f \,.\, L_{máx} = \frac{0{,}8 \,.\, U_0 \,.\, S}{2 \,.\, 1{,}5 \,.\, \rho \,.\, I_a}$$

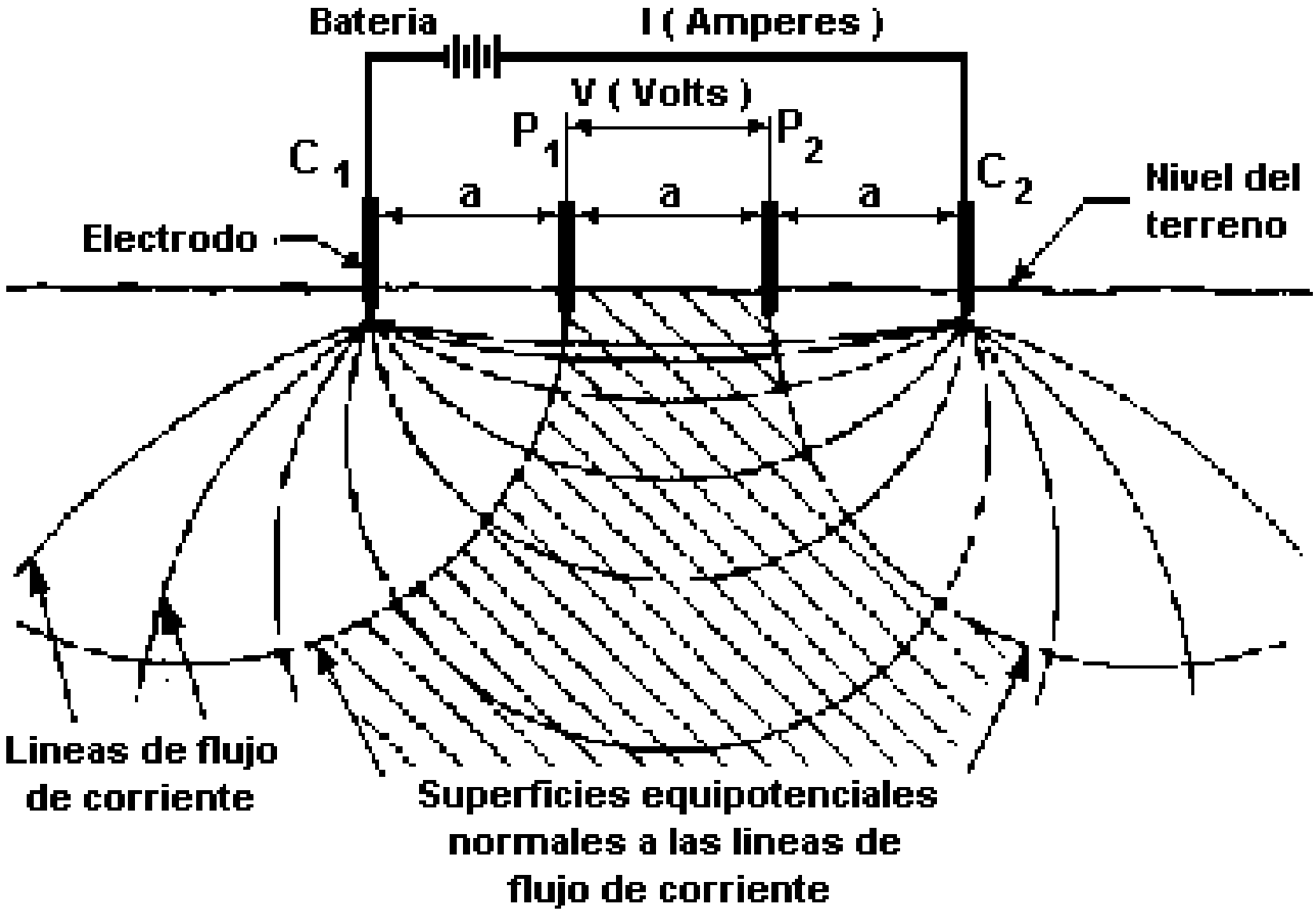
Lazo de falla esquema TT



Valores máximos de resistencia de PAT de protección

Corriente diferencial máxima asignada del dispositivo diferencial $I_{\Delta n}$		Columna 1 Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra (Ω) para U_L 50 V	Columna 2 Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra (Ω) para U_L 24 V	Columna 3 Valor máximo permitido de la resistencia de la toma de tierra de las masas eléctricas Ra (Ω)
Sensibilidad baja	20 A	2,5	1,2	0,6
	10 A	5	2,4	1,2
	5 A	10	4,8	2,4
	3 A	17	8	4
Sensibilidad media	1 A	50	24	12
	500 mA	100	48	24
	300 mA	167	80	**40**
	100 mA	500	240	**40**
Sensibilidad alta	Hasta 30 mA inclusive	Hasta 1666	800	**40**

Método de Wenner



Método de Wenner

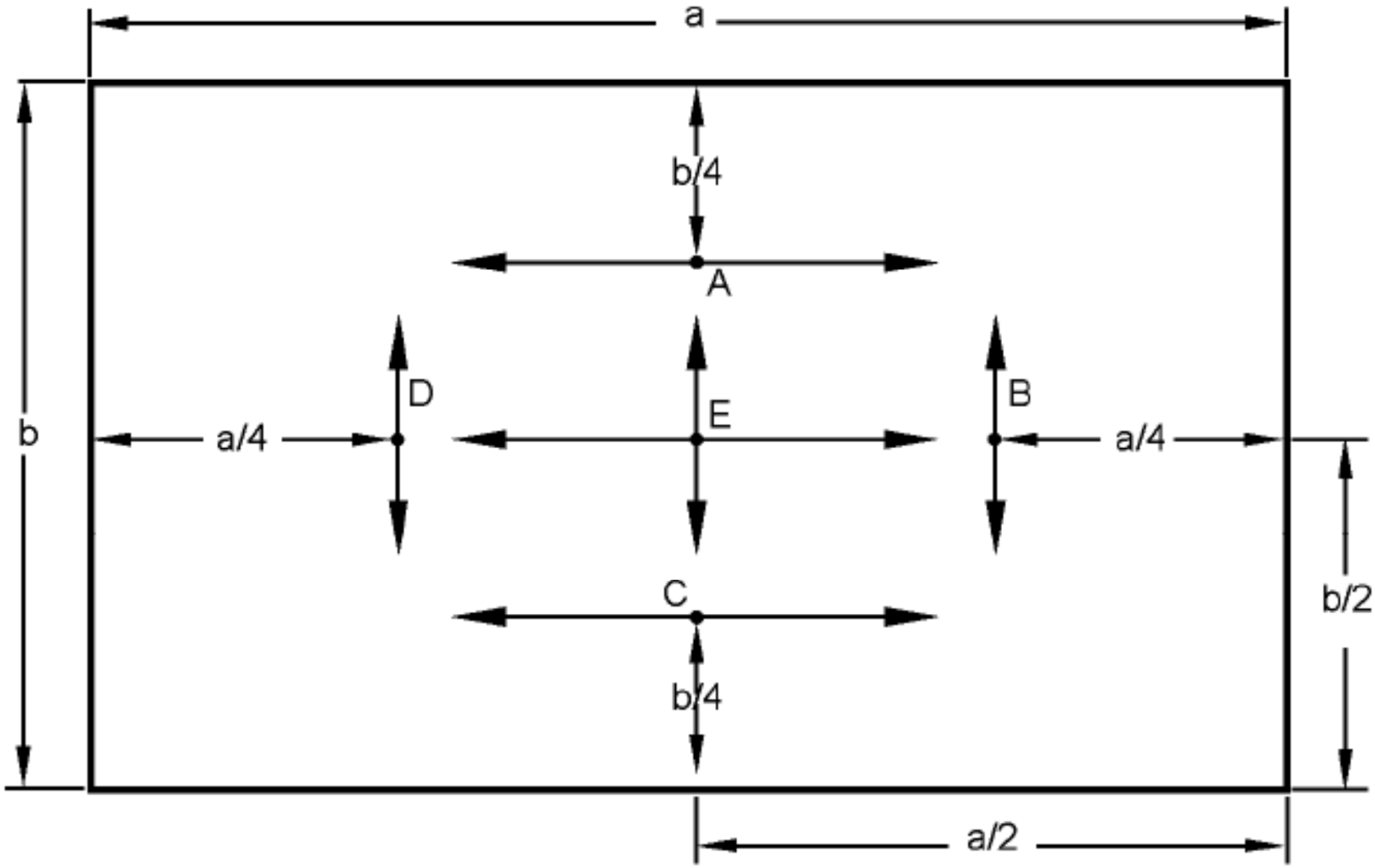
De: $$R = \frac{U}{I}$$

se tiene: $$\rho = 2\ \pi\ \text{a}\ R$$

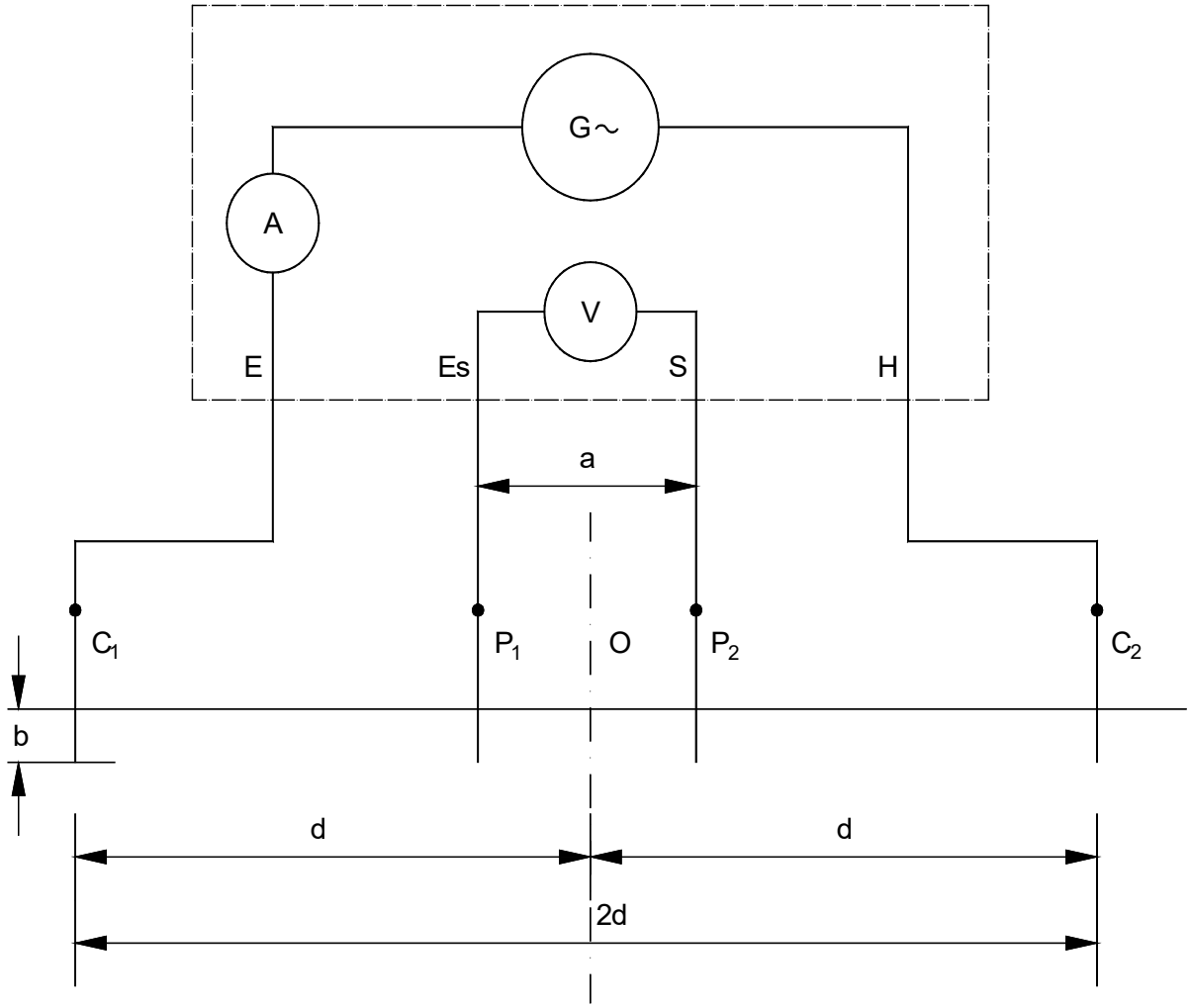
con: $$b \leq 0{,}1\ \text{a}$$

preferiblemente $$b \leq 0{,}05\ \text{a}$$

Aplicación del método de Wenner

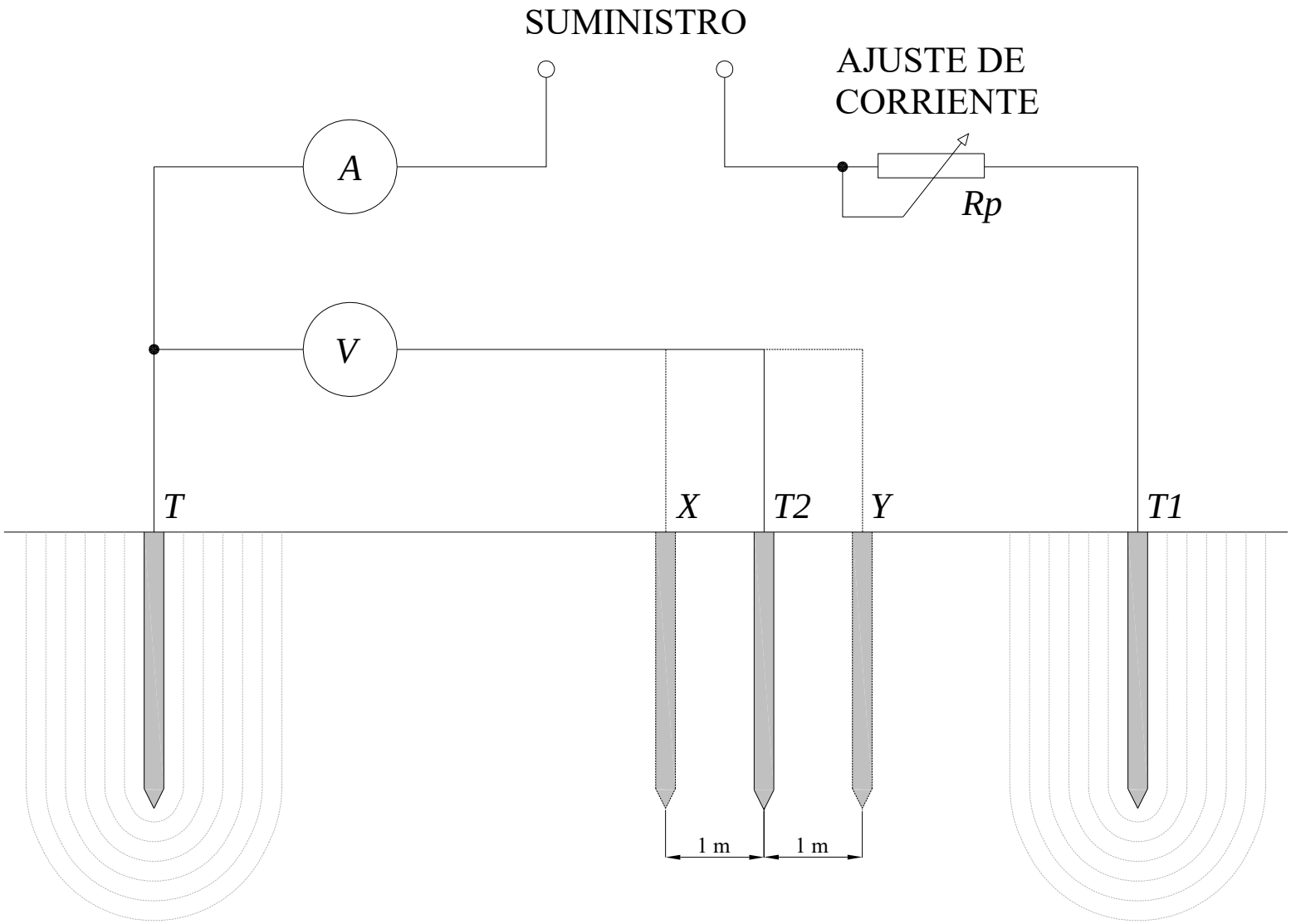


Método de Schlumberger



$$\rho = \frac{\pi\left(d^2 - a^2/4\right) R_{P1-P2}}{4}$$

Medición de resistencia de PAT



Calibración

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería

DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA
PASEO COLÓN 850

LABORATORIO ELÉCTRICO DE METROLOGÍA

Descripción: TELURÍMETRO Y VOLTÍMETRO DIGITAL DE 3 ¾ DÍGITOS
Rangos de Resistencia: (40 - 400 - 4 000) Ω
Rango de Tensión: 400 V_{CA}

Marca y Modelo: TES, 1700
Serie y Nº: 000706830
Requerido por: INSTITUTO NACIONAL SUPERIOR DEL PROFESORADO TÉCNICO

Código LEM: 18.5.37 / MC*
Nº de Certificado: 2873
Fecha: 03-09-2007

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

El Instrumento en cuestión ha sido ensayado en nuestro Laboratorio en las Condiciones de Referencia; verificándose que en las funciones y rangos indicados, cumple con las Exactitudes especificadas en los datos técnicos respectivos.

ING. S. MARDYKS
LAB. ELECTR. DE METROLOGÍA
JEFE DE LABORATORIO

Ing. CARLOS A. PEREZ
DIRECTOR
LABORATORIO ELECTRICO DE METROLOGIA

Incertidumbre expandida de la medición: Ω: ± 0,02 % ; V_{CA}: ± 0,1 %.

Evaluada en base a la incertidumbre estándar (tipo B) -*incluida en la calibración precedente*- de una distribución rectangular, multiplicada por un factor de cobertura de 1,65 correspondiente a una probabilidad de cobertura del 95%.

Condiciones ambientales: Temperatura (23±1) °C - HR 55 al 75%.

Este Certificado no atribuye al equipo otras características que las mostradas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se encuentra la medición, conforme a las pertinentes normas o especificaciones del Manual de Instrucciones.
El Grupo Patrón de Referencia de Tensión GPRW y de Resistencia GPRR, representantes del **$volt_{LEM}$** y **ohm_{LEM}**, son **Trazables** a los del Instituto Nacional Electrotécnico Galileo Ferraris (IEN), Turín - Italia, así también a los del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Los eventuales desvíos que afecten a los patrones de los aludidos Grupos se registran en cada Ciclo de Intercomparación anual.

Patrones de Referencia viajeros

Elemento Patrón	Identificación	Certificados
De Tensión de Estado Sólido	FLUKE 732B SN 6050011	7520 31038.02
Resistor tipo Thomas	Leeds & Northrup SN 1883406	6569 31038.01

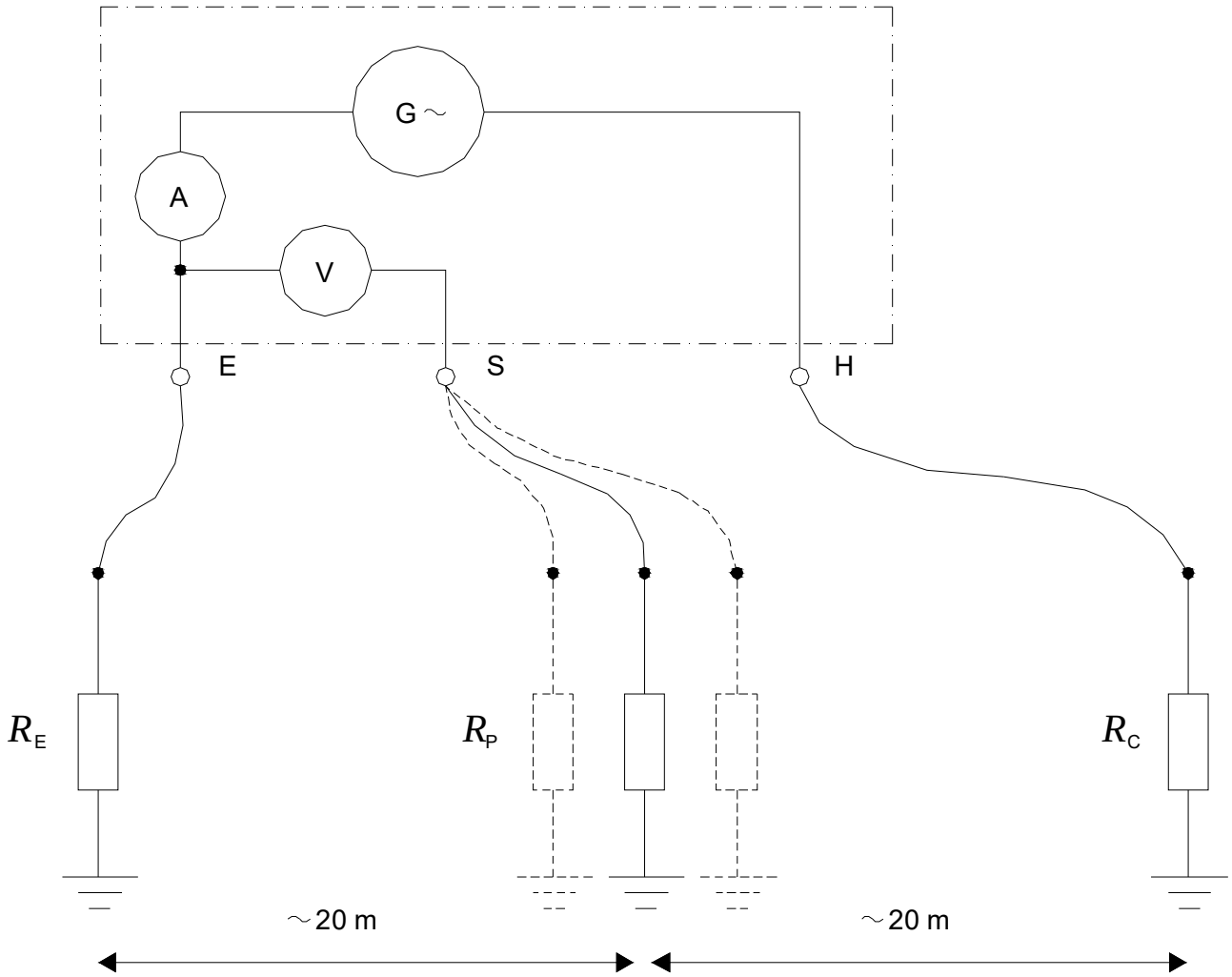
Así mismo son **Trazables**: El Transformador de Corriente, de Tensión y el Capacitor patrón de 1μF a los del INTI, el correspondiente de Energía eléctrica al del Centro Español de Metrología, Tres Cantos, Madrid. El Termoresistor de Platino al del National Physical Laboratory (NPL) G. Bretaña y el de Tiempo al del Observatorio Naval Argentino. Frecuencia Trazable al GPS, Dpto. de Electrónica FI-UBA. (ver 5.6 Trazabilidad de las Mediciones nota 6, Norma ISO/IEC 17025/99 IRAM 301/2000).

No se permite la reproducción parcial de este Certificado.

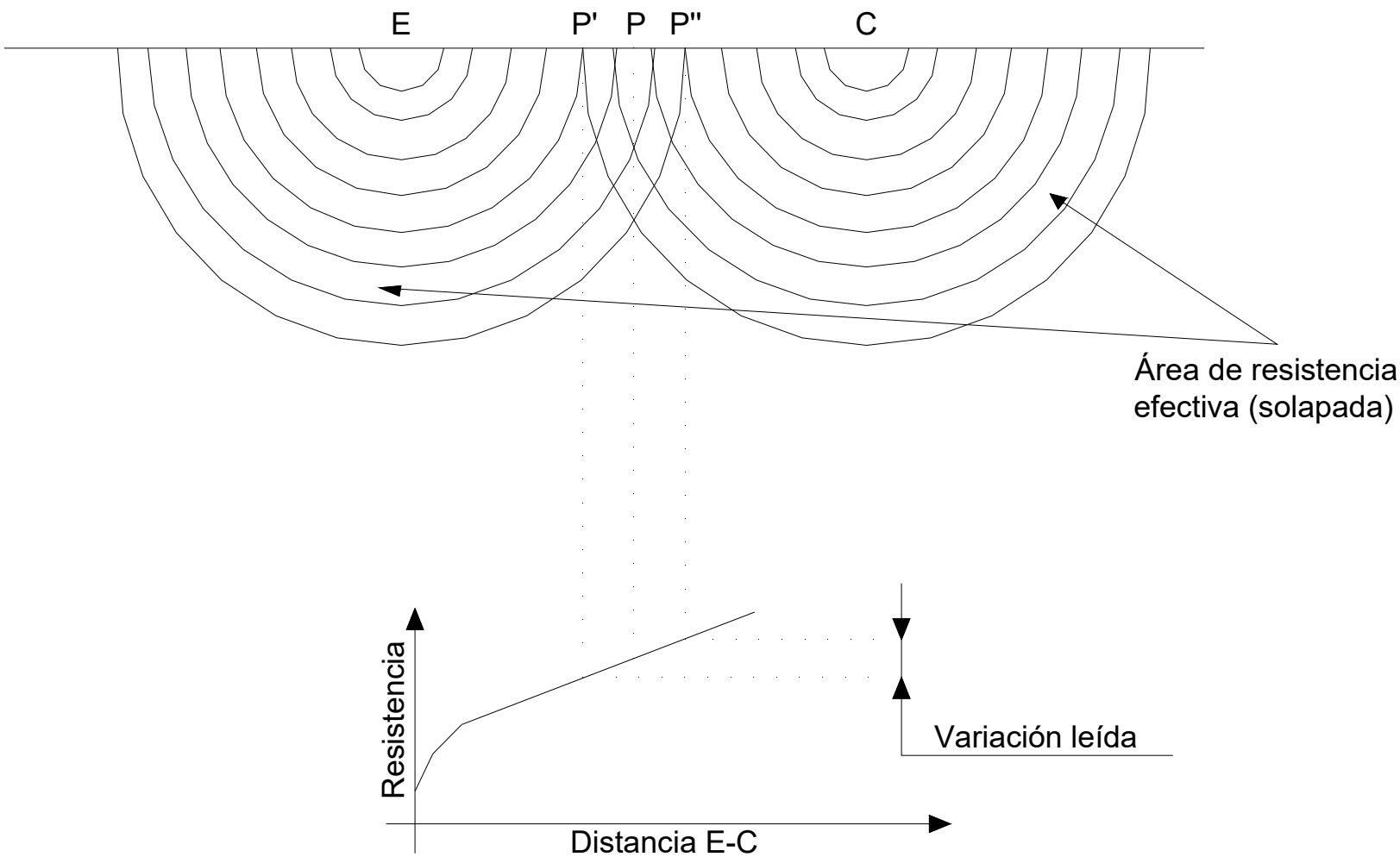
*Procedimiento de Calibración descripto en el Manual de la Calidad (MC) del LEM.

Internet: http://www.laboratorioelectricodemetrologia.fi.uba.ar ó http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lem
E-mail: lem@fi.uba.ar

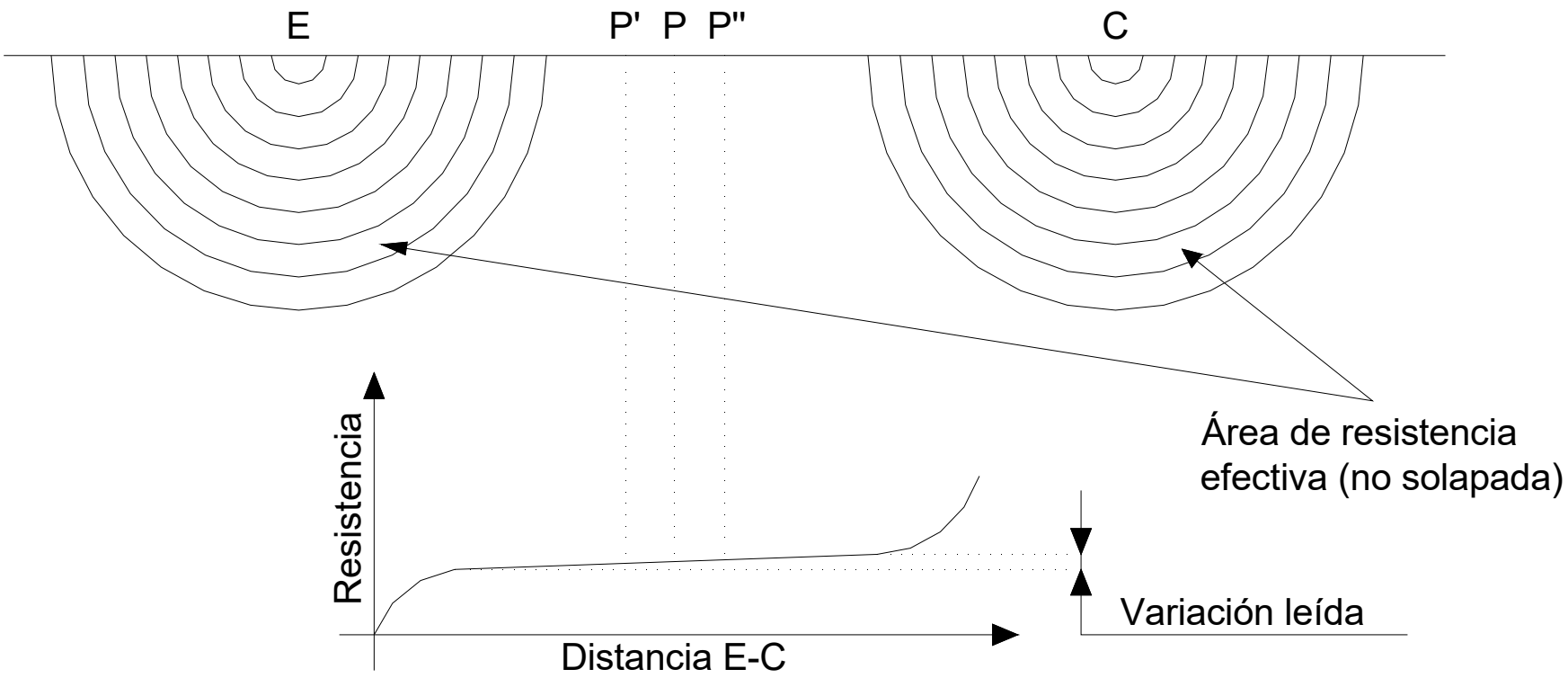
Mediciones



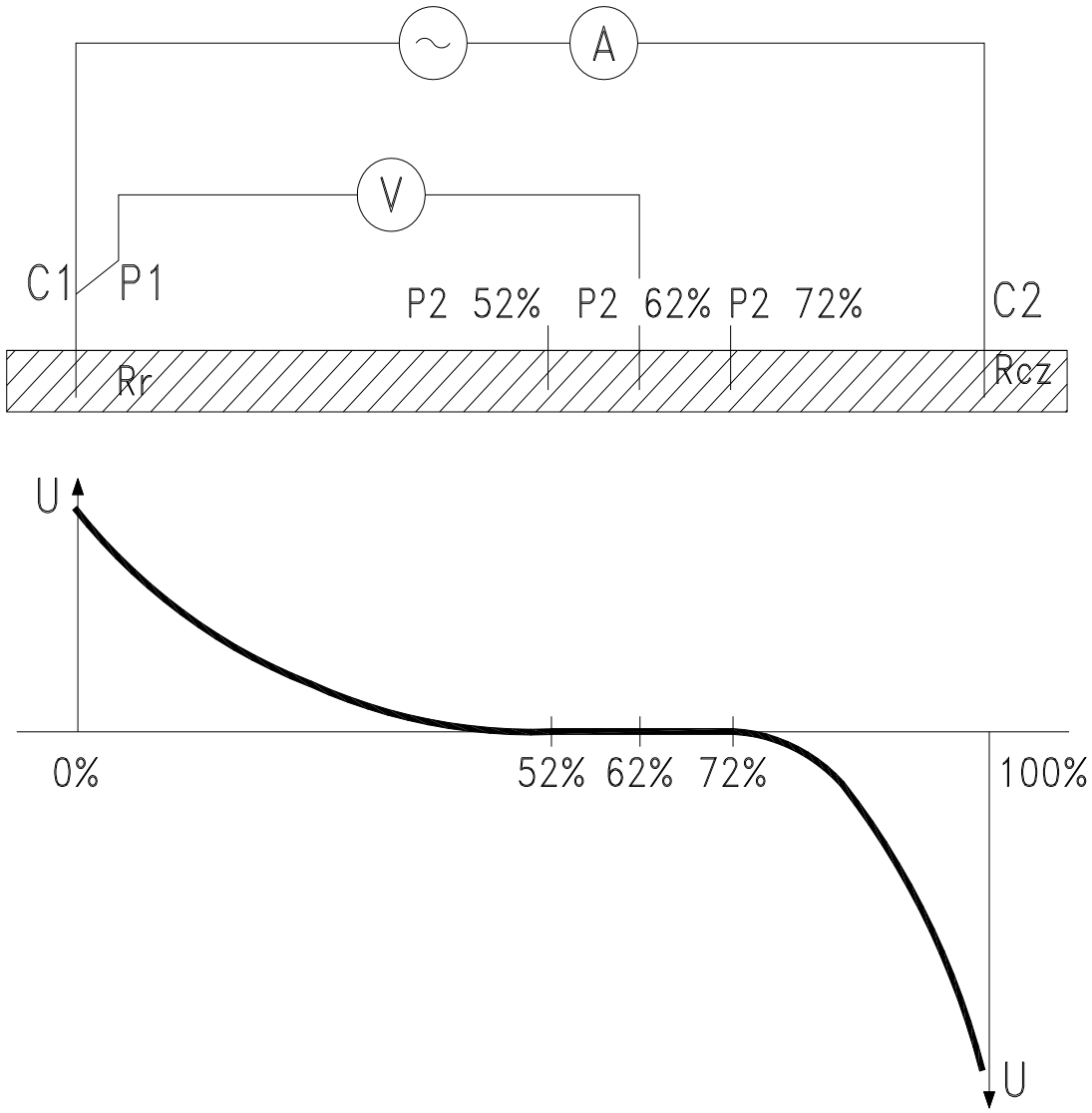
Mediciones


E
P'
P
P''
C
Área de resistencia
efectiva (solapada)
Resistencia
Variación leída
Distancia E-C

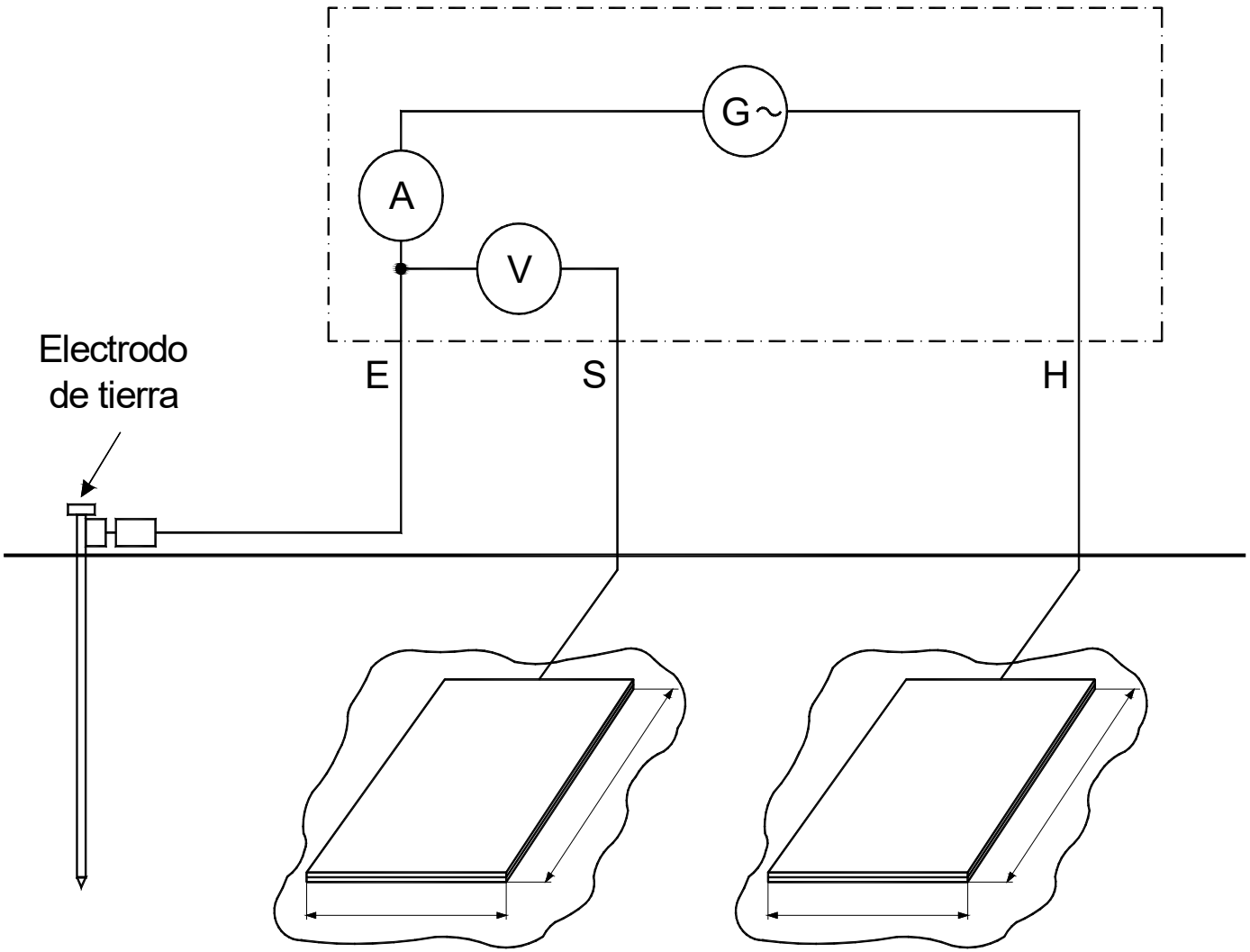
Mediciones


E
P' P P''
C
Área de resistencia
efectiva (no solapada)
Resistencia
Variación leída
Distancia E-C

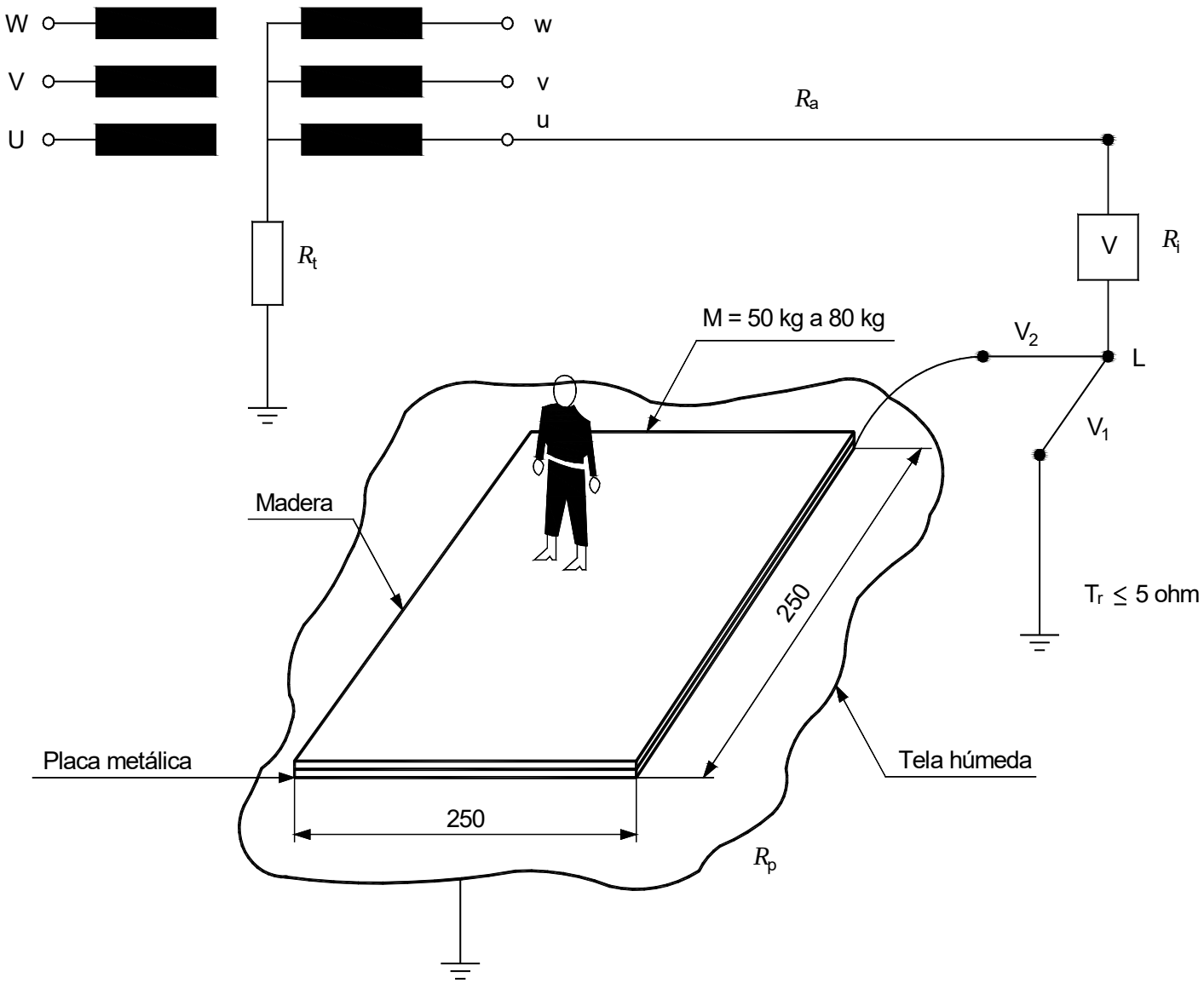
Mediciones



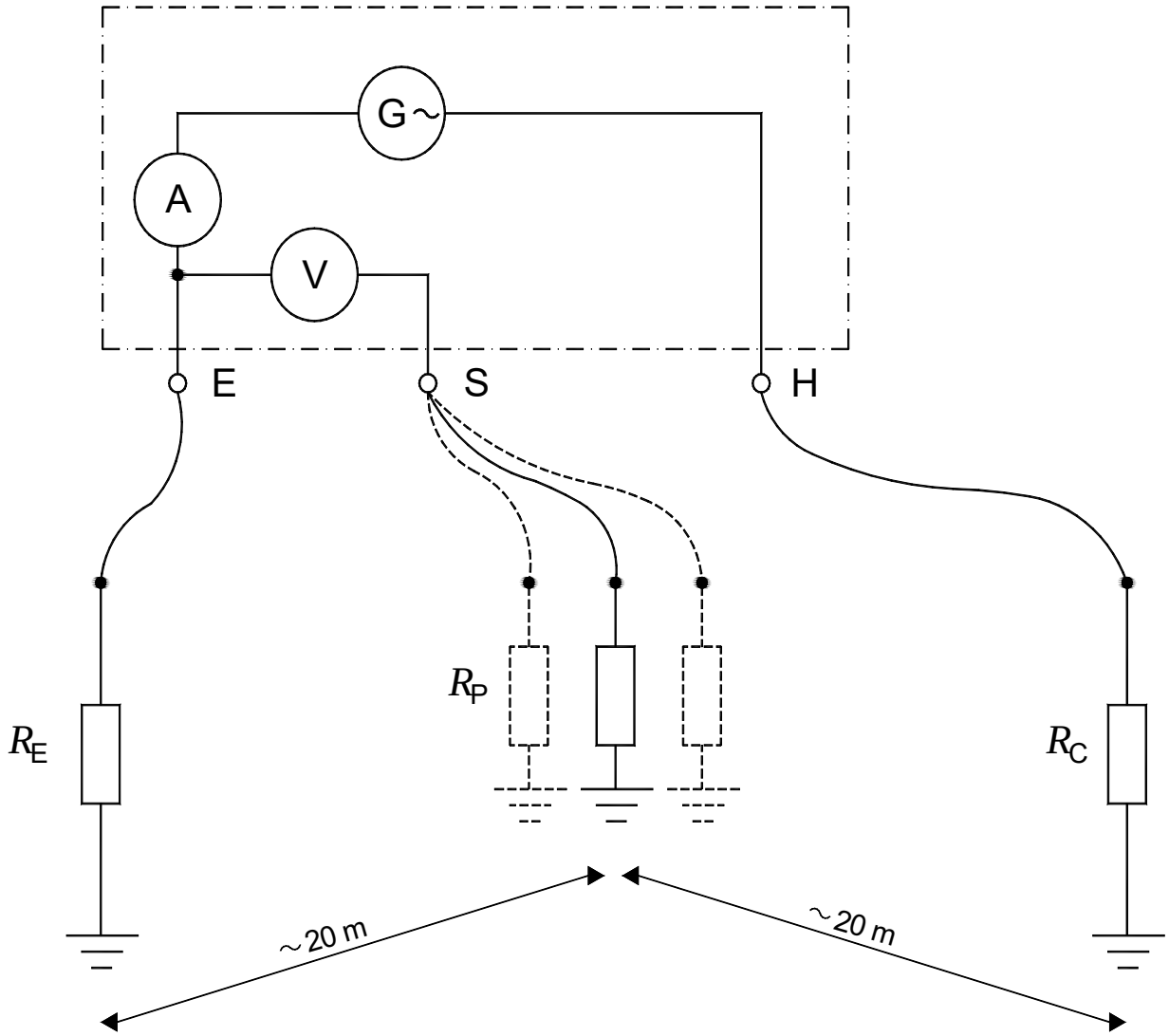
Mediciones



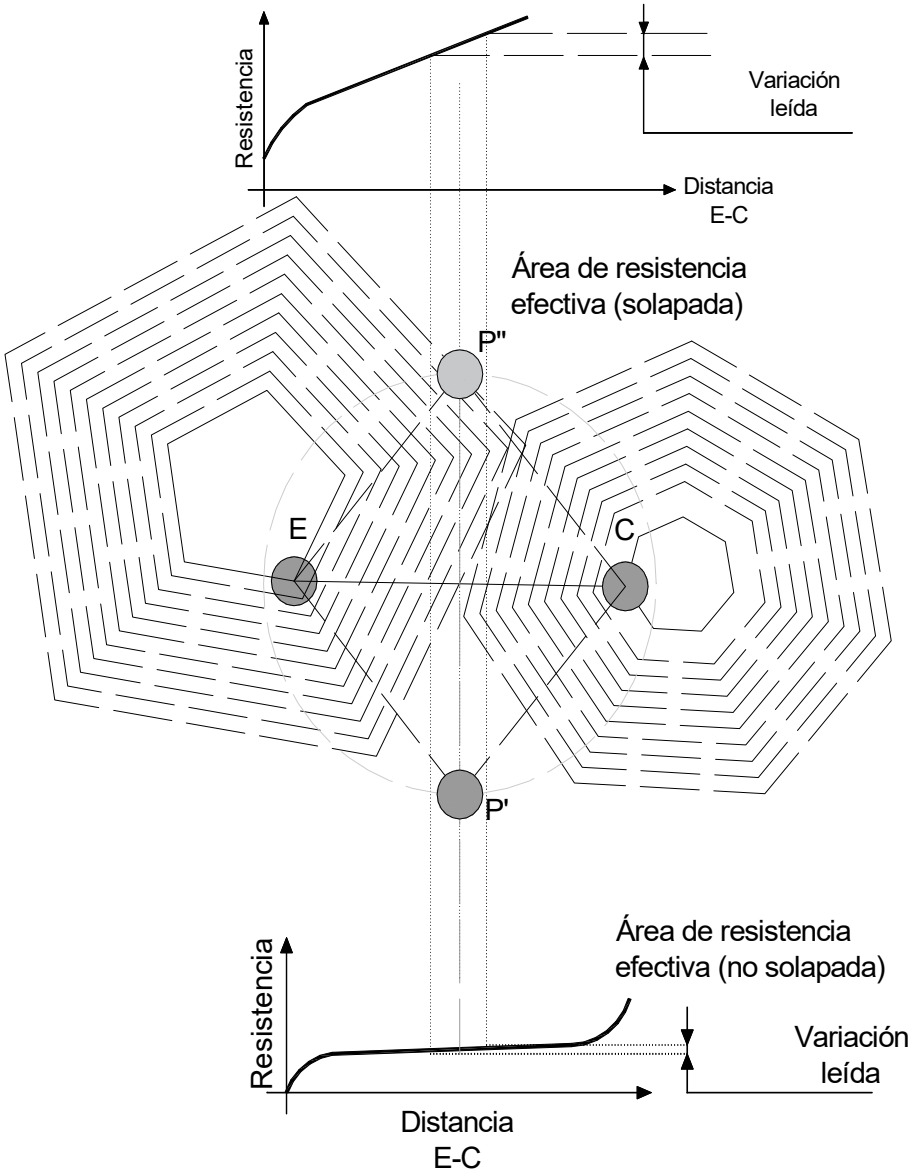
Mediciones


W
V
U
w
v
u
R_a
R_t
V
R_i
M = 50 kg a 80 kg
V_2
L
V_1
Madera
250
$T_r \leq 5$ ohm
Placa metálica
Tela húmeda
250
R_p

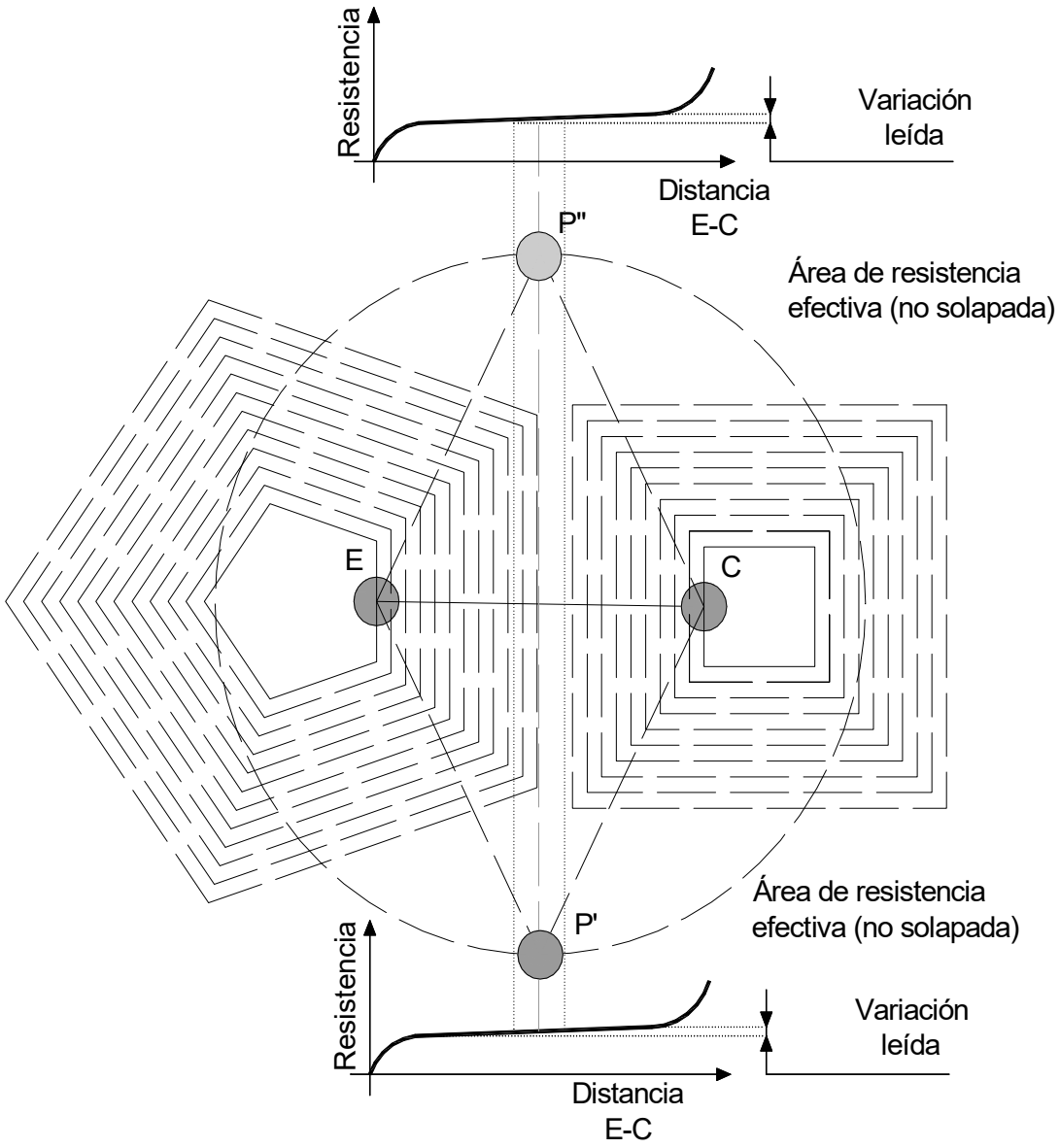
Mediciones



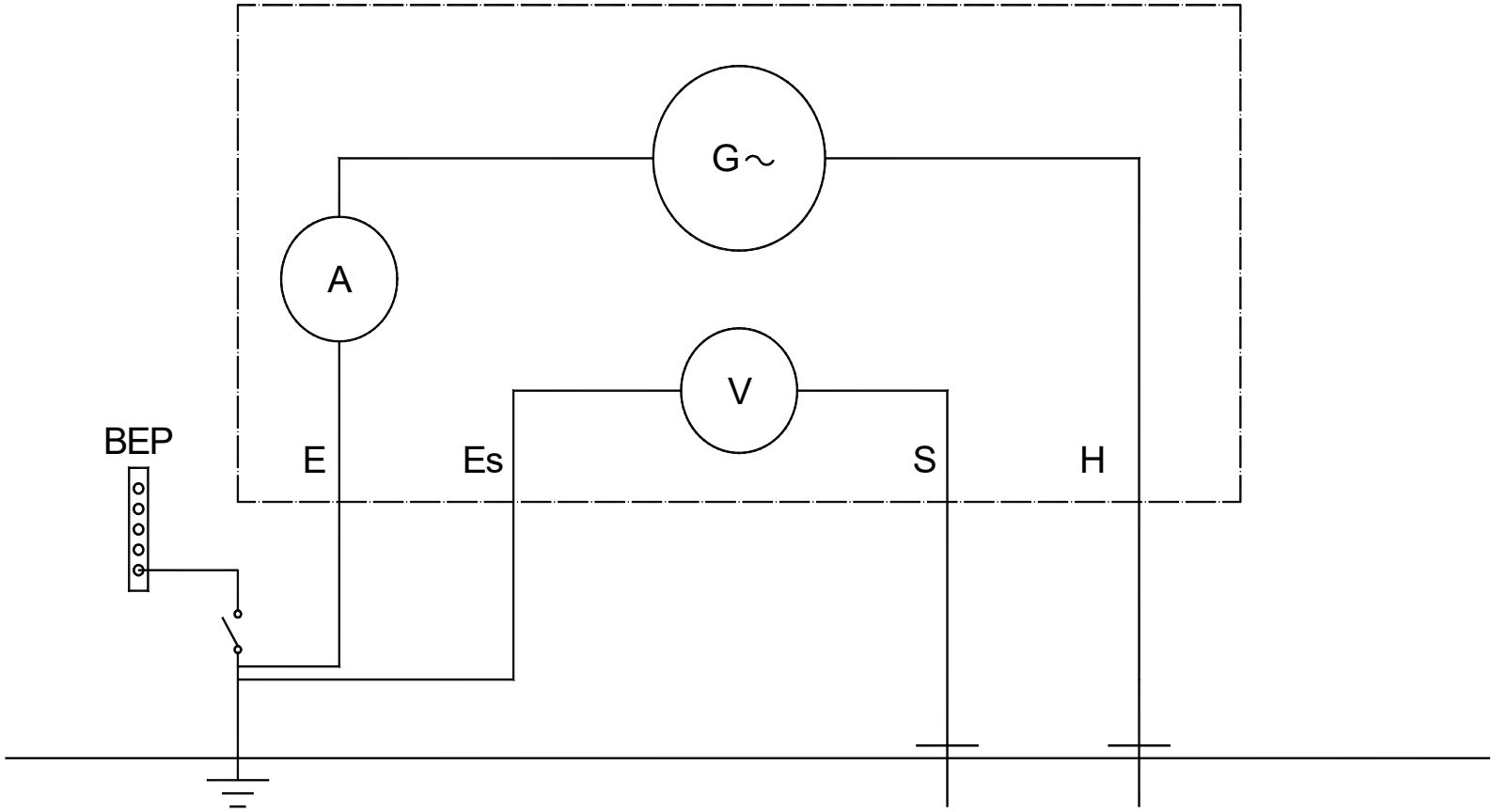
Mediciones


Resistencia
Variación
leída
Distancia
E-C
Área de resistencia
efectiva (solapada)
P''
E
C
P'
Área de resistencia
efectiva (no solapada)
Resistencia
Variación
leída
Distancia
E-C

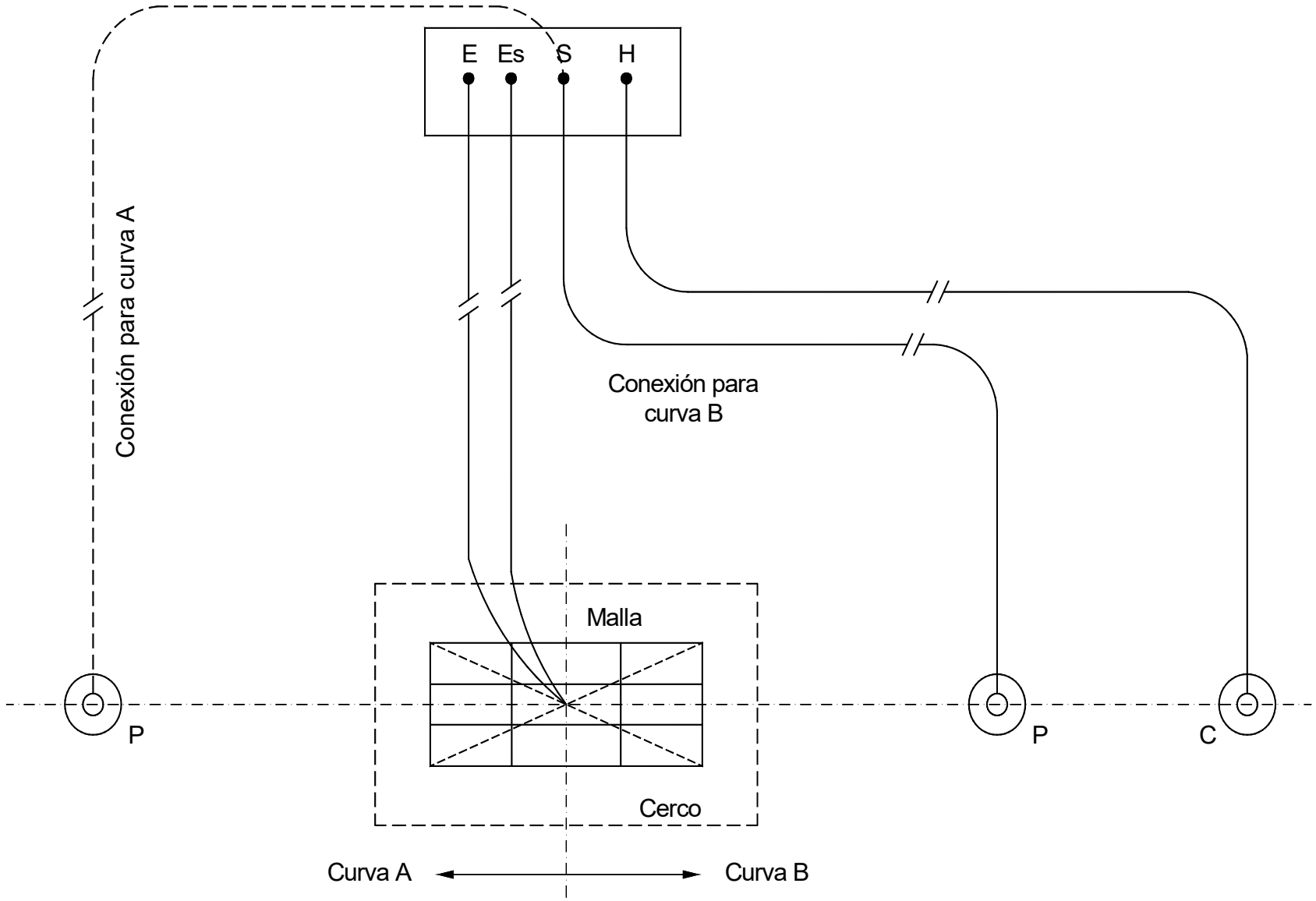
Mediciones


Resistencia
Variación
leída
Distancia
E-C
P"
Área de resistencia
efectiva (no solapada)
E
C
Área de resistencia
efectiva (no solapada)
P'
Resistencia
Variación
leída
Distancia
E-C

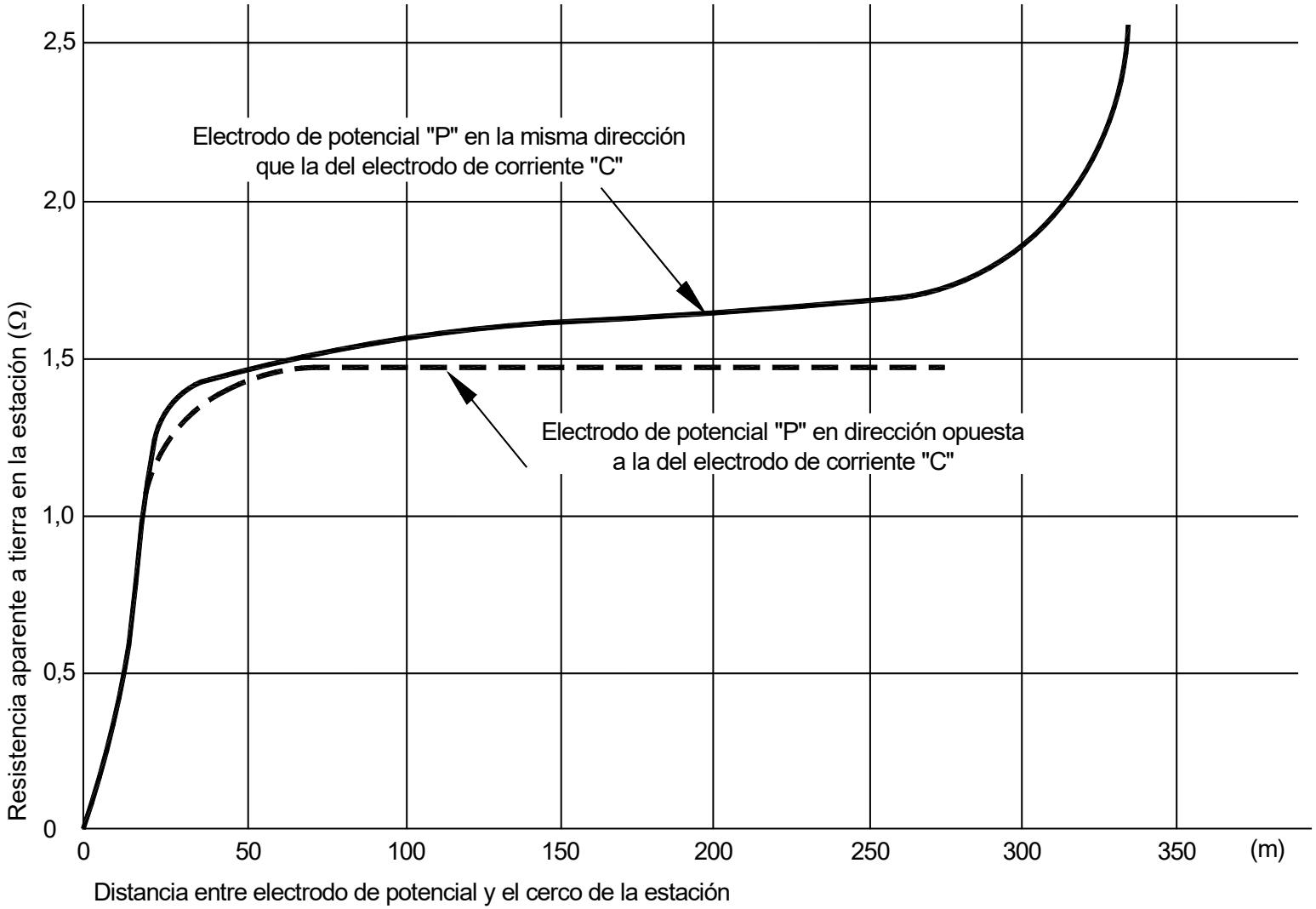
Mediciones



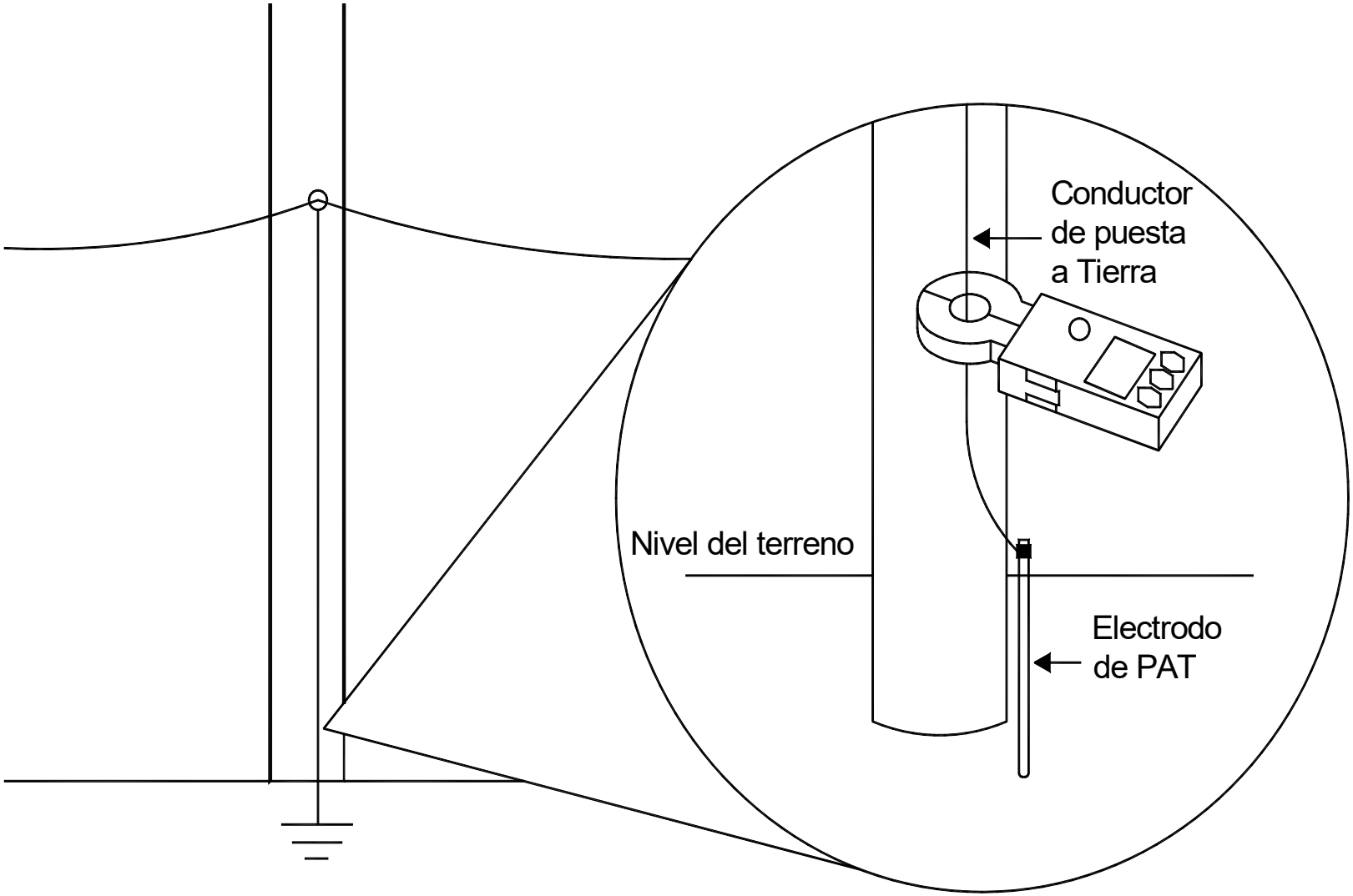
Mediciones


E
Es
S
H
Conexión para curva A
Conexión para
curva B
Malla
Cerco
P
P
C
Curva A
Curva B

Mediciones

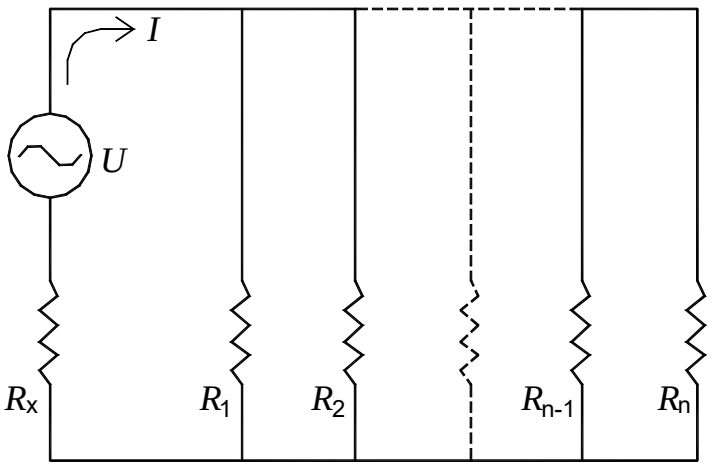

2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
Resistencia aparente a tierra en la estación (Ω)
Electrodo de potencial "P" en la misma dirección
que la del electrodo de corriente "C"
Electrodo de potencial "P" en dirección opuesta
a la del electrodo de corriente "C"
0
50
100
150
200
250
300
350
(m)
Distancia entre electrodo de potencial y el cerco de la estación

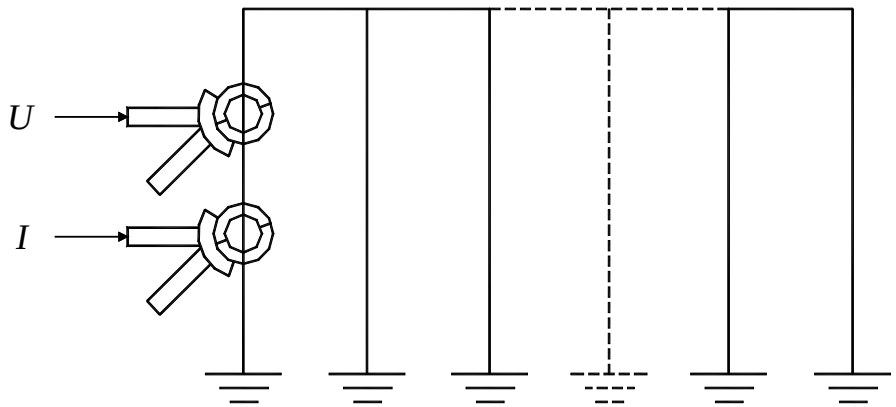
Mediciones


Conductor
de puesta
a Tierra
Nivel del terreno
Electrodo
de PAT

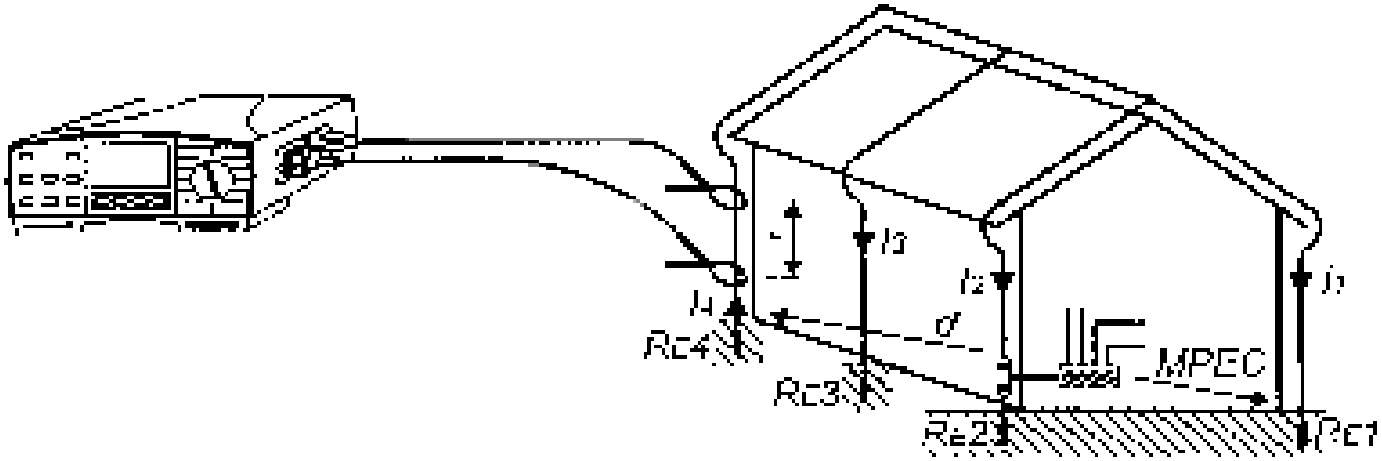
Mediciones

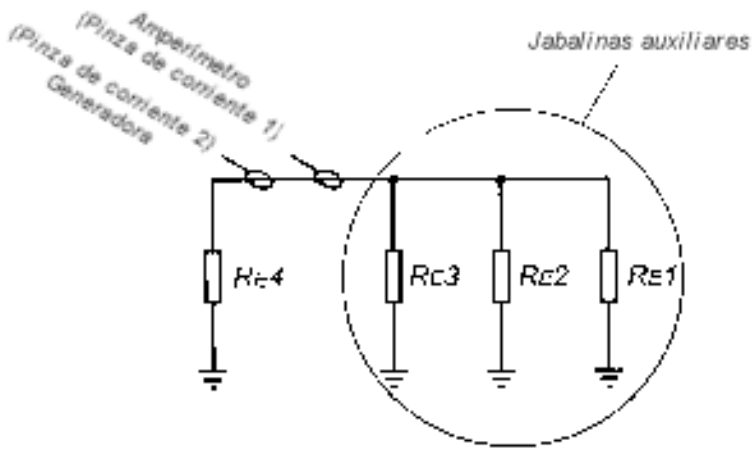
Circuito equivalente
(Electrodos de PAT en paralelo)





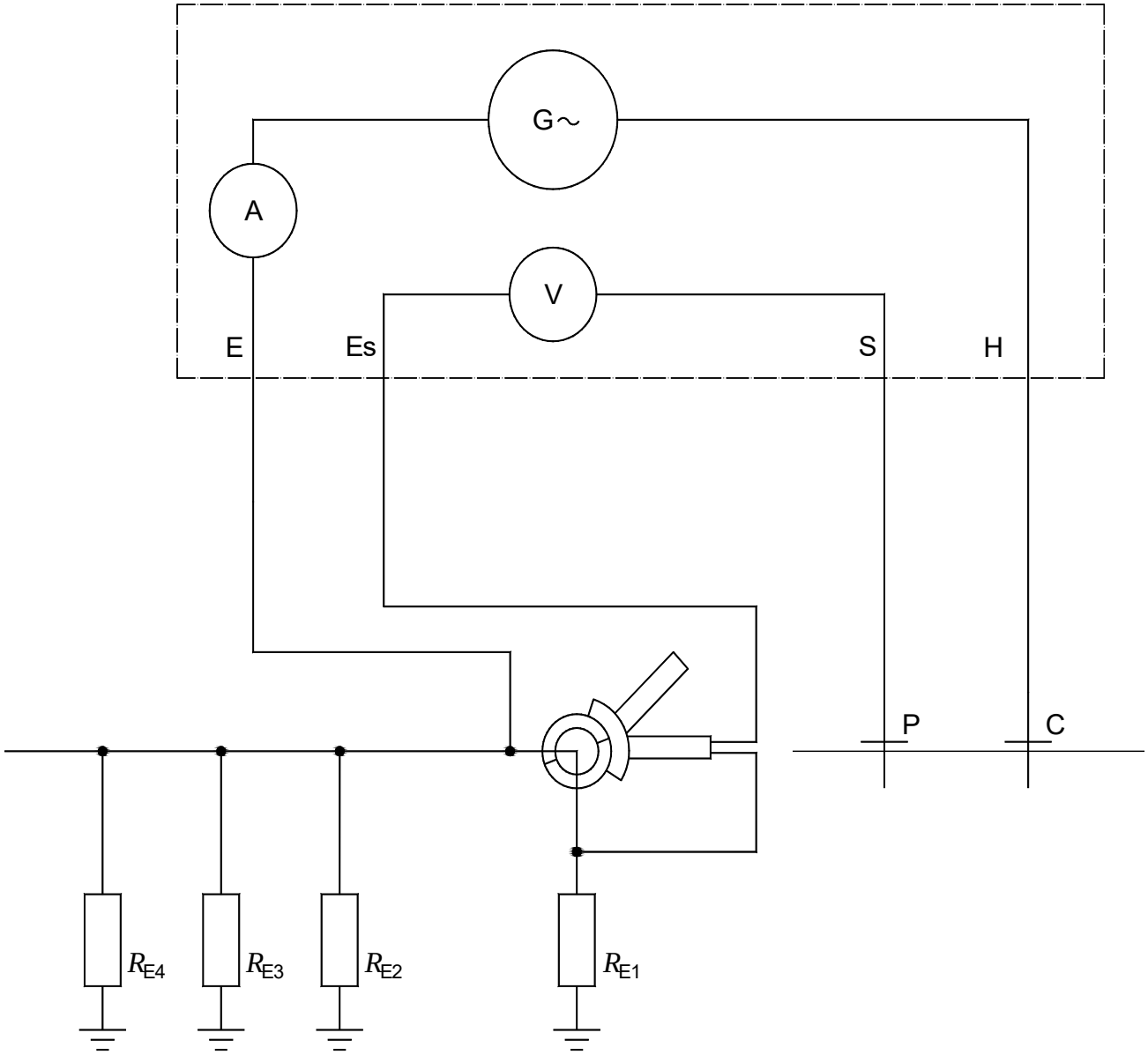
Mediciones



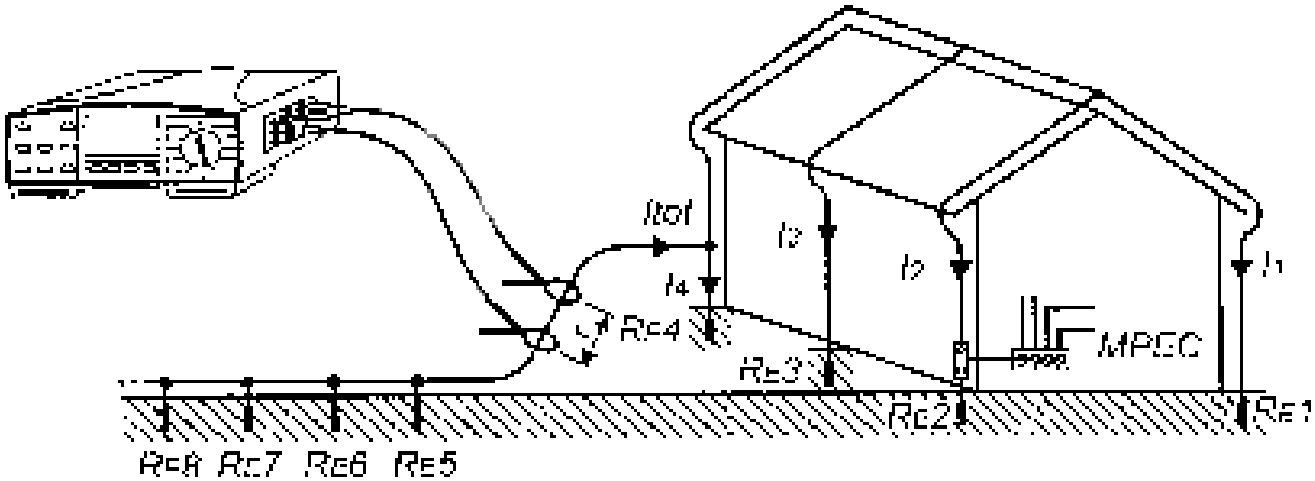


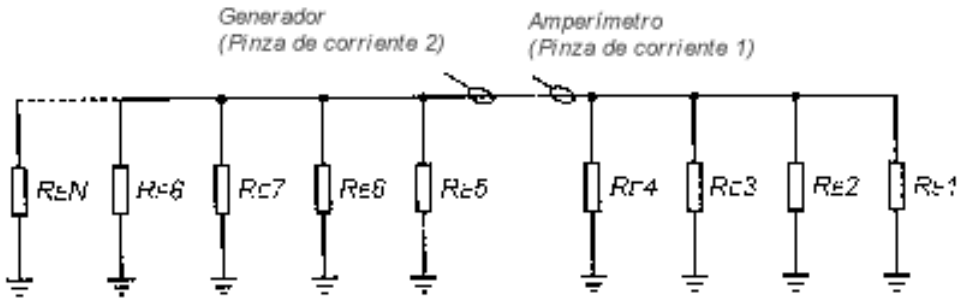
$$El\ resultado\ es\ \ R_{E4} \quad si \quad R_{E4} >> \left(R_{E3} // R_{E2} // R_{E1}\right)$$

Mediciones



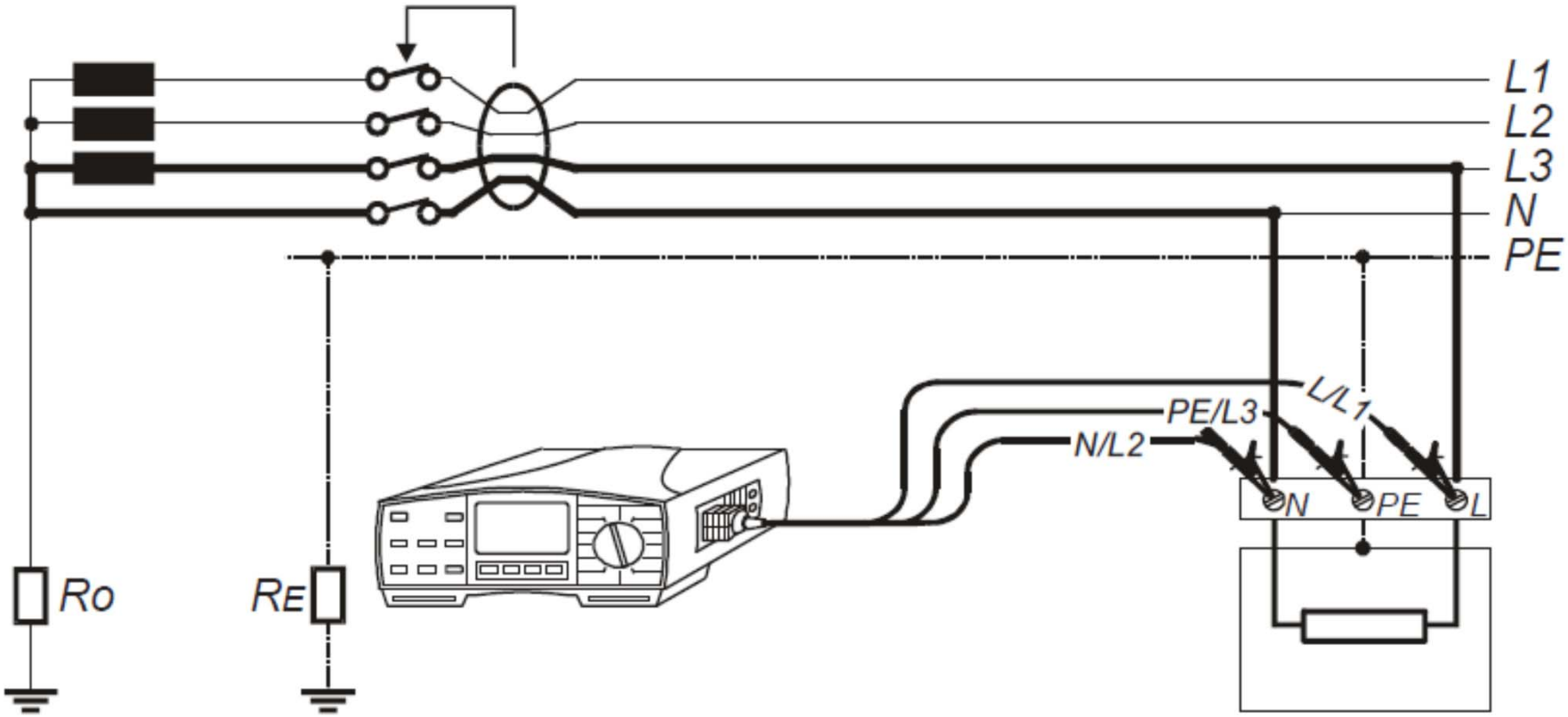
Mediciones



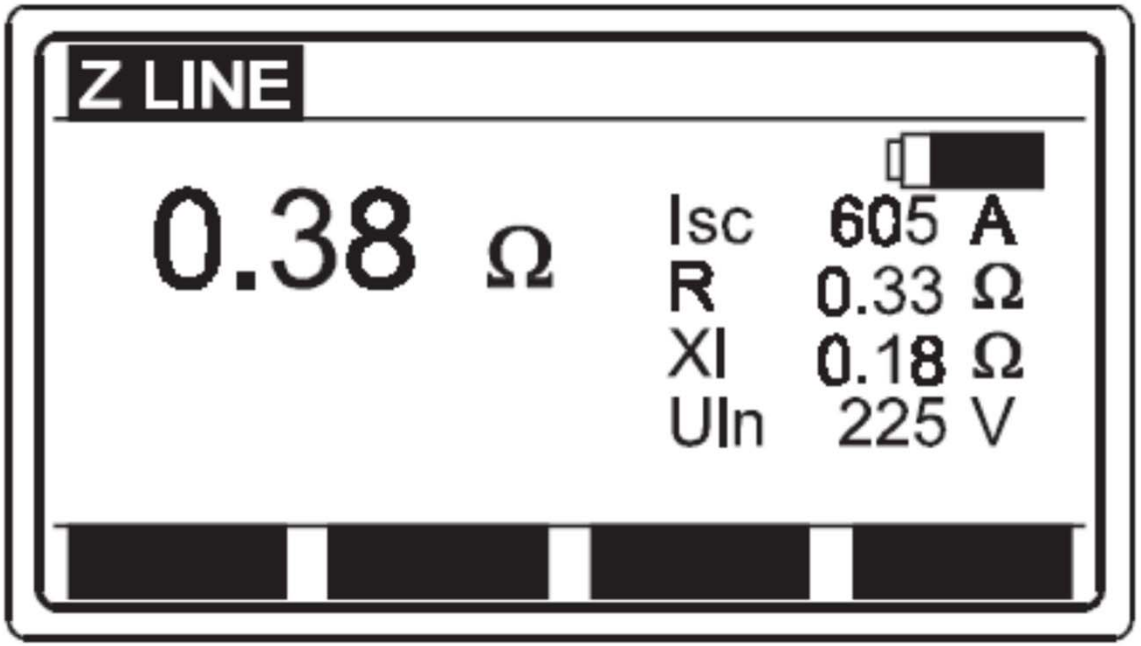


$$El\ resultado\ es\ R_{E1}\ a\ R_{E4} \quad si \quad R_{E5}\ a\ R_{EN} <<< R_{E1}\ a\ R_{E4}$$

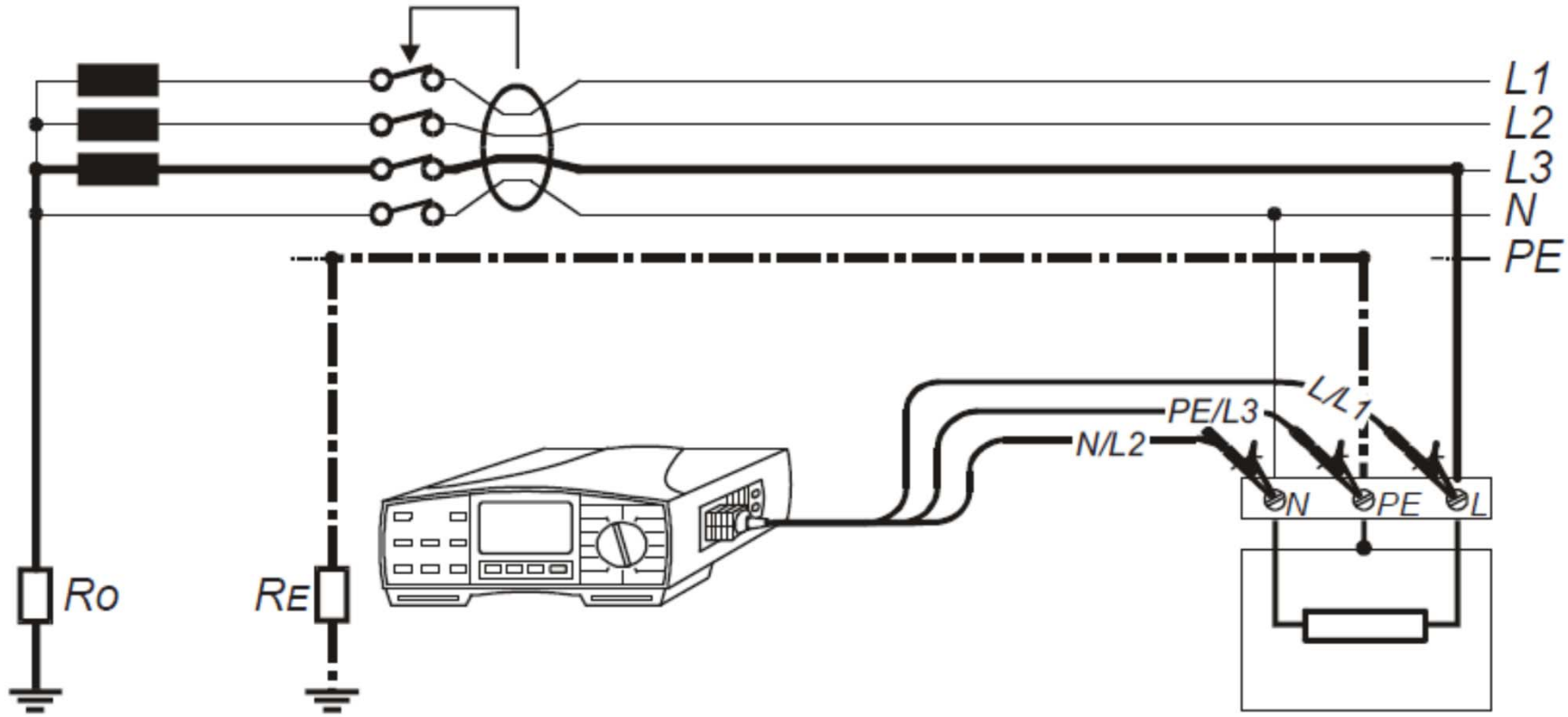
Mediciones



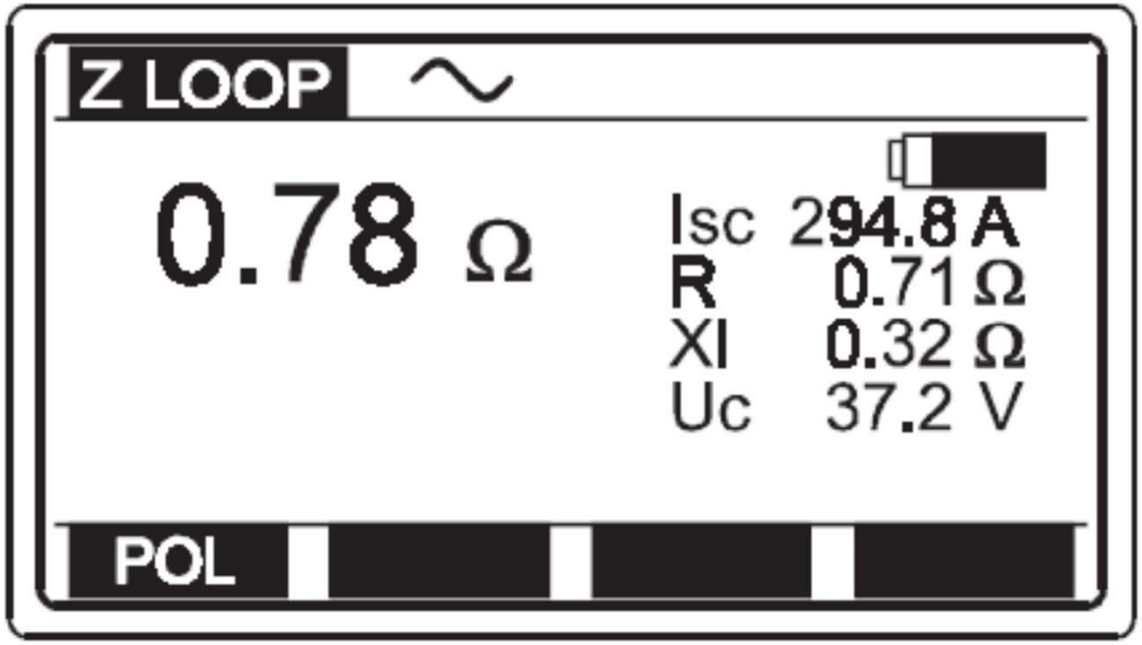
Mediciones



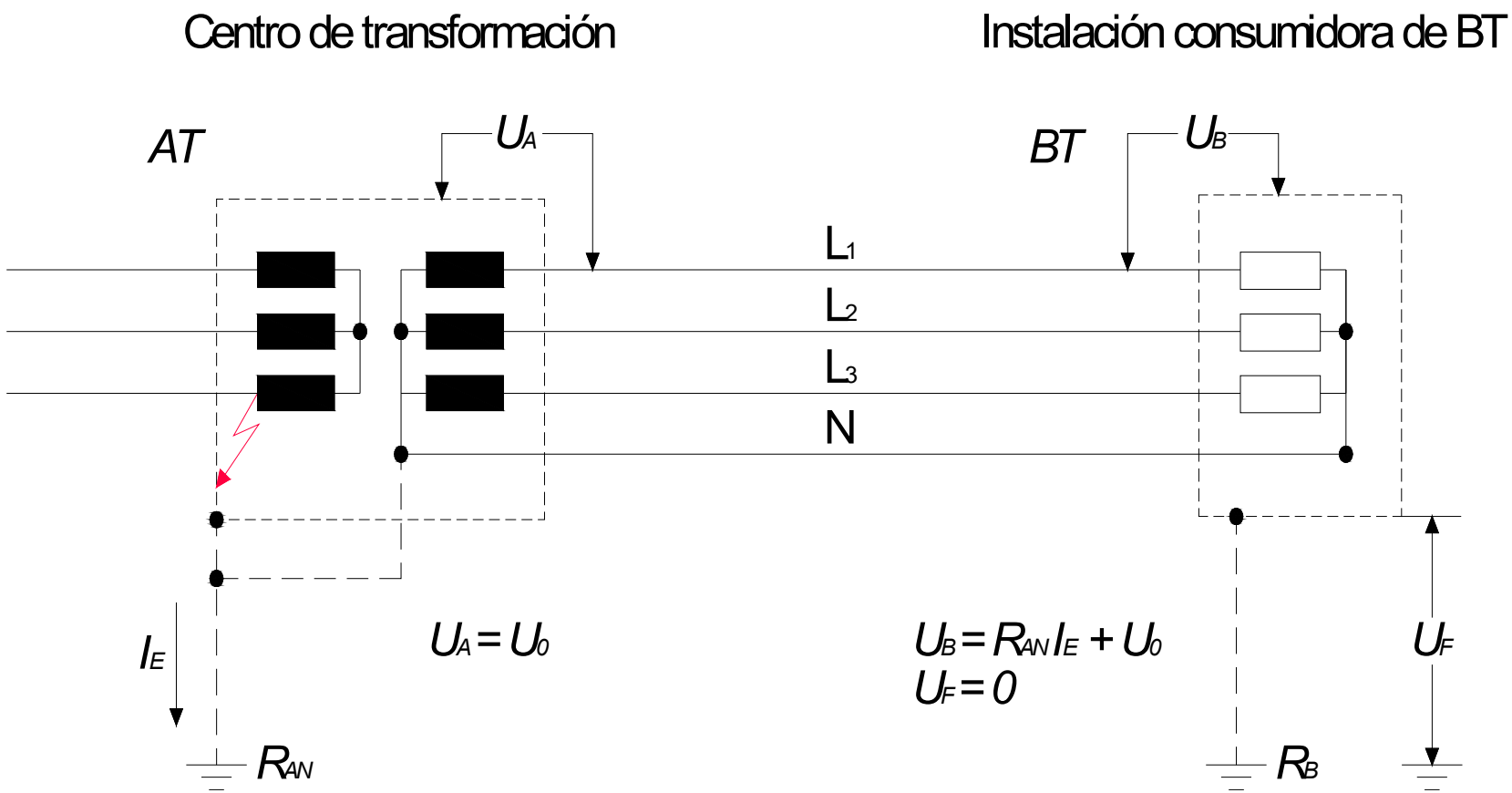
Mediciones



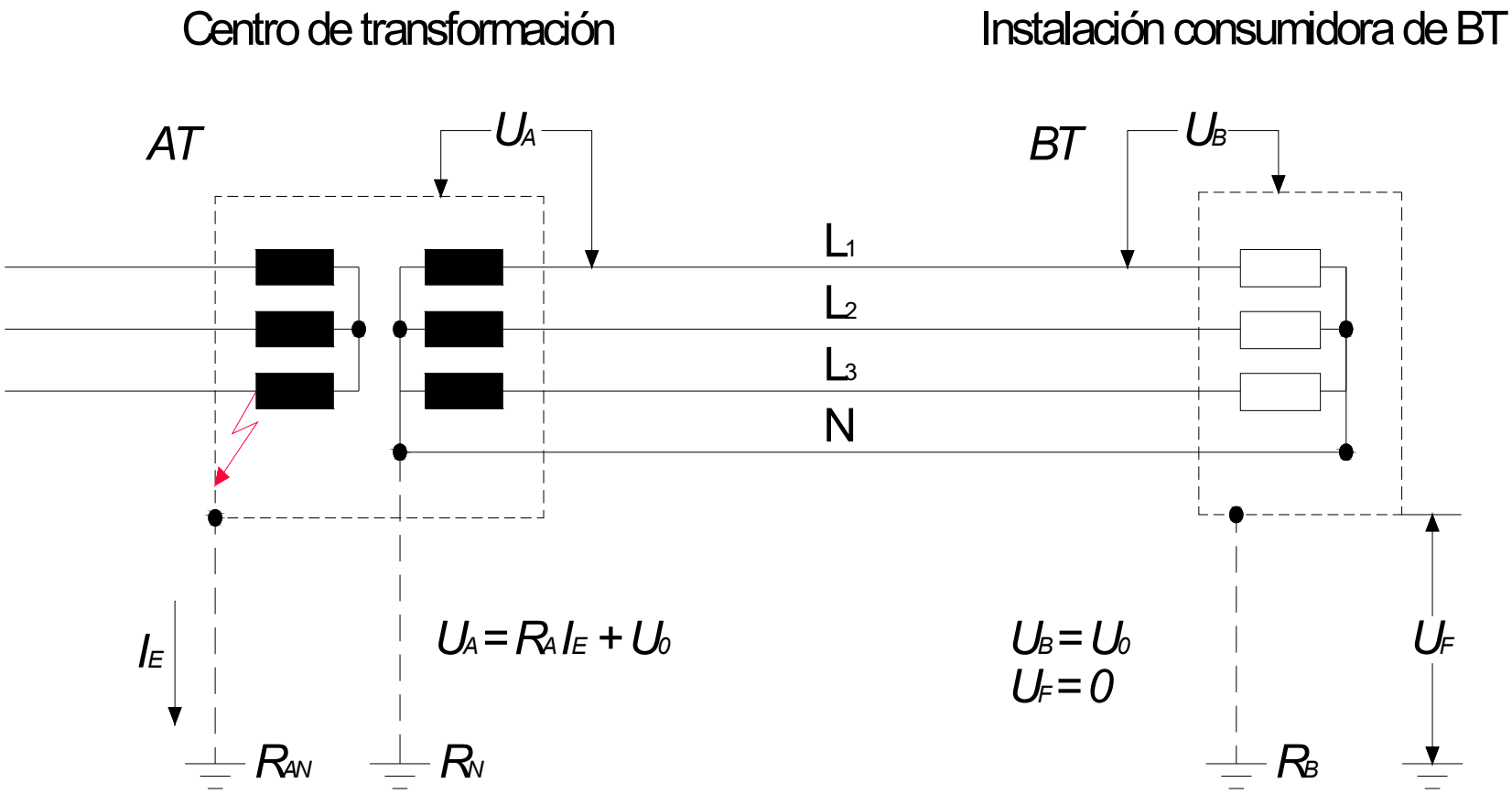
Mediciones



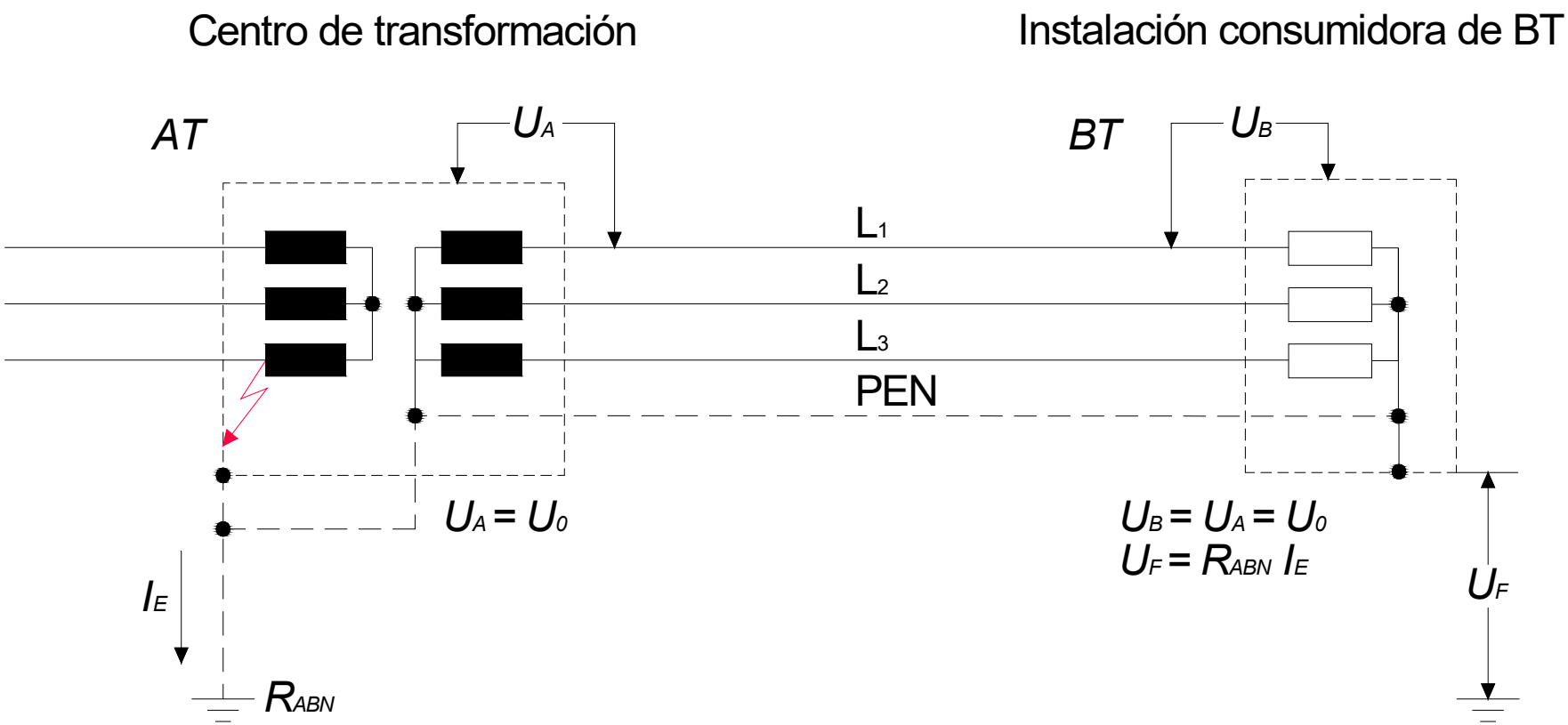
Esquemas de conexión a tierra TTN



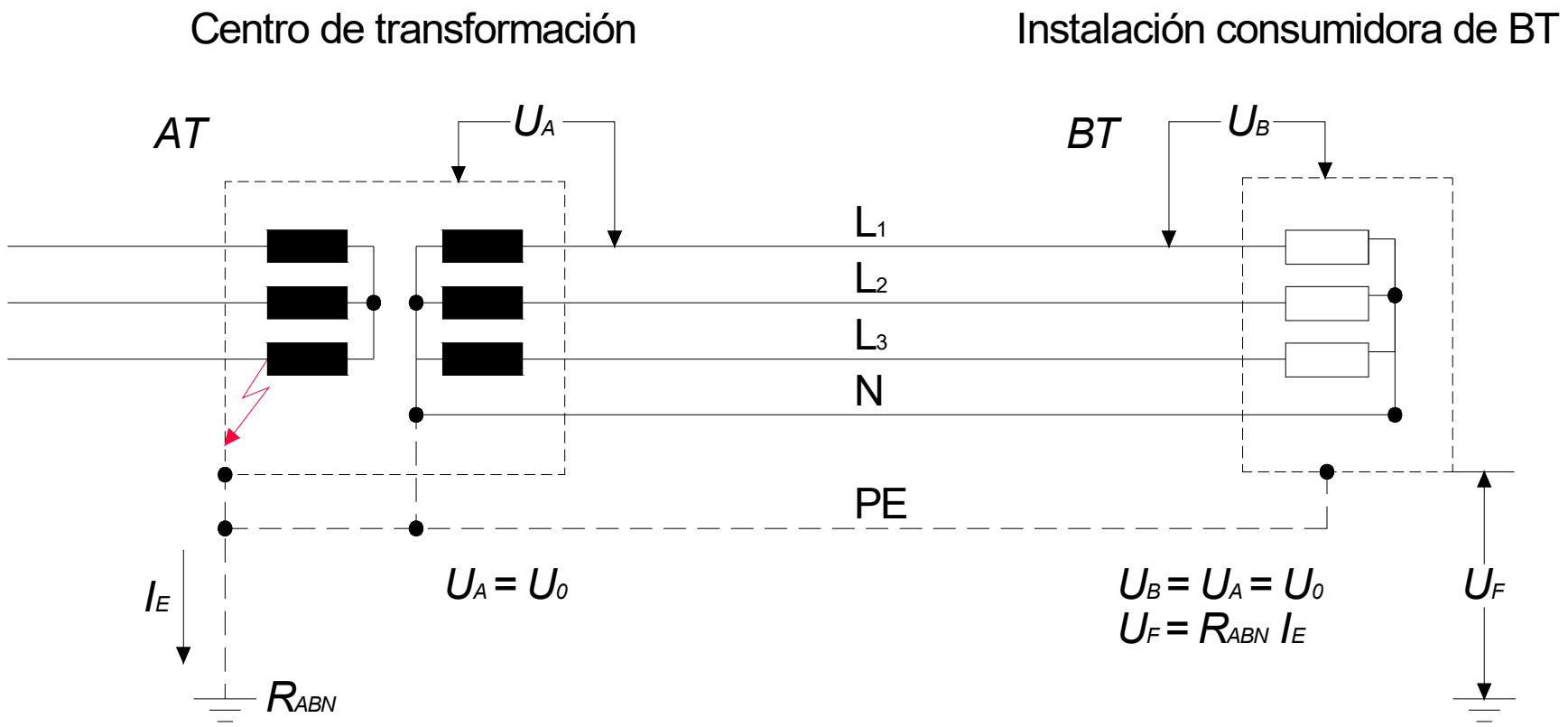
Esquemas de conexión a tierra TTS



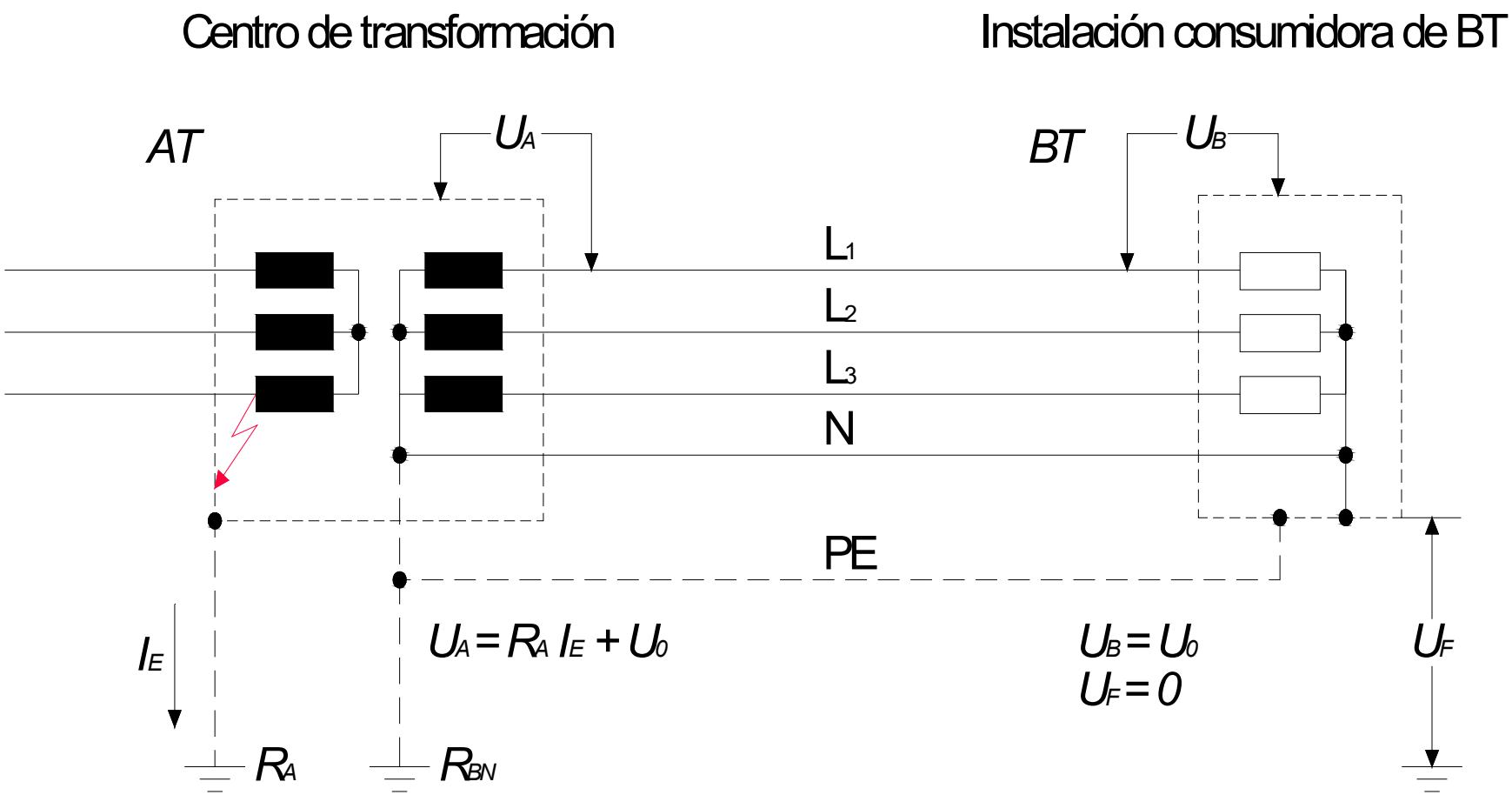
Esquemas de conexión a tierra TNR-C



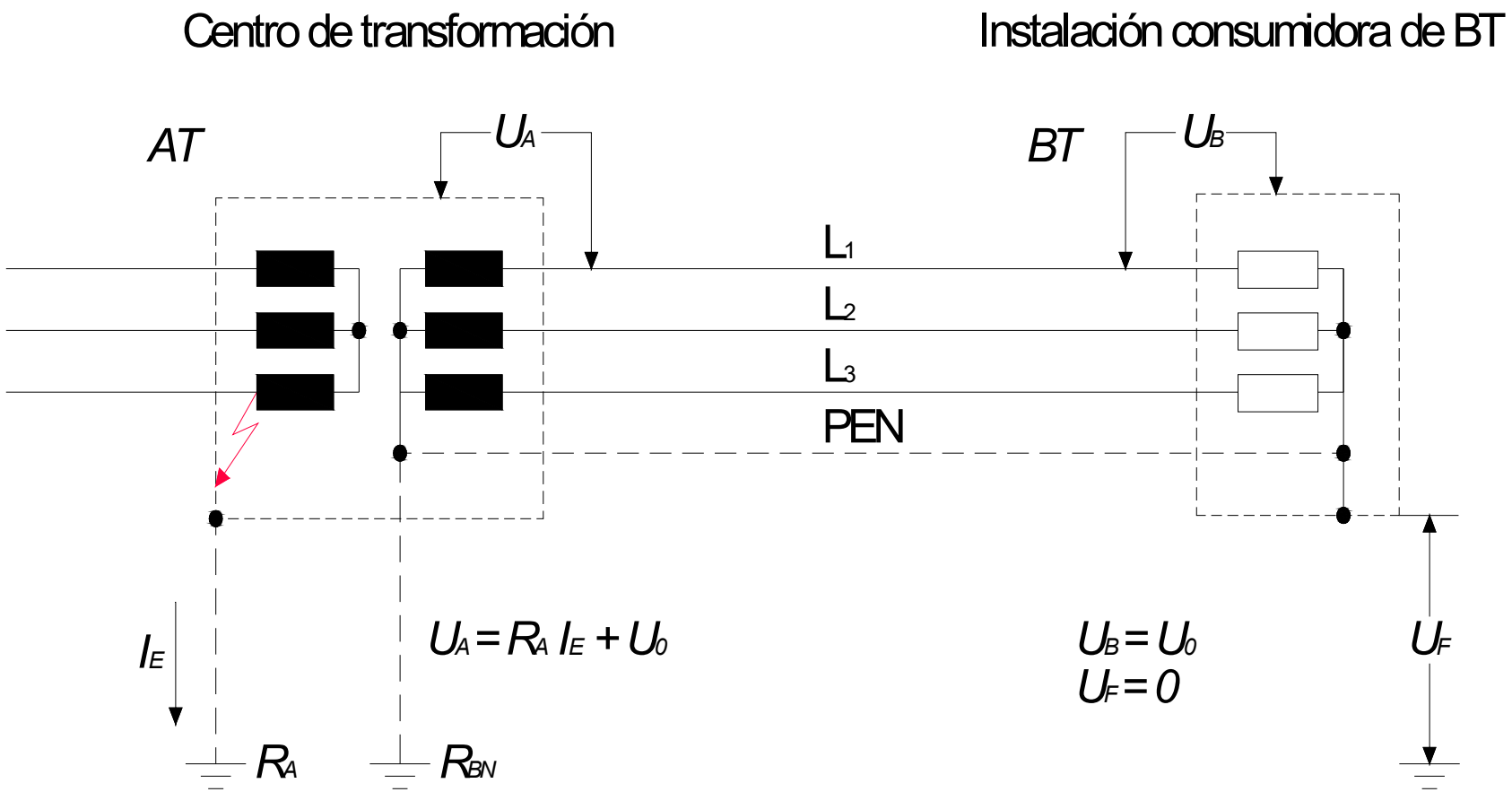
Esquemas de conexión a tierra TNR-S



Esquemas de conexión a tierra TNS-S



Esquemas de conexión a tierra TNS-C



Muchas gracias