



JORNADAS DE CAPACITACIÓN TECNICA

ROL E IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y DE LAS PROTECCIONES ELECTRICAS EN LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

| | Fecha | Nombre | Documento | Observaciones |
|--------------------|----------|-------------|---------------------|---------------|
| Doc. Origen | 10-06-24 | C.A.L. | ANTECEDENTES -BD-IA | |
| Ejecutó | 12-06-24 | C.A.L. | Cuadernillo- A | |
| Revisó | 17-06-24 | AR | Cuadernillo-B | |
| Aprobó | 24/06/24 | AR - C.A.L. | Cuadernillo-0 | |

CONTENIDO

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | REVISIÓN DEL CONCEPTO DE RIESGO ELÉCTRICO..... | 4 |
| 1.1. | CONCEPTOS DE PELIGRO Y RIESGO (ISO 45001). | 4 |
| 1.2. | RIESGO ELÉCTRICO..... | 4 |
| 2. | CONSIDERACIONES SOBRE EL EFECTO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN LOS SERES HUMANOS. | 5 |
| 2.1. | GENERALIDADES. | 5 |
| 2.2. | EFECTO QUÍMICO. | 6 |
| 2.3. | EFECTO FISIOLÓGICO. | 6 |
| 2.4. | EFECTO CALORÍFICO..... | 7 |
| 2.5. | RANGOS DE INTENSIDAD..... | 8 |
| 2.5.1. | EFFECTOS QUE PRODUCE UNA CORRIENTE ALTERNA DE FRECUENCIA ENTRE 15 Y 100 HZ (CONTACTO UNA MANO Y DOS PIES). | 8 |
| 2.5.2. | VALORES MEDIOS DE LA RESISTENCIA ENTRE DISTINTOS PUNTOS DEL CUERPO HUMANO..... | 10 |
| 3. | CONCEPTOS DE TENSIÓN DE PASO Y TENSION DE CONTACTO DIRECTO E INDIRECTO.. | 11 |
| 3.1. | INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 3.2. | TENSIÓN DE CONTACTO DIRECTO..... | 11 |
| 3.2.1. | APLICACIÓN DE LA TENSIÓN DE FASE SOBRE BRAZO Y PIERNA DE LA PERSONA. | 11 |
| 3.3. | TENSIÓN DE CONTACTO INDIRECTO. | 12 |
| 3.4. | TENSIÓN DE PASO. | 15 |
| 4. | PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA TENSIONES DE CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS (DE ACUERDO A LA LEY DE SEGURIDAD)..... | 17 |
| 4.1. | PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS DE CONTACTOS DIRECTOS..... | 17 |
| 4.1.1. | PROTECCIÓN POR ALEJAMIENTO..... | 17 |
| 4.1.2. | PROTECCIÓN POR AISLAMIENTO..... | 17 |
| 4.1.3. | PROTECCIÓN POR MEDIO DE OBSTÁCULOS..... | 18 |
| 4.2. | PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS DE CONTACTO INDIRECTO. | 19 |
| 4.2.1. | PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS..... | 19 |
| 4.2.2. | DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN | 19 |
| 4.2.2.1. | DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ACTIVA..... | 19 |
| 4.2.2.2. | DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN PASIVA..... | 20 |
| 5. | IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ACUERDO AL ATERRAMIENTO DEL NEUTRO. CONSIDERACIONES PARA AT, MT Y BT..... | 21 |
| 5.1. | CONCEPTO GENERAL..... | 21 |
| 5.2. | CLASIFICACIÓN DE LAS REDES SEGÚN LA CONEXIÓN DEL NEUTRO A PAT. | 22 |
| 5.2.1. | RED CON NEUTRO AISLADO..... | 22 |
| 5.2.2. | RED CON NEUTRO COMPENSADO..... | 22 |
| 5.2.3. | RED CON NEUTRO PUESTO A TIERRA A TRAVÉS DE UNA RESISTENCIA BAJA. | 23 |
| 5.2.4. | OTROS SISTEMAS USUALES. | 24 |

| | |
|---|----|
| 5.2.4.1. RED CON NEUTRO A TIERRA A TRAVÉS DE TRANSFORMADOR CON RESISTENCIA. | 24 |
| 5.2.4.2. RED DE NEUTRO AISLADO CON RNA (REACTOR O TRANSFORMADOR DE NEUTRO ARTIFICIAL)..... | 25 |
| 6. FUNCIÓN Y NECESIDAD DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS. TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA, TENSIÓN DE TRANSFERENCIA..... | 26 |
| 6.1. GENERALIDADES. | 26 |
| 6.2. TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA..... | 30 |
| 6.3. TENSIÓN DE TRANSFERENCIA..... | 31 |
| 7. CONSIDERACIONES SOBRE LA NECESIDAD DE LOS ELEMENTOS DE CORTE AUTOMÁTICO DE LAS FALLAS (PARTICULARMENTE LAS QUE INVOLUCRAN TIERRA)..... | 32 |
| 8. FUNCIÓN Y NECESIDAD DE LA ADAPTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS. | 33 |
| 9. CONSIDERACIONES SOBRE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO MÁXIMAS ADMISIBLES. TENSIÓN DE SEGURIDAD. MARCO LEGAL Y REGLAMENTARIO. SEGÚN LOS NIVELES DE TENSIÓN Y TIPO DE INSTALACIONES..... | 35 |
| 9.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES. | 35 |
| 10. REQUISITOS DE SEGURIDAD REGLAMENTARIOS PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BT SEGÚN SU ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL NEUTRO. | 42 |
| 10.1. ESQUEMAS TT..... | 42 |
| 10.1.1. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN A UTILIZAR EN SISTEMAS CON ECT-TT. | 43 |
| 10.2. ESQUEMA TN..... | 43 |
| 10.2.1. ESQUEMA TN-S. | 44 |
| 10.2.2. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN A UTILIZAR EN SISTEMAS CON ECT-TN..... | 44 |
| 10.3. ESQUEMA IT. | 45 |
| 10.3.1. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN A UTILIZAR EN SISTEMAS CON ECT- IT..... | 45 |
| 10.4. TIEMPOS MÁXIMOS DE ACTUACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN SEGÚN EL ECT..... | 45 |
| 10.5. EJEMPLOS..... | 46 |
| 10.5.1. EJEMPLO: VERIFICACIÓN DE ACTUACIÓN DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL ECT- TT. | 46 |
| 10.5.2. EJEMPLO-VERIFICACIÓN DE ACTUACIÓN DE LOS DPCC FRENTE A UNA FALLA ECT-TN-S. | 48 |
| 10.5.3. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE CONTACTO ANTE DEFECTO DE AISLAMIENTO EN UN ECT TN-S..... | 52 |
| 11. REQUISITOS PARA LAS PROTECCIONES EN MT..... | 53 |
| 11.1. EJEMPLO: TRANSFORMADOR CON NEUTRO ATERRADO –ESQUEMA DE PAT Y PROTECCIÓN..... | 56 |
| 11.2. EJEMPLO: TRANSFORMADOR CON NEUTRO AISLADO –ESQUEMA DE PAT Y PROTECCIÓN | 57 |

1. REVISIÓN DEL CONCEPTO DE RIESGO ELÉCTRICO.

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.

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

1.2. Riesgo eléctrico.

Es el Riesgo originado por la Energía Eléctrica, donde quedan específicamente incluidos los riesgos de:

- Electrocuación por contacto con elementos en tensión (contacto eléctrico directo), o con masas puestas accidentalmente en tensión (contacto eléctrico indirecto).
- Quemaduras por choque eléctrico, o por arco eléctrico.
- Caídas o golpes como consecuencia de choque o arco eléctrico.
- Incendios o explosiones originados por la electricidad.

En relación a la definición de riesgo eléctrico, podemos ver 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 se debe poner el foco en cómo reducir la probabilidad** de ocurrencia de modo que el producto de ambo conceptos (probabilidad y severidad), se reduzca.

A esto nos abocaremos en este taller aportando información y experiencias para ampliar el conocimiento sobre las fuentes de peligro y las acciones a tomar para reducir el riesgo de accidente eléctrico.

El conocimiento sobre esta fuente de peligro (la electricidad), es particularmente importante dada sus características de no ser detectada y advertida por los sentidos del olfato, de la vista y del oído, como ocurre con una gran cantidad de fuentes de peligro, que al ser percibidas por los sentidos permite tomar acciones que reducen el riesgo. En la actividad eléctrica esa posibilidad no existe, de modo que **es el conocimiento el que posibilitará detectar el peligro y tomar las acciones para el control del riesgo.**

Considerando el objeto de este taller, merece aclararse que, en el transcurso del mismo, nos estaremos refiriendo al Riesgo eléctrico para el público en general y para personas que trabajan en la actividad eléctrica en el ámbito de instalaciones energizadas y aquellas que realizan trabajos de mantenimiento sobre ellas, estando previamente consignadas, es decir con los equipos e instalaciones “Sin Tensión”. No abordaremos el tema del riesgo en personal que trabaja “Con tensión”, ni los riesgos asociados a la energía incidente por ARCO ELECTRICO (ARC-FLASH) u otros como el campo eléctrico o magnético.-

2. CONSIDERACIONES SOBRE EL EFECTO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN LOS SERES HUMANOS.

2.1. Generalidades.

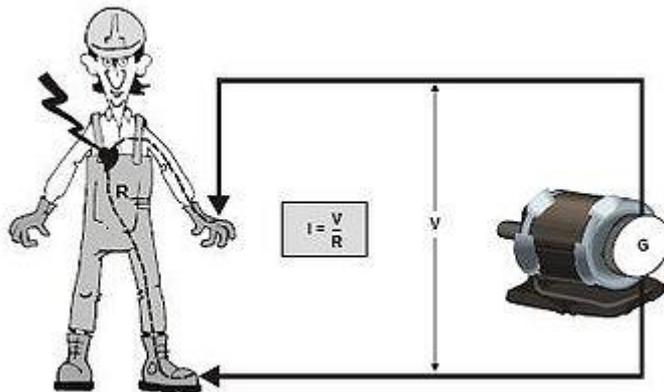
Nos preguntamos:

¿Qué condiciones deben darse para que circule corriente eléctrica por el cuerpo de una persona?

La respuesta sería:

Circulará corriente siempre que su cuerpo o alguna parte cualquiera del mismo este sometida a una diferencia de potencial.

La persona puede estar sometida a una diferencia de potencial por contacto con algún elemento que normalmente está con tensión (por ej. Tocar una barra energizada) o con algún dispositivo que en condiciones normales no posee tensión y por una falla de aislamiento cambió el valor de su potencial (por ej. abrir la heladera y que esté electrizada).



La corriente eléctrica ($I = V/R$) de esta manera atraviesa el circuito que forma el cuerpo humano entre los puntos donde se aplica el potencial.

Como consecuencia de la circulación de la corriente eléctrica por el cuerpo humano, se pueden producir desde lesiones físicas secundarias, como ser golpes o caídas por reacciones ante el shock, quemaduras y hasta la muerte por fibrilación ventricular.

Se dice que una persona se “*electriza*” cuando la corriente eléctrica circula por su cuerpo, es decir, cuando la persona forma parte del circuito eléctrico, distinguiendo al menos un punto de contacto de entrada de la corriente y otro de salida de la misma.

La electrocución se produce cuando dicha persona fallece debido al paso de la corriente por su cuerpo.

La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento.

Otros factores fisiopatológicos tales como contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, parada temporal del corazón, etc. pueden producirse sin fibrilación ventricular. Tales efectos no son mortales, muchas veces reversibles y, a menudo, producen marcas por el paso de la corriente.

Las quemaduras profundas pueden llegar a ser mortales.

Los seres humanos sólo podemos registrar las consecuencias de la circulación de corriente por nuestro cuerpo.

Los efectos principales son:

- **EFFECTO QUÍMICO**
- **EFFECTO FISIOLÓGICO**
- **EFFECTO CALORÍFICO**

2.2. Efecto químico.

Aproximadamente 2/3 partes del cuerpo humano se componen de líquido. Al aplicar una tensión aparecerá una descomposición. Los componentes básicos de nuestro organismo, las células, se mueren cuando se descompone el líquido celular.

Esta consecuencia del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo, no es tan evidente como las que mencionaremos en los puntos siguientes, pero es de suma importancia para las personas y provoca trastornos que obviamente perjudican su salud.

El líquido celular, entre otras cosas, contiene las proteínas con las que se alimentan las células, proteínas que son consumidas por el paso de la corriente eléctrica.

2.3. Efecto fisiológico.

En nuestro organismo necesitamos electricidad para que nuestros sentidos corporales informen al cerebro y para que este envíe señales de mando a los terminales nerviosos de los músculos.

Para ello se generan impulsos de tensión del orden de 0.1 [V]. Si desde el exterior quedara aplicada una tensión adicional resultarían perturbados los procesos normales, así por ejemplo los músculos no se relajarían (calambre muscular).

El centro de mando de nuestro corazón se encuentra en el propio corazón (el denominado nódulo seno auricular) por lo que las corrientes extrañas que circulen a través de él serán muy peligrosas. Casi siempre estaremos trabajando en un sistema de corriente alterna de 50 [Hz] con lo que, si recibimos una descarga, los músculos del corazón recibirán 100 veces por segundo la orden de contraerse, unas 75 veces más rápido que lo normal. El corazón trabajaría aceleradamente y sólo en forma superficial dejando de bombear sangre.



Fig. 1- Estado normal del funcionamiento del corazón.

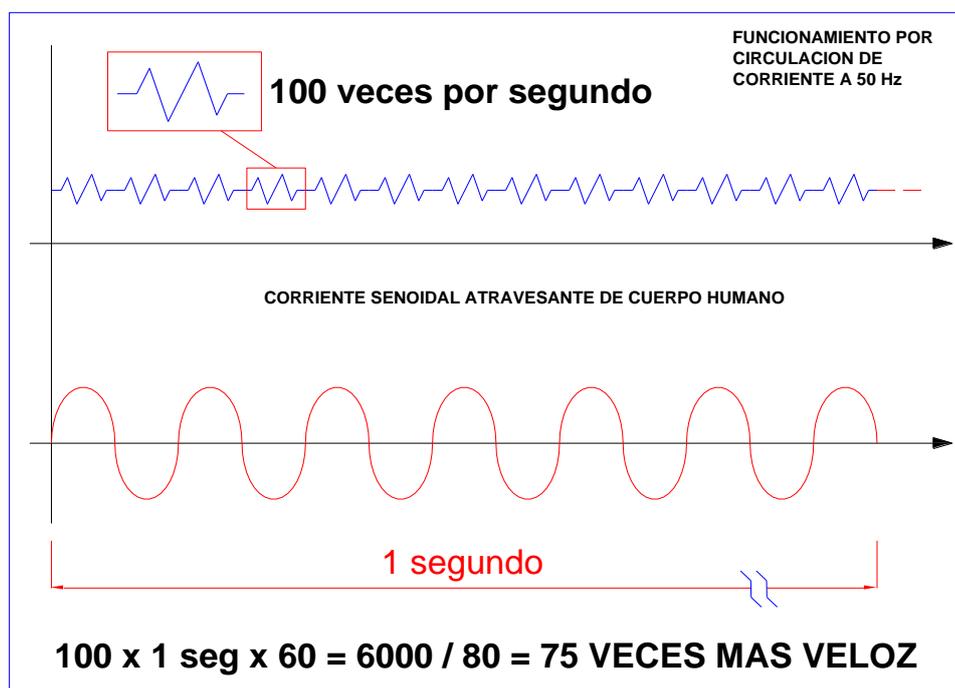


FIG. 2- Ritmo del corazón humano inducido por la frecuencia de la corriente eléctrica.

Este fenómeno se denomina **fibrilación ventricular o cardíaca** y provoca un **paro cardíaco**.

Una persona que presenta un episodio de fibrilación ventricular súbitamente se desmayará o quedará inconsciente, debido a que el cerebro y los músculos han dejado de recibir sangre desde el corazón.

2.4. Efecto calorífico.

Todas las sustancias se calientan con el paso de la corriente eléctrica y por lo tanto también lo hará el cuerpo humano.

En especial los puntos de entrada y salida de la corriente quedarán amenazados, pues debido a que las resistencias de paso (o interface) son grandes se disiparán mayores potencias. Además en los tejidos calientes las proteínas se coagulan, y por otro lado, una elevación de sólo 15° [C] de la temperatura destruye los glóbulos rojos de la sangre.

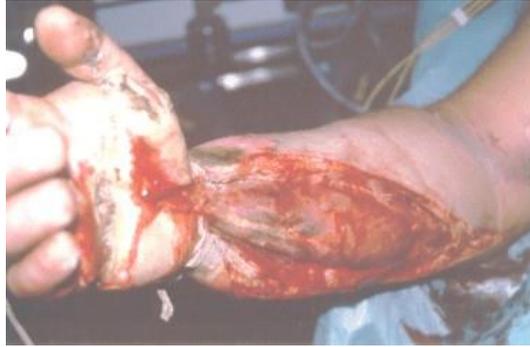


FIG. 3- Punto de entrada de la corriente



FIG. 4- Punto de salida de la corriente

2.5. Rangos de intensidad.

La gravedad que pueden tener en cada caso los efectos descritos depende de:

- La intensidad de la corriente que circule por el cuerpo.
- Camino por el que circule la corriente.
- Tiempo que actúe la corriente.
- Tipo de corriente (continua o alterna).

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

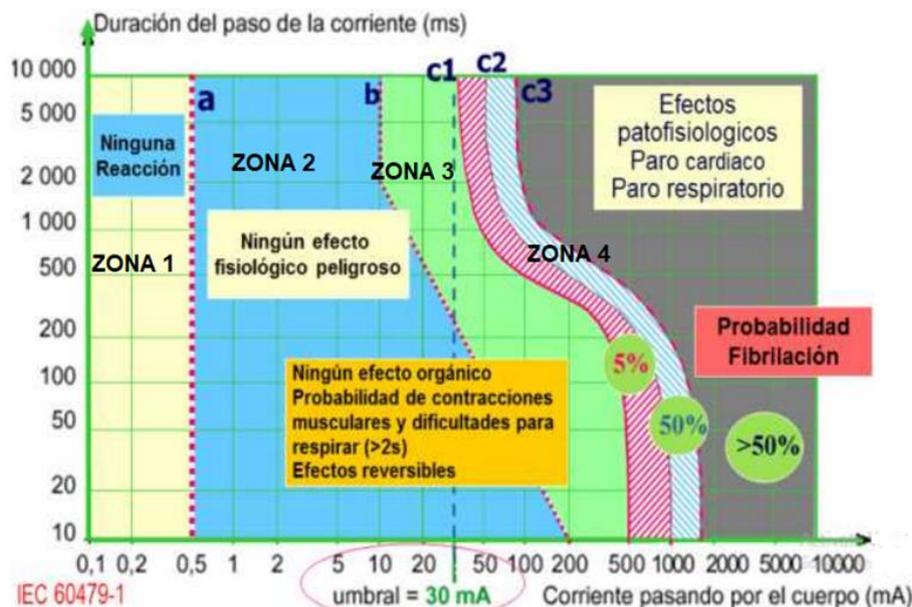


FIG. 5- Efectos de la circulación de corriente eléctrica en el cuerpo humano. IEC 479-1

- 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:

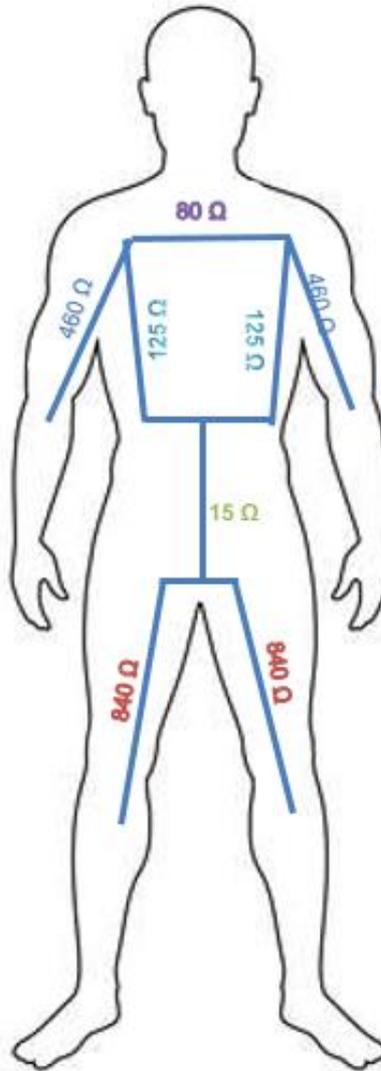
- La resistencia del elemento que se interponga entre el conductor bajo tensión y nuestro cuerpo.
- La resistencia propia del cuerpo humano.
- El nivel de tensión con el que estaremos en contacto.

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.

2.5.2. Valores medios de la resistencia entre distintos puntos del cuerpo humano.



Desde ya, estos valores son muy variables en función de:

- Cantidad de alcohol en la sangre.
- Estado anímico.
- Tipo de tarea que la persona normalmente realiza (un cirujano tendrá una piel mucho más delgada que un operario de la construcción).
- Grado de humedad de la piel.

Nota: los valores indicados en la figura son solamente de referencia y son valores iniciales ya que al circular corriente la resistencia baja en forma inmediata sustancialmente.-

3. CONCEPTOS DE TENSIÓN DE PASO Y TENSION DE CONTACTO DIRECTO E INDIRECTO.

3.1. Introducción.

Los accidentes eléctricos con frecuencia se deben al contacto accidental con puntos de las instalaciones eléctricas que en condiciones normales de operación están energizado. Éstos son los denominados contactos directos.

También puede ocurrir un accidente eléctrico por el contacto de las personas con partes metálicas de instalaciones o equipos que en condiciones normales de operación no tienen tensión pero que, en caso de producirse una falla en el equipo o en la instalación, adquieren tensión (como puede ser la falla de un transformador, un motor, etc.).

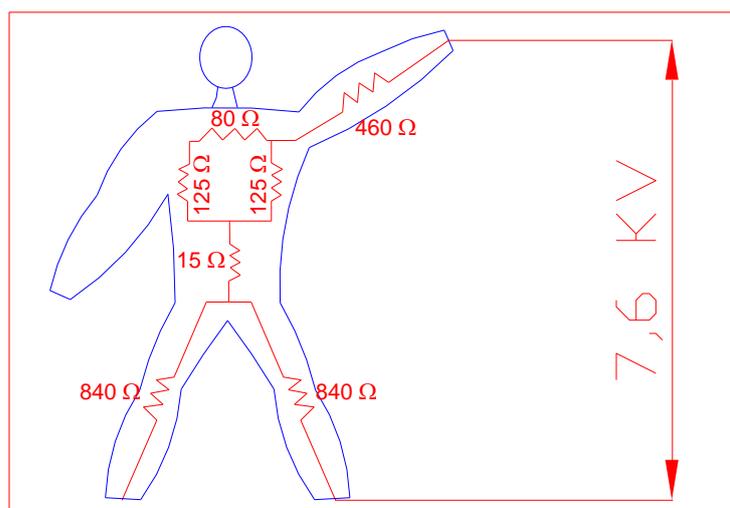
3.2. Tensión de contacto directo.

El contacto directo se refiere al contacto de personas con partes activas de una instalación o un equipo. Se entiende por partes activas a los conductores y piezas conductoras con tensión en servicio normal.

Cuando una persona toca directamente una parte de la instalación que está energizada, quedará sometida directamente al voltaje (o diferencia de potencial) que hay entre la fase que toca y la tierra y circulará corriente por su cuerpo. Veamos abajo, con un ejemplo simplificado, que pasa si una persona toca directamente con su mano un cable o borne de transformador u otro aparato de un sistema de 13,2 kV.

Ejemplo:

Efectuaremos el cálculo de la corriente que circularía a través del cuerpo para una persona que, estando descalza o con zapatos que no sean de goma y estén algo húmedos, toque con sus manos una línea de 13,2 [kV].

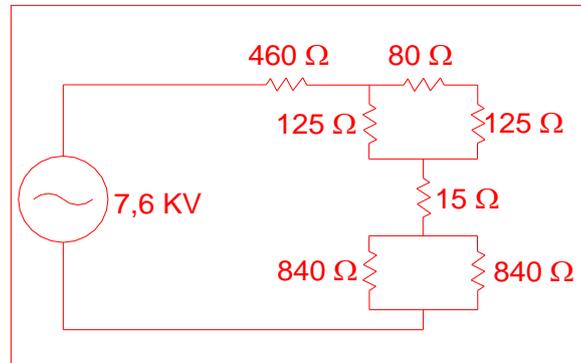


3.2.1. Aplicación de la tensión de fase sobre brazo y pierna de la persona.

$$\frac{13,2 [kV]}{\sqrt{3}} = 7,6 [kV]$$

La tensión de fase es

El circuito equivalente es:



$$R_e = 972 \Omega$$

$$I = \frac{7600 V}{972 \Omega} = 7,81 A$$

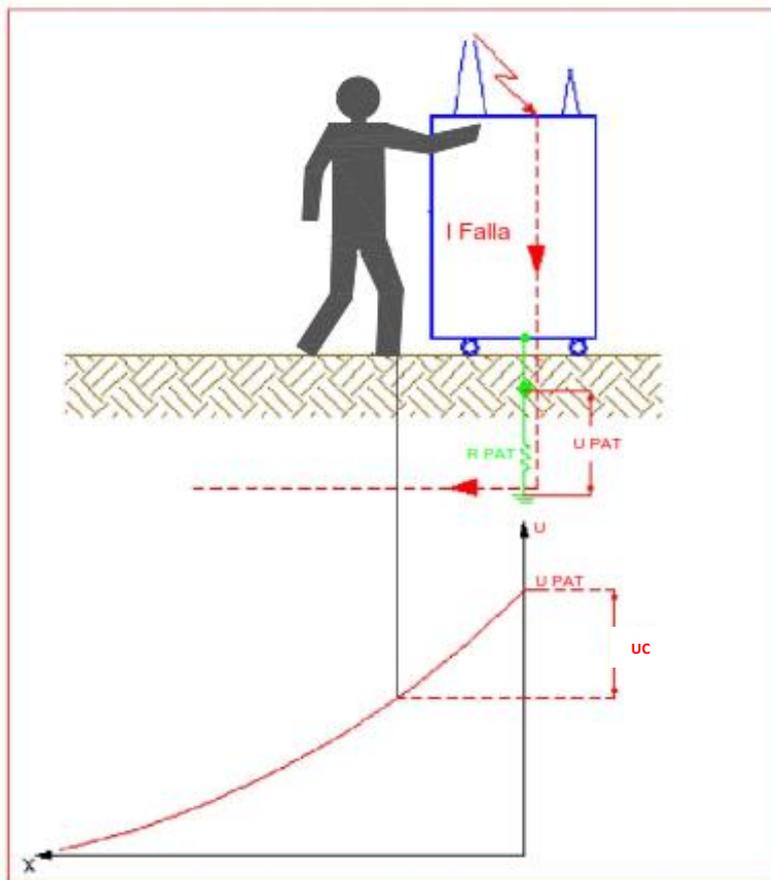
El cuerpo estará recorrido por una corriente inicial de 7,81 [A].

De acuerdo con el cuadro de la FIG. 5, LA PERSONA difícilmente sobreviva.

3.3. Tensión de contacto indirecto.

Contacto indirecto es aquél en el que la persona entra en contacto con masas metálicas que no forman parte de la instalación eléctrica y que en condiciones normales no debería estar en tensión, pero que en situaciones de fallas eléctrica la han adquirido.

Si la persona se encuentra en contacto con el elemento metálico en el momento de la falla, estará sometido a una diferencia de potencial como se muestra en la siguiente figura.



A la diferencia de potencial que existe entre el punto de contacto de la mano de la persona con la masa metálica del equipo y la posición de alguno de sus pies se denomina Tensión de Contacto Indirecto (Muchas veces en forma simplificada se la denomina U_c).

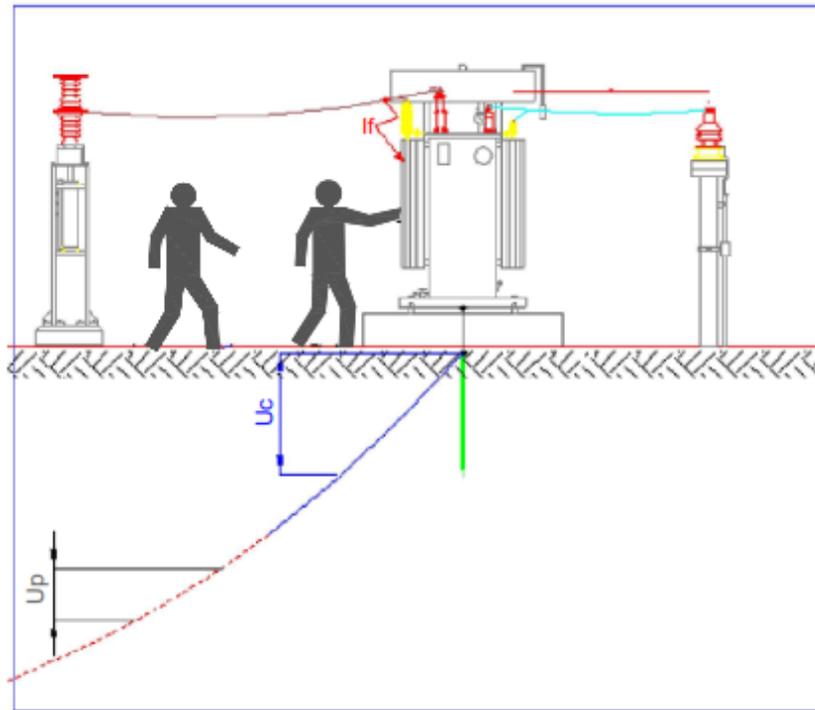
El diseño de los sistemas de PAT tiene que resolver o acotar dentro de los valores admisibles esta problemática, a la que debe darse especial atención.

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.

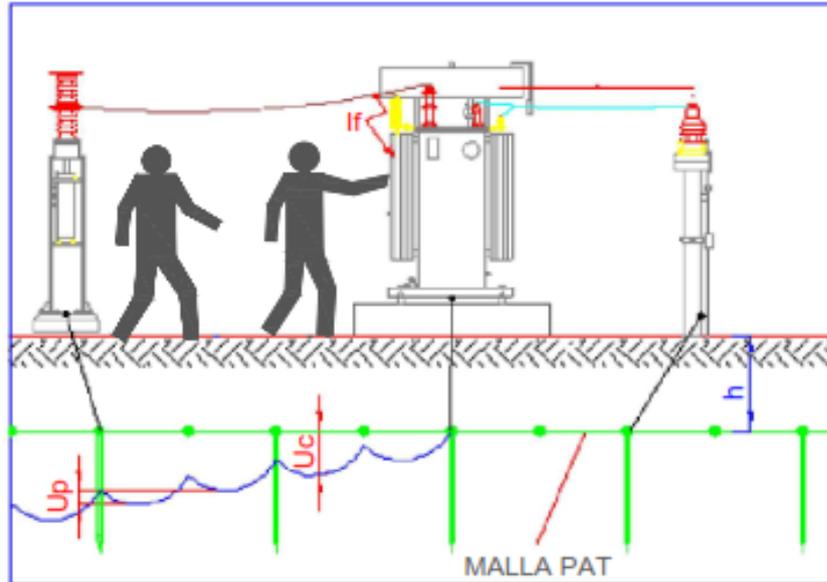
OBSERVACIÓN:

Cuando tenemos un sistema de Puesta a tierra (PAT) implementado por medio de una jabalina, como se puede observar en la siguiente figura, la curva de potencial cae abruptamente a medida que se aleja del punto de la falla, y la velocidad de cambio de la tensión sólo dependerá de las características del terreno. En estas condiciones una persona en contacto con el elemento en falla queda sometida a una tensión de contacto U_c y otra que se dirige hasta este punto, a una tensión de paso U_p .



Ahora tomamos la misma instalación, pero adoptando como sistema de puesta a tierra una malla enterrada a una profundidad h de la superficie del terreno y vinculada a los dispositivos de la SET. En este caso observamos que tanto la tensión de contacto como la tensión de paso, disminuyeron su valor. Esto se debe a que entre los conductores de la malla, al tener continuidad eléctrica casi perfecta entre ellos, es muy pequeña la diferencia de potencial existente entre estos puntos. De esta manera la malla tiende a ecualizar el potencial en el área de la SET, reduciendo significativamente las tensiones de contacto indirecto dentro de la misma.

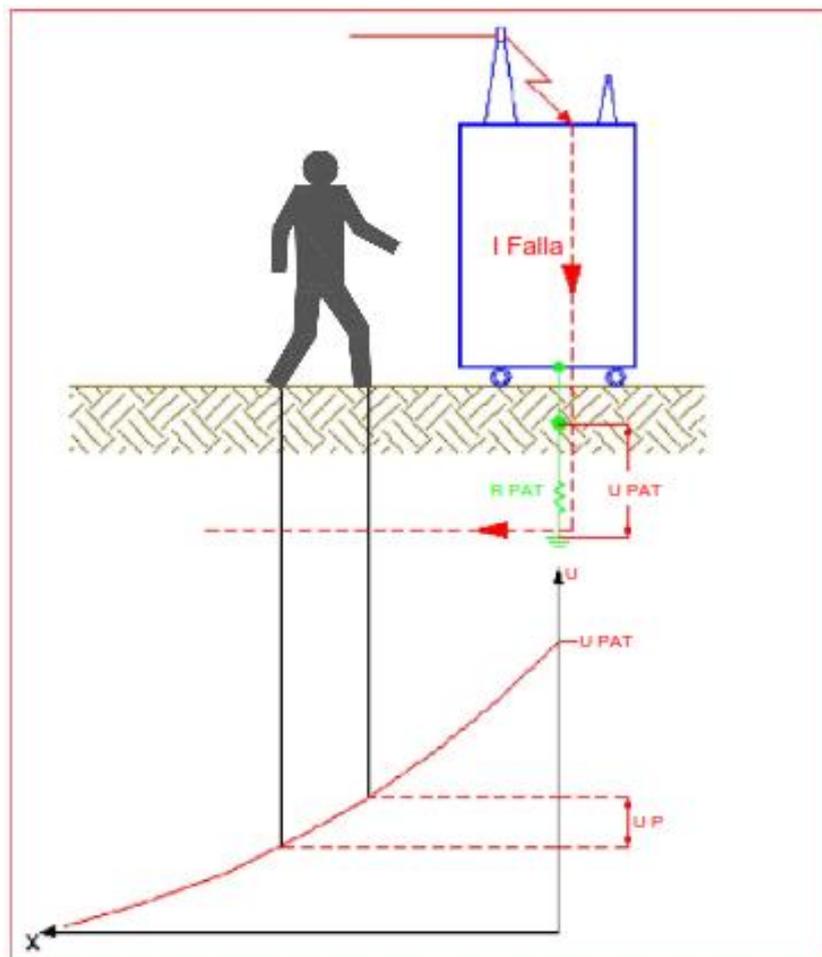
La malla se diseña de tal manera de que la tensión de paso y contacto que se genere por la falla sea menor que la soportada por el cuerpo humano para un determinado tiempo de duración de la falla.-



3.4. Tensión de paso.

La tensión de paso es la diferencia de potencial eléctrica entre dos puntos a la que quedaría sometida una persona al dar un paso mientras se está inyectando corriente en el área en que se desplaza, dados los gradientes de potencial en la superficie del suelo. Los pies cierran circuito a través del cuerpo, entre puntos a diferente potencial.

La tensión de puesta a tierra que alcanza la PAT es el valor máximo de potencial que puede tomar dicho sistema. Si en el instante de la falla una persona se encuentra caminando en las cercanías del punto de la falla, entre sus piernas aparecerá una parte de la UPAT.



Tensión de Paso: Entre las piernas de la persona existe una diferencia de potencial que denominamos.

Tensión de Paso (UP). Esta tensión de paso depende de la amplitud de paso de la persona y de la pendiente que tenga el potencial desde el punto donde se drena la falla a tierra.

4. PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA TENSIONES DE CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS (de acuerdo a la Ley de seguridad).

4.1. Protección contra riesgos de contactos directos.

Para la protección de las personas contra contactos directos (de acuerdo a lo previsto en la ley de Seguridad) se deberá adoptar una o varias de las siguientes medidas:

4.1.1. 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. 6- Transformador de Central Térmica Plaza Huincul.

4.1.2. 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.



4.1.3. 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. 7 - Transformador auxiliar de Central Térmica Plaza Huincul.

4.2. Protección contra riesgos de contacto indirecto.

4.2.1. 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.

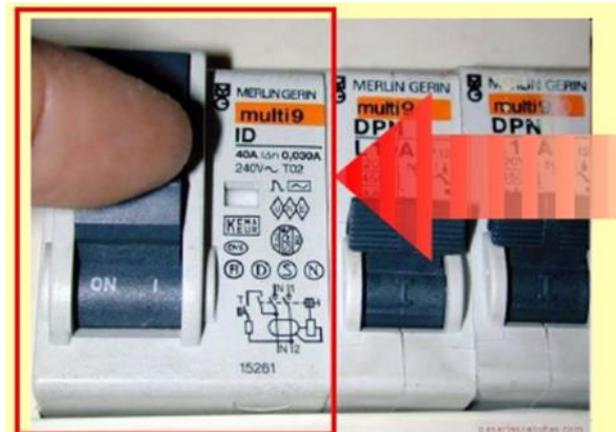
4.2.2. Dispositivos de protección

Además de la puesta a tierra de las masas, las instalaciones eléctricas deberán contar con AL MENOS UNO DE LOS Dispositivos de seguridad que se indican en los puntos 4.2.2.1 y 4.2.2.2.

4.2.2.1. Dispositivos de protección activa

Las instalaciones eléctricas deberán contar con dispositivos de protección que saquen de servicio automáticamente a la instalación o parte de la misma cuyas masas sean susceptibles de tomar un potencial peligroso.

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



4.2.2.2. Dispositivos de protección pasiva

Impedirán que una persona entre en contacto con dos masas o partes conductoras con diferencias de potencial peligrosas.

Se podrán usar algunos de los siguientes dispositivos o modos:

- a. Se separarán las masas o partes conductoras que puedan tomar diferente potencial, de modo que sea imposible entrar en contacto con ellas simultáneamente (ya sea directamente o bien por intermedio de los objetos manipulados habitualmente).
- b. Se interconectarán todas las masas o partes conductoras, de modo que no aparezcan entre ellas diferencias de potencial peligrosas.
- c. Se aislarán las masas o partes conductoras con las que el hombre pueda entrar en contacto.
- d. Se separarán los circuitos de utilización de las fuentes de energía por medio de transformadores DE AISLACION. El circuito separado no deberá tener ningún punto unido a tierra, será de poca extensión y tendrá un buen nivel de aislamiento La aislación deberá ser verificada diariamente a la temperatura de régimen del transformador. Si a un mismo circuito aislado se conectan varias cargas simultáneamente, las masas de éstas deberán estar interconectadas y puestas a tierra
- e. Se usará tensión de seguridad
- f. Se protegerá por doble aislamiento los equipos y máquinas eléctricas. Periódicamente se verificará la resistencia de aislación

5. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ACUERDO AL ATERRAMIENTO DEL NEUTRO. CONSIDERACIONES PARA AT, MT Y BT.

5.1. 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, habitualmente, **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 y el mantenimiento de las instalaciones, etc.

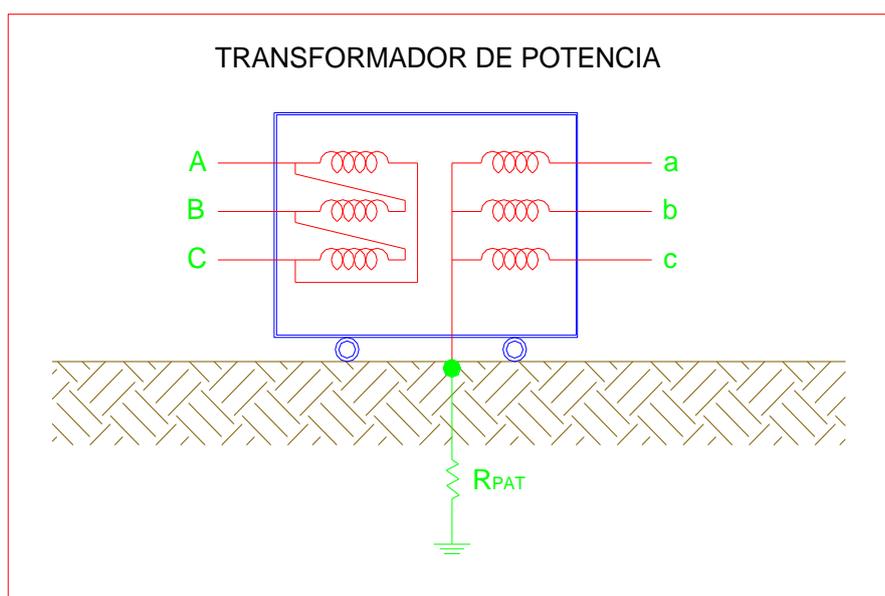


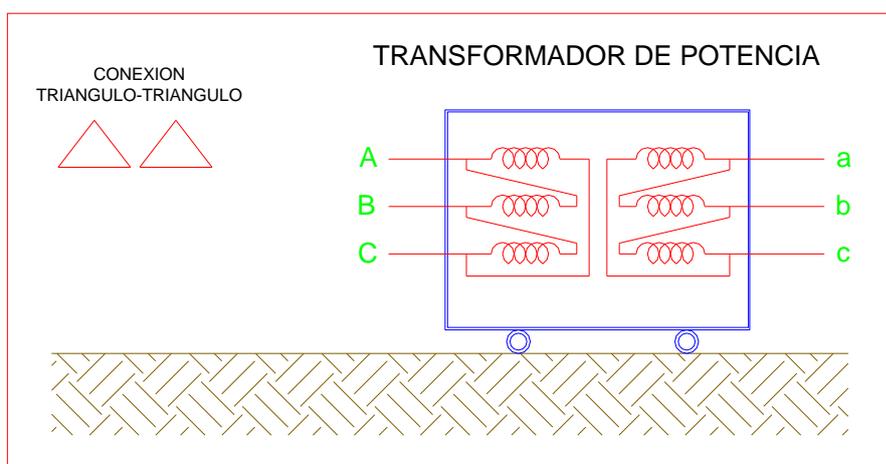
FIG. 20- Puesta A Tierra del Neutro –Directo o Rígido a Tierra de un Transformador de Potencia en una E.T.

5.2. 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.

5.2.1. 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.



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.

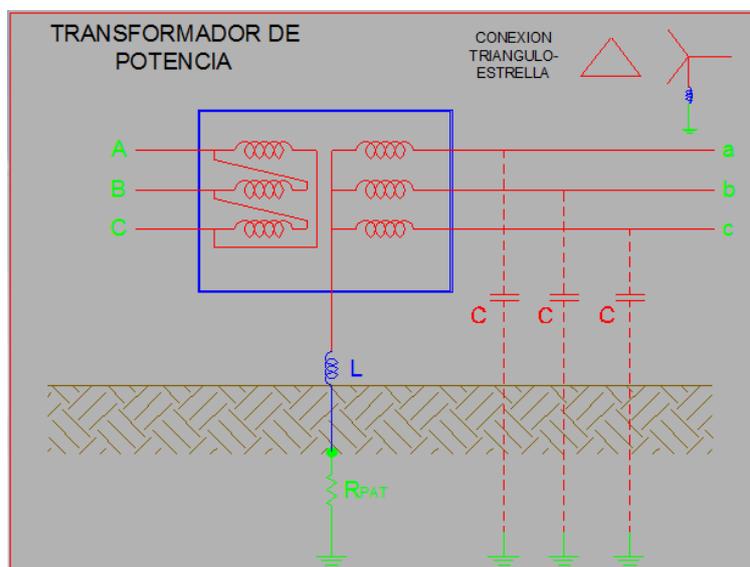
En nuestro país está prohibido su uso en las compañías de Transporte y Distribución de la energía eléctrica.

5.2.2. Red con neutro compensado.

Red cuyo neutro está puesto a tierra a través de una bobina cuya reactancia es de un valor tal que, en el caso de una falla entre una fase y tierra, la corriente inductiva de cortocircuito de la frecuencia de la red, se compensa muy aproximadamente en el punto de falla con la corriente

capacitiva de la misma frecuencia, ocasionada por la capacitancia a tierra de fases sanas. Tal disposición determina que el arco de falla en aire se extinga espontáneamente.

No es normalmente usual por las dificultades que presenta.

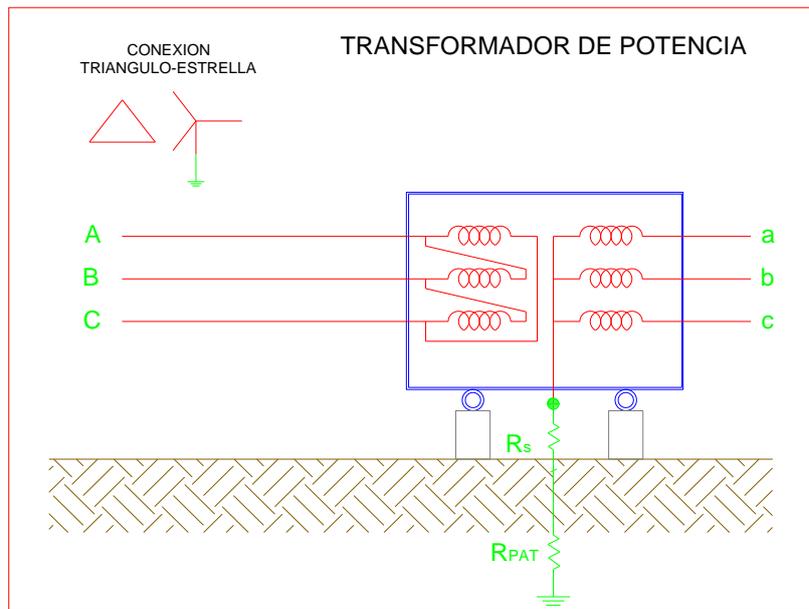


5.2.3. Red con neutro puesto a tierra a través de una resistencia baja.

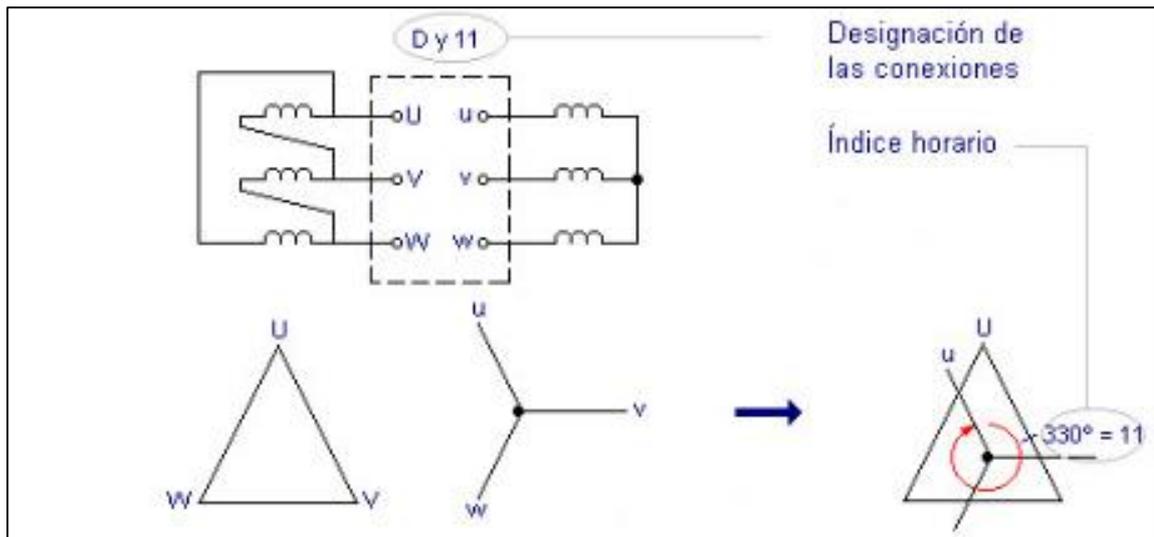
Red en la cual el neutro está conectado a tierra, directamente o a través de una resistencia de valor pequeño, suficiente para reducir las oscilaciones transitorias de tensión y para mejorar las condiciones de protección selectiva contra las fallas a tierra.

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas la incorporación de una adecuada Resistencia intercalada entre el neutro y tierra puede cumplir un importante Rol en los niveles de corto circuito en instalaciones aguas debajo de la ET principal de distribución primaria y por consiguiente en los niveles de tensión de puesta a tierra y en las tensiones de contacto indirecto.

En nuestro país en los sistemas de distribución pública en BT, MT por lo general se utiliza el sistema rígido a tierra aunque en algunos lugares tienen alguna resistencia de neutro. Consideramos apropiado que los profesionales de las empresas de transporte y distribución de la región analicen este tema pensando en la seguridad pública y del personal de operación de las distribuidoras, dado que hay lugares en los que los niveles de cortocircuito en media tensión son muy elevados y se dificulta cumplir con los requisitos de seguridad en instalaciones cercanas a las ET de AT/MT.

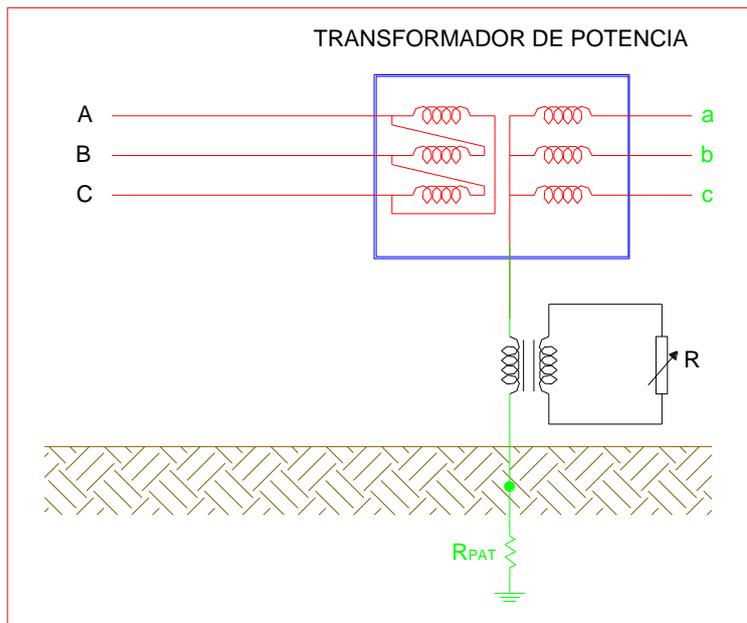


Esta conexión es una de las más habituales en los sistemas de alta y media tensión. Los grupos de conexión de los transformadores más encontrados en estos sistemas son los DYN11, DYN5 entre otros.

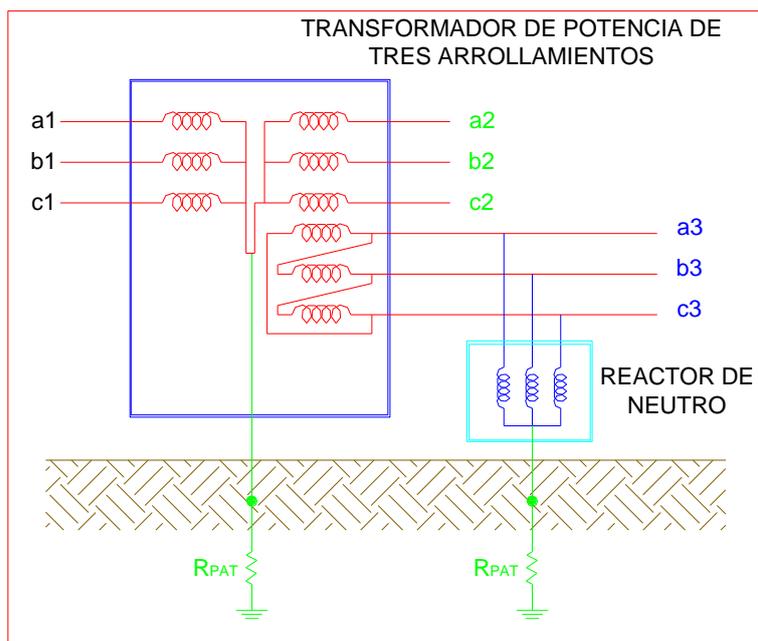


5.2.4. Otros sistemas usuales.

5.2.4.1. Red con neutro a tierra a través de transformador con resistencia.



5.2.4.2. Red de neutro aislado con RNA (Reactor o transformador de neutro artificial).



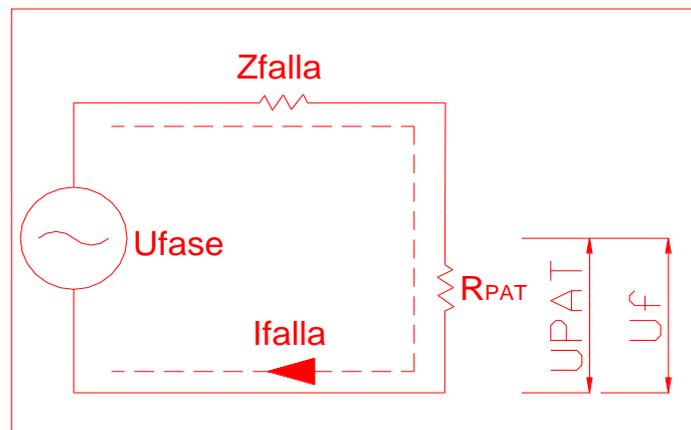
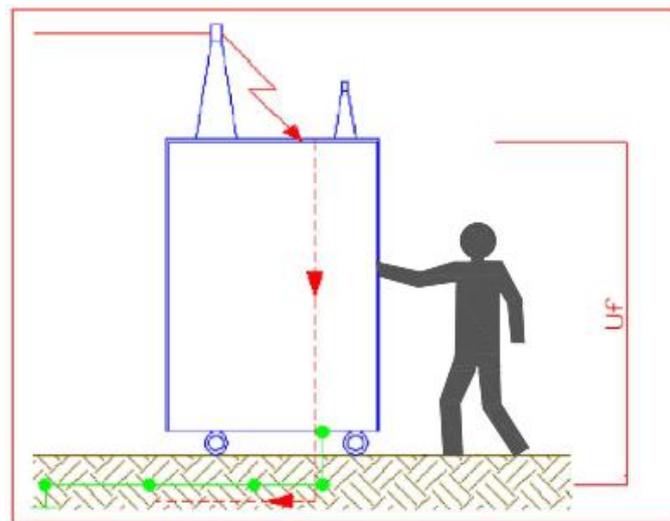
6. FUNCIÓN Y NECESIDAD DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS. TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA, TENSIÓN DE TRANSFERENCIA.

6.1. Generalidades.

Dentro de las razones para conectar a tierra los sistemas eléctricos, entre otras, mencionamos:

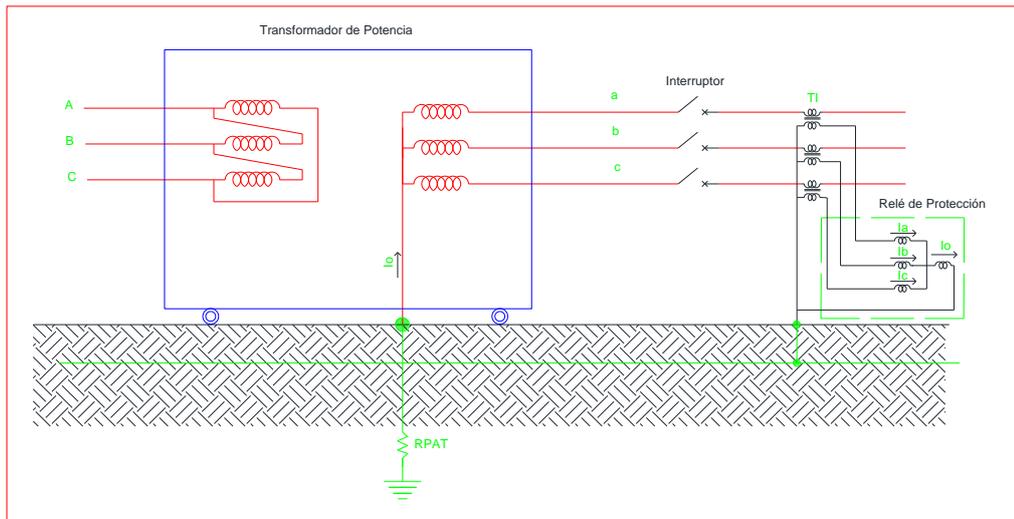
- A) Proveer un camino de baja impedancia para las corrientes de fallas a tierra.

Con el elemento conectado al sistema de PAT, eliminamos la resistencia de contacto y la tensión que alcanza el equipo está limitada al valor que imponga la resistencia de PAT.



El valor de la resistencia de PAT depende del diseño del sistema. Cuanto más bajo sea su valor, menor será la tensión de PAT que tendrá el sistema ante una falla a tierra.

- B) Posibilitar (de acuerdo a lo anterior) el funcionamiento de las protecciones de máxima corriente.



C) Establecer un potencial de referencia estable para la operación normal.

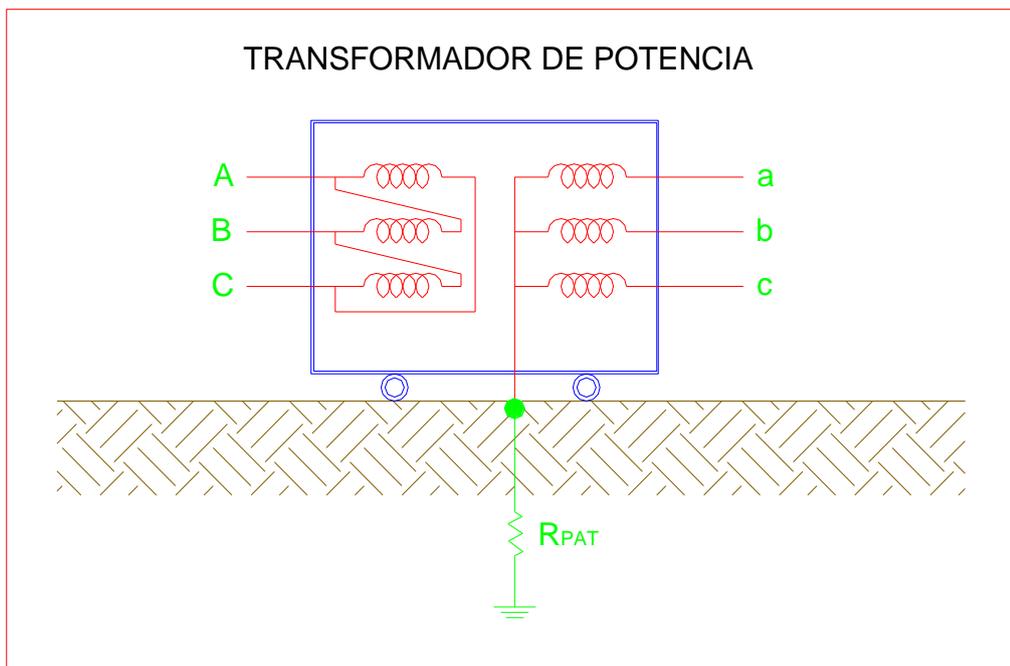
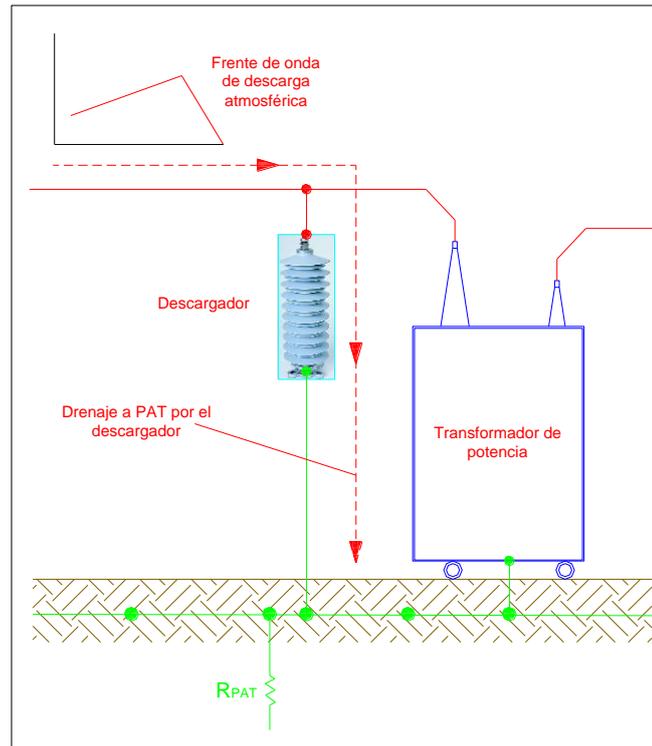
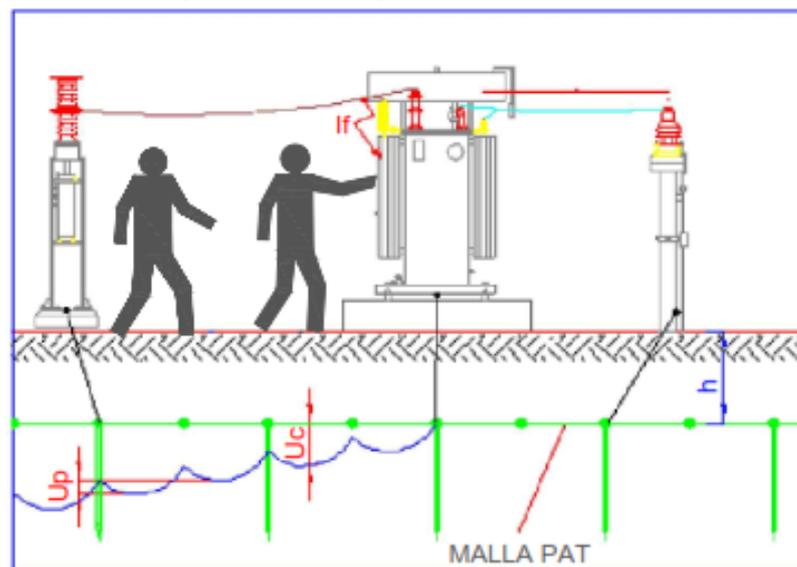


FIG.19 -Puesta A Tierra de Servicio (directa) de un Transformador de Potencia en una E.T.

D) Limitar sobretensiones por descargas atmosféricas u otras internas.



e) Controlar la tensión de contacto y la tensión de paso en todas las masas metálicas accesibles.



Si bien las Puestas a Tierra en los sistemas eléctricos se presentan siempre como la vinculación a tierra de un equipo o instalación pueden tener funciones muy distintas, aunque a veces relacionadas entre sí. Sin dudas la función principal y más importante es la de resguardar la vida de las personas; luego la de permitir la operación del sistema eléctrico de acuerdo a los criterios y límites de diseño de los mismos y también la de proteger a los equipos de la instalación eléctrica asociada.

Debe entenderse que un sistema de puesta a tierra sólo es efectivo para la protección de las personas por **contactos indirectos** en los sistemas con neutros aterrados.

Si una persona toma **contacto directo** con una fase en un sistema aterrado, ningún diseño de PAT será efectivo ya que en ese caso el cuerpo humano queda en serie con la totalidad de la corriente de falla hacia tierra, y el mejoramiento de la puesta a tierra no produce ninguna mejora a la situación.-

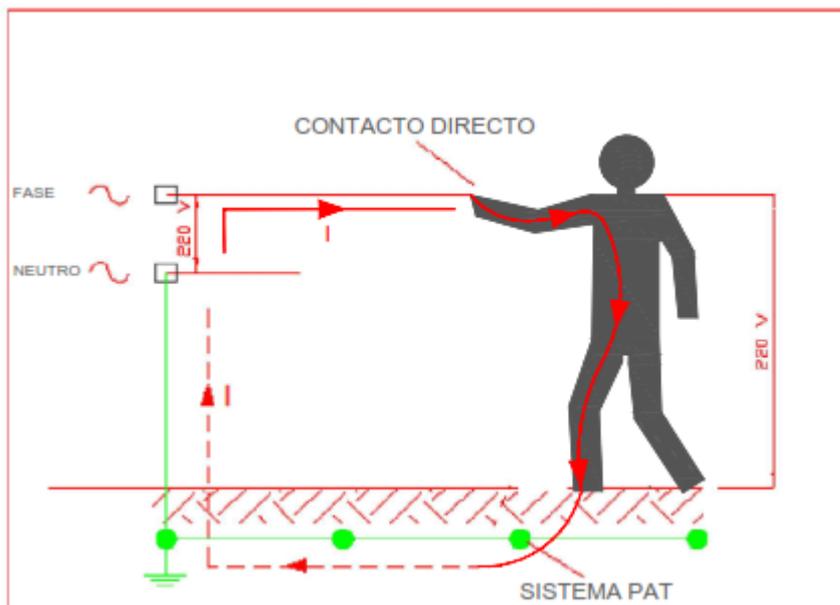


FIG. 20- Persona en contacto directo con una fase, es circundada por una corriente eléctrica.

En cambio en un contacto indirecto el elemento metálico que cambia su potencial por tocar una fase, está vinculado galvánicamente al sistema de PAT y a través de esta unión eléctrica conduce a corriente de falla y limita el valor de tensión respecto de ésta por dicha conexión.

En la siguiente figura se muestra la situación de un contacto indirecto:

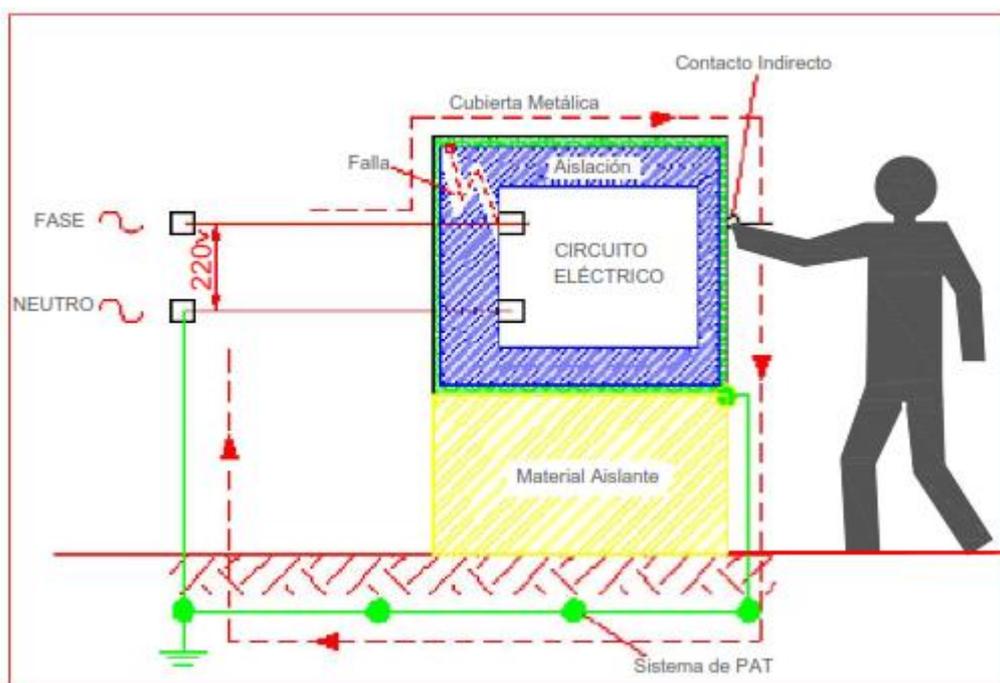


FIG. 21- Contacto indirecto de una persona

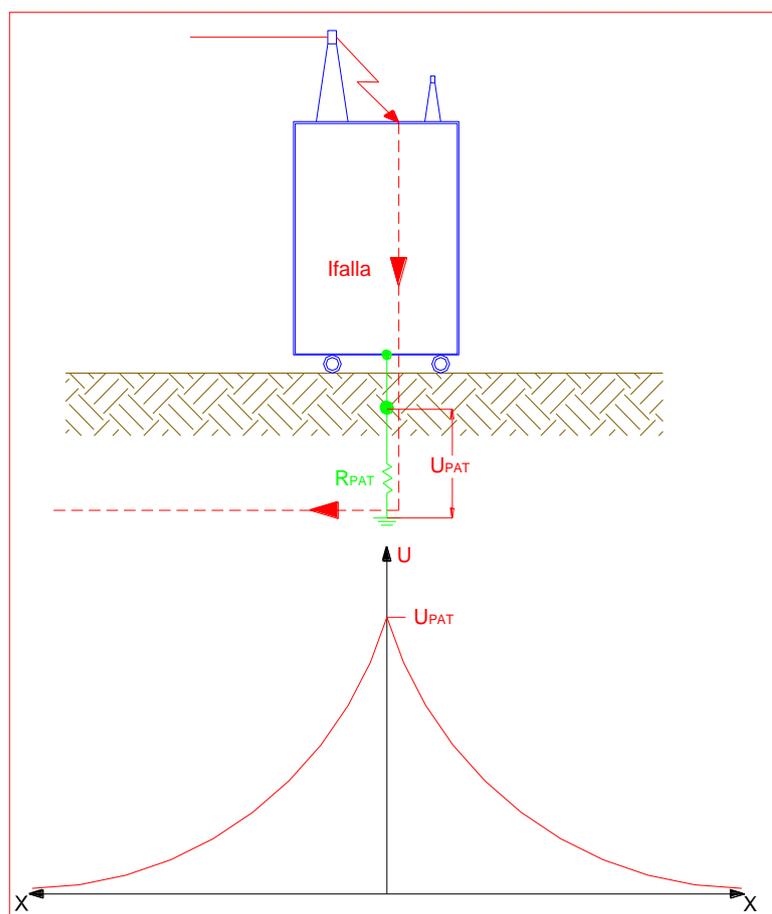
6.2. Tensión de puesta a tierra.

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.

Si tomamos como ejemplo ilustrativo una puesta a tierra implementada con una jabalina, la mayor tensión U_{PAT} aparece en el lugar de la falla, donde la densidad de corriente tiene su mayor valor. A medida que nos alejamos del lugar de la falla, la densidad disminuye y el valor de tensión cae exponencialmente como se ve en la siguiente gráfica.



La pendiente de la curva depende en este caso exclusivamente de la resistividad del terreno. Una persona caminando en las proximidades de la falla o en contacto con un elemento metálico no recibirá la U_{PAT} , sino una fracción de la misma, es decir un voltaje menor.

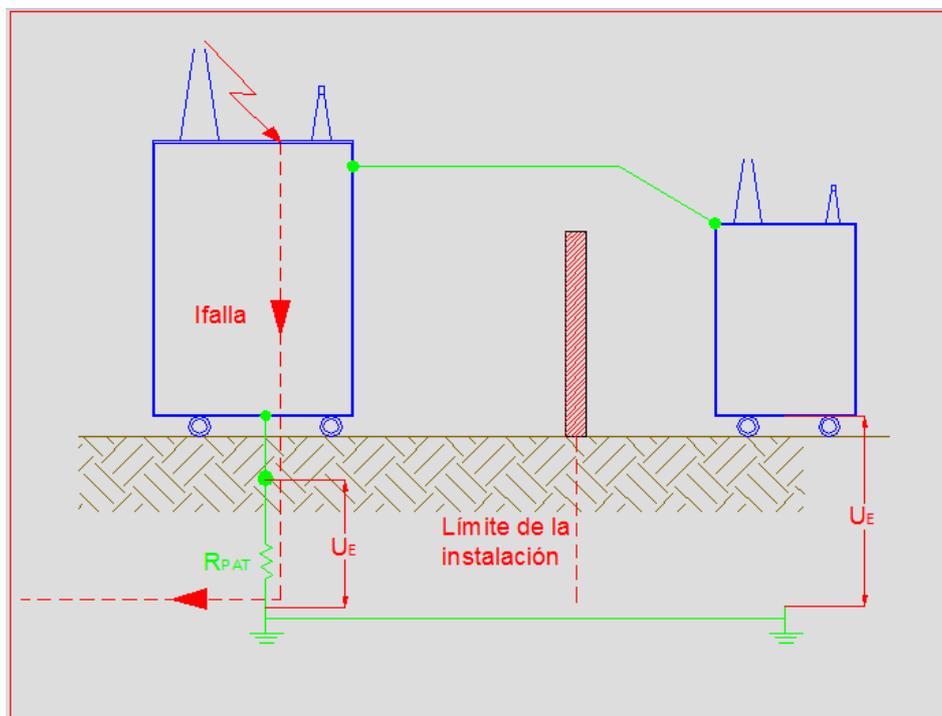
6.3. Tensión de transferencia.

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.

Tensión de Transferencia

Como se observa en la figura, si un elemento fuera de la instalación está galvánicamente vinculado al sistema de PAT de la misma, alcanza la tensión de PAT respecto de la tierra de referencia, independientemente si tiene o no su propia PAT. Esta tensión se denomina **Tensión de Transferencia**. En general no es aconsejable transmitir tensiones de un sistema a otro, pero a veces se emplea la vinculación entre PAT de diferentes instalaciones para mejorar los valores en dichas instalaciones ante las condiciones de falla que se puedan presentar en cualquiera de éstas.

Según los valores de corriente de falla, del diseño de puesta a tierra, resistencia de PAT, etc., puede ser necesaria o no vincular sistemas de PAT, pero siempre debe tenerse especial precaución al hacerlo.



7. CONSIDERACIONES SOBRE LA NECESIDAD DE LOS ELEMENTOS DE CORTE AUTOMÁTICO DE LAS FALLAS (PARTICULARMENTE LAS QUE INVOLUCRAN TIERRA).

Ya hemos visto que, cuando se produce una falla eléctrica, las partes metálicas de las instalaciones pueden adquirir un potencial peligroso para las personas. Si alguna persona se encuentra en contacto con una masa metálica quedará sometida a un potencial (tensión de contacto) y esa tensión hará circular corriente con los efectos y consecuencias ya vistos.

También 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 sea 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, más importante aún, **es conceptualizarlos como elementos que protegen a personas (en primer lugar) y a equipos e instalaciones en segundo término.**

Por lo tanto este es un aspecto fundamental que, consideramos, debe estar presente y en la conciencia de profesionales y técnicos encargados del diseño de instalaciones; profesionales y técnicos de operación y mantenimiento de instalaciones, y profesionales y técnicos relacionados con los sistemas de protecciones eléctricas.

Es responsabilidad de c/u de nosotros hacer comprender estos conceptos a los directivos de las empresas para poder orientar los recursos necesarios a la cobertura adecuada de estos temas, imprescindibles para la seguridad de las personas en general y también para las empresas, siendo consecuentes con sus políticas de seguridad pública y de su personal.

8. FUNCIÓN Y NECESIDAD DE LA ADAPTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS.

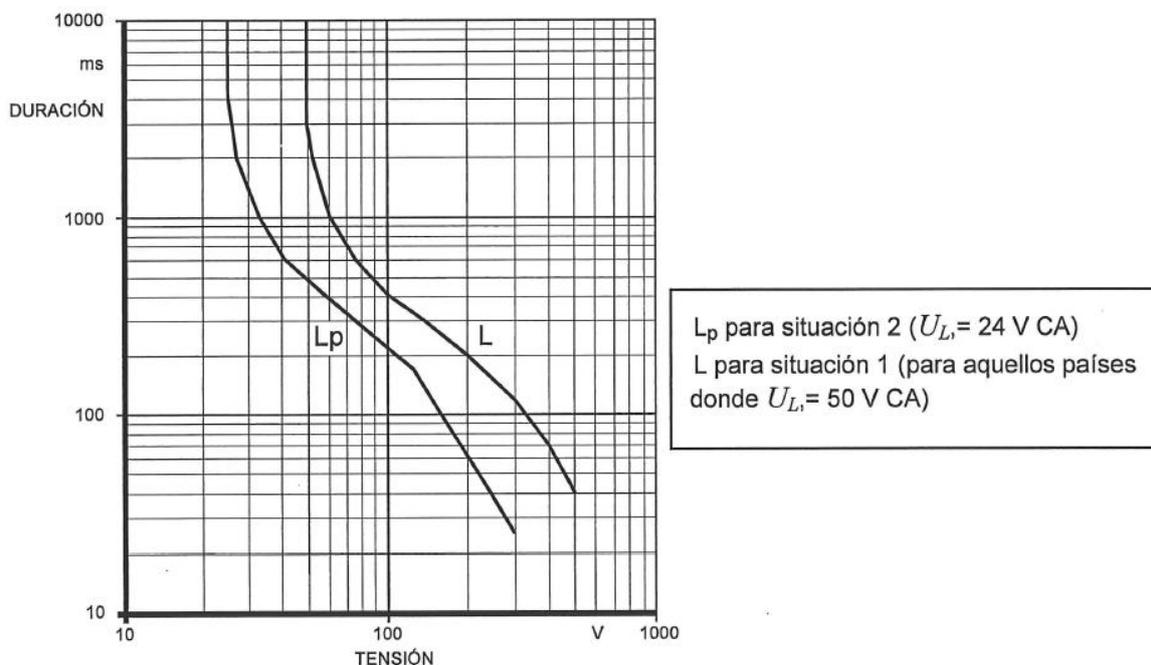
Como se comentó en el punto anterior, el sistema de protección eléctrica y los dispositivos que se utilicen deben pensarse no sólo para proteger equipos e instalaciones, sino priorizar el rol que cumplirán en la seguridad de las personas y como deben adaptarse los mismos para cubrir esa necesidad.

¿Qué queremos decir con esto? Debemos seleccionar equipos capaces de detectar todos los defectos a tierra y producir el corte de energía en el sector de la falla, en un tiempo tan corto como para que, si una persona está en contacto con una masa metálica de la instalación en la que ocurrió la falla, no sufra daños que pongan en riesgo su vida. Esto lleva a repensar y/o re-considerar, si resulta necesario, los equipos utilizados.

Cuando nos referimos a los sistemas de protecciones en Media Tensión, consideramos incluidos, además de los relés propiamente dichos, a los transformadores de medida, los interruptores y los servicios auxiliares (en el caso de utilización de Reconectores está todo en el mismo equipo).

Por ejemplo:

En una instalación domiciliar de Baja Tensión, con la instalación de una termomagnética es suficiente para proteger a los conductores y a los equipos. Pero para proteger a las personas **es necesario incorporar un dispositivo de corriente diferencial**, que detecte la corriente de falla que circula por el lazo de defecto, por pequeña que ella sea.-



Duración máxima de la tensión de contacto presunta en BT

Otro ejemplo:

Si desde el secundario de un Transformador MT/BT con el neutro aterrado en la SET se llevan las 3 fases (sin neutro) de una Línea de BT hasta el tablero de un motor (de 25 o 50

HP) y se produce una falla en este tablero, la protección de salida del transformador debe ser capaz de detectar esa falla a tierra (que puede ser de bajo valor de corriente) y abrir la línea, por lo tanto no se podrá colocar cualquier protección. Por ejemplo, difícilmente sean apropiados los fusibles NH ya que es muy probable que la corriente de falla sea menor a la corriente de carga por lo que, para proteger a las personas se deberá instalar otro tipo de protección (podría ser un interruptor con módulo diferencial) o repensar el sistema utilizado.

9. CONSIDERACIONES SOBRE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO MÁXIMAS ADMISIBLES. TENSIÓN DE SEGURIDAD. MARCO LEGAL Y REGLAMENTARIO. SEGÚN LOS NIVELES DE TENSIÓN Y TIPO DE INSTALACIONES

9.1. Consideraciones generales para tensiones máximas admisibles.

En nuestro país la ley de seguridad prevé una tensión límite de 24 Vca llamada “**Tensión de Seguridad.**”

Debajo de esta tensión no hay exigencia respecto al tiempo de desconexión de la falla.

Existen diversas recomendaciones y normativas nacionales e internacionales con los valores máximos admisibles de las tensiones de paso y contacto. En la determinación de los mismos intervienen factores tales como la duración del shock eléctrico, la resistencia óhmica del cuerpo humano, las condiciones físicas del individuo, etc.

En nuestro país, para los sistemas eléctricos Industriales de Baja Tensión La Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) publicó en el 2015 la RES 900 que toma como referencia bibliográfica lo reglamentado en la AEA 90364 (Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles).

En particular 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).

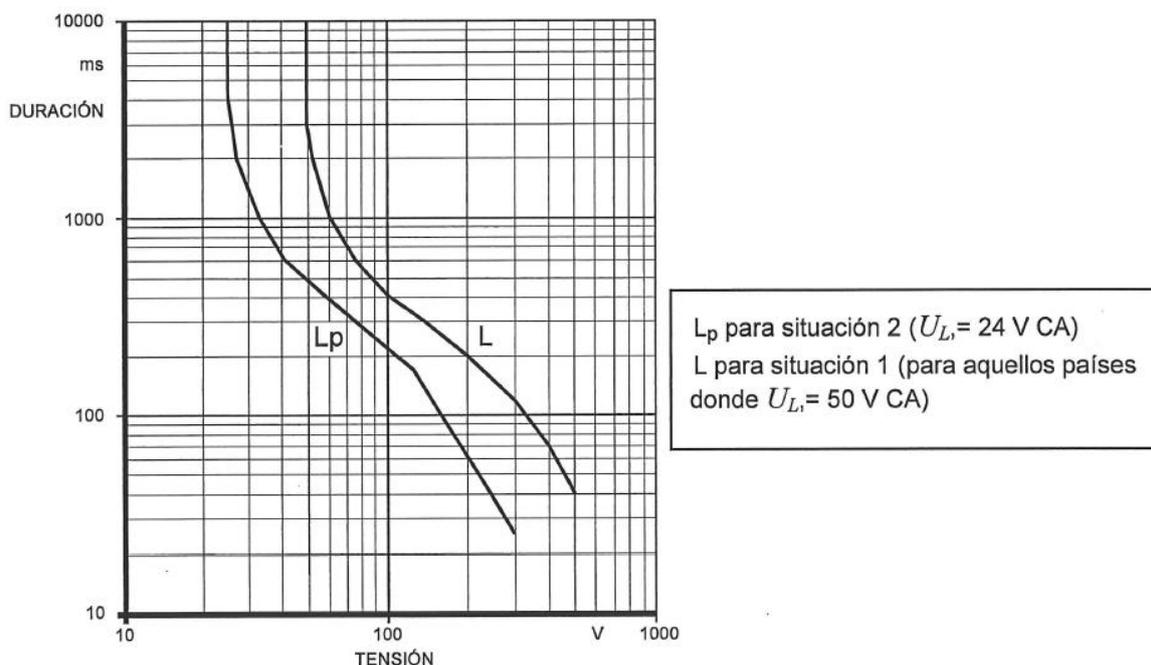


FIG. 16- Duración máxima de la tensión de contacto presunta para instalaciones industriales de BT.

Para los sistemas de Alta Tensión Regulados por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), en el año 2003 este ente publicó la RES-0558 con las guías de diseño de Estaciones Transformadoras en las que para el diseño de los sistemas de Puesta a tierra se utiliza la norma ANSI-IEEE-Std-80-86 y es lo que deben utilizar los Transportistas.

La Asociación Electrotécnica Argentina (AEA) ha publicado en el año 2006 la Reglamentación para estaciones Transformadoras (95402) en la que se utiliza también la norma ANSI-IEEE –Std80-86 para el diseño del sistema de Puesta a Tierra. En el mismo año la AEA ha publicado la **Reglamentación Sobre Centros de Transformación y suministro en Media Tensión (95401)** en la que se utiliza la norma IEC 60479-1 e indica expresamente que puede utilizarse la norma ANSI-IEEE Std.80-86.

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.-Ver Figura 17.

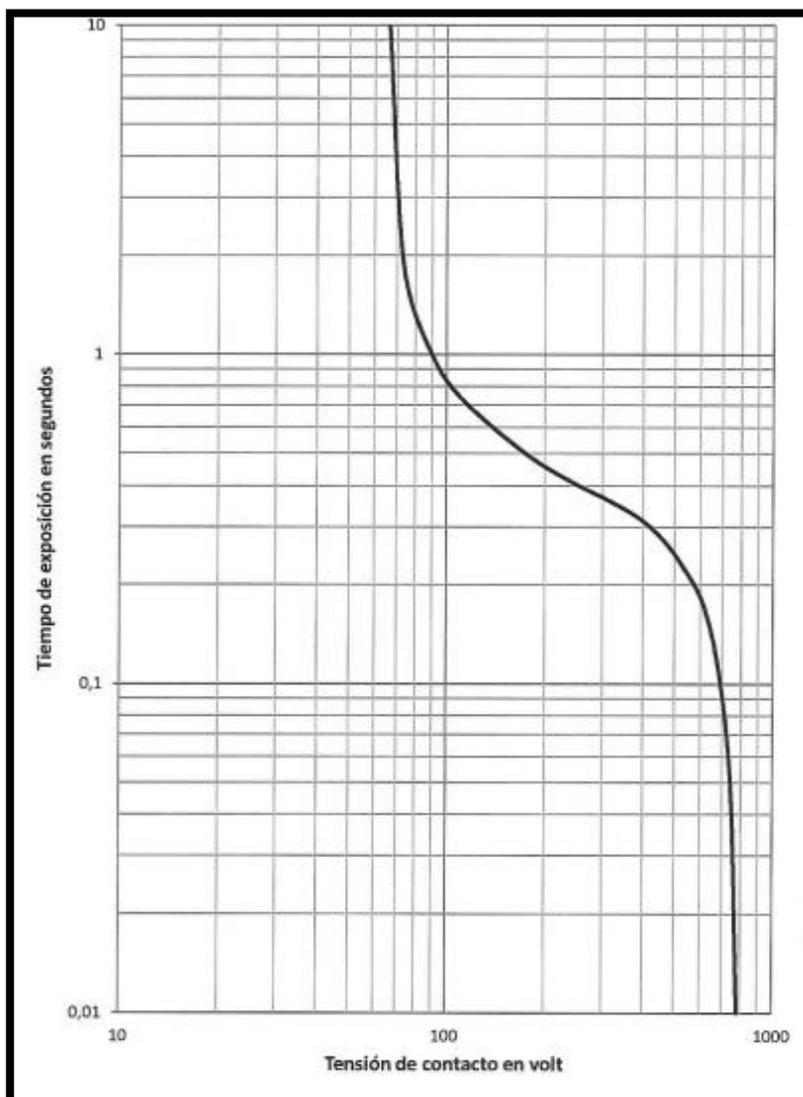


FIG. 17- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en instalaciones industriales para tensiones > 1kV.

En la misma reglamentación se establecen los valores de tensiones máximas admisibles para Estaciones Transformadoras, Centrales Eléctricas y playas de maniobras para tensiones mayores a 1 kV.-Ver Figura 18.

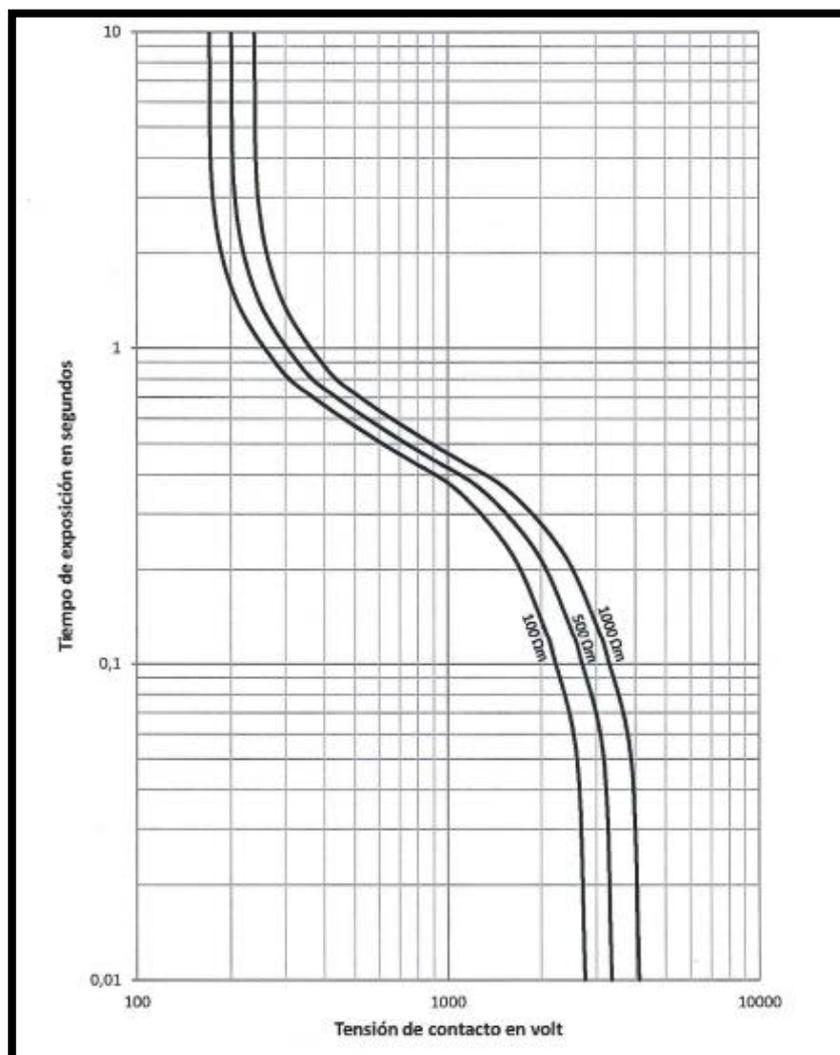


FIG. 18- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en función de la resistividad del suelo en centrales y estaciones transformadoras y de maniobra para tensiones > 1 KV

Consideramos que la curva de aplicación para las instalaciones industriales de MT de oil&gas u otras actividades es la de la Figura 17, excepto para las Estaciones y subestaciones principales en donde aplicaría la Figura 18.

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)

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

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

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:

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

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

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.

Recordamos que para las instalaciones Industriales de BT debe utilizarse lo establecido por la AEA 90364-4 (curva Lp) y la Resolución 900/2015 de la SRT y para las instalaciones industriales de más de 1 kV la curva 11- a de la AEA 95501-4 (Fig.16 en este documento).

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.

C_s , lo obtenemos de la siguiente ecuación empírica,

$$C_s = 1 - (0.09 * (1 - \rho / \rho_s)) / (2 * h_s + 0.09)$$

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

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

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

Primero vamos a calcular el coeficiente C_s

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

$$C_s = 0.78$$

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

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

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

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

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

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

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

Los valores límites para una persona de 70 kg son:

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

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

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 utilización de una capa superficial con mayor resistividad a la del terreno natural.

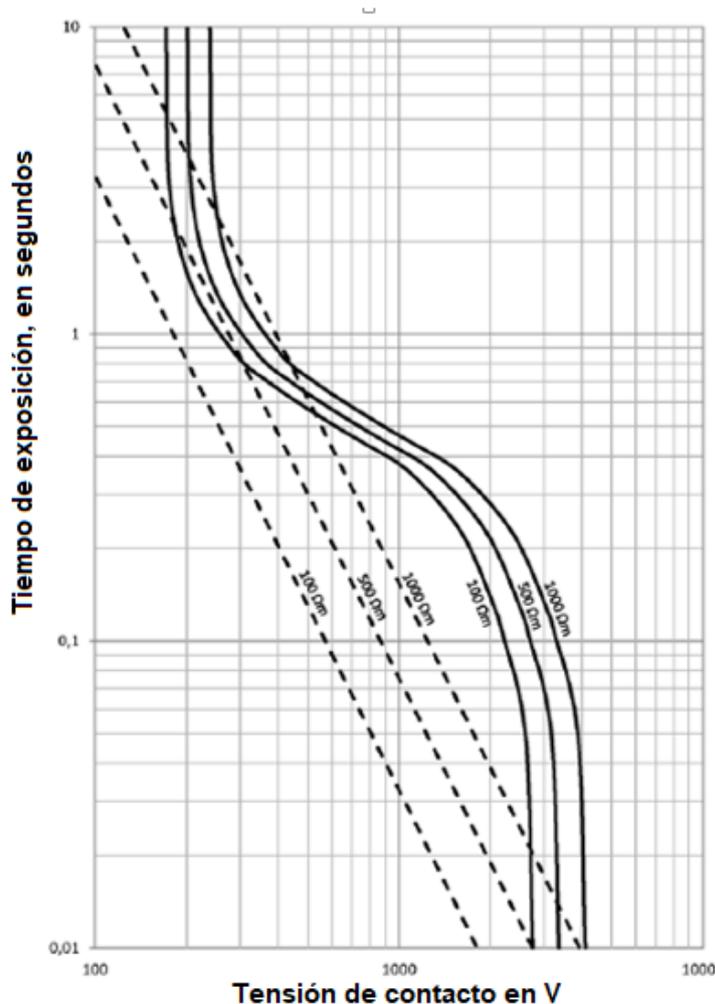


FIG. 19- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en función de la resistividad del suelo en SET abiertas de AT calculada según la IEC (líneas llenas) comparada con la calculada según la IEEE (líneas de trazos).

En lo referido a PAT para las líneas eléctricas de MT y AT se considera lo indicado en la reglamentación de la AEA de líneas eléctricas (95301-2007).

La PAT de protección es la toma de tierra destinada a evitar la aparición de tensiones permanentes peligrosas entre partes de instalaciones que normalmente están sin tensión, pero que en caso de falla la pueden tomar, y otras partes vecinas que se encuentren al potencial de tierra.

Tensiones máximas admisibles según AEA 95301.

La instalación de puesta a tierra de protección debe estar diseñada para que en caso de falla, la tensión de paso y de contacto, en cualquier punto accesible a las personas que puedan circular o permanecer, no superen el valor determinado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{ca} = K / t^n \quad [15.3-1]$$

Donde:

V_{ca} : 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.

$K = 78,5$ 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).

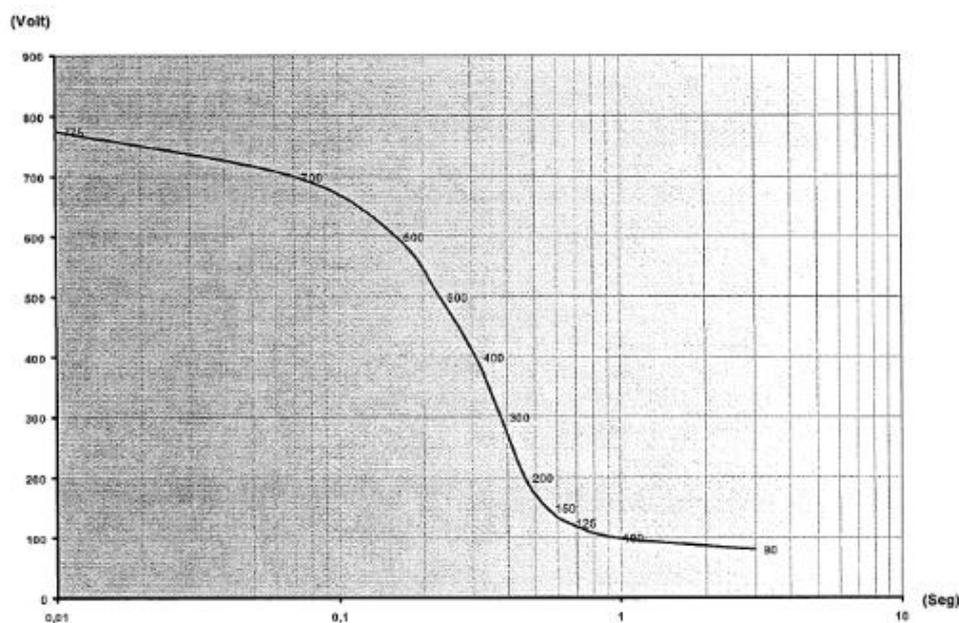


Figura 15.3-a Tensión de contacto V_{ca} en función de la duración t_f de la corriente de falla

En caso de instalaciones con reconexión automática rápida (no superior a 0,5 segundos) el tiempo a considerar en la expresión será la suma de los tiempos parciales de mantenimiento de la corriente de falla.

15.4. Puesta a tierra de estructuras de líneas aéreas

Las estructuras de las líneas aéreas cumplirán los siguientes requisitos mínimos de puesta a tierra:

15.4.1. Equipamiento de maniobra

Se conectarán a tierra las estructuras de acero y de hormigón armado. La tierra de protección se dimensionará de ser posible para una resistencia eléctrica de puesta a tierra (transición) $R_t = 125 \text{ V} / I_C$ siendo I_C la corriente de falla a tierra, definida como: (según DIN-VDE 0141)

- La corriente capacitiva de falla a tierra en redes con neutro aislado.
- La corriente residual de falla a tierra, en redes con elementos de despeje de la falla.
- La corriente de cortocircuito a tierra, en redes con neutro rígido a tierra o a través de resistencia limitadora de bajo valor.

El valor de la resistencia de transición podrá sobrepasar el valor calculado más arriba solo cuando se apliquen medidas por medio de las cuales sea improbable que se produzca un contacto a tierra en la estructura o cuando se reduzca su duración a un tiempo lo más corto posible. Esta condición se satisface cuando se apliquen algunas de las siguientes medidas:

- Utilización de aisladores cuyo tipo de construcción no haga presumir la posibilidad de perforación (por ejemplo de núcleo macizo, tipo "Line Post" o poliméricos).
- Control periódico de los aisladores durante el servicio.
- Disposición de los conductores para evitar que la rotura de un aislador provoque un desplazamiento de aquellos sobre crucetas de la estructura.
- Instalación de dispositivos de rápida desconexión en el caso de fallas a tierra.

15.4.2. Estructuras con equipamiento de maniobra

En aquellas estructuras en que se disponga equipamiento de maniobra u otro que haga posible la mayor frecuencia en la presencia de personal al pie de las mismas, los postes de acero u hormigón armado se colocarán a tierra según los lineamientos del punto anterior.

Cuando debido a las condiciones difíciles de puesta a tierra, especialmente por elevada resistividad del terreno, no sea técnicamente posible o resulte económicamente desproporcionado lograr los valores de resistencia de transición calculados, se debe recurrir al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir los riesgos a las personas y los bienes. Tales medidas podrán ser, entre otras, las siguientes:

- Disponer suelos o pavimentos que aislen suficientemente de tierra las zonas de servicio peligrosas, por ejemplo mediante la utilización de grava gruesa mala conductora o basalto.
- Establecer conexiones equipotenciales entre la zona donde se realice el servicio y todos los elementos conductores accesibles desde la misma. Esto se puede lograr enterrando un electrodo de tierra de control alrededor de la estructura a una distancia de 1 metro de la misma y a una profundidad de 0,50 m aproximadamente, el cual se unirá a la puesta a tierra de la estructura.

10. REQUISITOS DE SEGURIDAD REGLAMENTARIOS PARA 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.

10.1. 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.

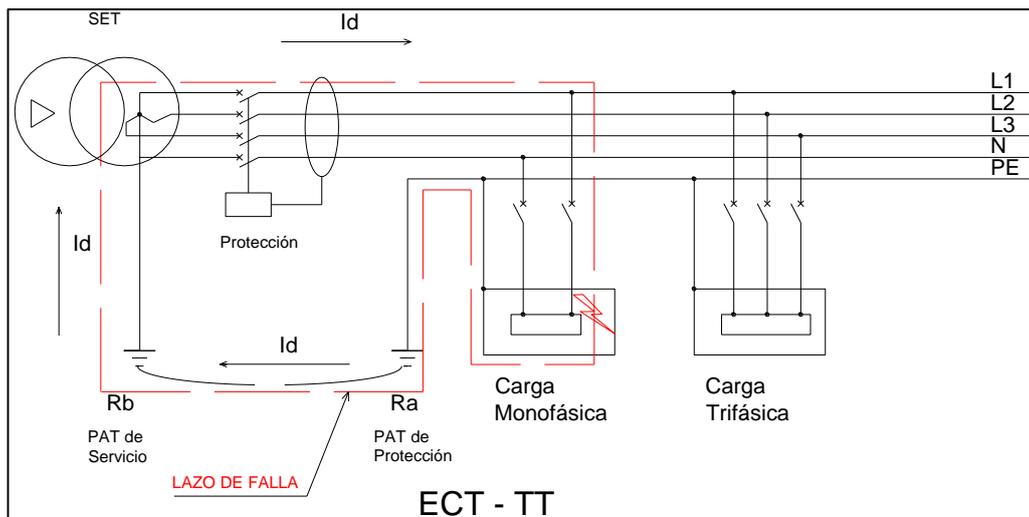


FIG. 24- En las instalaciones industriales alimentadas desde la red pública de baja tensión (BT), el esquema de conexión a tierra exigido es el TT.

En un ECT TT, los defectos entre un conductor de línea y una masa eléctrica o entre un conductor de línea y el conductor de protección PE provocan la circulación de una corriente de falla dentro del circuito a través de un lazo de falla, que se cierra por la tierra.

La impedancia de falla está constituida por la resistencia de la PAT de servicio **Rb** y por la resistencia de PAT de protección **Ra**, las cuales limitan la corriente de falla a valores generalmente bajos, inferiores a la corriente de cortocircuito, pero igual pueden dar lugar a tensiones peligrosas.

A continuación se muestra el lazo de falla y la ecuación para determinar la corriente de falla.

OBS: En general la suma de las resistencias Ra+Rb de la toma de tierra de protección y de la toma de servicio es muy superior frente a la impedancia de los otros componentes del lazo formado por el camino metálico. Por esta razón se realiza la simplificación adoptando solamente estas dos impedancias.

$$I_d = \frac{U_0}{R_a + R_b}$$

10.1.1. Dispositivos de protección a utilizar en sistemas con ECT-TT.

La reglamentación 90364-4 de la AEA establece que en el ECT TT, sólo se podrá utilizar para la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación, dispositivos de corriente diferencial (OBLIGATORIO). Además tienen que tener protección de corto circuitos (sobreintensidad).

10.2. 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).

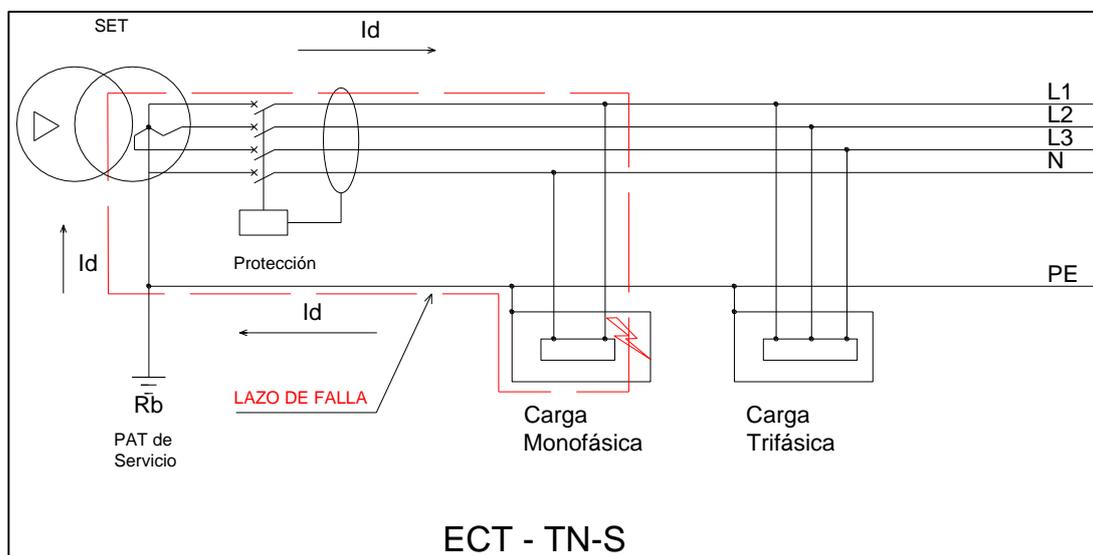
10.2.1. Esquema TN-S.

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.



OBS 1: La toma a tierra R_b , deberá tener un valor máximo de 10 Ohm.

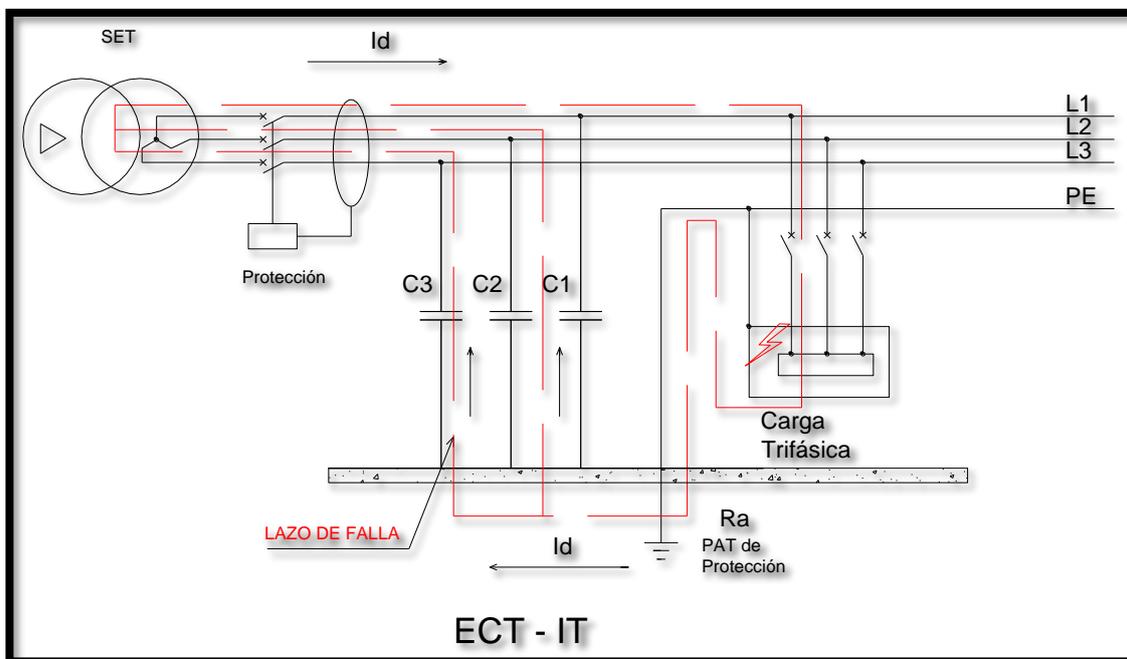
OBS 2: SI EXISTE POSIBILIDAD DE QUE LOS CABLES A LA CARGA PUEDAN TENER ALGUNA FALLA A TIERRA SIN TOCAR EL PE EN LOS SISTEMAS TN, LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO DEBE TENER 2 OHMS O MENOS. (8.3.2.2 – AEA95401 – pág. 55).

10.2.2. Dispositivos de protección a utilizar en sistemas con ECT-TN.

En el ECT TN-S se deberán utilizar para la protección de las tensiones de contacto indirecto dispositivos de sobreintensidad (obligatorio) pudiendo utilizarse dispositivos de corriente diferencial (en los casos en que se puede y de la capacidad de interrupción apropiada).

10.3. 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.



La corriente de defecto se establece como la corriente de fuga a través de la impedancia de fuga de la red. (Por C3 y C2 de la figura).

Ante el primer fallo de aislación, se establece una tensión de contacto que no es peligrosa, por lo que la instalación puede mantenerse en servicio.

Ante este primer defecto, la instalación puede continuar la explotación, sin peligro **PERO ES MUY IMPORTANTE ESTAR ADVERTIDO DE QUE HAY UN DEFECTO** y que debe ser identificado y eliminado antes de que se produzca un segundo defecto.

10.3.1. Dispositivos de protección a utilizar en sistemas con ECT-IT.

Los esquemas de conexión a tierra del tipo IT deben tener un dispositivo de control permanente de la aislación (CPA) para detectar y advertir el primer fallo de una fase a tierra (sonoro y/o visual). Es de uso obligatorio.

Como protección contra los contactos indirectos debe tener un dispositivo de protección contra corto circuitos (DPCC). También de uso obligatorio.

Puede utilizarse también un disyuntor diferencial apropiado (DD).

10.4. 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 $U_0 \leq 120 V$ | | 120 V $U_0 \leq 230 V$ | | 230 V $U_0 \leq 400 V$ | |
|------------------------------------|----------------------------------|-----|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|--------|
| | 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 413.1.5 | | | | | |

(*) 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. 25- Tiempos máximos de desconexión para la protección contra contacto indirecto por desconexión automática de la alimentación en circuitos terminales para $U_L = 24 V$.

Para todos los casos se debe respetar un tiempo límite de desconexión indicado en la curva Lp.

10.5. Ejemplos.

10.5.1. Ejemplo: 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 R_a 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 R_b 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 | R_a |
| 3 Jabalina | 1 - disposición triangular | 9.87 | R_b |

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.

La norma AEA 90364-4-41, establece que el tiempo de desconexión para la protección contra contacto indirecto debe cumplir con lo indicado en la siguiente tabla:

| Esquema de Conexión a tierra (ECT) | 50 V < U_0 ≤ 120 V | | 120 V < U_0 ≤ 130 V | | 230 V < U_0 ≤ 400 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 413.1.5 | | | | | |

(*) 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. 26- Tiempos máximos de desconexión para la protección contra contacto indirecto por desconexión automática de la alimentación en circuitos terminales para $U_L = 24 V$.

La reglamentación de la AEA establece que el tiempo de desconexión máxima, para el suministro eléctrico analizado, es de 60 mseg.

Para la corriente de falla $I_d = 3.23 A$ y según la curva de disparo (**G Inmunizados**) IEC/EN 61008 que se muestra a continuación, se puede afirmar que la protección diferencial actuará en un tiempo menor a los 60 mseg exigido por la Reglamentación de la AEA. **Se verifica el correcto funcionamiento de la protección diferencial.**

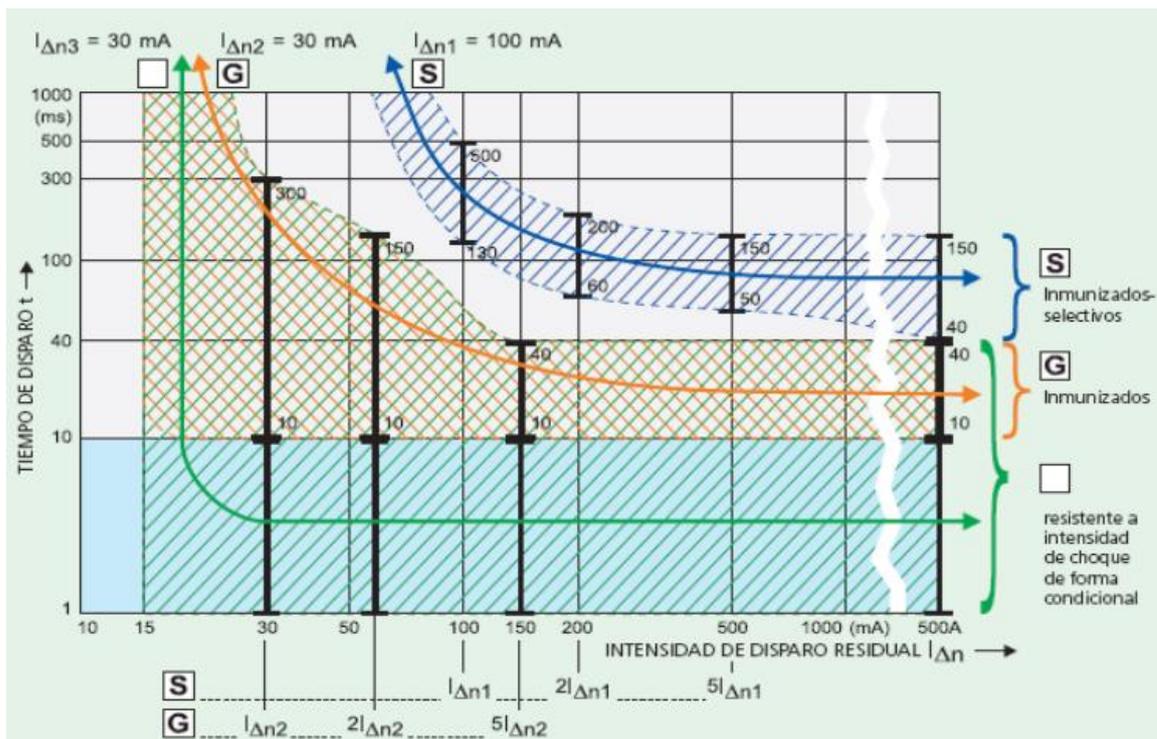


FIG. 27- Curva de Disparo, márgenes de tiempo de disparo y selectividad de los interruptores diferenciales instantáneos, inmunizados ref. "G" e inmunizados-selectivos ref. "S"- IEC/EN 61008.

10.5.2. 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 por la norma (AEA 90364-4-41).

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

Datos:

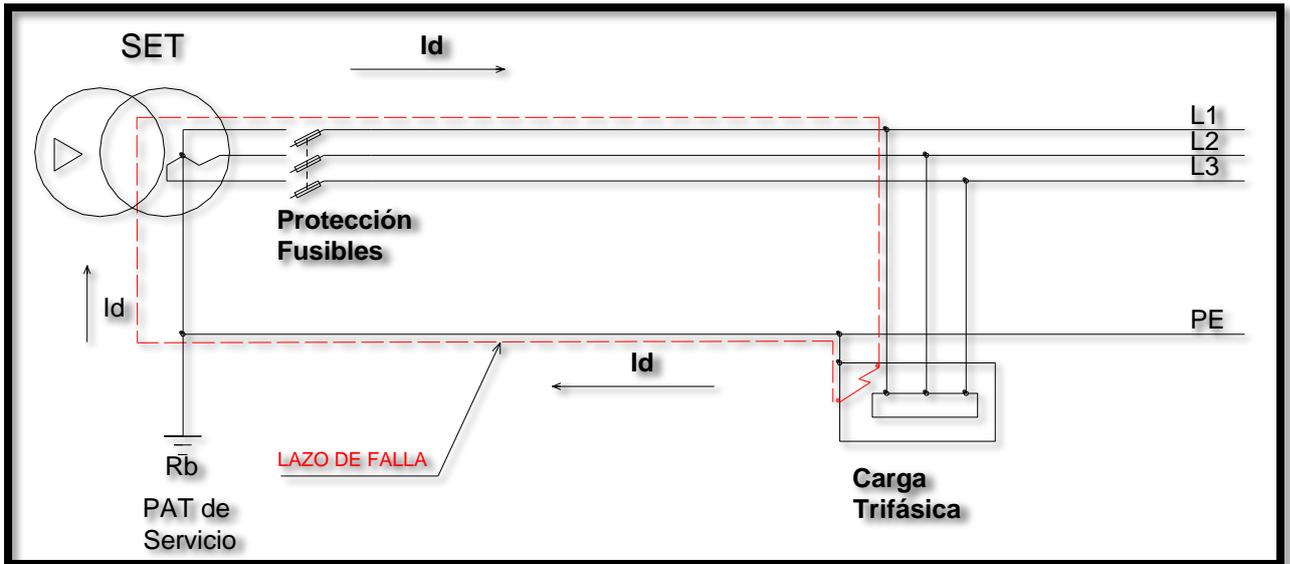
Tipo de conductor: Preensablado 3x35 mm² + 1x50 mm²

Longitud del conductor: 40 m

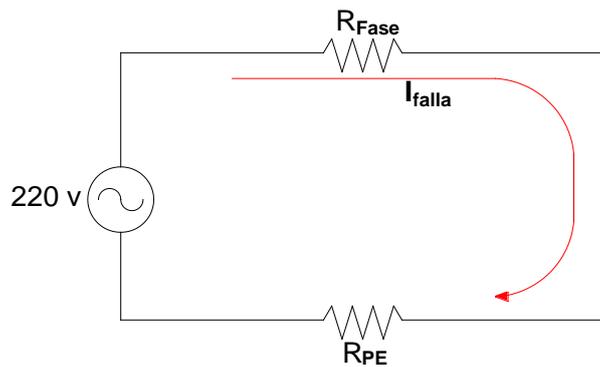
RF = 1.113 Ω/Km

RPE = 0,6928 Ω/Km

Fusibles NH 100 A



Despreciando la resistencia de contacto, el circuito equivalente será:



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

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

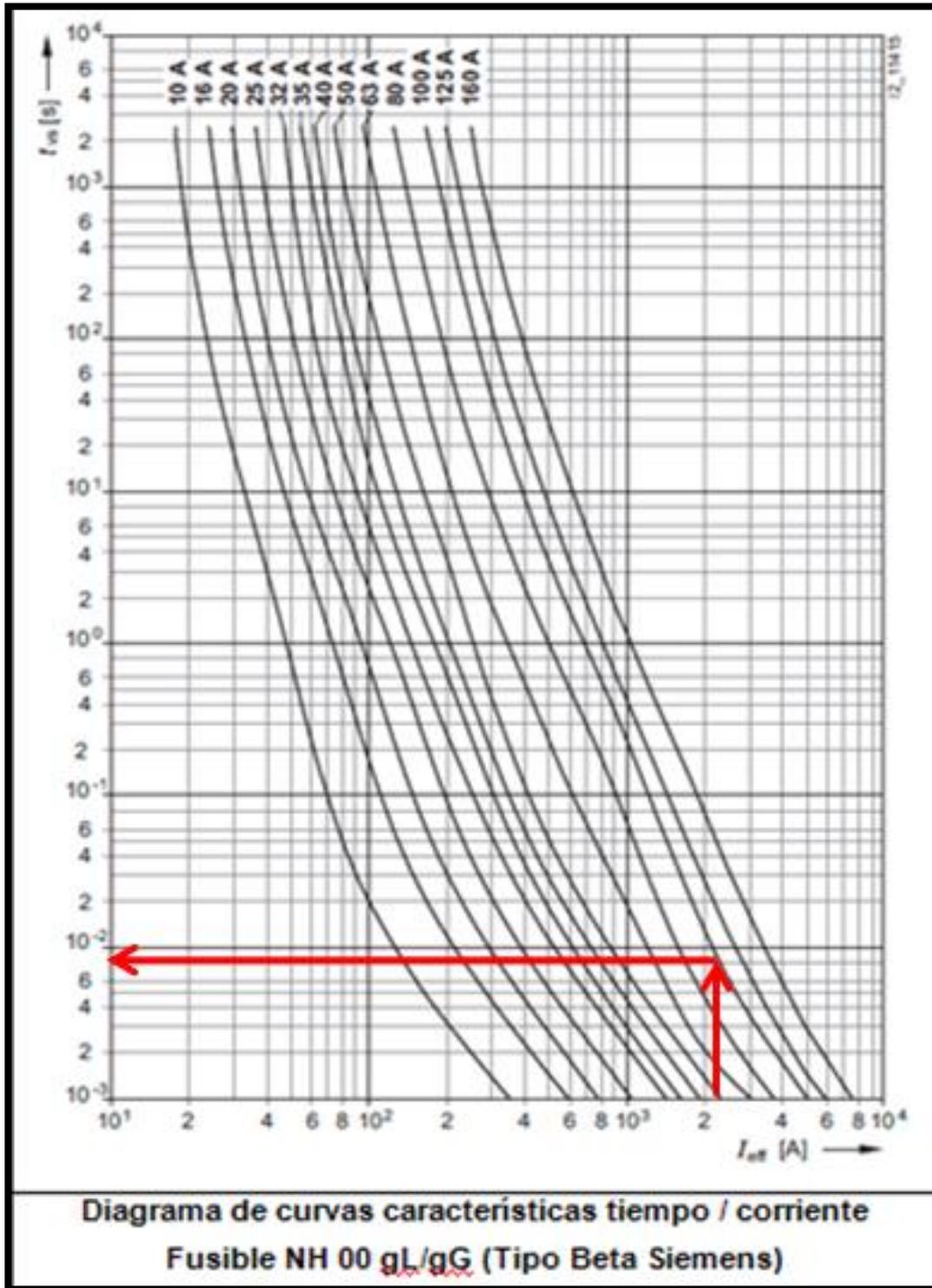


FIG. 28- Diagrama de curvas características tiempo/corriente.

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 especificado por la reglamentación.-

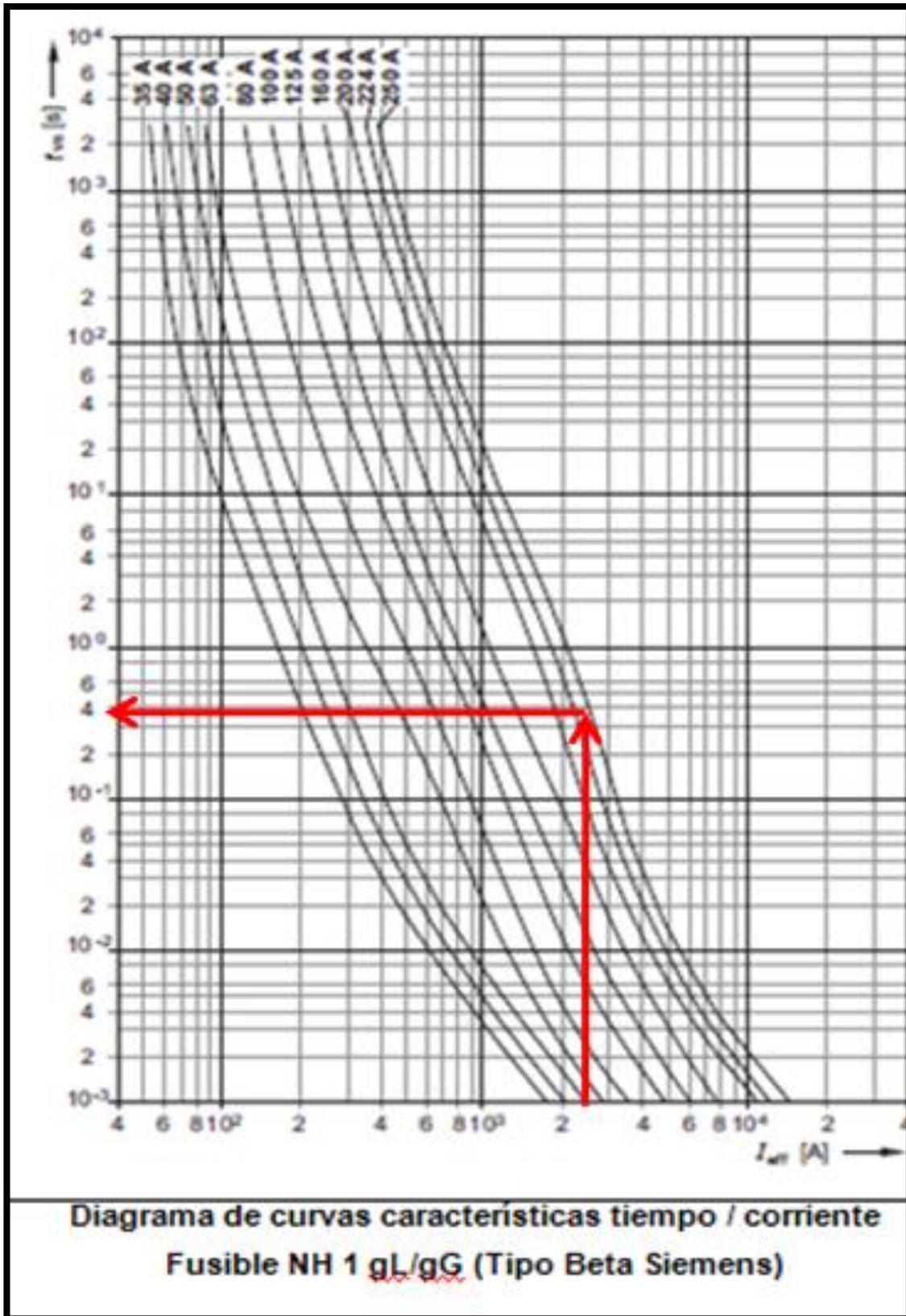


FIG. 29- Diagrama de curvas características tiempo/corriente.

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

Calibre de fusible: 250 A

$I_d = 2478 \text{ A}$

En la fig.29 se observa que si se utilizan fusibles de 250 amp- Tamaño 01 el tiempo de interrupción de la corriente de falla será superior al requerido por la reglamentación para garantizar la seguridad de las personas.

10.5.3. Ejemplo de cálculo de la tensión de contacto ante defecto de aislamiento en un ECT TN-S.

Ante un defecto de aislamiento, la corriente de defecto I_d (ver figura de ejemplo anterior) no está limitada más que por la impedancia de los cables del lazo de falla.

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

Considerando que durante una falla, tenemos una resistencia de contacto $R_{contacto}=0$ Ohm y una caída de tensión del orden del 20% sobre la tensión simple U_o , que es la tensión nominal entre fase y tierra, podemos determinar que la corriente de falla provoca la aparición de una tensión de defecto, respecto a tierra de:

$$U_{d=R_{cable\ de\ prot} \times I_d = 0.8 U_o \times \frac{R_{cp}}{R_{fase1} + R_{cp}}}$$

Esta tensión de defecto, para redes de 230/400 V, es del orden de $U_o/2$ (si $R_{cable\ de\ prot} = R_{fase}$) superior a la tensión límite de 24 V para lugares secos. Por lo tanto, como ya se mencionó, es necesario asegurar la desconexión automática e inmediata de la instalación o parte de la misma. Y por lo tanto, siendo así una tensión peligrosa para la persona dado que es superior a la tensión límite de seguridad de 24 V para lugares secos.

Realizaremos el cálculo de la tensión de defecto teniendo en cuenta los datos del ejemplo anterior.

Recordando que la corriente de defecto (I_d) era de 2478 A y que la resistencia del cable de protección (R_{PE}) era de $0,027 \Omega$ tendremos que:

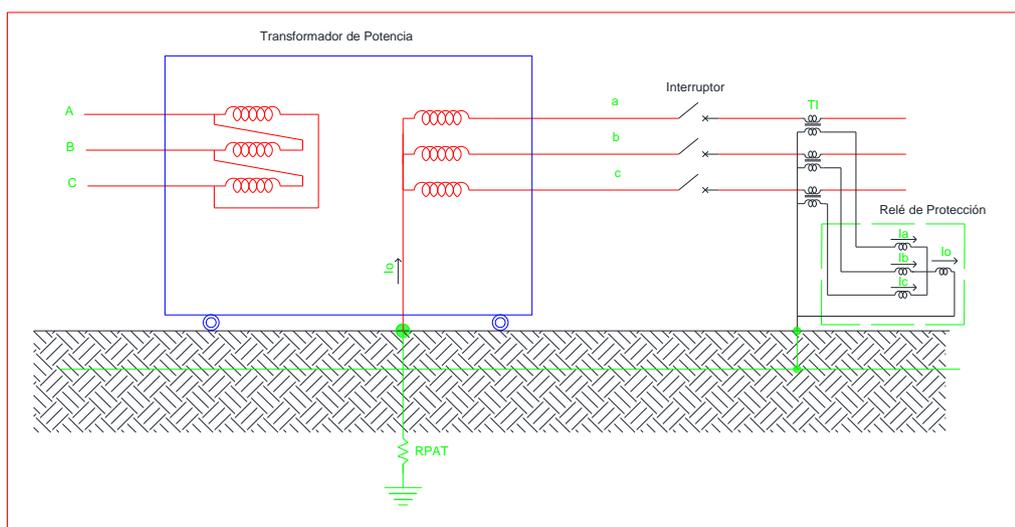
$$U_{d=R_{cable\ de\ prot} \times I_d = 0,027 \Omega \times 2478 \text{ Amp} = 66,90 \text{ Volt}}$$

Para el valor de tensión calculado, el tiempo máximo de duración de la tensión de contacto presunta será de 300 mseg.

Con este tiempo y el calculado en el ejemplo anterior para los fusibles (8 mseg), efectivamente podemos establecer que el DPCC despejaría la falla dentro de los márgenes permitidos por la norma.

11. REQUISITOS PARA LAS PROTECCIONES EN MT

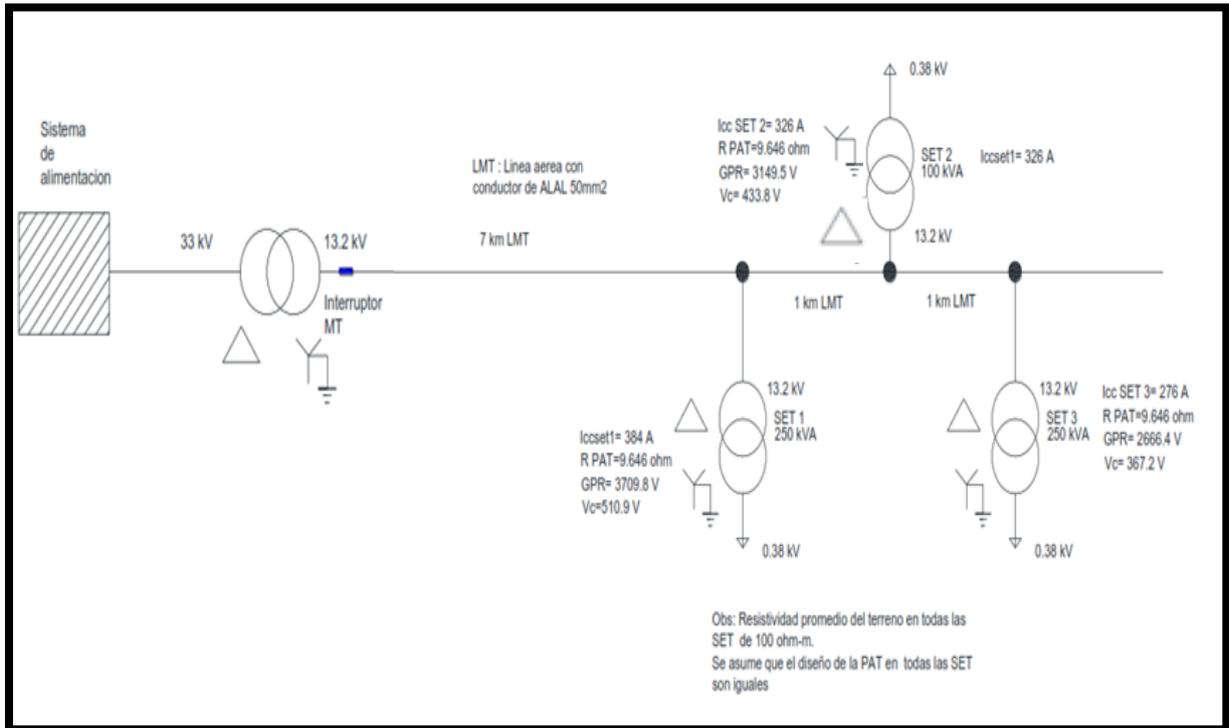
Si tenemos un sistema de MT con el neutro aterrado del que sale una línea trifásica (lleva los 3 conductores de fase solamente). El sistema de protecciones debe detectar todo defecto a tierra y cuando ello ocurre abrir en tiempos iguales o inferiores a los que exigen las reglamentaciones en lo que respecta a la seguridad de las personas.



Ejemplo:

En una línea de MT que alimenta a distintas SET de MT/BT debe considerarse cuál es la tensión de contacto presunta más elevada y cuál debe ser el tiempo máximo admisible para no poner en riesgo a las personas en esas instalaciones. -En consecuencia las protecciones de esta línea deben adaptarse a esta necesidad, detectando las fallas a tierra y abriendo la línea en un tiempo inferior al requerido (adicionalmente debe mantenerse la coordinación con el resto de las protecciones).

En la siguiente figura, se representa la situación mencionada y se indican algunos parámetros eléctricos para analizar el tiempo de desconexión según la AEA 95401. En cada SET tenemos una corriente de cortocircuito, la cual va decreciendo a medida que nos alejamos del sistema de alimentación (sistema radial).



Se asumió el mismo diseño del sistema de PAT en cada SET, obteniendo una resistencia de puesta a tierra de 9.646 Ohm.

La tensión de puesta a tierra (GPR) disminuye a medida que nos alejamos del sistema de alimentación, al igual que la tensión de contacto presunta. Es decir que debemos verificar el tiempo de desconexión con los parámetros obtenidos en la SET 1.

La tensión de contacto presunta en la SET 1, es igual 510.9 V, entonces ingresando en la curva de AEA 95401 nos determina que el tiempo máximo de desconexión del interruptor de MT (aguas abajo del transformador 33/13.2 kV) es de 120 ms (IEEE - sin considerar la capa superficial)

Ahora, si consideramos una capa superficial de 3000 Ohm-m, (despejando el tiempo de la ecuación de contacto admisible de la IEEE Std. 80 para 70 kg) determinamos que el tiempo de desconexión es aproximadamente 1.9 seg.

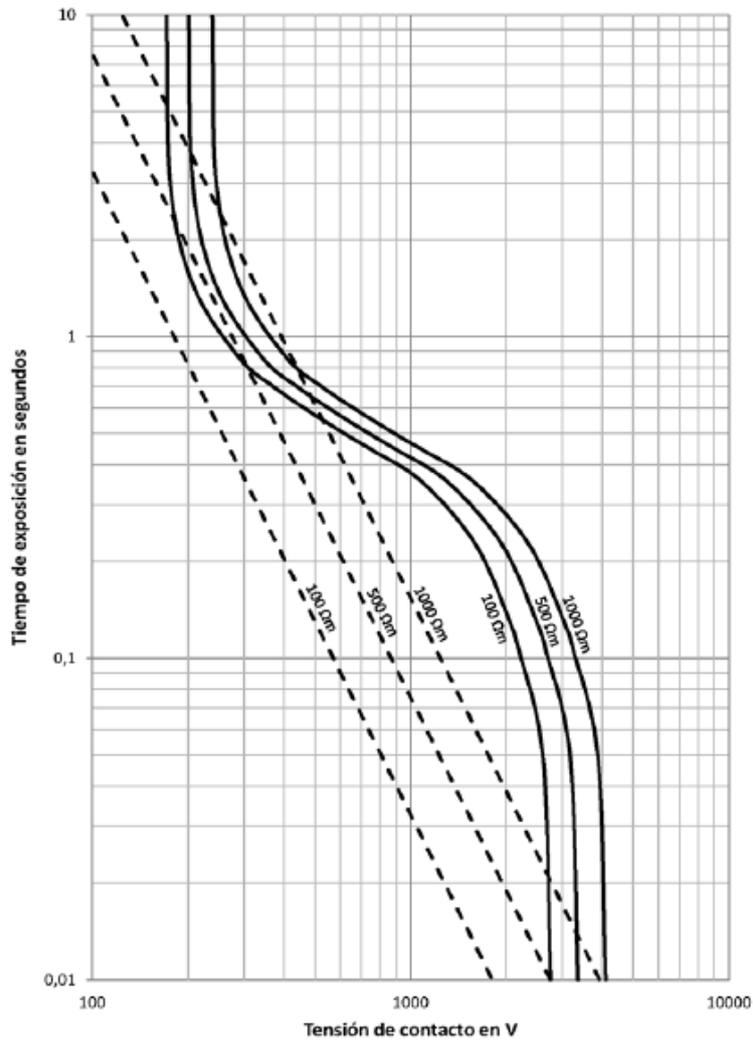
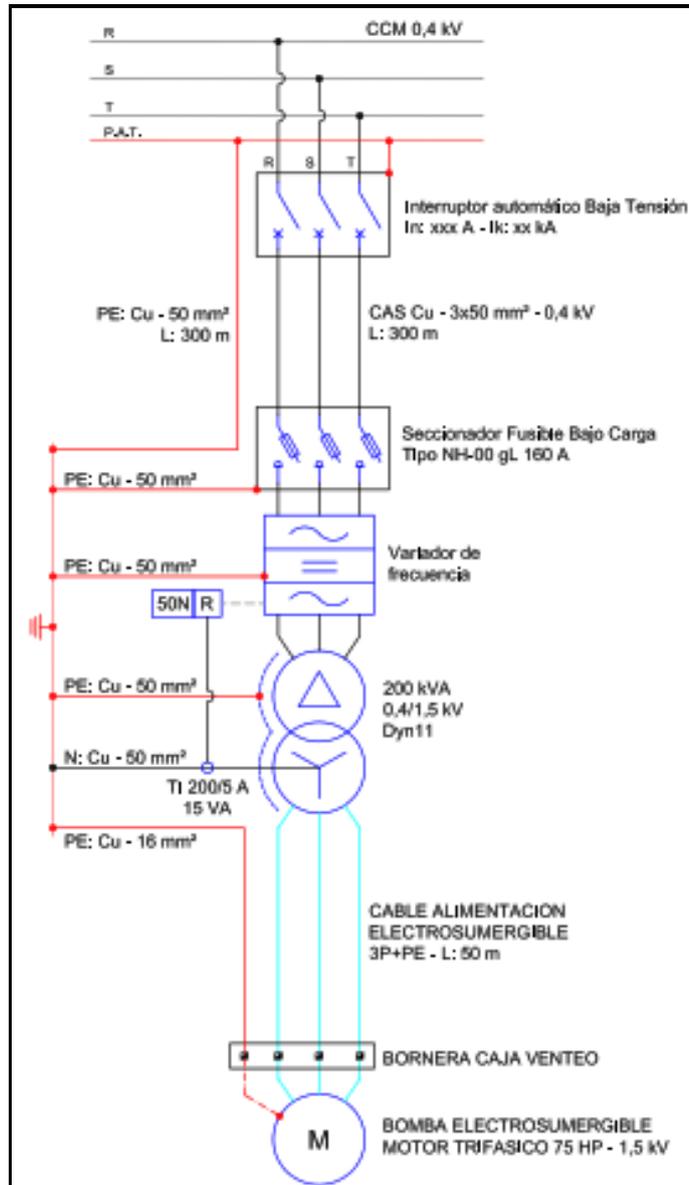


FIG. 22- Duración máxima admisible de la tensión de contacto en función de la resistividad del suelo en SET abiertas de AT calculada según la IEC (líneas llenas) comparada con la calculada según la IEEE (línea de trazos).

11.1. Ejemplo: Transformador con neutro aterrado –Esquema de PAT y protección



11.2. Ejemplo: Transformador con neutro aislado –Esquema de PAT y protección

