



JORNADAS DE CAPACITACIÓN TECNICA

BASES PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS PAT

	Fecha	Nombre	Documento	Observaciones
Doc. Origen	15-11-24	A.R	Cuadernillo -B	
Ejecutó	18-11-24	I.G	Cuadernillo-C	
Revisó	02-12-24	AR	Cuadernillo-0	
Aprobó	02-12-24	AR	Cuadernillo-0	

Contenido

I. BREVE REPASO DEL PRIMER TALLER (ROL DE LAS PAT Y DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS)	5
I.1- REVISIÓN DEL CONCEPTO DE RIESGO ELÉCTRICO	5
I.1.1- Conceptos de peligro y riesgo (ISO 45001).	5
I.1.2- Efectos que produce una corriente alterna de frecuencia entre 15 Y 100 HZ (contacto una mano y dos pies). 5	
I.2- IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ACUERDO AL ATERRAMIENTO DEL NEUTRO. CONSIDERACIONES PARA AT,MT,BT	8
I.2.1- Concepto general.....	8
I.2.2- Clasificación de las redes según la conexión del neutro a PAT.	9
I.2.2.1- Red con neutro aislado.	9
I.2.2.2- Red con neutro de baja resistencia.	10
Otros sistemas usuales.	11
I.3- TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA	13
I.4- TENSIÓN DE TRANSFERENCIA	13
I.5- NECESIDAD DE LOS ELEMENTOS DE CORTE AUTOMÁTICO DE LAS FALLAS (PARTICULARMENTE LAS QUE INVOLUCRAN TIERRA)	15
I.6-PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA TENSIONES DE CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS (DE ACUERDO A LA LEY DE SEGURIDAD)	15
I.6.1.1- PROTECCIÓN POR ALEJAMIENTO	15
I.6.1.2- PROTECCIÓN POR AISLAMIENTO	16
I.6.1.3- PROTECCIÓN POR MEDIO DE OBSTÁCULOS	16
I.6.2- PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS DE CONTACTO INDIRECTO	17
I.6.2.1- PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS	18
I.6.2.2- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	18
I.6.2.2.1- DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ACTIVA	18
I.6.2.2.2- DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN PASIVA	18
I.7- LOS DIFERENTES SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BT SEGÚN SU ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL NEUTRO	19
I.7.1- ESQUEMAS TT	19
I.7.2- ESQUEMA TN	20

I.7.2.1- ESQUEMA TN-S.....	20
II- PUESTAS A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE BT.....	23
II.1- <i>Requisitos legales y reglamentarios</i>	23
II.2- RES 900/2015 de la SRT (ponemos textualmente la resolución).....	25
II.3- Ejemplos	31
II.4- Consideraciones sobre la continuidad de las masas de acuerdo al ECT	37
III. PUESTA A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE MT.....	38
III-1- PAT DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS LINEAS ELECTRICAS	38
III-1-1 .-El marco reglamentario vigente con reconocimiento legal en nuestro país es el establecido en la AEA 95301 .-	38
III-1-2 a.- PUESTA A TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS DE LINEAS CON POSTACIÓN DE MADERA O PRFV SIN O CON HILO DE GUARDIA	39
III-1-2 b.- PUESTA A TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS DE LINEAS CON POSTACIÓN DE HORMIGON ARMADO PRETENSADO O METÁLICAS, SIN O CON HILO DE GUARDIA	40
III-2 PUESTAS A TIERRA DE LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN MT/BT, SET DE DISTRIBUCIÓN Y RURALES MT/BT	42
III-2-1 MARCO LEGAL.....	42
III-2.2.-Conceptos a considerar en el diseño según el tipo de instalación, ubicación de las cargas, sistema de PAT elegido, etc.....	43
III.2.3 PAT EN SET PRINCIPALES MT/MT-CENTRALES DE GENERACIÓN EN MT O GENERACION EN BT CON TRANSFORMADOR DE BLOQUE A MT	50
IV. PUESTAS A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE AT	53
IV-1.-Puestas a tierra en las LAT	53
IV-2 PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y CENTRALES DE GENERACION.....	54
IV-3 . A modo de ejemplo se presenta y explica en forma simplificada una planilla de cálculo de una malla de puesta a tierra de una subestación según la norma IEEE std 80. (El objeto es entender los conceptos).....	59

INTRODUCCION - ALCANCE DEL TALLER

Este taller tiene con objeto tratar los conceptos básicos que resultan útiles considerar para el diseño y cálculo de las puestas a tierras eléctricas de instalaciones de BT, MT y AT operando en 50 Hz y, en particular, para las situaciones de fallas de frecuencia industrial que involucren tierra, enfocado a la seguridad de las personas.

- No se incluye en el alcance de este taller las consideraciones especiales para las puestas a tierra de descargas impulsivas (como las atmosféricas)
- No incluiremos conceptos de las puestas a tierra de equipos electrónicos respecto a su funcionalidad.-
- El taller no tiene como objeto practicar los cálculos de las PAT, sino plantear, interactuar y sentar las bases de las diversas situaciones que se pueden presentar en la realidad cotidiana con los diferentes sistemas e instalaciones eléctricas y las consideraciones a tener en cuenta para diseñar y calcular las PAT, teniendo en cuenta el marco legal y reglamentario de nuestro país para cada sistema y/o tipo de instalación.-

I. BREVE REPASO DEL PRIMER TALLER (Rol de las PAT y de las protecciones eléctricas en la seguridad de las personas)

I.1- REVISIÓN DEL CONCEPTO DE RIESGO ELÉCTRICO.

I.1.1- Conceptos de peligro y riesgo (ISO 45001).

PELIGRO: Fuente, situación o acto con "potencial" para causar daño.

RIESGO: Probabilidad de que ocurra un suceso peligroso por la gravedad del daño que podría causar.

$$R = \text{Probabilidad} \times \text{Severidad}$$

En relación a la definición de riesgo eléctrico, es sencillo inferir que la gravedad del daño por accidente eléctrico es elevada o muy elevada, o sea que la severidad es alta, por lo tanto para reducir el riesgo debemos esmerarnos en reducir la probabilidad de ocurrencia de modo que el producto de ambos conceptos se reduzca

Esta es la finalidad de los reglamentos que son soporte al marco legal vigente sobre el tema de las puestas a tierra de seguridad de las personas para las diferentes instalaciones-

I.1.2- Efectos que produce una corriente alterna de frecuencia entre 15 Y 100 HZ (contacto una mano y dos pies).

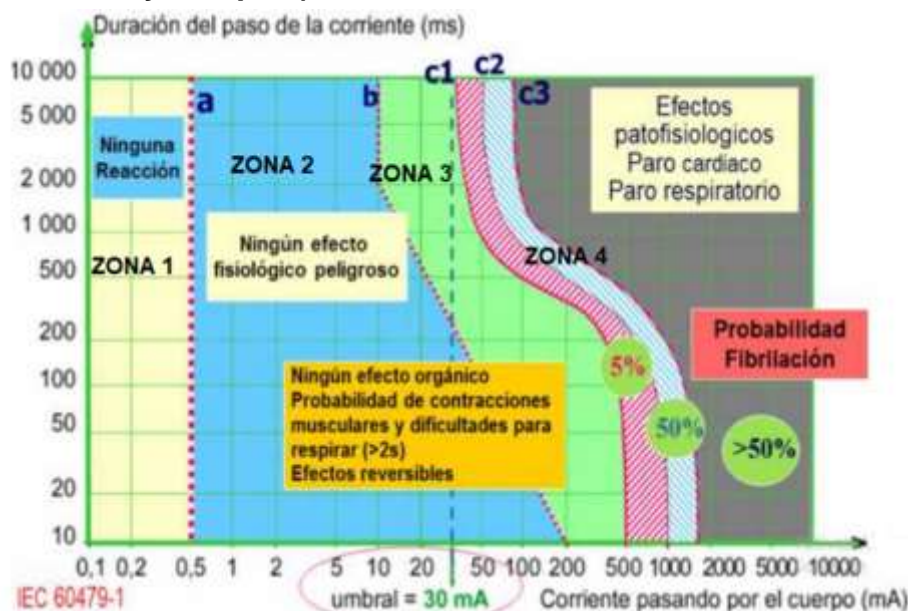


FIG. I-1 - Efectos de la circulación de corriente eléctrica en el cuerpo humano. IEC 479-1

- Zona 1: Imperceptible (habitualmente ninguna reacción).
- Zona 2: Perceptible (habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso).
- Zona 3: Efectos reversibles: contracción muscular (habitualmente ningún daño orgánico).
Con duración superior a 2 segundos (2000 ms) se pueden producir contracciones

musculares dificultando la respiración, paradas temporales del corazón sin llegar a la fibrilación ventricular (mayoritariamente).

- Zona 4: Posibilidad de efectos irreversibles- riesgo de parada cardiaca por: fibrilación ventricular, parada respiratoria, quemaduras graves.
- Entre c1 y c2: 5% de probabilidad de fibrilación ventricular.
- Entre c2 y c3: <50% de probabilidad de fibrilación ventricular.
- Más allá de c3, la probabilidad de fibrilación es superior al 50%.

La corriente que circule por el cuerpo estará determinada por:

- La resistencia del elemento que se interponga entre el conductor bajo tensión y nuestro cuerpo.
- La resistencia propia del cuerpo humano.

El nivel de tensión con el que estaremos en contacto.

Es evidente que si se trabaja con guantes, taburetes o alfombras dieléctricas la corriente se verá limitada a valores imperceptibles o al menos no peligrosos (siempre que sean del nivel de aislación adecuado).

La utilización de zapatos aislantes también reduce la circulación de corriente.

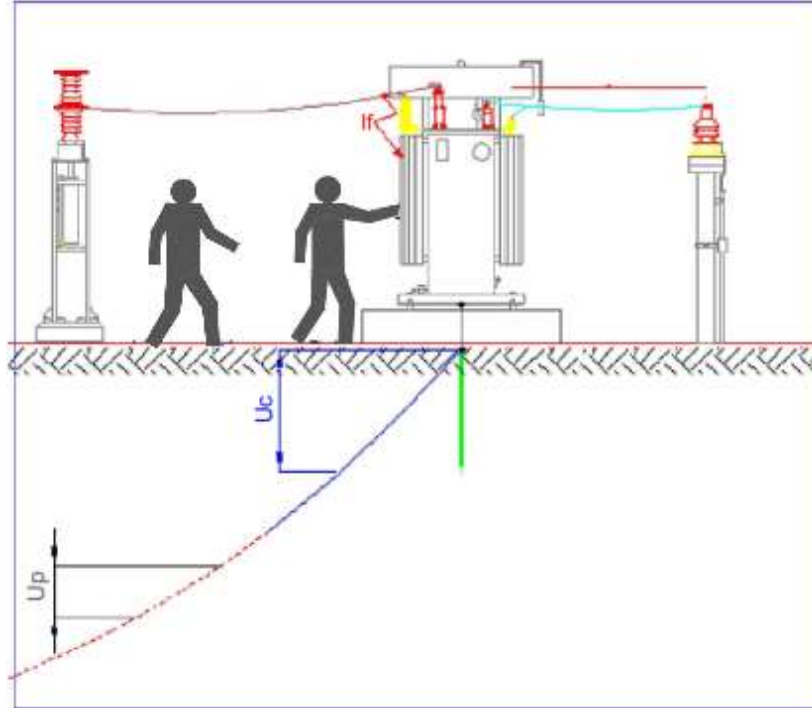
El cuerpo por sí solo es limitante de la corriente pero a valores extremadamente peligrosos para la vida.

La tensión de contacto a la que quedará sometida una persona que está en contacto con una masa metálica durante la ocurrencia de una falla, dependerá del diseño del sistema de puesta tierra considerado.

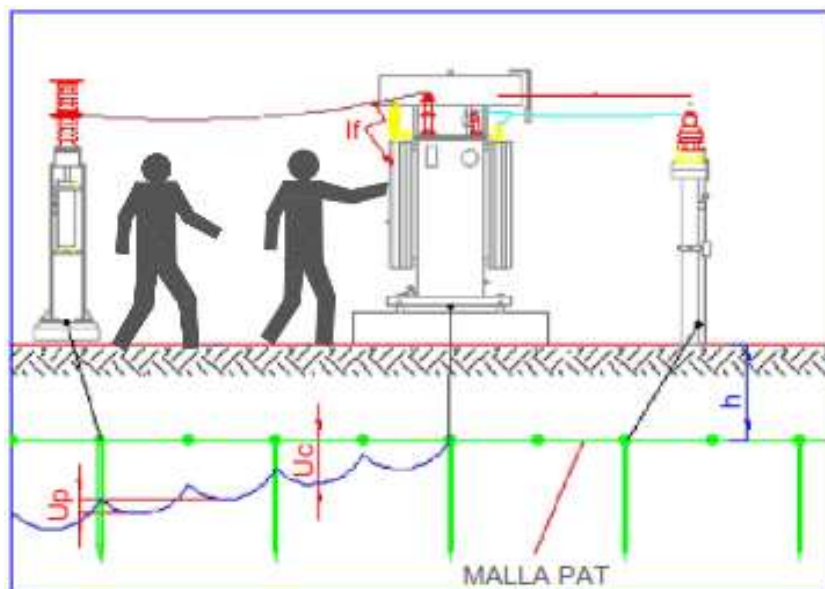
Dentro de una subestación, Central de generación, Planta, etc., al producirse una falla eléctrica, pueden presentarse tensiones de contacto indirecto en cualquier elemento metálico de la instalación.

Recordemos como influye el tipo de PAT en la U_c

Si hacemos una PAT solo con jabalina:



Si diseñamos una PAT con una malla:



I.2- Identificación y clasificación de los sistemas eléctricos de acuerdo al aterramiento del neutro. Consideraciones para AT,MT,BT

I.2.1- Concepto general.

La puesta a tierra que está destinada a vincular los neutros de los sistemas eléctricos y que es necesaria para el correcto funcionamiento de los equipos y aparatos de la instalación eléctrica de acuerdo a las condiciones de diseño se denomina **Puesta A Tierra de Servicio**.

Como PAT de Servicio mencionamos la vinculación al sistema de PAT del punto neutro de transformadores, generadores, reactores, transformadores de neutro, otros.

La PAT del neutro del Sistema puede ser **directa**, cuando el elemento se vincula al sistema de puesta a tierra directamente, sin impedancias de por medio y no se tiene más que la propia impedancia de PAT, se suele llamar también **rígido a tierra**.

La PAT del neutro del Sistema puede ser **Indirecta**, cuando el neutro se vincula a tierra por medio de una resistencia, impedancia inductiva, reactor, etc.

La filosofía para la selección del régimen del neutro a utilizarse en cada caso es realmente importante, pues ello influye en la seguridad humana, en la facilidad para detectar fallos, también influye en las sobretensiones internas, en la continuidad del servicio, en la operación en el mantenimiento de las instalaciones, etc.

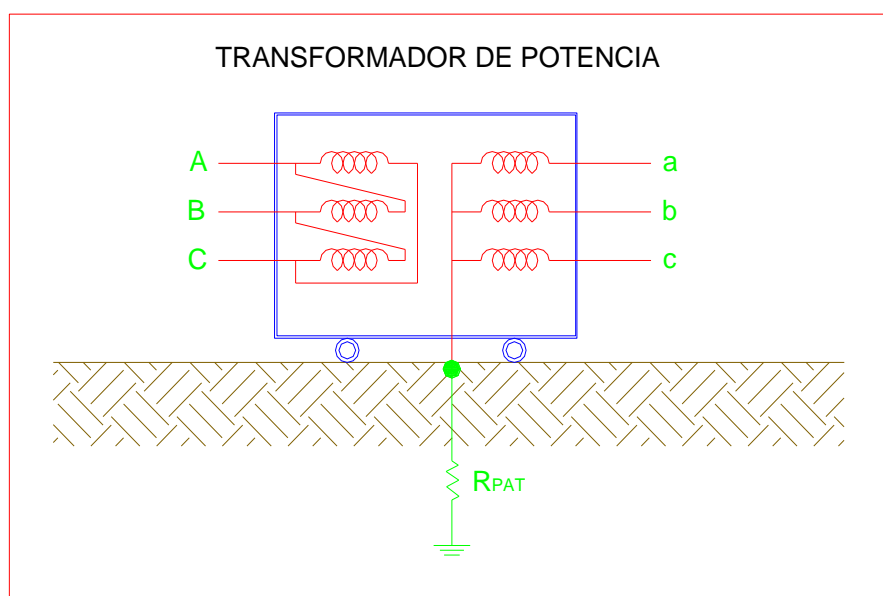


FIG. I-2- Puesta A Tierra del Neutro –Directo o Rígido a Tierra de un Transformador de Potencia en una E.T.

I.2.2- Clasificación de las redes según la conexión del neutro a PAT.

Según sea el tipo de vinculación del neutro del sistema a la puesta a tierra, se define el tipo de red, que recibe la designación en función de dicha conexión.

I.2.2.1- Red con neutro aislado.

Red cuyo neutro no está accesible para conectarlo a tierra, salvo a través de los aparatos de señalización, de medición o de protección de muy alta impedancia. También pueden entrar en esta clasificación las instalaciones que, si bien tienen el neutro accesible, no se los conecta a tierra; a estos se los suele denominar sistemas con neutro no puesto a tierra intencionalmente.

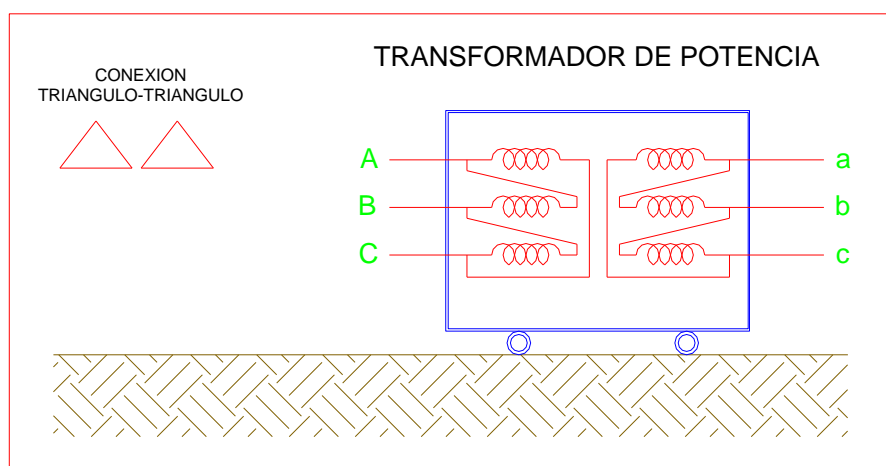


FIG. I-3- Red con neutro aislado.

Estos sistemas suelen usarse en los procesos críticos en los que un defecto de una fase a tierra no produzca el corte inmediato del servicio, dando tiempo para que se encuentre el fallo o se ponga en funcionamiento un servicio alternativo. En estos sistemas el riesgo de sobretensiones es elevado, dado que ante una falla simple las fases sanas quedan inmediatamente sometidas a la tensión compuesta.

El nivel de aislación de la red debe monitorearse en forma continua, es un requisito establecido en la ley de seguridad de nuestro país (y también en prácticamente todas las normas reconocidas).

No resulta útil en líneas aéreas, por razones de seguridad y entre otras cosas debido a la dificultad que presenta para localizar averías.

En general no se recomienda su uso en tensiones superiores 15 kV.

En nuestro país está prohibido su uso en las compañías de Transporte y Distribución de la energía eléctrica.

I.2.2.2- Red con neutro de baja resistencia.

Red en la cual el neutro está conectado a tierra, directamente o a través de una resistencia de valor pequeño, suficiente para reducir las oscilaciones transitorias de tensión y para mejorar las condiciones de protección selectiva contra las fallas a tierra.

Es el utilizado normalmente en nuestro país en los sistemas de distribución pública en BT, MT.

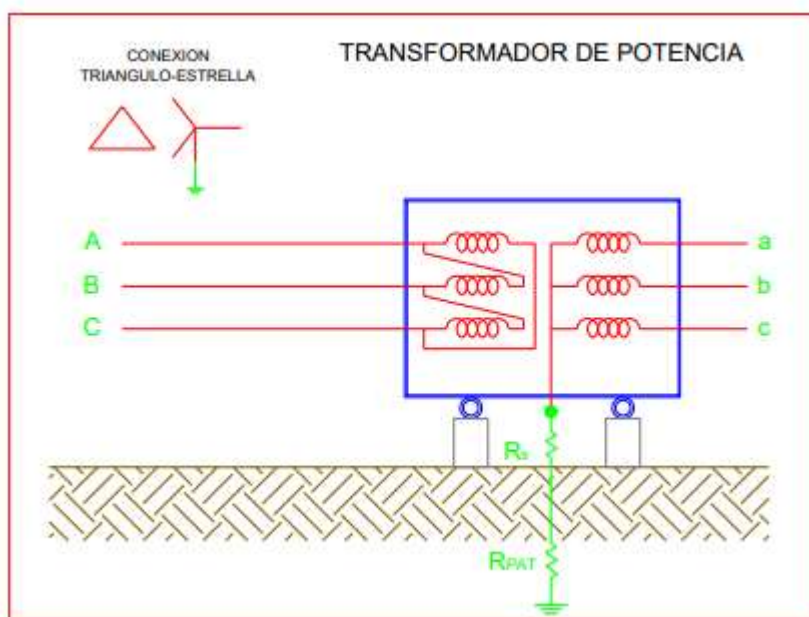
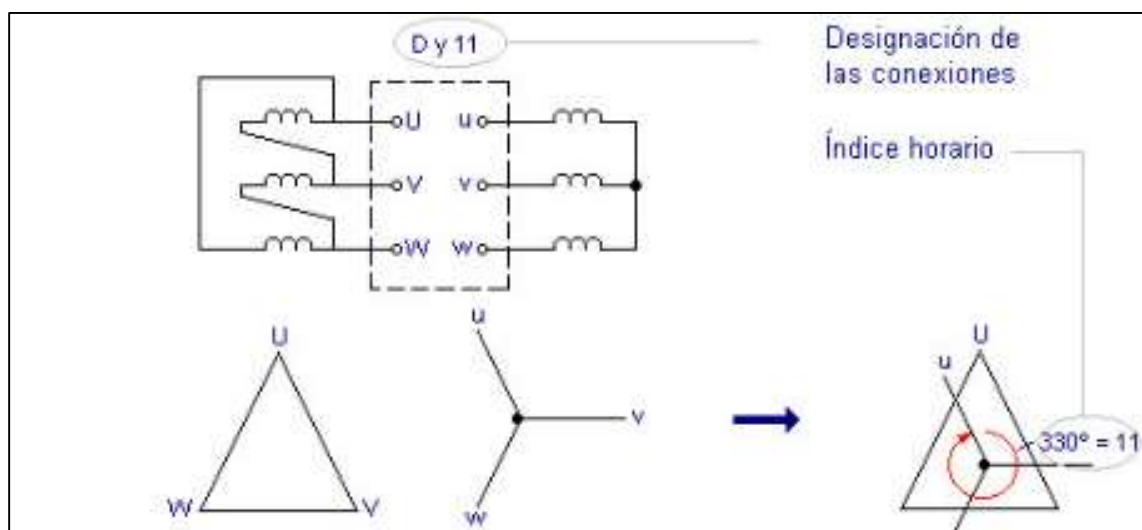


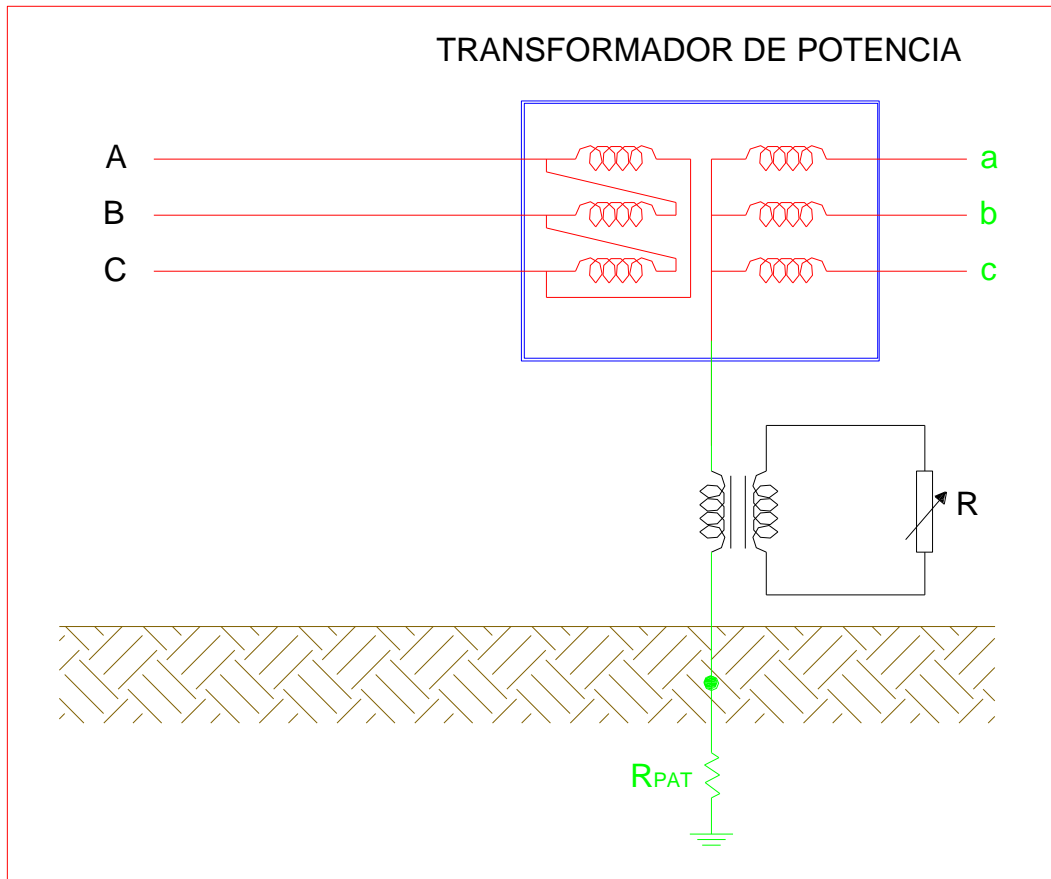
FIG. I.4- Red con neutro de baja resistencia

Esta conexión es una de las más habituales en los sistemas de alta y media tensión. Los grupos de conexión de los transformadores más encontrados en estos sistemas son los DYN11, DYN5 entre otros.

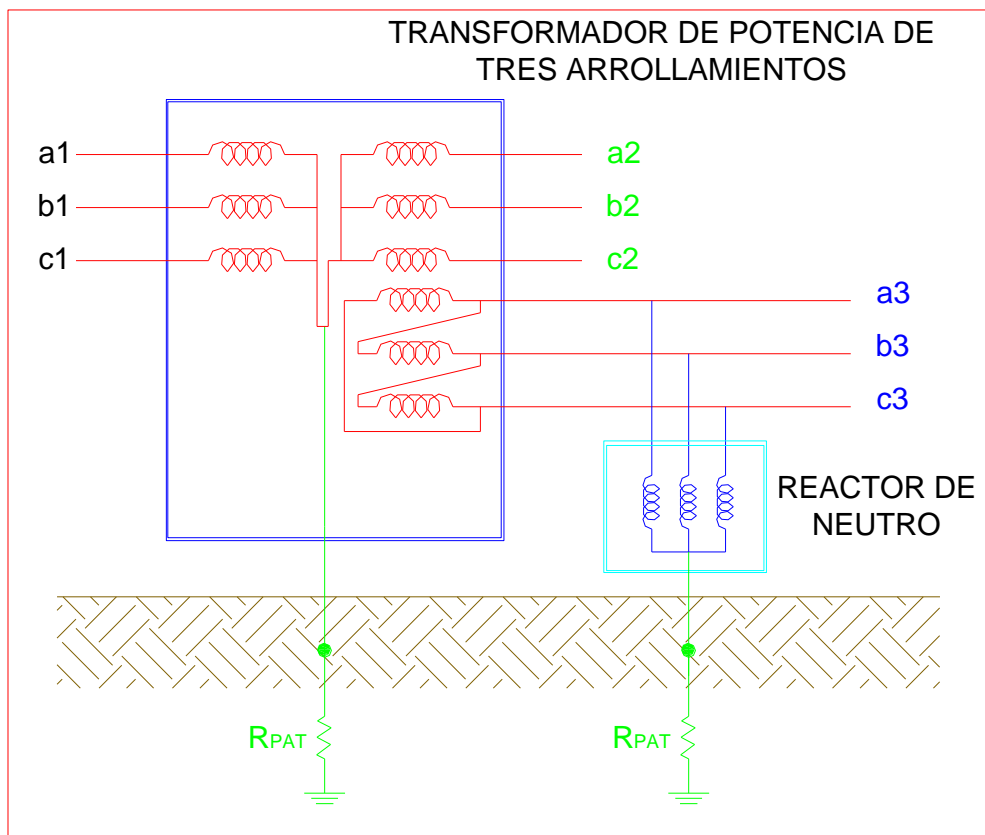


Otros sistemas usuales.

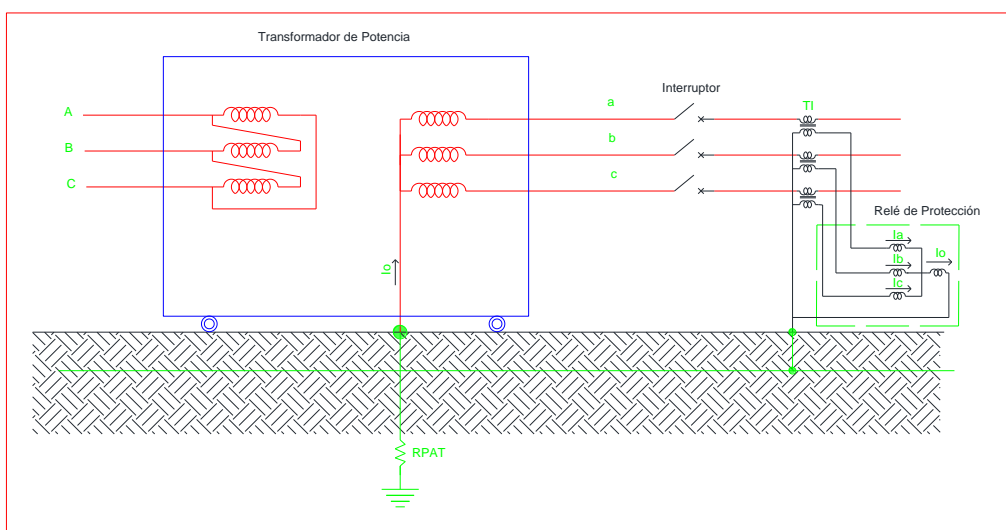
I.2.2.3- Red con neutro a tierra a través de transformador con resistencia.



I.2.2.4- Red de neutro aislado con RNA (Reactor o transformador de neutro artificial).



I.2.3- Función de las PAT de servicio para facilitar la detección de falla y actuación de las protecciones de máxima corriente

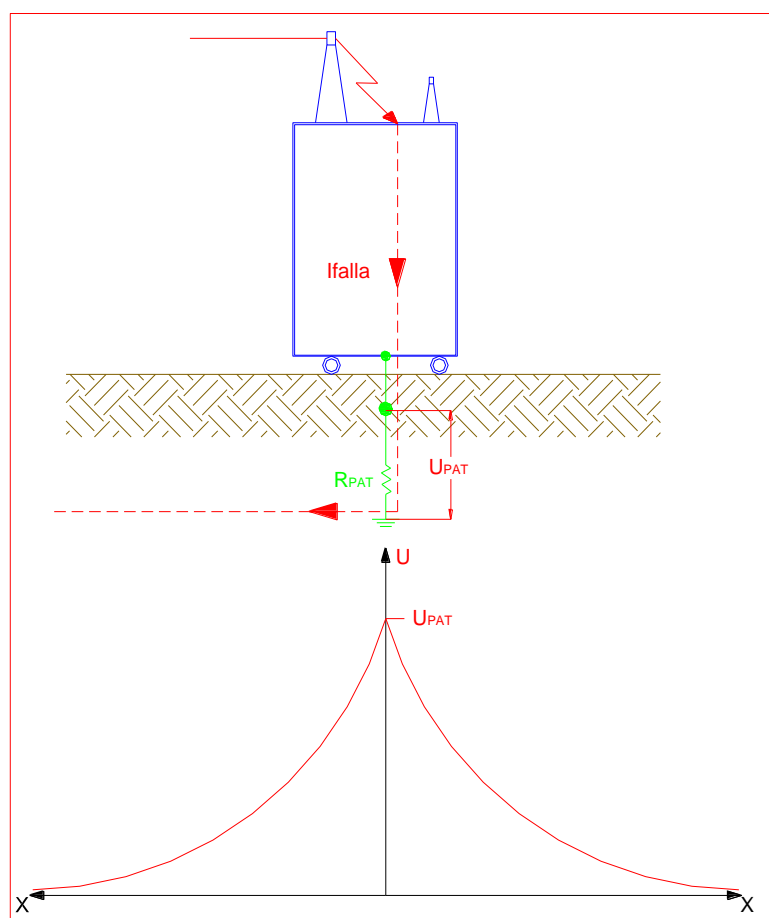


I.3- Tensión de puesta a tierra.

Cuando se produce una falla por ejemplo en una subestación transformadora, la tensión que se alcanza en el sistema de PAT es el producto de la corriente de falla por la resistencia de puesta a tierra,

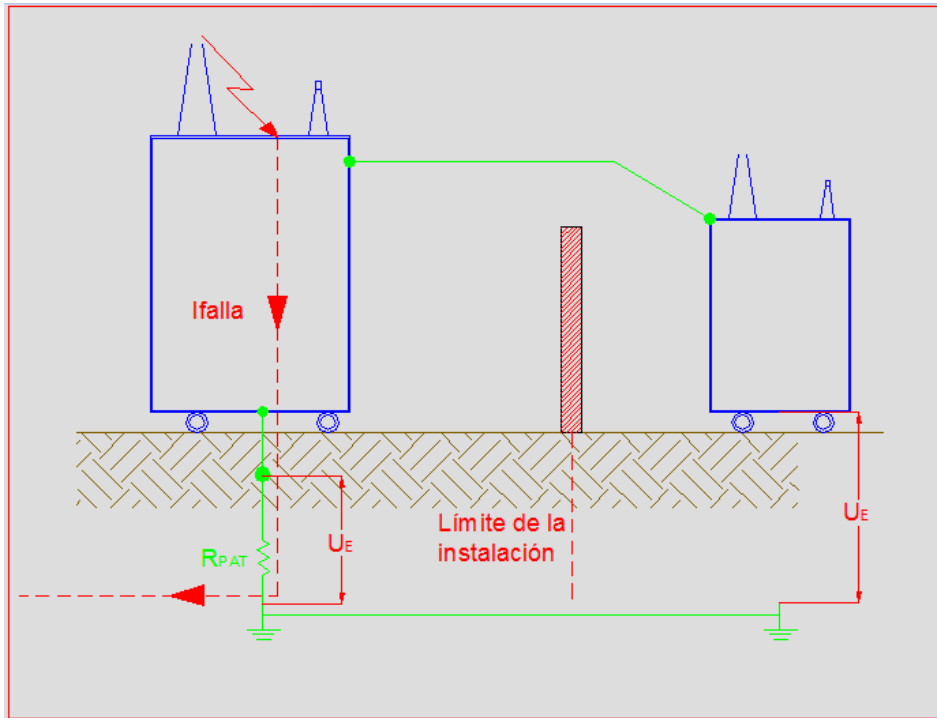
$$UE = I_{falla} \times R_{PAT}$$

La resistencia de PAT es la que presenta el conjunto de elementos que forma el sistema de PAT en el terreno que se encuentra dispuesta.



I.4- Tensión de transferencia.

Las tensiones de paso y contacto se producen dentro de la instalación donde se proyecta la PAT. Si alguno de los dispositivos está vinculado a alguna conexión que se extienda por fuera de la instalación, esta conexión (despreciando su valor óhmico) alcanzará una tensión de igual valor a la tensión de puesta a tierra.



I.5- NECESIDAD DE LOS ELEMENTOS DE CORTE AUTOMÁTICO DE LAS FALLAS (PARTICULARMENTE LAS QUE INVOLUCRAN TIERRA).

Hemos visto que los límites de soportabilidad tienen que ver con la magnitud de la corriente que circula por el cuerpo **y por la duración de la misma**, de modo que, para preservar la vida de las personas, los esfuerzos deben estar volcados a:

1) Reducir o anular la posibilidad de circulación de corriente eléctrica por el cuerpo humano.

Este concepto pone de manifiesto la importancia fundamental que tienen los EPP y elementos de maniobras (guantes dieléctricos, taburetes, pértigas, etc.) para la seguridad de las personas.

2) Reducir al mínimo posible el tiempo de circulación de corriente por el cuerpo de una persona. Debe cortar la corriente lo suficientemente rápido como para garantizar que esté por debajo del tiempo límite de tolerancia de las personas.

Este último concepto pone de manifiesto la importancia fundamental que tienen los dispositivos de protección y de corte automático para la seguridad de las personas (Relés de protección, diferenciales, fusibles, termomagnéticas, etc.).

Ningún sistema de puesta a tierra será seguro si no se cuenta con dispositivos de corte automático lo suficientemente rápidos para garantizar que el tiempo de extinción de las fallas es menor al de los límites tolerables por las personas (excepto que el sistema de PAT garantice que la tensión no se elevará a más de 24 Vca que es el umbral de seguridad de las personas).

Históricamente se ha conceptualizado a los dispositivos de protección y corte automático como elementos para proteger las instalaciones de los daños que pueden causar las fallas y los cortocircuitos. Esto, si bien es totalmente cierto; hoy resulta imprescindible **conceptualizarlos como elementos que protegen a personas, en primer lugar, y también a equipos e instalaciones.**

I.6-PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA TENSIONES DE CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS (DE ACUERDO A LA LEY DE SEGURIDAD).

I.6.1.1- Protección por alejamiento.

Se alejarán las partes activas de la instalación a distancia suficiente del lugar donde las personas habitualmente se encuentren o circulen para evitar un contacto fortuito. Se deberán tener en cuenta todos los movimientos de piezas conductoras no aisladas, desplazamientos y balanceo de la persona, caídas de herramientas y otras causas.



FIG. I-5 - Transformador de Central Térmica Plaza Huincul.

I.6.1.2- Protección por aislamiento.

Las partes activas de la instalación, estarán recubiertas con aislamiento apropiado que conserve sus propiedades durante su vida útil y que limite la tensión de contacto a un valor inocuo.



I.6.1.3- Protección por medio de obstáculos.

Se interpondrán elementos que impidan todo contacto accidental con las partes activas de la instalación. La eficacia de los obstáculos deberá estar asegurada por su naturaleza, su extensión, su disposición, su resistencia mecánica y si fuera necesario, por su aislamiento. Se prohíbe prescindir de la protección por obstáculos, antes de haber puesto fuera de tensión las

partes conductoras. Si existieran razones de fuerza mayor, se tomarán todas las medidas de seguridad de trabajo con tensión.



FIG. I-6 - Transformador auxiliar de Central Térmica Plaza Huincul.

I.6.2- Protección contra riesgos de contacto indirecto.

I.6.2.1- Puesta a tierra de las masas.

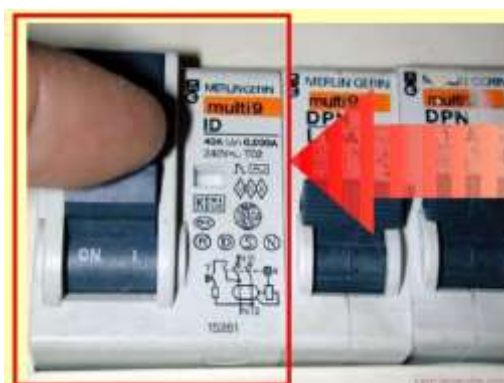
Las masas deberán estar unidas eléctricamente a una toma a tierra o a un conjunto de tomas a tierras interconectadas. El circuito de puesta a tierra deberá ser: continuo, permanente, tener la capacidad de carga para conducir la corriente de falla y una resistencia apropiada. Los valores de las resistencias de las puestas a tierra de las masas, deberán estar de acuerdo con el umbral de tensión de seguridad y los dispositivos de corte elegidos, de modo de evitar llevar o mantener las masas o un potencial peligroso en relación a la tierra o a otra masa vecina.

I.6.2.2- Dispositivos de seguridad.

Además de la puesta a tierra de las masas, las instalaciones eléctricas deberán contar con por lo menos uno de los siguientes dispositivos de protección.

I.6.2.2.1- Dispositivos de protección activa.

Más adelante veremos en detalle los distintos tipos de dispositivos de protección activa a utilizar según la necesidad y lo reglamentado.



I.6.2.2.2- Dispositivos de protección pasiva.

- a) Se separarán los circuitos de utilización de las fuentes de energía por medio de transformadores de aislamiento.
- b) Se usará tensión de seguridad.
- c) Se protegerá por doble aislamiento los equipos y máquinas eléctricas. Periódicamente se verificará la resistencia de aislamiento.

I.7- LOS DIFERENTES SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BT SEGÚN SU ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL NEUTRO.

En baja tensión los esquemas de conexión a tierra (ECT), se identifican con dos letras: TT, TN e IT, admitiendo alguno de ellos una letra adicional para indicar un caso particular, obteniendo esta forma los esquemas TN-C, TN-S y TN-C-S.

Las letras que identifican a los ECT tienen el siguiente significado:

Primera letra, indica la situación de la alimentación con relación a tierra, es decir:

- T = Conexión directa de un punto de la alimentación con tierra.
- I = Aislación de todas las partes activas de la alimentación con relación a tierra.

Segunda letra, indica la situación de las masas eléctricas de la instalación eléctrica consumidora con relación a tierra, es decir:

- T = Conexión eléctrica directa de las masas eléctricas de la instalación consumidora a tierra, independiente de la puesta a tierra eventual de un punto del sistema de alimentación.
- N = Conexión eléctrica directa de las masas eléctricas de la instalación consumidora al punto del sistema de alimentación puesto a tierra.

Siguientes letras (si las hay): disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección dentro de la instalación eléctrica consumidora.

- S = La función de protección está asegurada por un conductor de protección separado del neutro o separado del conductor activo puesto a tierra. o sea que las funciones de neutro (N) y de protección (PE) las cumplen dos conductores separados.
- C= las funciones de neutro y de protección se combinan en un solo conductor denominado conductor PEN.

I.7.1- Esquemas TT.

El esquema **TT** (Neutro a **(T)**ierra – Masas a una **(T)**ierra independiente), tiene un punto del sistema de alimentación conectado a la puesta a tierra de servicio de la SET y las masas eléctricas de la instalación consumidora conectadas a través de un conector de protección llamado PE y de un conductor de puesta a tierra a toma puesta a tierra de protección, eléctricamente independiente de la toma de tierra de servicio. A continuación se muestra el ECT descripto.

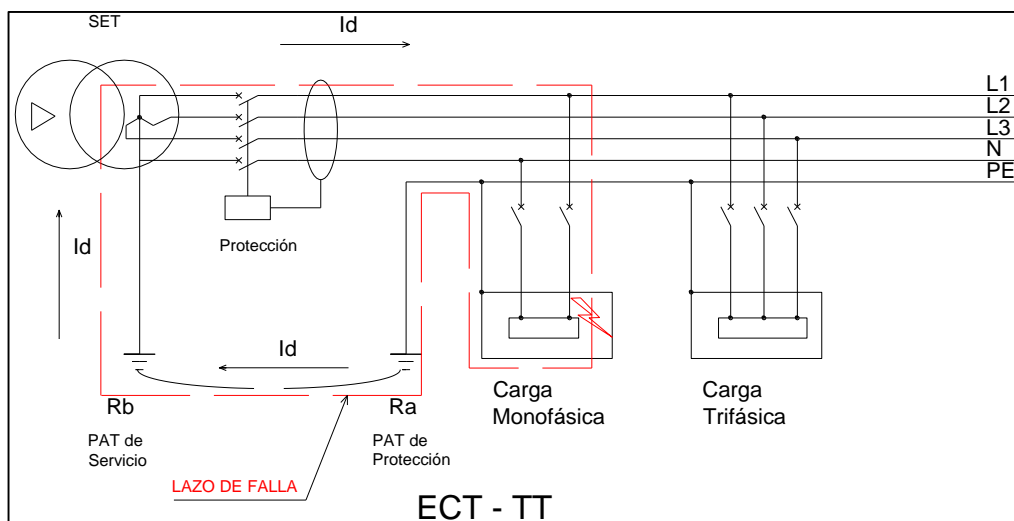


FIG. 24- En las instalaciones industriales alimentadas desde la red pública de baja tensión (BT), el esquema de conexión a tierra exigido es el TT.

I.7.2- Esquema TN.

Los esquemas **TN** (Neutro a (T)ierra - Masas a (N)eutro), tienen un punto del sistema de alimentación (generalmente el conductor neutro) conectado directamente a tierra (tierra de servicio), y las masas eléctricas o partes conductoras accesibles de la instalación consumidora conectadas a ese punto por medio de conductores de protección llamados PE (TN-S) o PEN (TN-C).

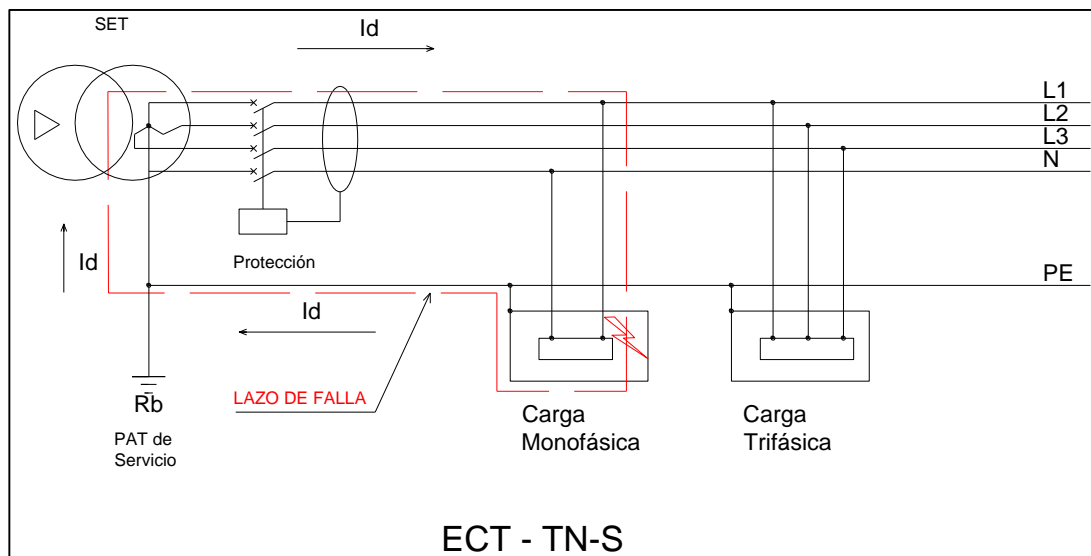
I.7.2.1- Esquema TN-S.

En este esquema, el conductor de protección está separado del conductor de Neutro en toda la instalación industrial de baja tensión y conectado a la puesta a tierra de la alimentación (por lo general el centro de estrella del transformador).

El esquema TN-S está prohibido para las instalaciones internas de industrias alimentadas desde la red pública de Baja Tensión.

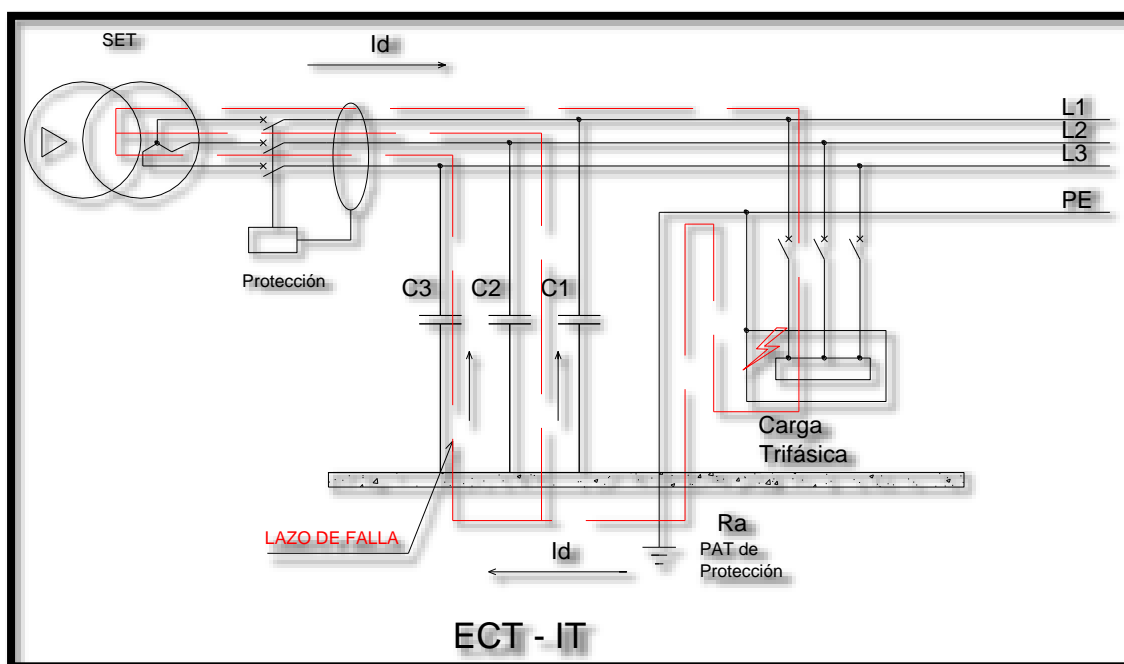
Sólo puede ser utilizado en las instalaciones en las que el usuario recibe la alimentación:

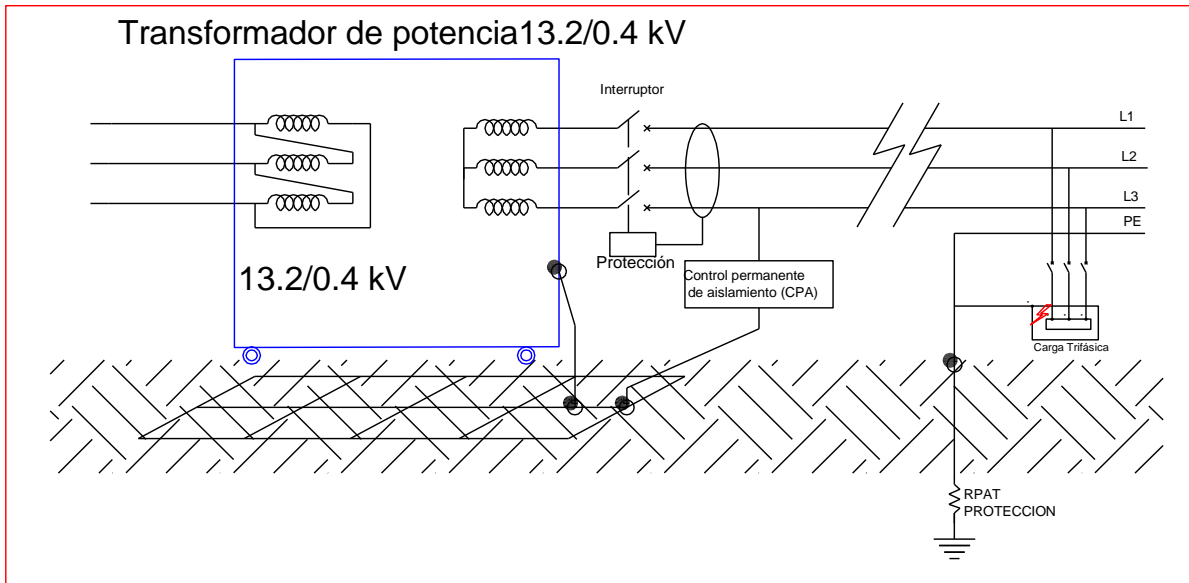
- En media o alta tensión y posee un centro de transformación MT/BT o AT/BT propio.
- En que existe generación a cargo del usuario.
- En los casos en que recibiendo el suministro en BT desde la red pública de BT, el usuario instala un centro de transformación BT/BT.



I.8 Esquema IT.

En el esquema IT, las partes activas deben estar aisladas de tierra o conectadas a tierra a través de una impedancia de valor muy elevado y además las masas eléctricas de la instalación deben conectarse a una toma de tierra propia.





II- PUESTAS A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE BT

II.1- Requisitos legales y reglamentarios

Como mencionamos anteriormente la Ley de seguridad (Dec-351/79-anexo VI, PTO.3.3) establece los requisitos de seguridad para los contactos indirectos (PAT de las masas, dispositivos de protección activa y pasiva).

Luego en la Norma IRAM 2281-3 de 1996 ya se trata específicamente y detalladamente las PAT en los sistemas de BT

Recién en el año 2015 la SRT sacó una resolución referido al tema de las PAT en BT y los dispositivos de protección, basada en la reglamentación de la AEA 90364 (2006). - En esta reglamentación, en la parte 4 (Protecciones para preservar la seguridad), en la pag.41-48 se establece la curva L_p (ver abajo) que establece los tiempos máximos de interrupción del dispositivo de protección en función de la tensión de contacto presunta. Esta reglamentación tiene vigencia Actual y Legal y con ella deben cumplir todas las instalaciones de BT (ver Fig.16).

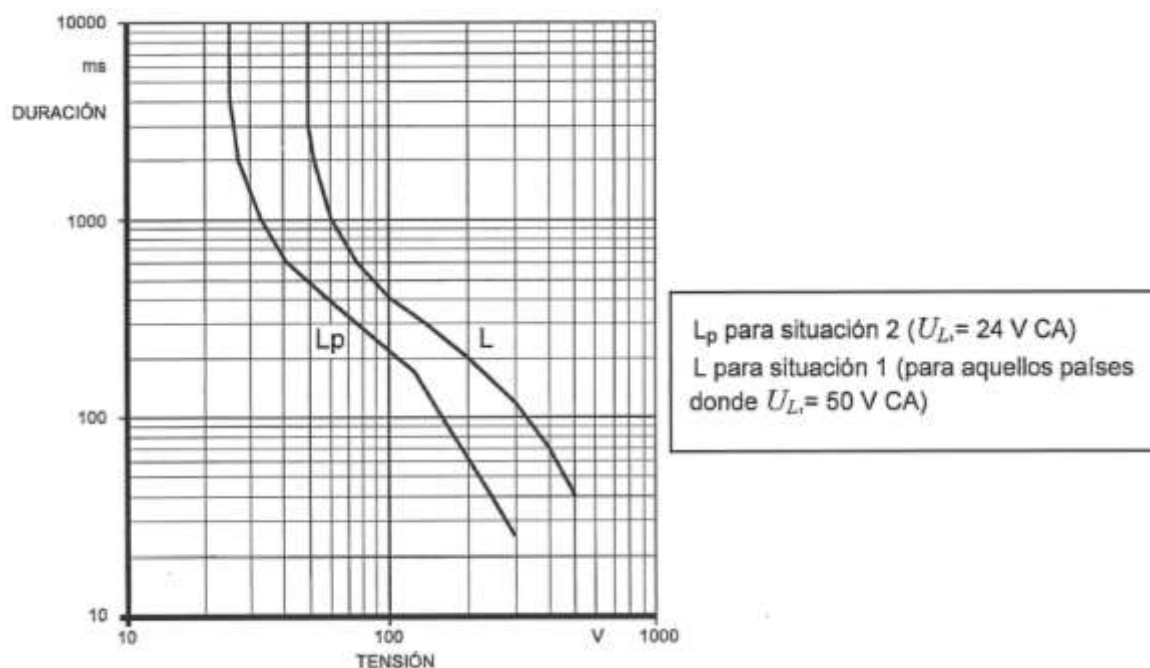


FIG. II-1 - Duración máxima de la tensión de contacto presunta para instalaciones industriales de BT.

En la misma reglamentación se establecen los tiempos máximos de actuación de los dispositivos de protección según el ECT.

Cualquiera sea el ECT adoptado, la protección contra contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación en circuitos terminales de hasta 32A, debe realizarse en los tiempos máximos indicados en la siguiente tabla:

Esquema de Conexión a tierra (ECT)	50 V $U_0 \leq 120\text{ V}$		120 V $U_0 \leq 230\text{ V}$		230 V $U_0 \leq 400\text{ V}$	
	CA	CC	CA	CC	CA	CC
TN	0.4 s	(*)	0.2 s	5 s	0.06 s	0.2 s
TT	0.2 s		0.06 s	0.2 s	0.01 s	0.02 s
IT	Ver 413.1.6 (AEA 90364)					

(*) La desconexión puede ser requerida por razones distintas a la de la protección contra los choques eléctricos.
 Cuando se emplea protección diferencial no se considera el tiempo de apertura a $I_{\Delta t}$ sino a $5I_{\Delta t}$.
 U_0 es la tensión simple en CA o CC o tensión entre línea y tierra.

FIG. II-2- Tiempos máximos de desconexión para la protección contra contacto indirecto por desconexión automática de la alimentación en circuitos terminales para $U_L = 24\text{ V}$.

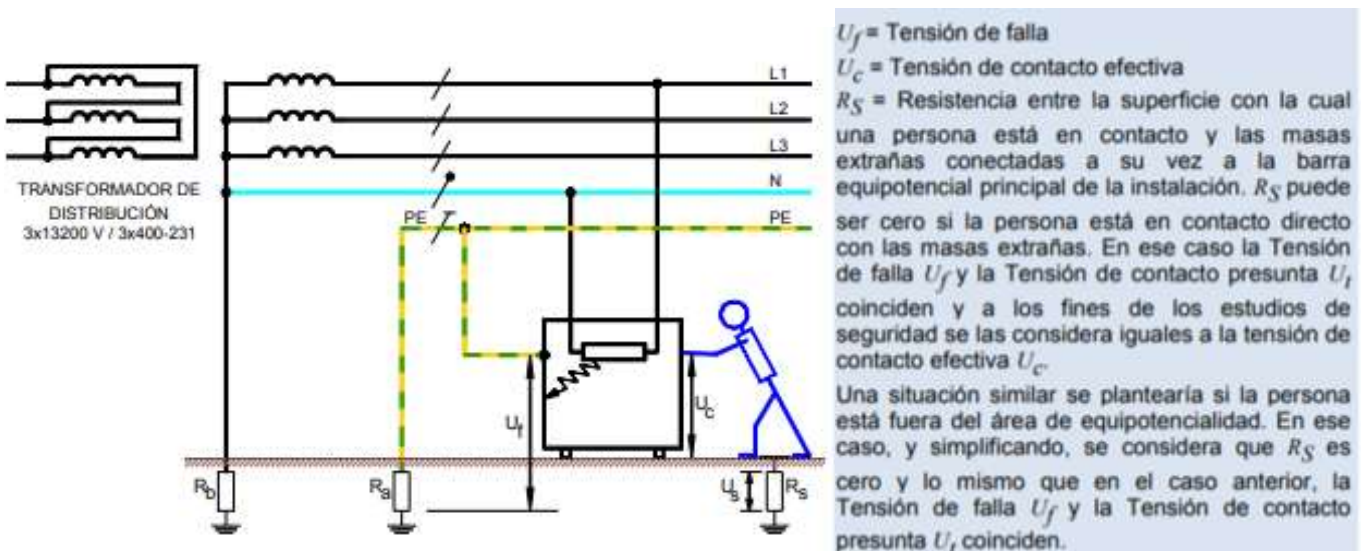
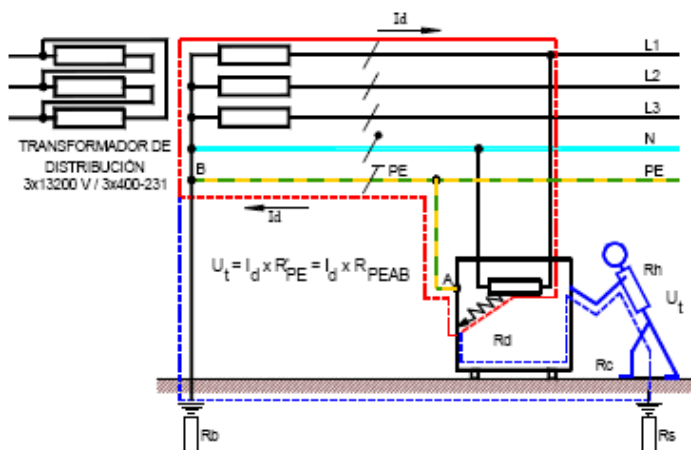


Figura II-3: ECT TT. Masa puesta a tierra y persona en riesgo de muerte por electrocución a pesar de la puesta a tierra



La tensión de contacto presunta en el ECT TN-S es igual a la caída de tensión en el conductor de protección PE que conecta la masa con el punto neutro de la alimentación (tramo A-B). Por ello la tensión de contacto presunta U_t vale en el ECT TN-S:

$$U_t = I_d \times R_{PE AB}$$

Figura II-4: ECT TN-S. Lazo de falla y Tensión de contacto presunta U_t

La Reglamentación AEA 90364, en su Parte 5 "Elección e Instalación de los Materiales Eléctricos" y para todo tipo de inmueble con esquema de conexión a tierra TT, establece los valores máximos de resistencia de puesta a tierra en la tabla 54.1. Además, en la Parte 7 "Reglas Particulares para las Instalaciones en Lugares y Locales Especiales", Sección 771 "Viviendas, oficinas y locales (unitarios)", indica en la 771.3.I los valores máximos para estos usos. Ambas tablas son idénticas y a continuación se transcriben:

Tabla 771.3.I (Tabla 54.1) –Valores máximos de resistencia de puesta a tierra 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
Sensibilidad alta	100 mA	500	240	40
	Hasta 30 mA inclusive	Hasta 1666	800	40

II.2- RES 900/2015 de la SRT (ponemos textualmente la resolución)

El ámbito de aplicación abarca todas las instalaciones de BT de empresas públicas, o privadas, o particulares (quedan exceptuadas las mencionadas en la AEA 90364-1 como no alcanzadas por esta reglamentación)

Bs. As., 22/4/2015

VISTO el Expediente N° 174.986/14 del Registro de esta SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO (S.R.T.), las Leyes N° 19.587, N° 24.557, N° 25.212, y los Decretos N° 351 de fecha 05 de febrero de 1979, N° 911 de fecha 05 de agosto de 1996, N° 617 de fecha 07 de julio de 1997, N° 1.057 de fecha 11 de noviembre de 2003, N° 249 de fecha 20 de marzo de 2007, la Resolución S.R.T. N° 3.117 de fecha 21 de noviembre de 2014, y CONSIDERANDO:

Que el artículo 1°, apartado 2°, inciso a) de la Ley sobre Riesgos del Trabajo N° 24.557, establece que uno de los objetivos fundamentales del Sistema, creado por dicha norma, es la reducción de la siniestralidad a través de la prevención de los riesgos laborales.

Que a través del artículo 4° del mencionado cuerpo normativo se establece que los empleadores, los trabajadores y las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo (A.R.T.) comprendidos en el ámbito de la Ley de Riesgos del Trabajo están obligados a adoptar las medidas legalmente previstas para prevenir eficazmente los riesgos del trabajo. A tal fin, dichas partes deberán cumplir con las normas sobre higiene y seguridad en el trabajo.

Que el artículo 4°, inciso b) de la Ley N° 19.587 establece que la normativa relativa a Higiene y Seguridad en el Trabajo comprende las normas técnicas, las medidas sanitarias, precautorias, de tutela y de cualquier otra índole que tengan por objeto prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos puestos de trabajo.

Que el artículo 5° de la norma mencionada en el considerando precedente establece en su inciso l) que a los fines de la aplicación de esa ley se considera como método básico de ejecución, la adopción y aplicación de los medios científicos y técnicos adecuados y actualizados que hagan a los objetivos de la norma.

Que, asimismo, el inciso ñ) del referido artículo, estima como necesaria la difusión de las recomendaciones y técnicas de prevención que resulten universalmente aconsejables o adecuadas. Que resulta indispensable que los sistemas de puesta a tierra, y los dispositivos de corte automático de la alimentación, se encuentren en condiciones adecuadas, como así también la verificación de que cada masa esté conectada a un conductor de protección puesto a tierra (continuidad del circuito de tierra de las masas) para la protección de los trabajadores contra riesgos de contacto con masas puestas accidentalmente bajo tensión (riesgo de contacto indirecto).

Que para la mejora real y constante de la situación de los trabajadores, es imprescindible que se cuente con mediciones confiables, claras y de fácil interpretación, lo que hace necesaria la incorporación del uso de un protocolo estandarizado de medición y verificación.

Que la Gerencia de Asuntos Legales de esta SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO (S.R.T.) ha tomado intervención que le corresponde. Que la presente se dicta en ejercicio de las facultades conferidas por el artículo 36, apartado 1°, inciso a) de la Ley N° 24.557, el artículo 2° del Decreto N° 351 de fecha 05 de febrero de 1979, el artículo 3° del Decreto N° 911 de fecha 05 de agosto de 1996 y el artículo 2° del Decreto N° 617 de fecha 07 de julio de 1997 —conforme modificaciones dispuestas por los artículos 1°, 4° y 5° del Decreto N° 1.057 de fecha 11 de noviembre de 2003—, y el artículo 2° del Decreto N° 249 de fecha 20 de marzo de 2007.

Por ello, EL SUPERINTENDENTE DE RIESGOS DEL TRABAJO RESUELVE:

ARTICULO 1° — Apruébase el Protocolo para la Medición del valor de puesta a tierra y la verificación de la continuidad de las masas en el Ambiente Laboral, que como Anexo forma parte integrante de la presente resolución, y que será de uso obligatorio para todos aquellos que deban medir el valor de la puesta a tierra y verificar la continuidad de las masas conforme las previsiones de la Ley N° 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y normas reglamentarias.

ARTICULO 2° — Establécese que los valores de la medición de la puesta a tierra, la verificación de la continuidad del circuito de tierra de las masas en el ambiente laboral, cuyos datos estarán contenidos en el protocolo aprobado en el artículo 1° de la presente resolución, tendrán una validez de DOCE (12) meses.

ARTICULO 3° — Estipúlase que cuando las mediciones arrojen valores que no cumplan con la Reglamentación de la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA (A.E.A.) para la ejecución de las instalaciones eléctricas en inmuebles y/o cuando se verifique falta de vinculación con tierra de alguna de las masas (falta de continuidad del circuito de tierra de las masas) se debe realizar un plan de acción para lograr adecuar el ambiente de trabajo

ARTICULO 4° — Establécese que se debe controlar periódicamente el adecuado funcionamiento del/los dispositivos de protección contra contactos indirectos por corte automático de la alimentación.

ARTICULO 5° — Determinase que a los efectos de realizar la medición a la que se hace referencia en el artículo 1° de la presente resolución podrá consultarse una guía práctica que se publicará en la página web de la SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO (S.R.T.): www.srt.gob.ar.

ARTICULO 6° — Facúltase a la Gerencia de Prevención de esta S.R.T. a modificar y determinar plazos, condiciones y requisitos establecidos en la presente resolución, así como a dictar normas complementarias.

ARTICULO 7° — Determinase que la presente resolución entrará en vigencia a los TREINTA (30) días contados a partir del día siguiente de su publicación en el Boletín Oficial de la REPUBLICA ARGENTINA.

ARTICULO 8° — Comuníquese, publíquese, dése a la Dirección Nacional del Registro Oficial y archívese. — Dr. JUAN H. GONZALEZ GAVIOLA, Superintendente de Riesgos del Trabajo.

ANEXO 1

PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA Y CONTINUIDAD DE LAS MASAS	
(1) Razón Social:	
(2) Dirección:	
(3) Localidad:	
(4) Provincia:	
(5) CP:	(6) C.U.I.T.:

Datos para medición		
(7) Marca, modelo y número de serie del instrumento utilizado:		
(8) Fecha de Calibración del Instrumental utilizado:		
(9) Fecha de la medición:	(10) Hora de inicio:	(11) Hora finalización:
(12) Metodología utilizada		

(13) Observaciones:

Documentación que se Adjuntara a la Medición

(14) Certificado de Calibración.
(15) Plano o croquis.

Hoja 1/3

Firma, Aclaración y Registro del Profesional Interviniente

PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA Y CONTINUIDAD DE LAS MASAS											
Nombre Ciudad										Cat.	
Provincia			Localidad		CP		Teléfono				
Datos de la Medición											
Nº	UBI	UBO	UBI	UBO	UBI	UBO	UBI	UBO	UBI	UBO	
Numero de masa de obra	Sitio		Descripción de la actividad del terreno al momento de la medición Límites: Norte / Sur / Oeste / Este / Límite existente / Acceso: Vial o terreno / Otro	Ubicación de la parcela a medir Tronco de tierra del sector de Troncosancho / Frente de Tierra de propiedad de los Señores / De Promoción de equipamiento urbano (De Infraestructura / De Sanitación / De Parques y Jardines)	Figuras de concreto a ser utilizadas: PL / TM / TC / ST / CB / SE	Módulo de la prueba a tomar Valor obtenido en la aplicación expresado en ohm (Ω)	UBI	UBO	Continuidad de las masas El contacto de prueba a tomar en consideración y el contacto de tierra y una resistencia promedio (R / MΩ)	Para la presente como evidencia de la prueba de continuidad de las masas (CMT) debe registrarse (S) o (N) según corresponda.	El dispositivo de protección respectivo puede disminuir el R.M.A. existente la resistencia para lograr la protección contra las descargas indirectas (S / NO)
Observaciones adicionales:											

Fig. II-3- Planillas de resolución 900

INSTRUCTIVO PARA COMPLETAR EL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA Y CONTINUIDAD DE LAS MASAS

- 1) Identificación del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición (razón social completa).
- 2) Domicilio real del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 3) Localidad del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 4) Provincia en la cual se encuentra radicado el establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 5) Código Postal del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 6) C.U.I.T. de la empresa o institución.
- 7) Marca, modelo y número de serie del instrumento utilizado en la medición.
- 8) Fecha de la última calibración realizada al instrumento empleado en la medición.
- 9) Fecha de la medición, o indicar en el caso de que el estudio lleve más de un día la fecha de la primera y de la última medición.
- 10) Hora de inicio de la primera medición.
- 11) Hora de finalización de la última medición.
- 12) Nombre de la metodología o método utilizado.
- 13) Espacio para agregar información adicional de importancia.
- 14) Adjuntar el certificado de calibración del equipo, expedido por el laboratorio (copia).
- 15) Adjuntar plano o croquis del establecimiento, indicando los puntos en los que se realizaron las mediciones (número de toma a tierra). El croquis deberá contar como mínimo, con sectores o sección.
- 16) Identificación del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición (razón social completa).
- 17) C.U.I.T. de la empresa o institución
- 18) Domicilio real del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 19) Localidad del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 20) Código Postal del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 21) Provincia en la cual se encuentra radicado el establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 22) Número de toma de tierra, indicar mediante un número la toma a tierra donde realiza la medición, el cual deberá coincidir con el del plano o croquis que se adjunta a la medición.
- 23) Indicar el sector o la sección dentro de la empresa donde se realiza la medición.
- 24) Indicar o describir la condición del terreno al momento de la medición, lecho seco, arenoso seco o húmedo, lluvias recientes, turba, limo, pantanoso, etc.

-
- 25) Indicar el uso habitual de la misma, toma de tierra del neutro de transformador, toma de tierra de seguridad de las masas, de protección de equipos electrónicos, de informática, de iluminación, de pararrayos, otros.
- 26) Indicar cuál es el esquema de conexión a tierra utilizado en el establecimiento, TT / TN-S / TN-C / TN-C-S / IT.
- 27) Indicar el valor obtenido en la medición de resistencia de puesta a tierra de las masas, expresado en Ohm.
- 28) Indicar si el resultado de la medición cumple o no con lo expresado en la reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles de la Asociación Argentina de Electrotécnicos, requerido legalmente.
- 29) Indicar si el circuito de puesta a tierra es continuo y permanente.
- 30) Indicar si el circuito de puesta a tierra tiene la capacidad de carga para conducir la corriente de falla y una resistencia apropiada.
- 31) Indicar cuál es la protección que se utiliza en el establecimiento contra contactos indirectos, dispositivo diferencial (DD), interruptor automático (IA), fusible (Fus).
- 32) Indicar si el dispositivo de protección empleado en la protección contra los contactos indirectos está en condiciones de desconectar en forma automática el circuito, dentro de los tiempos máximos establecidos por la Reglamentación de la Asociación Electrotécnica Argentina.
- 33) Espacio para agregar información adicional de importancia.
- 34) Identificación del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición de puesta a tierra (razón social completa).
- 35) C.U.I.T. de la empresa o institución.
- 36) Domicilio real del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 37) Localidad del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 38) Código Postal del establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 39) Provincia en la cual se encuentra radicado el establecimiento, explotación o centro de trabajo donde se realiza la medición.
- 40) Indicar las conclusiones, a las que se arribó, una vez analizados los resultados obtenidos en las mediciones.
- 41) Indicar las recomendaciones, después de analizar las conclusiones.

II.3- Ejemplos

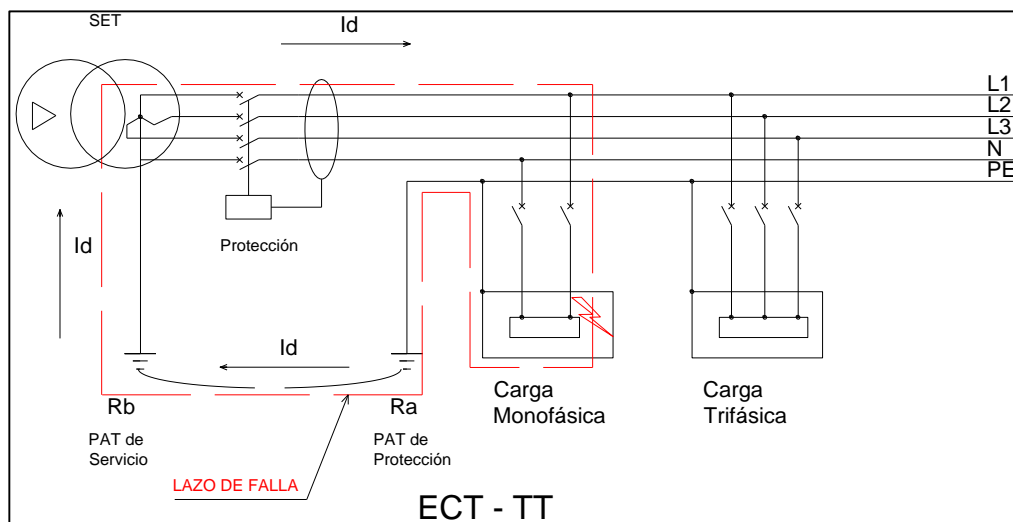
II.3.1- Verificación de actuación de protección diferencial ECT- TT.

Supongamos que se tiene un suministro de energía eléctrica a través de una SET 33 /0,4-0,231 kV de 10 kVA, donde el esquema de conexión de tierra adoptado en el punto de suministro es TT.

Por otro lado, para la toma de tierra Ra de la instalación consumidora, se definió una jabalina de acero recubierto con cobre 1/2" x 2,00 m, según NORMA IRAM 2309 y para la tierra de servicio Rb se adoptó tres jabalinas conectadas en paralelo de igual característica que la anterior.

Al realizar la medición de las resistencias de puesta a tierra de servicio y de protección, se obtuvieron los siguientes valores:

	Distancia de separación entre sí (m)	Resistencia (Ohm)	OBS
1 Jabalina	---	58.28	Ra
3 Jabalina	1 - disposición triangular	9.87	Rb



A partir de estos datos podemos calcular la corriente defecto, con la cual debemos verificar la correcta actuación de la protección diferencial.

$$I_d = U_0 / (R_a + R_b)$$

U_0 = es la tensión entre línea y tierra – 220 V

I_d = corriente de falla

$$I_d = 220V / (58.28 \Omega + 9.87 \Omega) = 3.23 A$$

La corriente sobre el lazo de falla es de 3.23 A. Con esta corriente se verificará el tiempo de desconexión para la protección diferencial.

Considerando que se trata de un sistema TT y que la corriente nominal del circuito terminal es < a 32 Amp, el tiempo requerido para la apertura de la protección es de 60 ms (según los requisitos legales)

Para la corriente de falla $I_d=3.23 \text{ A}$ y según la curva de disparo (**G Inmunizados**) IEC/EN 61008 que se muestra abajo, se puede afirmar que la protección diferencial actuará en un tiempo algo inferior a 40 ms, menor a los 60 mseg exigido por la Reglamentación de la AEA. Por lo tanto se verifica que con este dispositivo y estas PAT, se cumple con los requisitos de seguridad, en éste ejemplo.-.

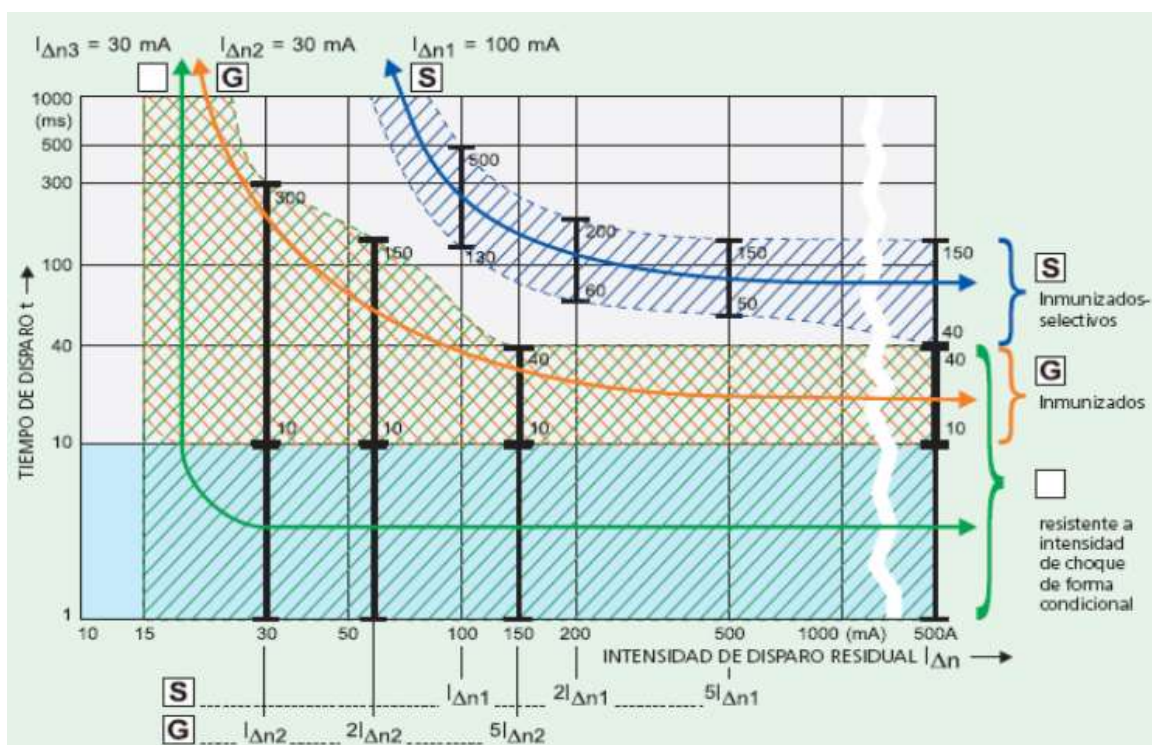


Fig. II-4- Curva de Disparo, márgenes de tiempo de disparo y selectividad de los interruptores diferenciales instantáneos, inmunizados ref. "G" e inmunizados-selectivos ref. "S"- IEC/EN 61008.

II-3-2) Ejemplo-Verificación de actuación de los DPCC frente a una falla ECT-TN-S.

El sistema TN-S se caracteriza por la posibilidad de utilizar los dispositivos de protección contra cortocircuitos como protección contra contactos indirectos, siempre y cuando la corriente de falla alcance el valor necesario como para que los mismos actúen dentro del tiempo establecido en los requisitos legales

Como ejemplo se determinara el tiempo de actuación de los dispositivos de protección, en este caso fusibles, frente a una falla L1-PE.(chasis)

Datos:

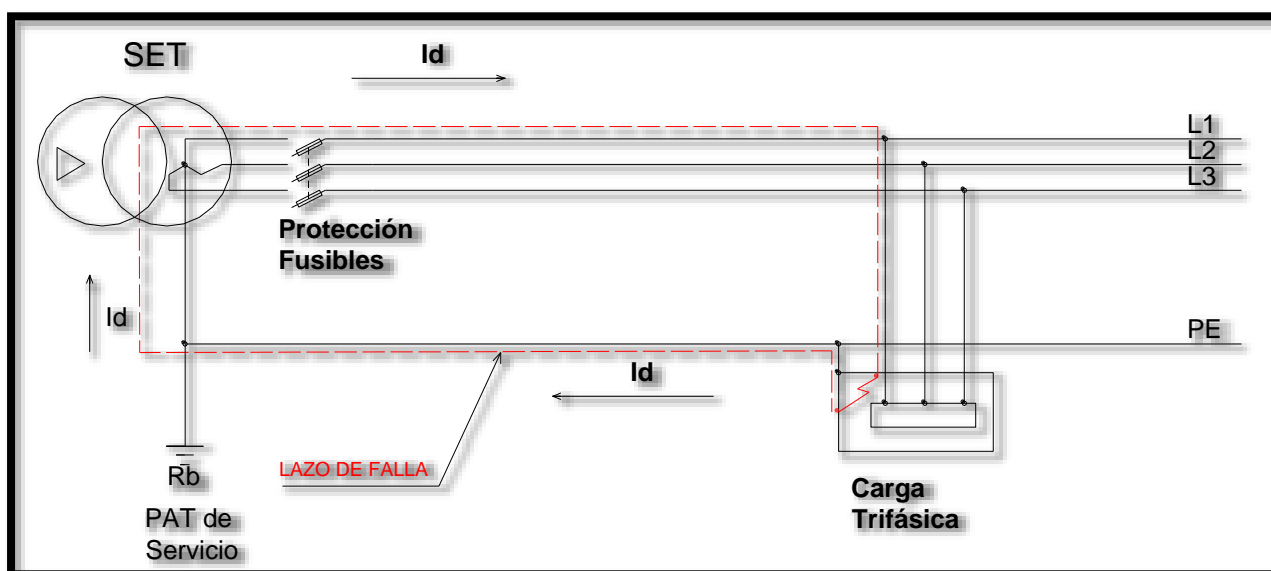
Tipo de conductor: Pre-ensamblado 3x35 mm² + 1x50 mm²

Longitud del conductor: 40 m

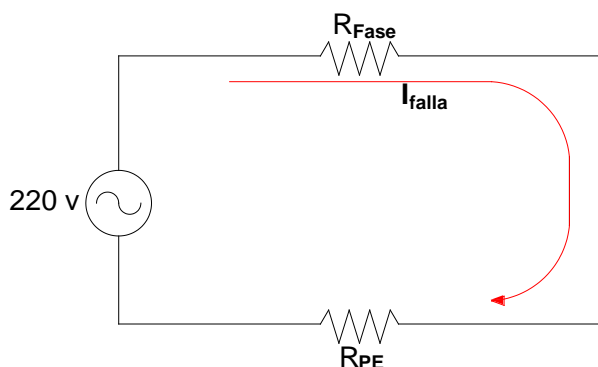
RF = 1.113 Ω/Km

RPE = 0,6928 Ω/Km

Fusibles NH 100 A



El circuito equivalente simplificado sería:



Conservativamente consideramos la caída interna y que el trafo estaba en el punto de menor tensión

$$I_d = \frac{0.8 U_o}{R_{fase1} + R_{contacto} + R_{cable\ de\ prot.}}$$

Despreciamos, en primera instancia, la resistencia de contacto

$$I_d = \frac{0.8 * 220V}{0.044\Omega + 0.027\Omega} = 2478 A$$

La tensión de contacto presunta será:

$$U_c: I_f \times R_{pe} = I_d \times R_{cable\ de\ prot.} = 2478 \times 0,027 = 66,9 \text{ Voltios}$$

El tiempo requerido para la apertura de la protección será: 300mseg (ver curva)

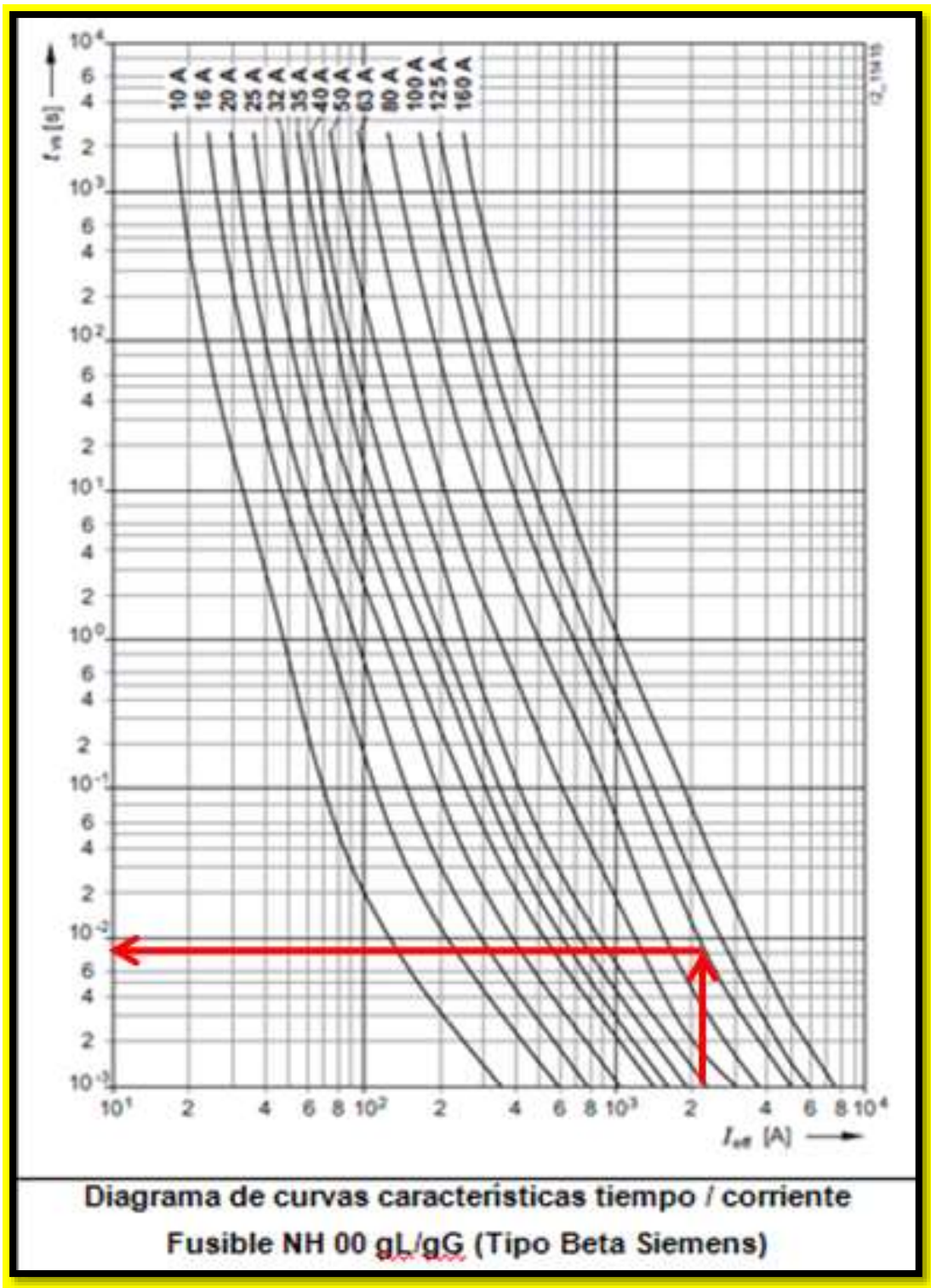


Fig. II-4- Diagrama de curvas características tiempo/corriente.

Fusible NH 00 gL/gG (Tipo Beta Siemens).

Calibre de fusible: 100 A

Id = 2478

Para la corriente de falla calculada, el tiempo de actuación es de aproximadamente 8 mseg, valor muy inferior al requerido (300 mseg)-



Fig. II-5- Diagrama de curvas características tiempo/corriente.

Fusible NH 1 gL/gG (Tipo Beta Siemens).

Calibre de fusible: 250 A

Id = 2478 A

En la Fig. II-5 se observa que si se utilizan fusibles de 250 amp-Tamaño 01 el tiempo de interrupción de la corriente de falla será superior a los 300 ms requeridos para garantizar la seguridad por contacto indirecto.

Este ejemplo sencillo pone de manifiesto que en los sistemas TN-que utilizan fusibles como únicos dispositivos de protección, el tipo y calibre de los mismos es determinante en el cumplimiento o no de los requerimientos de seguridad

II.4- Consideraciones sobre la continuidad de las masas de acuerdo al ECT

Hemos visto en el ejemplo del sistema TT que la protección diferencial actúa en forma conservativa respecto a los requerimientos aun con resistencias mayores a las exigidas (como vimos en el ejemplo con una Rpat de 59 ohms en lugar de 40 ohms que es lo requerido).- En este ejemplo si, en el lazo de falla se agrega una resistencia de contacto de 0,5 o de 1 ohm la seguridad no se resentirá.-

Veamos en el ejemplo del sistema TN-S: Con el fusible de 100 Amp hemos considerado resistencia de contacto despreciable, pero si se agrega una resistencia de contacto (que está en el lazo de falla) de 0,1 ohms el valor de corriente pasa a:

$$I_d = \frac{0.8 * 220V}{0.044\Omega + 0,1 + 0.027\Omega} = 1029 A$$

Con lo que el tiempo de fusión pasará a 200 ms.-Si bien aun cumple los requerimiento esta mas cerca del límite y seguramente que si hacemos el ejercicio con 0,2 ohms ya no cumpliría

Conclusión: el valor de resistencia de contacto aceptable es mucho mas crítica para los sistemas TN (que no tengan protección diferencial) que para los TT y deberá ser evaluado en cada caso por el profesional interviniente.-

Aprovechamos a hacer la aclaración de que para medir la continuidad de las masas se requiere un instrumento con una tensión de salida >4 Vca o Vcc (pero inferior a 24 Vca o 24 Vcc) y una corriente mínima de ensayo de 200 ma.-

III. PUESTA A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE MT

III-1- PAT DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS LINEAS ELECTRICAS

III-1-1 .-El marco reglamentario vigente con reconocimiento legal en nuestro país es el establecido en la AEA 95301 .-

En el punto 15.3 de la misma se establecen tensiones máximas admisibles con las siguientes ecuaciones:

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

V: Tensión máxima de contacto [V]

K y n: Coeficientes

.t: Tiempo de accionamiento de la protección eléctrica asociada.

Siendo

K=72,0 y n= 1,00 para tiempos inferiores a 0,9 segundos

K=75,5 y n= 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos.

Alternativamente puede determinarse la tensión de contacto admisible en función de la duración de la corriente de falla por medio de la curva de la figura 15.3-a (según la Norma IEC 60479)

En el mismo punto de la norma se presenta la alternativa de utilizar la curva de tensiones máximas admisibles dada por la norma IEC 60479

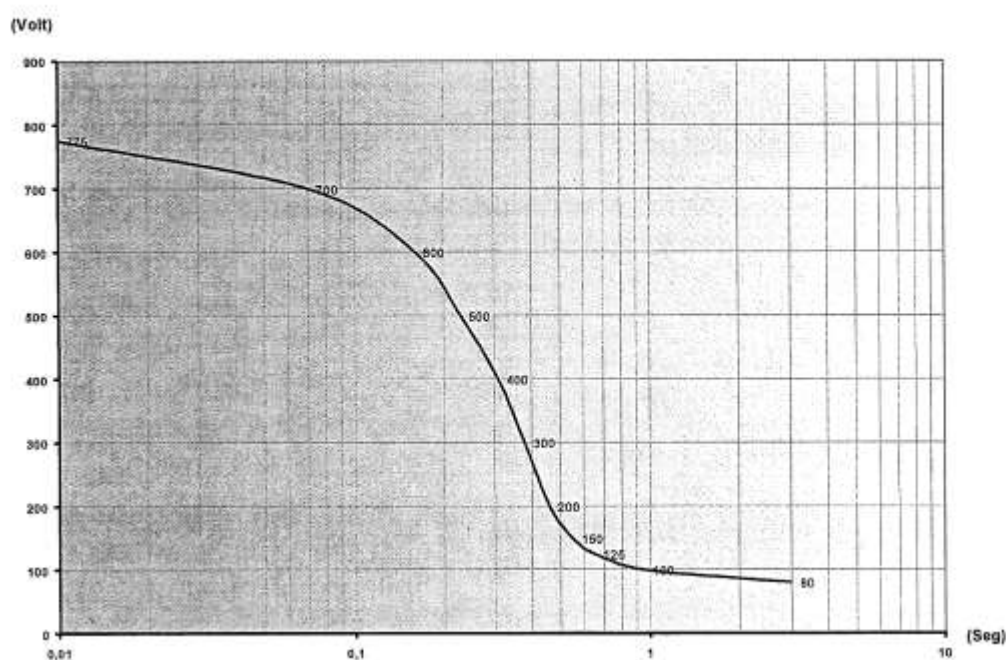


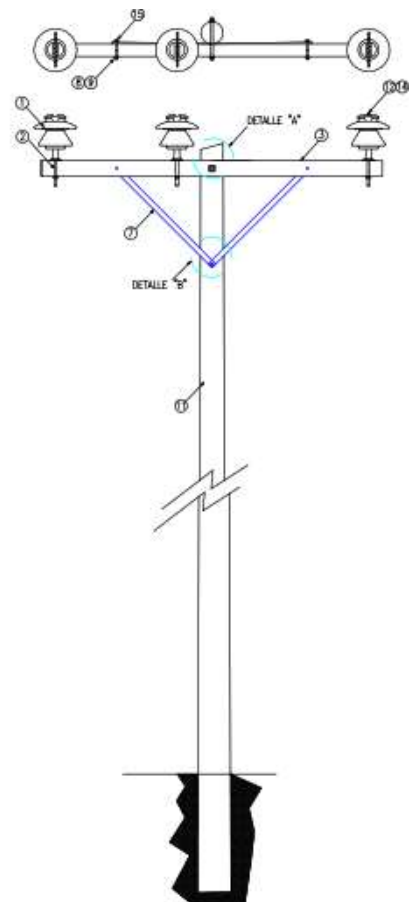
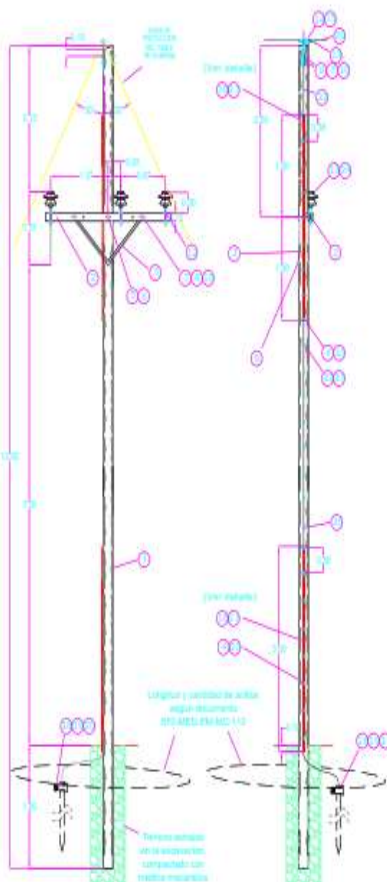
Figura III-1: Tensión de contacto V_{CA} en función de la duración t_f de la corriente de falla

III-1-2 a.- PUESTA A TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS DE LINEAS CON POSTACIÓN DE MADERA O PRFV SIN O CON HILO DE GUARDIA

Estas líneas pueden tener conexión de los herrajes a tierra o no, según criterio de coordinación de aislación adoptado por el proyectista.- En caso de tener bajada, esta será exterior con los postes de madera y en los de PRFV puede ser interior o exterior.- En ambos casos el criterio práctico es el de proteger el cable de bajada con un caño de polipropileno (o similar material) en los últimos 3 metros del suelo, de modo de evitar el contacto con el mismo.- En este caso el valor de R_{pat} solo debe ser tal que se evite el contorno inverso con la descarga de una fase en falla de 50 Hz o impulsiva, y verificar las tensiones de paso, lo que generalmente se cumple en estas tensiones de servicio.-

Por lo general el tipo constructivo que se adopta en la zona para las líneas rurales de MT o clase B que tienen esta postación y sin hilo de guardia, no tienen bajada a tierra de los herrajes, de modo que no tienen PAT (son líneas que tienen el nivel de aislamiento aumentado por el material de los postes y crucetas (en muchos casos) .-

En caso de tener hilo de guardia el criterio sería como el descrito anteriormente, solamente considerando ahora que las descargas impulsivas serán mas frecuentes.



III-1-2 b.- PUESTA A TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS DE LINEAS CON POSTACIÓN DE HORMIGON ARMADO PRETENSADO O METÁLICAS, SIN O CON HILO DE GUARDIA

En este tipo de líneas debe diseñarse la PAT de modo tal que se satisfagan las tensiones máximas admisibles de acuerdo a lo establecido en el marco legal (curva IEC 60479), para las fallas de 50 Hz, mas allá de lo que deba adicionarse para el comportamiento de las descargas impulsivas

*El criterio de diseño debe ser para 1 segundo, pero puede considerarse otro tiempo si resulta necesario por las condiciones de terreno u otras, **lo que debe ser resaltado para el momento en que se haga la coordinación de protecciones** .-*

Importante: si se prevé recierre automático debe considerarse la suma de los tiempos de permanencia de la falla (es una exigencia legal)

Se recomienda estudiar bien la magnitud de la corriente que efectivamente baja por la PAT de cada estructura en caso de tener hilo de guardia.

Los cálculos, la experiencia y las mediciones de las tensiones de contacto en campo nos muestran que, por lo general, con uno, dos o, a lo sumo tres aros de control de potencial alrededor de la estructura (enterrados 50 o 60 cms) se logra cumplir con los límites admisibles de tensión de contacto (para $t \leq 1$ seg) con valores aceptables de R_{pat} (del orden de 10 ohms).-

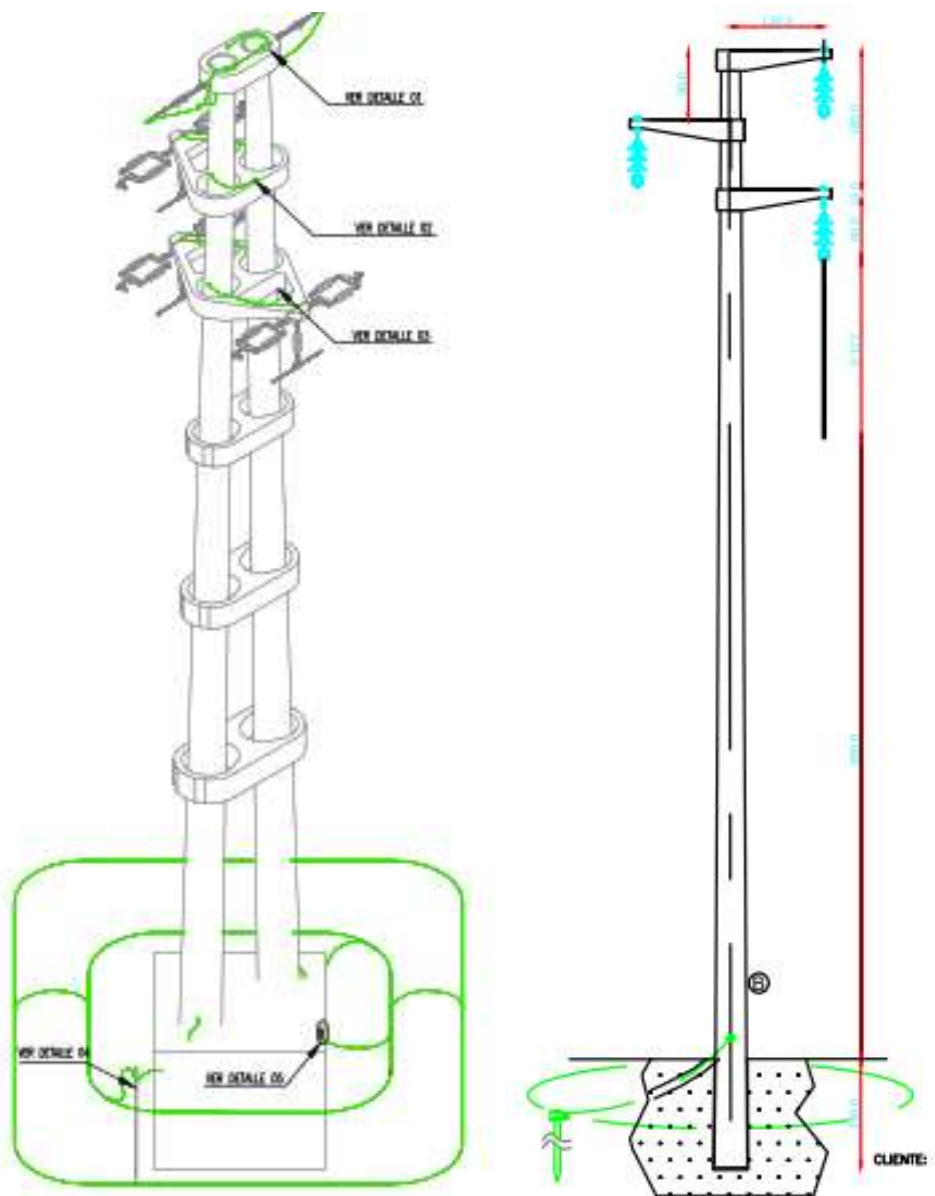
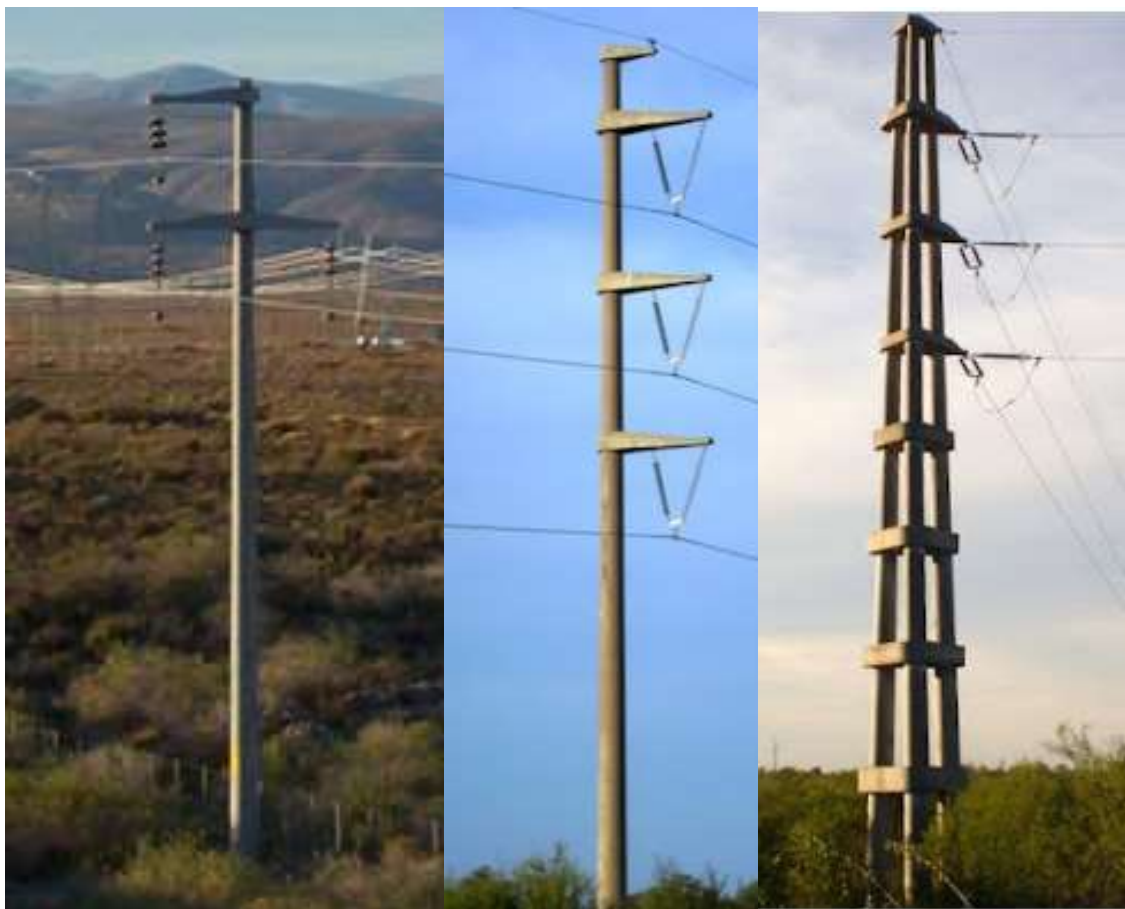


Fig.III-2- Poste de Hormigon armado con PAT



Los cálculos, la experiencia y las mediciones de campo nos muestran que, por lo general, con uno dos o tres anillos de PAT, es suficiente

III-2 PUESTAS A TIERRA DE LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN MT/BT, SET DE DISTRIBUCIÓN Y RURALES MT/BT

III-2-1 MARCO LEGAL

El marco reglamentario vigente con reconocimiento legal en nuestro país es el establecido en la AEA 95401 .- (Reglamentación sobre centros de transformación y suministros en MT)

Las tensiones máximas admisibles en función del tiempo de duración de las fallas es la establecida en la curva de la IEC 60479-1

*En la reglamentación AEA 95403 de instalaciones de 1 a 36 kV se toma como referencia la AEA 95501-4 de 2016, en la cual se establecen los valores de tensiones máximas admisibles para las instalaciones industriales de tensiones mayores a 1 kV.- **FIG. III-2-1.***

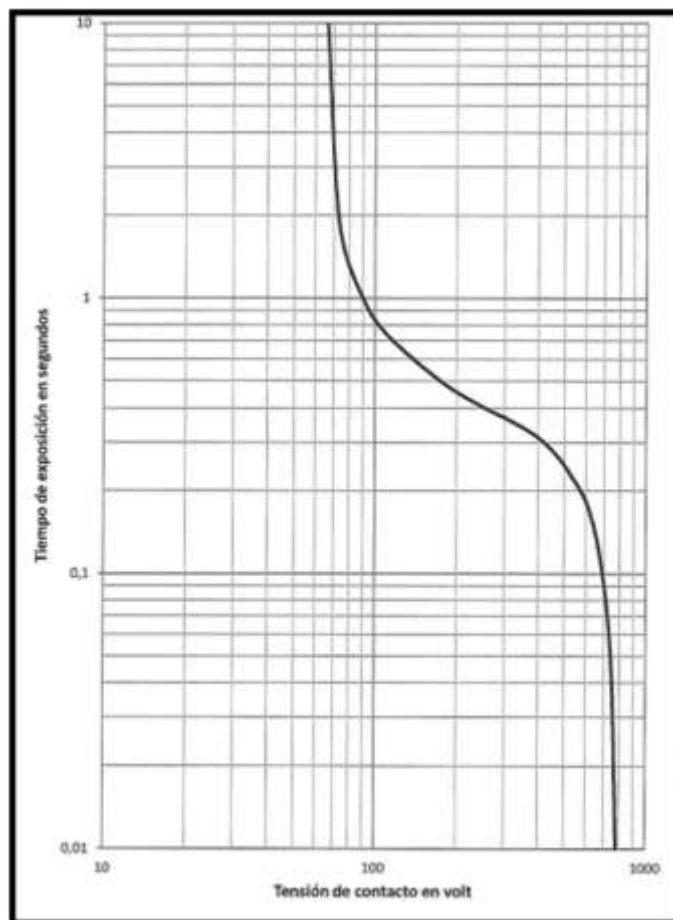


FIG. III-2-1- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en instalaciones industriales para tensiones > 1kV.

Esta es la curva de tolerancia que aplica a instalaciones industriales > a 1 KV y debe ser tomada como referencia a efectos del diseño y cálculo del sistema de PAT de los centros de transformación MT/BT y MT/MT (excepto que estos últimos sean de gran potencia y estén diseñados como una ESTACION O SUBESTACION TRANSFORMADORA Principal en cuyo caso podrá utilizarse los criterios de la IEEE Std-80, en cuanto al diseño y para el cálculo de las tensiones admisibles)

Respecto a los valores de Rpat.-la AEA 95401, establece que la Rpat. De protección debe ser ≤ 10 ohms (cuando la Pat de protección no está unificada con la de servicio), luego de satisfacer las tensiones de contacto y de paso admisibles.

Cuando la pat. De protección está unificada con la de servicio la Rpat debe ser ≤ 2 ohms,, luego de satisfacer las tensiones de contacto y de paso admisibles

III-2.2.-Conceptos a considerar en el diseño según el tipo de instalación, ubicación de las cargas, sistema de PAT elegido, etc

Cada forma constructiva requiere de consideraciones diferentes para cumplir con los requerimientos legales.-Tomaremos algunas formas constructivas usuales

a) *SET de distribución urbana MT/BT con postación de HºAº.(o metálica) -Tipo plataforma*

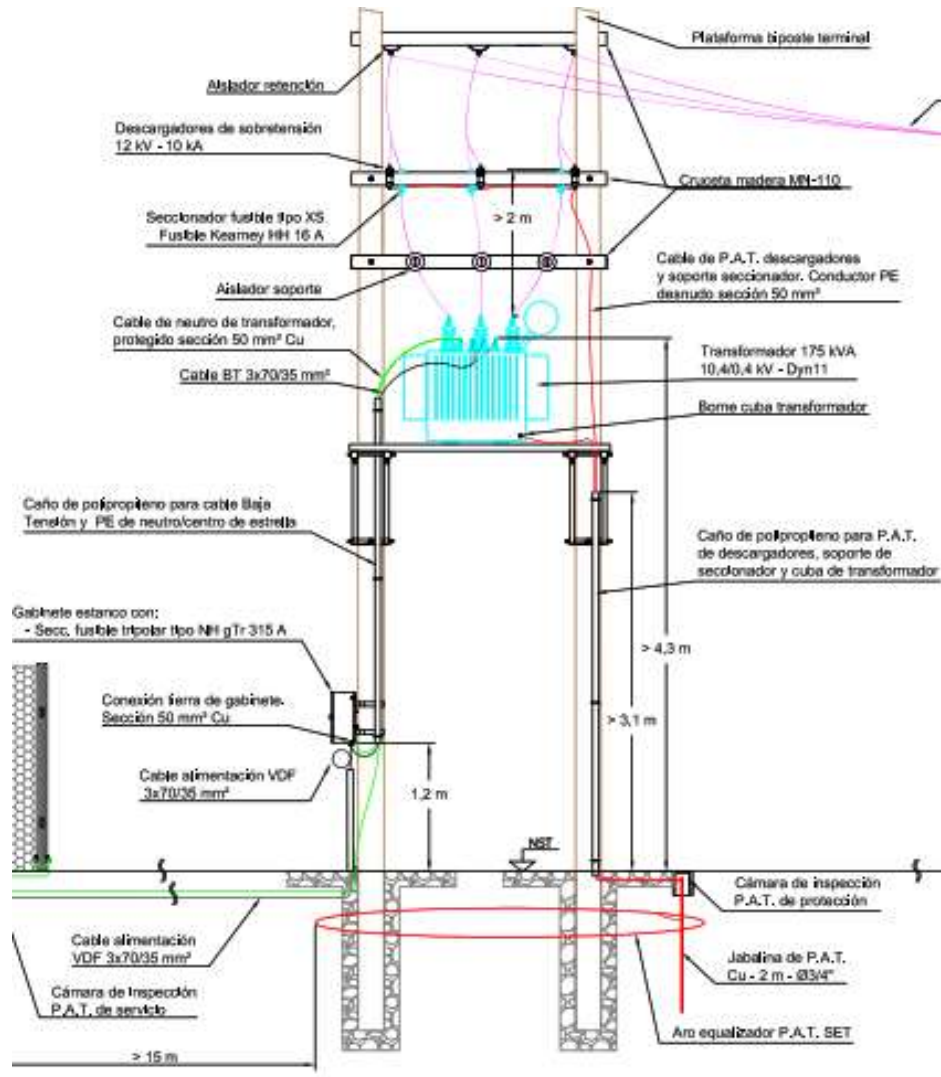


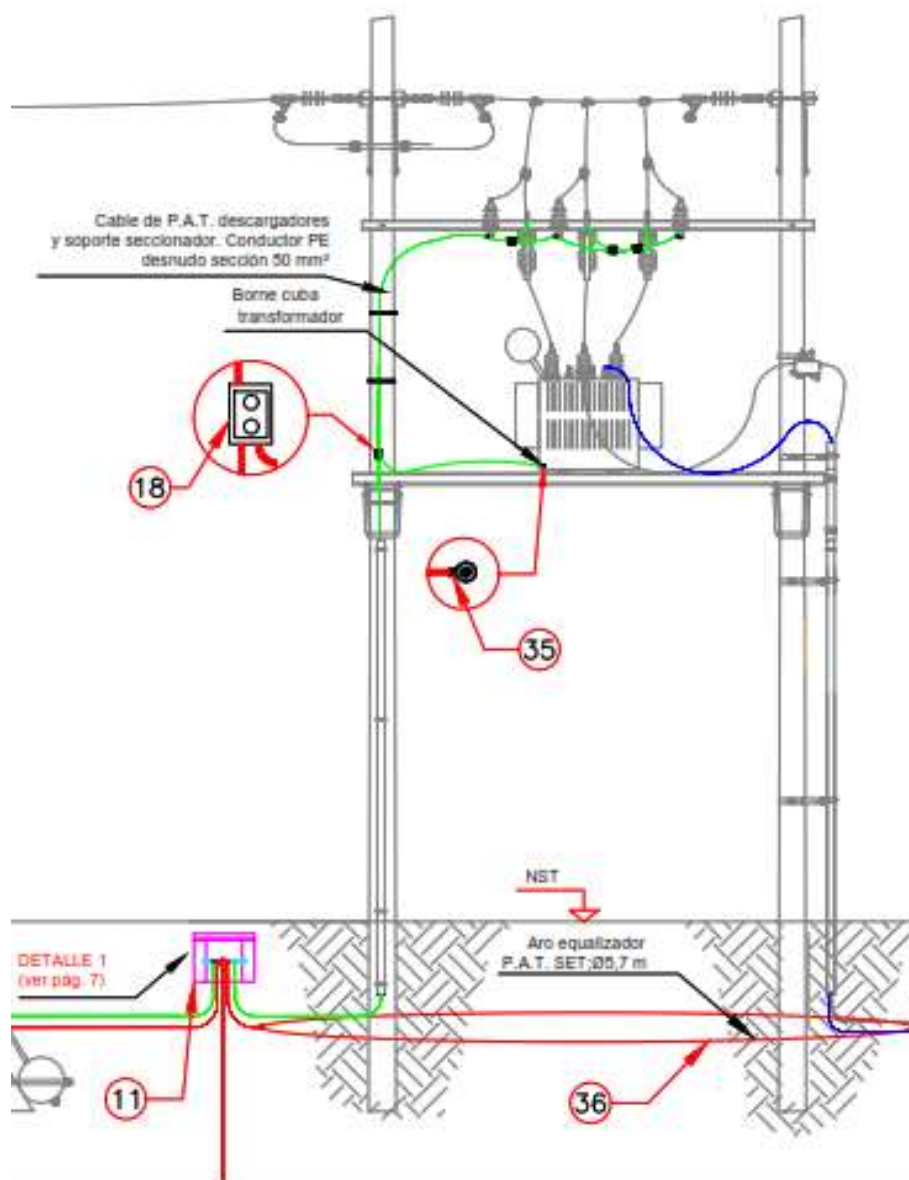
Aquí las variantes pueden ser:

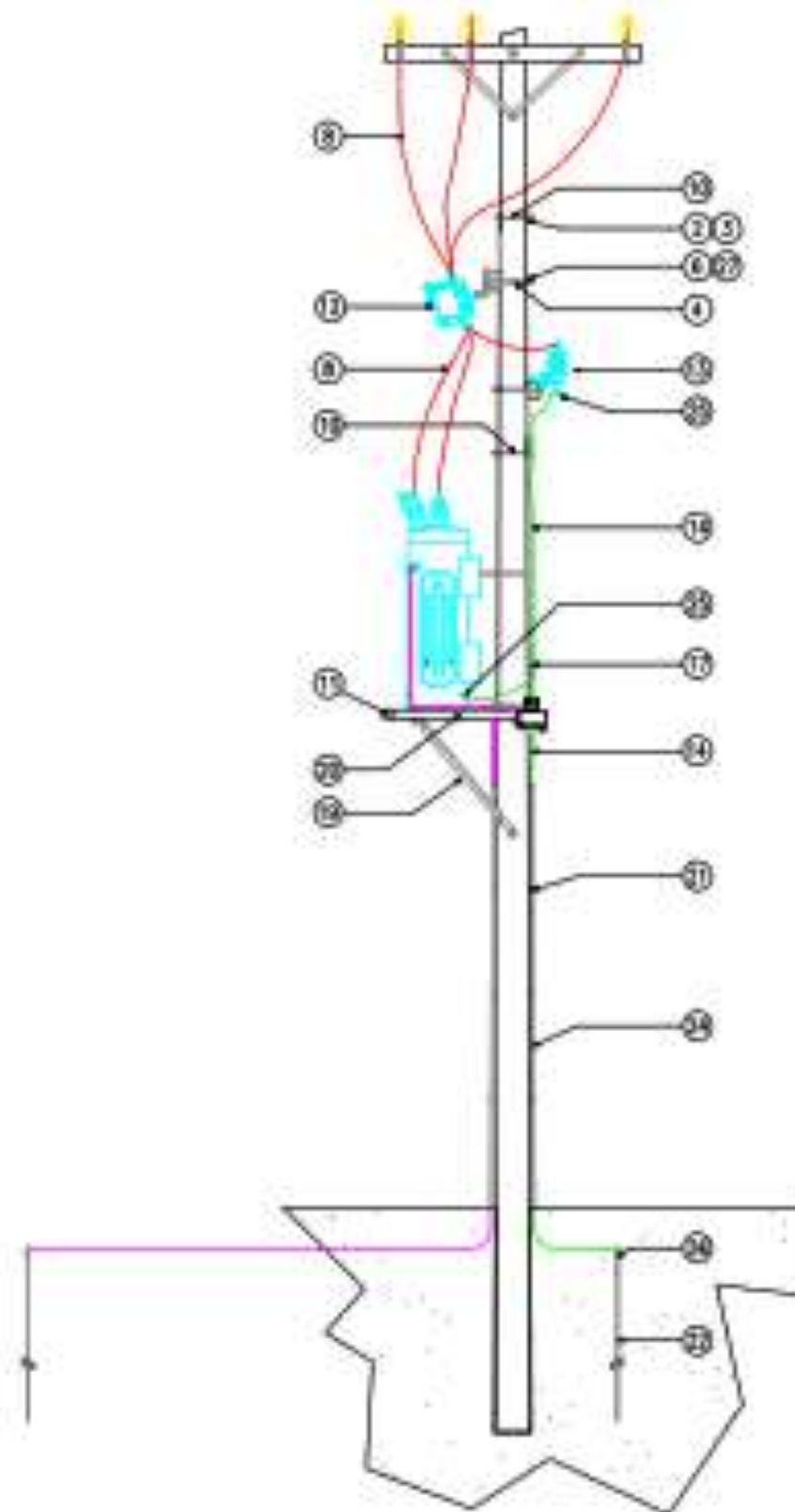
Con tierra de protección separada de la de servicio o unificada

Con el transformador aislado sobre tirantes de madera o vinculado eléctricamente a la estructura de HºA

b) *SET rural Plataforma o monoposte sobre poste de madera o de PRFV*





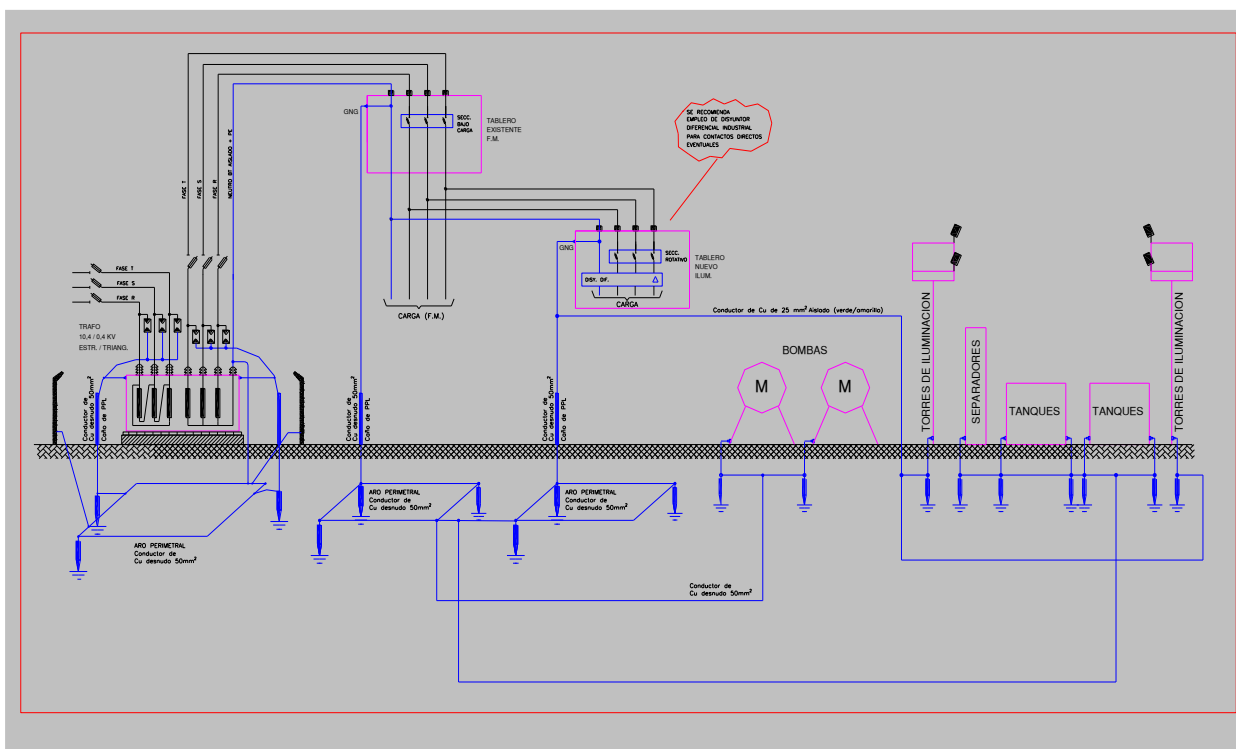
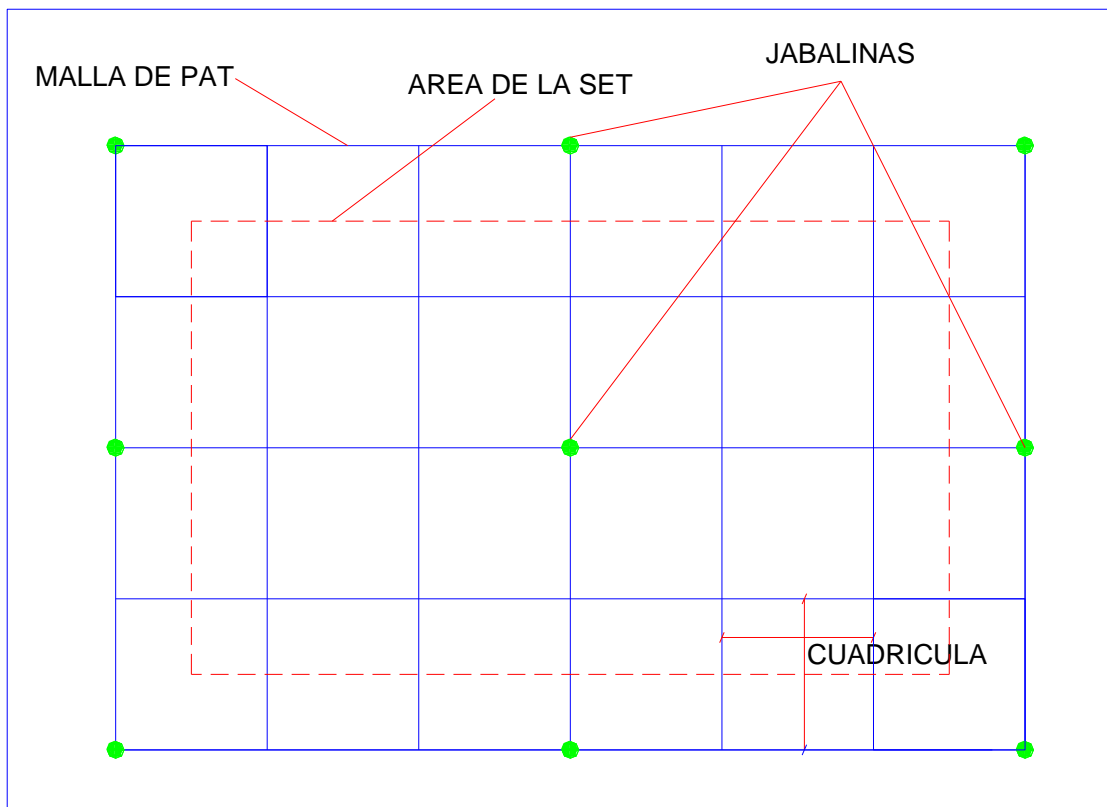


ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	BULON GALVANIZADO MN 49 C/TUERCA	6
2	ARANDELA PLANA MN 30	8
3	ARANDELA PRESION MN 32a	9
4	BULON GALVANIZADO MN 55 C/TUERCA	2
5	CHAPA CUADRADA CHICA MN 84	9
6	ARANDELA PRESION MN 32b	7
7	CRUCETA MADERA CENT. MT MN110	2
8	CABLE AL/AL DESN. 035mm ²	15
9	BRAZO RECTO CORTO MN 41	4
10	BULON GALVANIZADO MN 52 C/TUERCA	3
11	TILLA MN513 C/TUERCAS	2
12	SECCIONADOR XS MN241 13,2KV	3
13	DESCARGADOR 12Kv. 10Ka.	3
14	CABLE ACERO COBREDO DESNUDO 35 mm ² .	12
15	TRANSFORMADOR 13,2/0,231 KV	1
16	CABLE COBRE AISLADO	5
17	CONECTOR COMP CU CAB35/70 CAB35/70	2
18	SECCIONADOR MN 237	3
19	BRAZO P/CRUCETA A VELA MN 45	2
20	CRUCETA MADERA VELA. BT MN112	3
21	GRAMPA OMEGA	3
22	JABALINA COOP.14X2000 S/ROSCA	1
23	CONECTOR BIFILAR RAN PAR AL/AL 6/50	6
24	CAÑO PPN 3/4" X 3 MTS.	1
25	TERMINAL Cu EST.035 mm ² D=1/2"	6
26	CONECTOR COMP CU CAB16/35 JAB1/2"/5/8"	2
27	ARANDELA PLANA MN 31	2
28	CINTA BICOLOR BLANCA Y ROJA	25
29	CABLE CU DESN. 25mm ² (a determinar su necesidad)	25

Aquí debe tenerse especial consideración en la PAT de servicio en función de la ubicación de las cargas y del ECT que se utilice en BT

Respecto a las tensiones de contacto en la SET basta con bajar aislado el conductor de aterramiento de protección

c) SET a Nivel MT/BT



Aquí las variantes son:

Que las cargas estén en el mismo predio de la SET

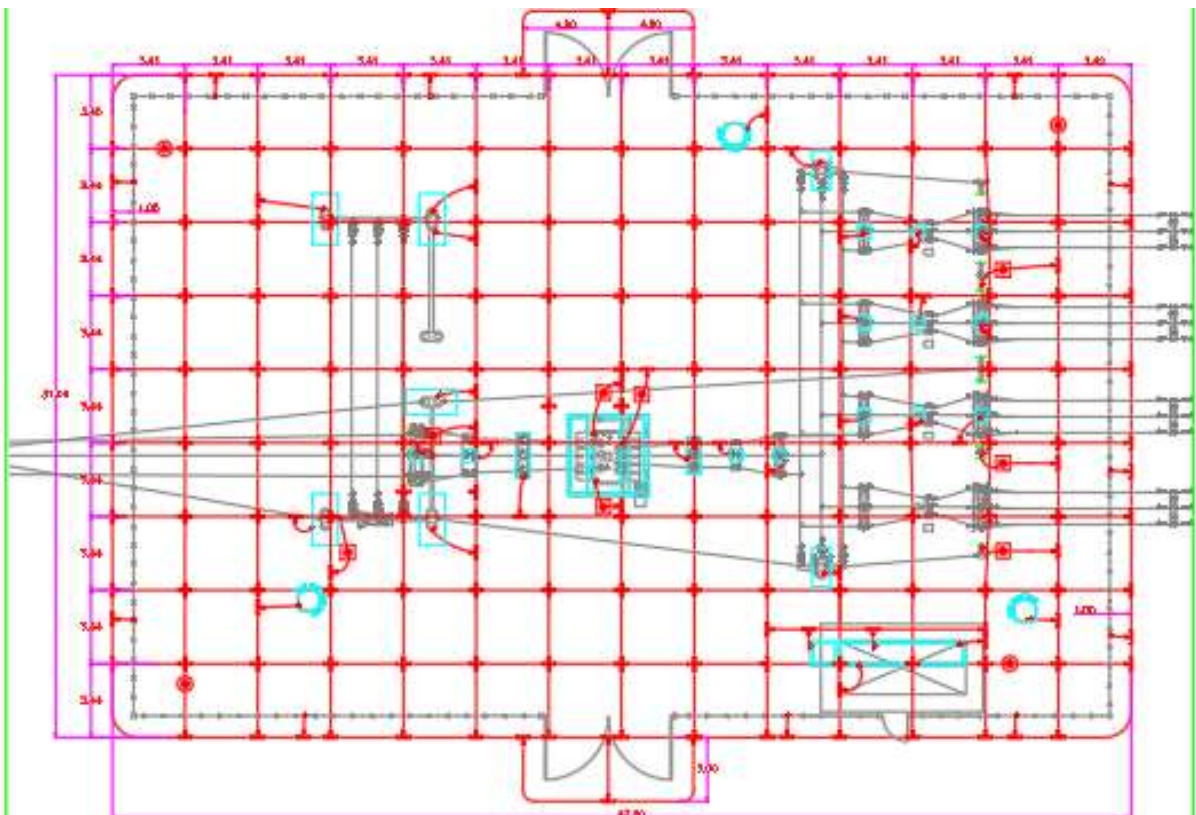
Que estén separadas de la SET

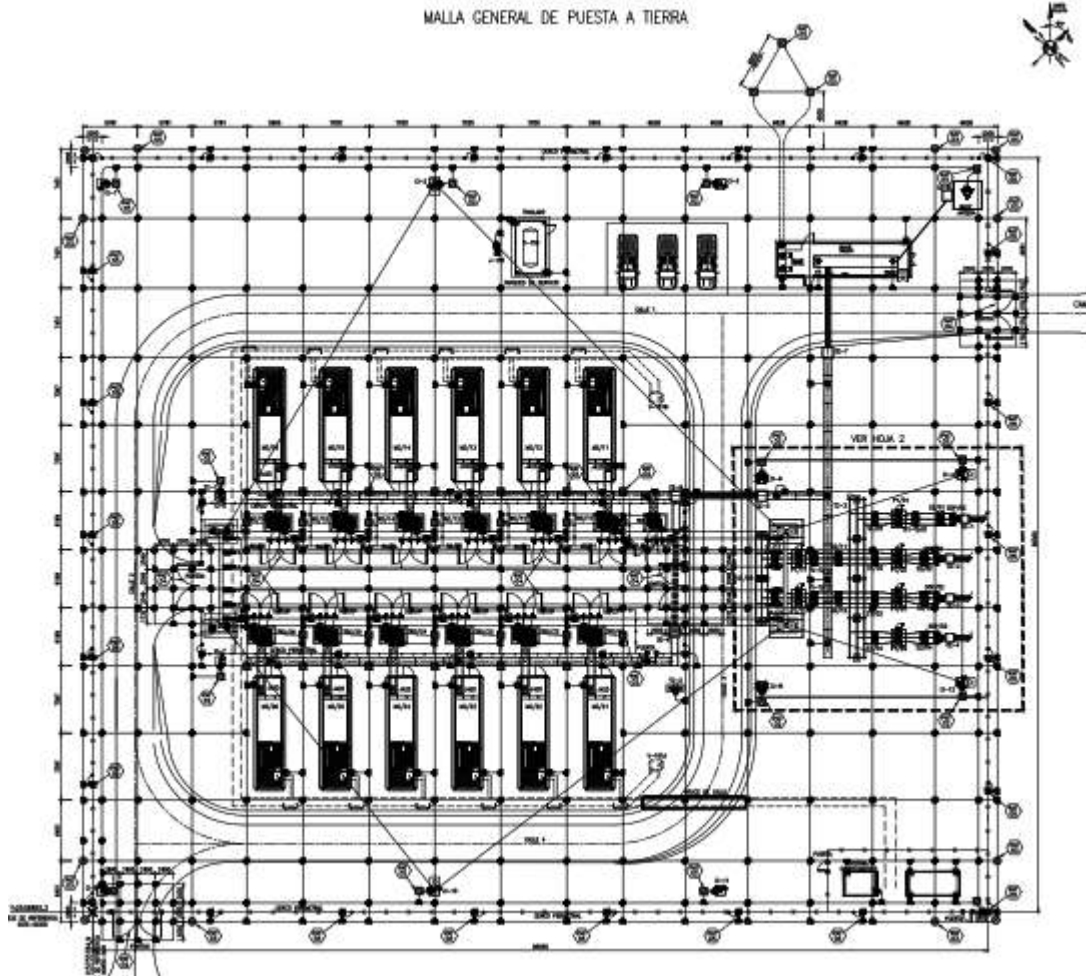
Que la tierra de protección esté unificada con la de servicio

Que la tierra de protección esté separada de la de servicio

Respecto a las tensiones de contacto debe diseñarse una malla de PAT de acuerdo a los requisitos legales y 1 cable perimetral externo si el cerco es metálico

III.2.3 PAT EN SET PRINCIPALES MT/MT-CENTRALES DE GENERACIÓN EN MT O GENERACION EN BT CON TRANSFORMADOR DE BLOQUE A MT

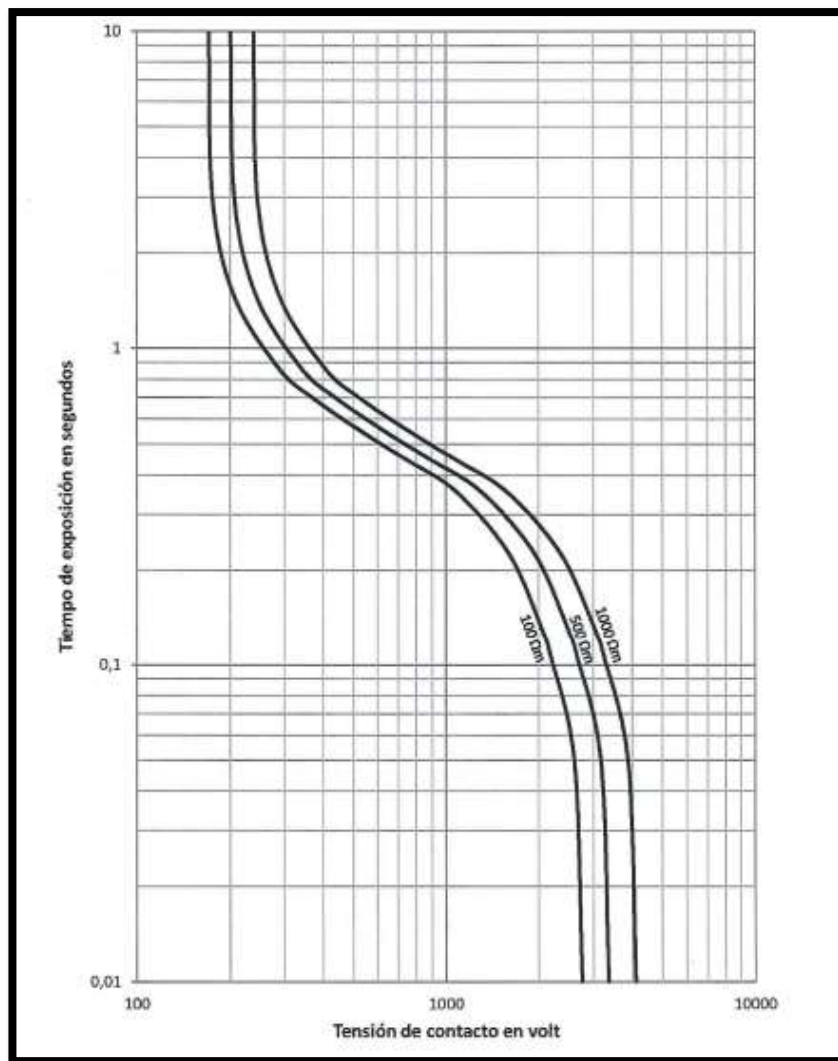




En estas instalaciones la PAT de protección siempre va unificada con la de servicio.-

El marco legal para las SET PRINCIPALES MT/MT es el de la AEA 95401 o 95402 con el diseño y cálculo de las tensiones admisibles de acuerdo a la IEC 60471 o ANSI /IEEE Std80 .-Deberá dimensionarse una malla acorde a la instalación.-

En la AEA 95501-4 de 2016, en la cual se establecen los valores de tensiones máximas admisibles para las instalaciones industriales de tensiones mayores a 1 kV



- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en función de la resistividad del suelo en centrales y estaciones transformadoras y de maniobra para tensiones > 1 KV

Para las centrales de generación en MT y para las generaciones en BT con trafo elevador BT/MT, el marco legal es el mismo, no obstante, para la industria de OIL & Gas consideramos apropiado determinar las tensiones máximas admisibles con la curva destinada a la industria (esto se fundamenta en la realidad de la forma en que se aborda, en muchos casos, el tema de la ingeniería, construcción, operación y mantenimiento en esta industria)

IV. Puestas a Tierra en los sistemas de AT

IV-1.-Puestas a tierra en las LAT

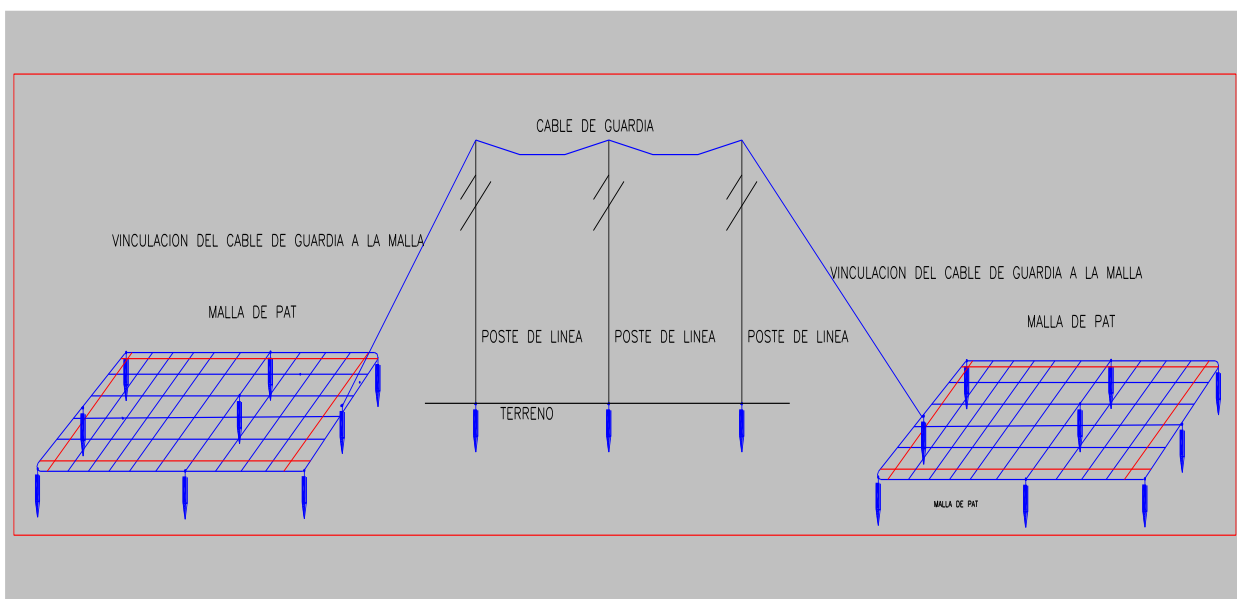
Nos referimos aquí a las líneas eléctricas de $V_n > 33$ KV, en nuestro país serían las LAT de 66, 132, 220, 330 y 500 KV

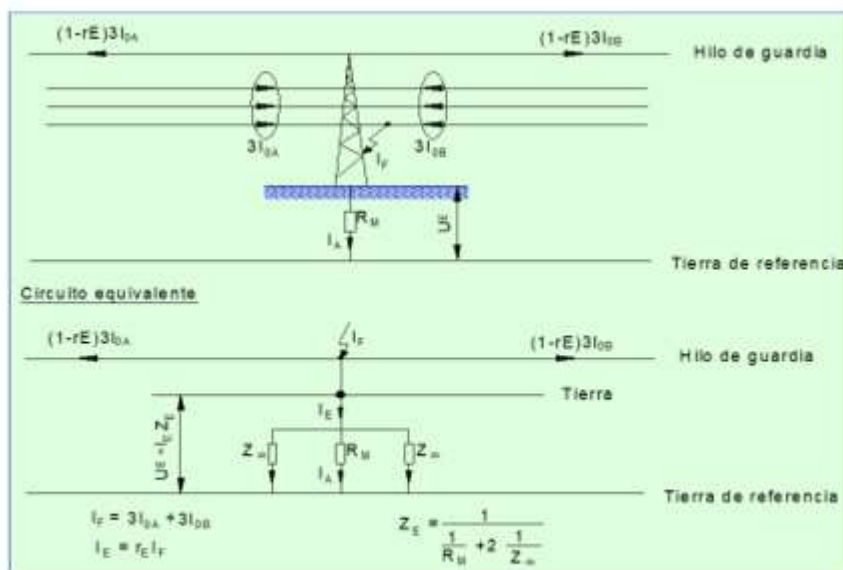
El marco legal vigente es el mismo que para las LMT, no obstante mencionamos que, en las líneas del SADI, tienen validez legal las resoluciones vigentes del ENRE.- En particular sobre este tema la RES 555/01 tiene como anexo los contenidos mínimos del PGA para transportistas y distribuidores troncales:

III.3.3. El transportista de energía eléctrica en alta tensión y los transportistas por distribución troncal: Estos agentes deberán efectuar las determinaciones indicadas en la Resolución SE N° 137/92, Anexo 16, Apéndice B, Cláusulas Ambientales, ítems 3.5. y 3.6. Según: a) Campo eléctrico (Resolución ENRE N° 1724/98). b) Campo magnético (Resolución ENRE N° 1724/98) c) Tensiones de contacto y de paso (IRAM 2281-IV y 2281-II).

d) Radiointerferencia (Resolución SE N° 77/98; publicación CISPR 18-1; 18-2; 18-3). e) Ruido audible (IRAM 4061 y 4062). f) Puestas a tierra (Especificación Técnica ex AyEE N° 75, IRAM 2281-II y IV). Los sitios donde se efectuarán las mediciones y las frecuencias de las mismas, serán seleccionados en función de criterio de prioridad ambiental.

Los criterios para el diseño de las PAT dependerá de cómo sea la estructura, pero en general con aros de control de potencial alrededor de la misma (1,2 o 3 dependiendo de la resistividad), se logran tensiones aceptables para el tiempo de despeje de las fallas que en los sistemas de protecciones de AT siempre son $< 1''$. Si se cuenta con protecciones diferenciales de línea los tiempos de extinción de la corriente de falla son inferiores a los 50 mseg.-





IV-2 PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y CENTRALES DE GENERACION

La reglamentación de la AEA 95402, establece como norma de referencia la IEEE Std.80

En la norma (ANSI-IEEE Standard 80-86 y 2000) se establecen los valores límites para las tensiones de Paso y de Contacto en Estaciones Transformadoras y Centrales de acuerdo a las siguientes fórmulas válidas para una persona de 50 kg de peso y para una persona de 70 kg de peso: (puede observarse que ellas que está como variable la resistividad de la capa superficial del suelo para el cálculo de la tensión de paso y de contacto admisible)

$$V_p = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot 0,116 / (t)^{1/2} \quad (*)$$

$$V_c = (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot 0,116 / (t)^{1/2} \quad (*)$$

C_s = factor reductor de la capacidad normal. Depende del espesor de la capa superficial y de las resistividades del terreno y capa superficial.- Si no se usa la capa superficial protectora, se considera $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$

ρ_s : es la resistividad superficial del terreno (ohm-m).

t: es el tiempo de duración del shock de corriente (seg).

(*) V_p y V_c : son las tensiones de paso y contacto (Volt.)

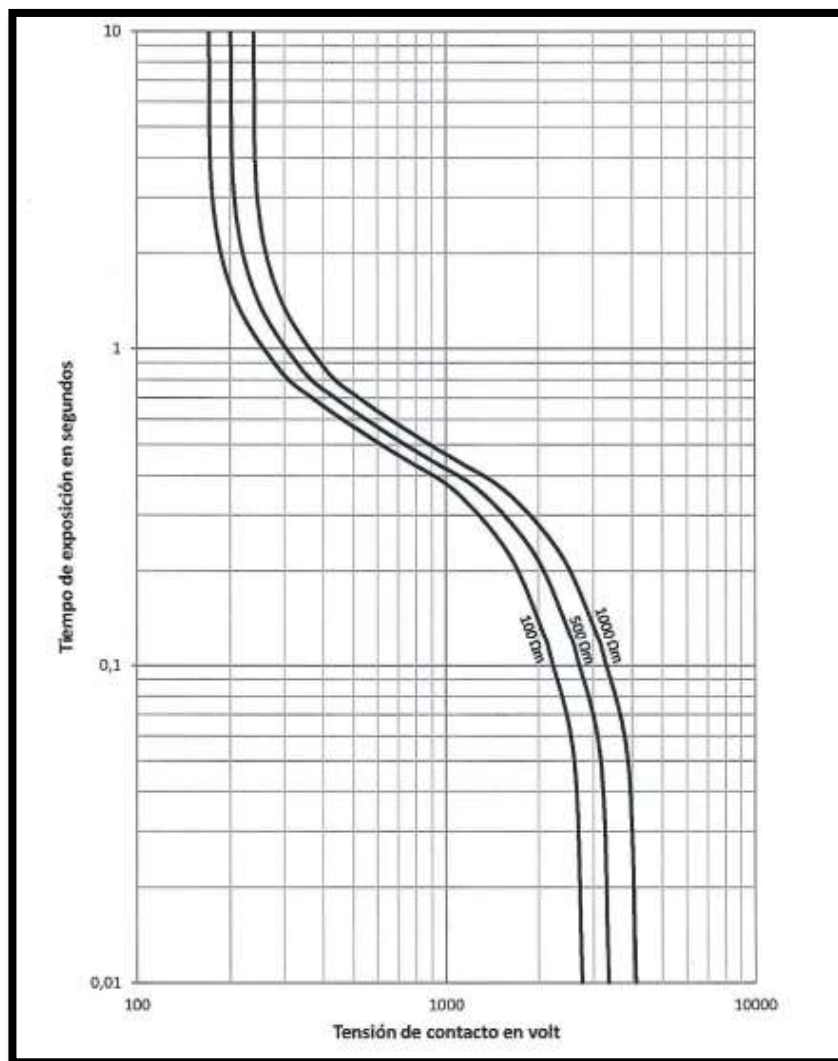
Para una persona de 70 Kg las tensiones tolerables serían:

$$V_p = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot 0,157 / (t)^{1/2}$$

$$V_c = (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot 0,157 / (t)^{1/2}$$

NOTA: Estas ecuaciones para calcular las tensiones máximas admisibles se pueden utilizar en el diseño de mallas de PAT de estaciones y subestaciones transformadoras de tensiones mayores a 1 KV.

Y la AEA 95501-4 de 2016, en la cual se establecen los valores de tensiones máximas admisibles para las Estaciones Transformadoras y Centrales de generación



Por ejemplo, para un sitio de emplazamiento de un sistema de puesta a tierra, con una resistividad de terreno promedio de 581,5 Ohm-m y una capa superficial de 12 cm con una resistividad de 3000 hm – m (correspondiente a piedra partida) y un tiempo de despeje de falla fijado por norma en 1 seg, vamos a calcular las tensiones de paso y contacto admisibles según IEEE Std.80

Cs, lo obtenemos de la siguiente ecuación empírica,

$$Cs = 1 - (0.09 * (1 - \rho / \rho S)) / (2 * hs + 0.09)$$

ρS : es la resistividad superficial del terreno (ohm-m).

ρ : es la resistividad del terreno (ohm-m).

hs: es altura de la capa superficial (m).

Primero vamos a calcular el coeficiente Cs

$$Cs = 1 - (0.09 * (1 - 581,5 \text{ Ohm-m}/3000 \text{ Ohm-m})) / (2 * 0.12 \text{ m} + 0.09)$$

$$Cs = 0.78$$

Los valores límites para las tensiones de Paso y de Contacto, (válidas para una persona de 50 kg de peso):

$$Vp = (1000 + 6 * Cs * \rho S) * 0,116 / (t)^{1/2}$$

$$Vp = (1000 + 6 * 0.78 * 3000 \text{ Ohm-m}) * 0,116 / (1 \text{ seg})^{1/2}$$

$$Vp = 1744.64 \text{ V}$$

$$Vc = (1000 + 1,5 * Cs * \rho S) * 0,116 / (t)^{1/2}$$

$$Vc = (1000 + 1,5 * 0.78 * 3000 \text{ Ohm-m}) * 0,116 / (1 \text{ seg})^{1/2}$$

$$Vc = 523.16 \text{ V}$$

Los valores límites para una persona de 70 kg son:

$$Vp = 2361 \text{ V}$$

$$Vc = 708 \text{ V}$$

Si se calcularan las tensiones máximas admisibles con la resistividad del terreno natural uniforme, según la IEC 60479-1 también utilizada en la AEA 95401 de centros de transformación y suministros en MT se obtienen valores similares como puede apreciarse en la comparación de ambas normas (curva de la FIG. 18). La gran ventaja que presenta la IEEE es la posibilidad de considerar en las ecuaciones la capa superficial con mayor resistividad a la del terreno natural para lograr mayores tensiones tolerables.-

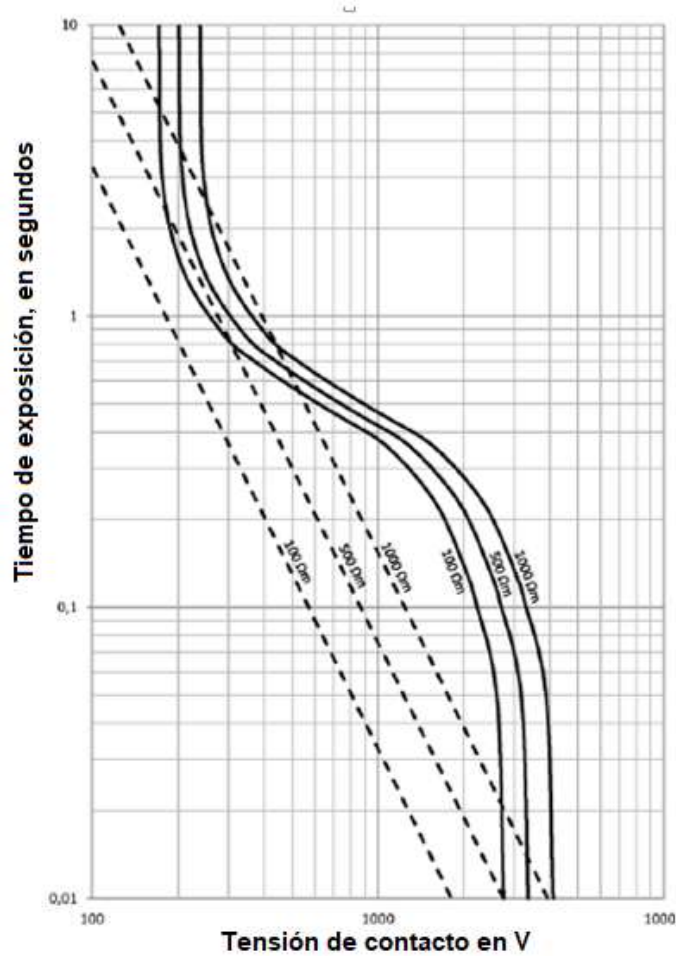
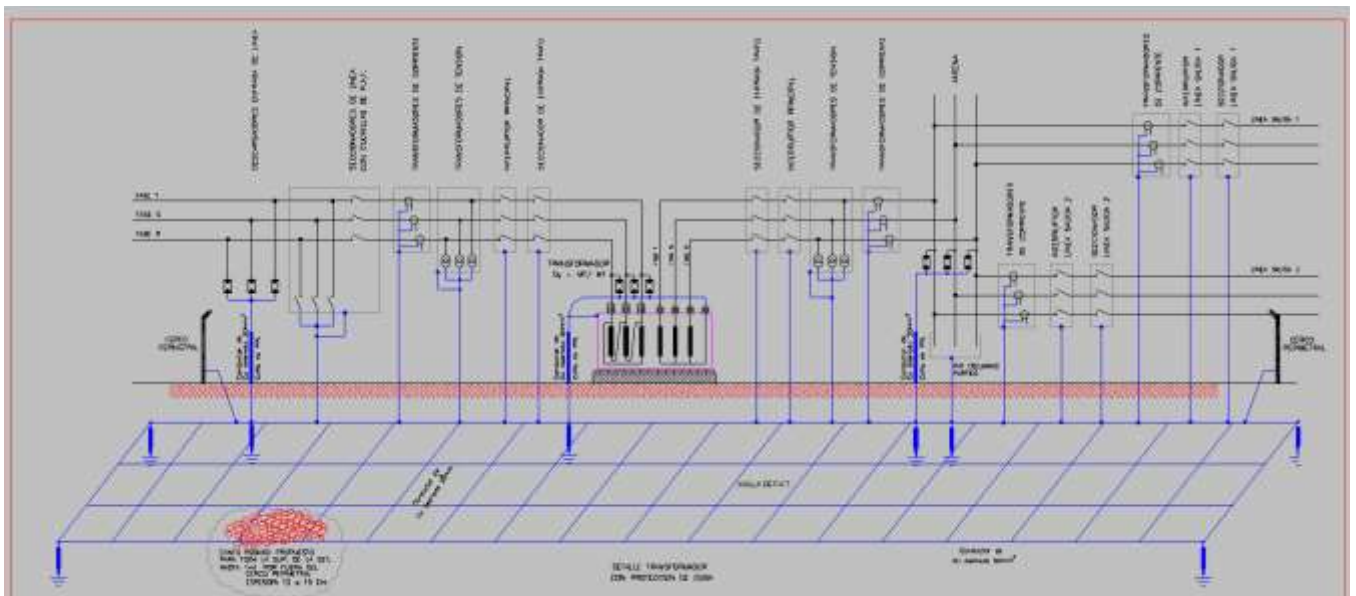
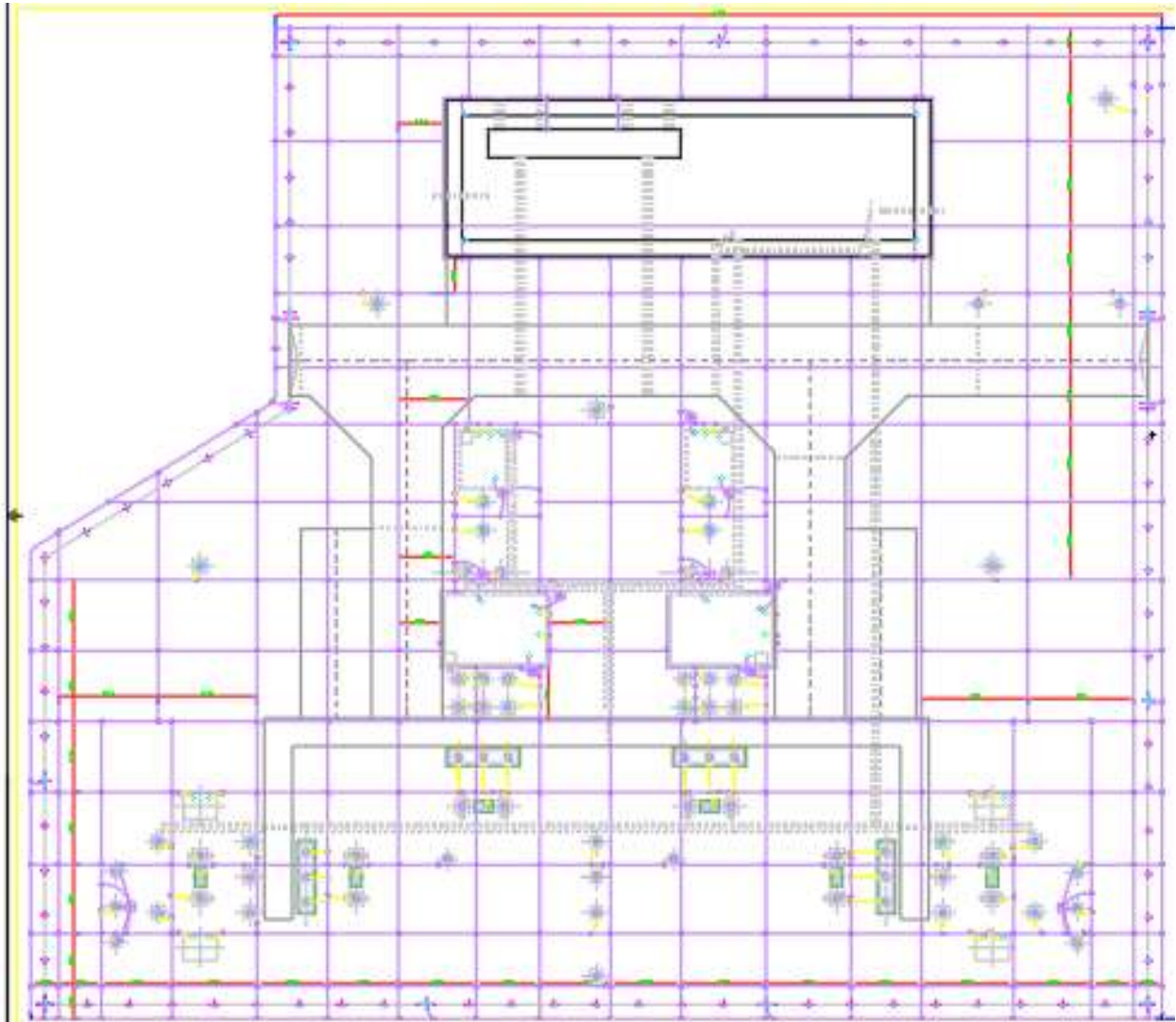


FIG. IV-1- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en función de la resistividad del suelo en ET abiertas de AT calculada según la IEC (líneas llenas) comparada con la calculada según la IEEE (líneas de trazos).





IV-3 . A modo de ejemplo se presenta y explica en forma simplificada una planilla de cálculo de una malla de puesta a tierra de una subestación según la norma IEEE std 80. (El objeto es entender los conceptos).

La Malla de PAT se dimensionará para una corriente de cortocircuito de 3.29 kA, para un tiempo de despeje de falla de 1 seg. La resistividad promedio del terreno es de 580 Ωm y contará con una capa superficial de canto rodado ($\rho_s=3000 \Omega m$) de 12 cm.

TABLA IV-1- PARÁMETROS DE CÁLCULO

PARÁMETROS ELÉCTRICOS			
TENSION DE SERVICIO	33,00	KV	V
POTENCIA DE CORTO CIRCUITO	188	MVA	Pcc1
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO	3,29	KA	Ifcc1
TIEMPO DE DESPEJE DE FALLA	1,00	seg	tc
PARÁMETROS DEL TERRENO			
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	580	Ωm	ρ
TEMPERATURA AMBIENTE	40	°C	Ta
TEMPERATURA MAXIMA	200	°C	Tm
TEMPERATURA DE REFERENCIA	20	°C	Tr
RESIST. DE LA CAPA SUPERFICIAL	3000	Ωm	ρs
ESPESOR DEL MATERIAL SUPERF	0,12	m	hs
GEOMETRÍA DE LA MALLA			
LARGO DE MALLA	80,00	m	a
ANCHO DE LA MALLA	32,50	m	b
PROFUNDIDAD DE EMPOTRAMIENTO DE MALLA	0,75	m	h
SEPARACION ENTRE CONDUCTORES PARALELOS	2,80	m	D
PERÍMETRO	225,00	m	LP
RELACIÓN LARGO/ANCHO DE MALLA	2,46		a/b
ÁREA OCUPADA POR LA MALLA	2600,00	m ²	A
CANTIDAD DE CONDUCTORES PARALELOS Y	30		Nb
CANTIDAD DE CONDUCTORES PARALELOS X	13		Na
PARÁMETROS DE LOS COMPONENTES DE PUESTA A TIERRA			
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE DESNUDO		
SECCIÓN DEL CONDUCTOR	70	mm ²	Ad
DIÁMETRO DEL CONDUCTOR	0,0108	m	2a
TIPO DE JABALINA	ACERO COBRE		
CANTIDAD DE JABALINAS	22		nR
DIÁMETRO DE LA JABALINA	0,0126	m	ϕR
LONGITUD DE JABALINA	2	m	Lr

LONGITUD TOTAL DE LAS JABALINAS	44	m	LR
LONGITUD DEL CONDUCTOR DE LA MALLA	2015	m	LC
LONGITUD TOTAL	2059	m	LC + LR
FACTORES Y COEFICIENTES DE CALCULOS			
CAPACIDAD TÉRMICA POR UNIDAD DE VOLUMEN	3,5003	J/cm ³ °C	TCAP
RESISTIVIDAD ESPECÍFICA COND.	1,7241	m ² cm	pr
COEFICIENTE TÉRMICO DE RESISTIVIDAD A TEMP Tr	0,00393	1/°C	ar
FACTOR DE DIVISIÓN DE CORRIENTE DE FALLA	0,414		S
FACTOR DE DECREMENTO	1,052		Df
FACTORES Y COEFICIENTES DEL SISTEMA			
FACTOR DE CORRECCIÓN POR CRECIMIENTO DEL SISTEMA	1,00		Cp
CANTIDAD DE HILOS DE GUARDIA QUE LLEGAN A LA ESTACIÓN	2		nhg
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE LAS TORRES	100	Ω	Rm

RESULTADOS OBTENIDOS			
2_ TENSIONES ADMISIBLES DE PASO Y CONTACTO			
FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA CAPA SUPERFICIAL	0,780		Cs
TENSIÓN ADMISIBLE DE CONTACTO	708,2	V	Etouch
TENSIÓN ADMISIBLE DE PASO	2361,7	V	Estep
3_ RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA			
RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE MALLA	5,17	Ω	R1
RESISTENCIA DEL CONJUNTO DE JABALINAS	15,88	Ω	R2
RESISTENCIA MUTUA	5,01	Ω	Rm
RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	5,17	Ω	Rg
4_ CORRIENTE DRENADA POR LA MALLA			
FACTOR DE DIVISIÓN DE CORRIENTE DE FALLA	0,4137		S
FACTOR DE DECREMENTO	1,05		Df
CORRIENTE EFECTIVA DRENADA POR LA MALLA	1,43	kA	IG
5_ TENSION DE MALLA			
TENSIÓN LEVANTADA POR LA MALLA	7405,6	V	GPR
6_ TENSIONES DE PASO Y CONTACTO			
FACTOR CONSTRUCTIVO	17,91		na

FACTOR CONSTRUCTIVO	1,05		nb
FACTOR CONSTRUCTIVO	1,00		nc
FACTOR CONSTRUCTIVO	1,00		nd
FACTOR CONSTRUCTIVO COMPUESTO	18,81		n
	2084,4		
LONGITUD EFECTIVA - TENSIÓN DE CONTACTO	4	m	LM
	1548,6		
LONGITUD EFECTIVA - TENSIÓN DE PASO	5	m	LS
LONGITUD DEL PERÍMETRO DE LA MALLA	225,00	m	LP
FACTOR - FUNCIÓN DE LA PROFUNDAD DE MALLA	1,32		Kh
FACTOR - FUNCIÓN DE LA IRREGULARIDAD DE I	3,43		Ki
FACTOR DE TERMINOS GEOMÉTRICOS	1,00		Kii
FACT. APOYO POR COND. PARALELOS – TENS. DE CONTACTO	0,44		Km
FACT. APOYO POR COND. PARALELOS - TENSIÓN DE PASO	0,42		Ks
TENSIÓN DE CONTACTO	604,45	V	Em
TENSIÓN DE PASO	766,00	V	Es