

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Francisco Javier Amórtegui Gil

Docente

Universidad Nacional de Colombia

Esta cartilla -que se publicará de manera digital - tiene por objeto presentar casos que se han identificado como confusos y que conducen a errores de diseño, fallas en el servicio y posibles accidentes y lesiones a la población, con motivo de dar claridad desde la teoría de circuitos y electromagnética y con ello dar elementos adicionales que permitan a técnicos, tecnólogos e ingenieros eliminar este tipo de errores y riesgos.

No es que no haya literatura técnica que respalde las diferentes situaciones pero que su aplicación se dificulta al no disponer de explicaciones suficientes al alcance de los profesionales de la electricidad para la interpretación de normas técnicas algunas veces no explicitas.

Esta tarea había sido solicitada por la Asociación de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de la Universidad Nacional de Colombia- AIEEUN- dada la cantidad de errores en la interpretación de las normas técnicas y especialmente del RETIE, también se había intentado por solicitud de asociaciones de técnicos electricistas como un manual de interpretación de RETIE (*Handbook de RETIE*) pero que por diferentes circunstancias no se había concretado su realización.

Puestas a Tierra en Distribución.

En el diseño, construcción y evaluación de los sistemas de puesta a tierra (SPT) en sistemas de distribución se han identificado una serie de interpretaciones erróneas que conducen a instalaciones eléctricas, costosas o inseguras. Algunos de estos errores se han debido a exigencias no claras de parte de los Operadores de Red (OR), la falta de detalle o explicación del RETIE y debilidades en la aplicación de los conceptos de circuitos eléctricos y de electromagnetismo en este tipo de proyectos. En esta presentación se van a analizar varias situaciones de puesta a tierra identificadas como confusas, peligrosas o muy costosas.

Los errores identificados en este tema se pueden resumir en tres:

1. Datos confusos del OR al diseñador respecto de la corriente de falla a tierra. Se entrega el valor de la corriente de falla, algunos dicen que se trabaje con el 60% de este valor. Otros entregan las impedancias como componentes de secuencia del circuito en el sitio, aunque no es claro el sitio de cálculo adonde corresponde (Dentro o fuera de S/E de potencia, en el sitio de conexión), tampoco es claro con que resistencia de puesta a tierra local se calculó la corriente de falla.

Los errores identificados... (Cont):

2. Los diseñadores atendiendo esta información no la adaptan a la situación ni recalculan los valores de corriente.
3. No se tiene en cuenta todo el circuito de puesta a tierra, al no considerar las puestas a tierra del neutro de BT, que pueden ser bastantes, en las zonas urbanas y muy críticas en las zonas rurales o el cable de guarda si este existe.

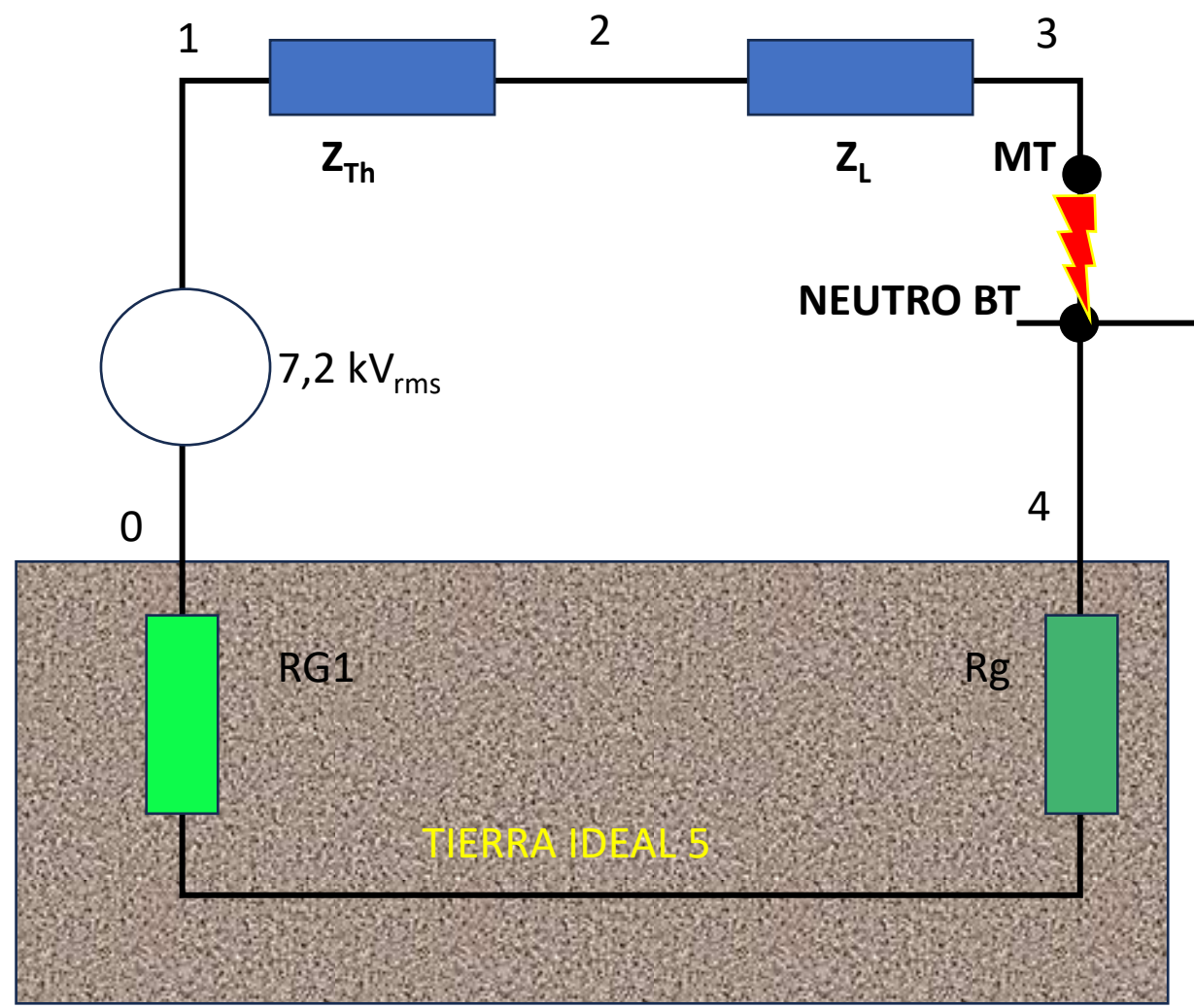
Los ejemplos mostrados a continuación recrean las diferentes situaciones.

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Puesta a Tierra

Ejemplo 1.a: Se requiere instalar un transformador de 112,5 kVA (13,2kV/208V) en zona urbana para 50 usuarios de una urbanización. Para el diseño de la puesta a tierra, atendiendo el requerimiento del RETIE, el OR da el dato de 8,3kA, la curva de operación de las protecciones y sugiere que se trabaje con el 60% de la corriente de falla. Con ajuste de sobrecorriente en 320 A inversa y de falla a tierra en 50 A muy inversa.

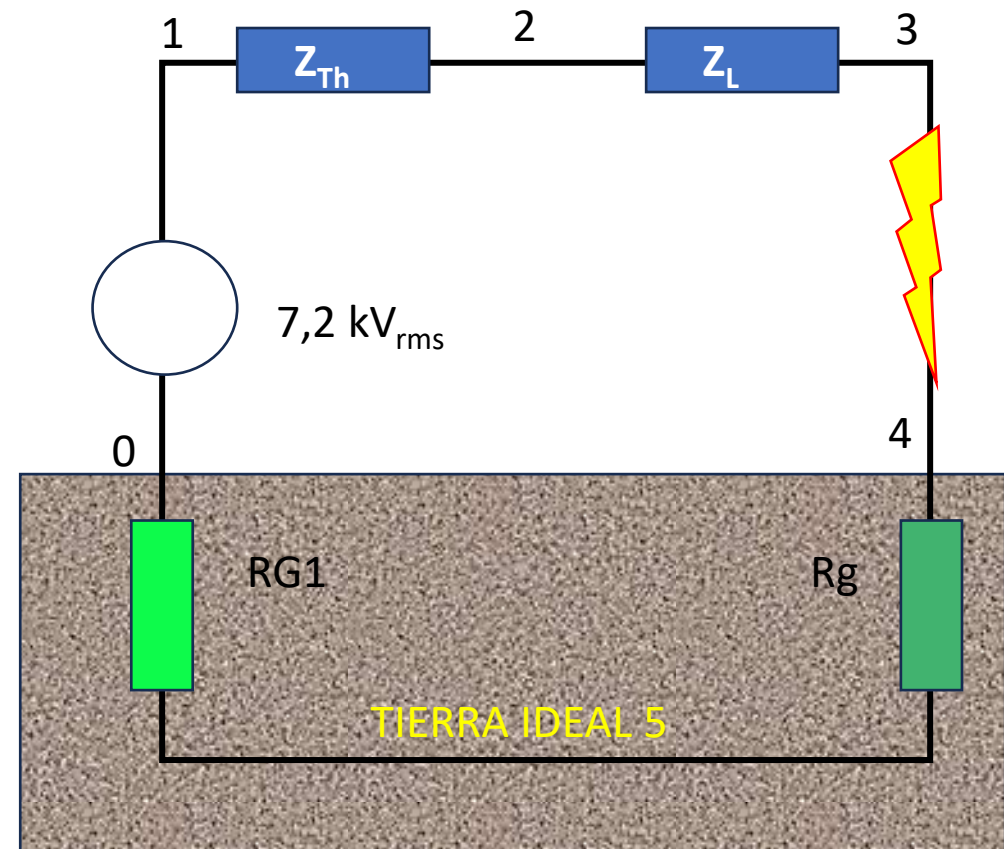


Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Puesta a Tierra

Ejemplo 1.a: El diseñador asume que la corriente de falla fue calculada en el punto de conexión (del 3 al 4 de la figura) y especifica una puesta a tierra razonable para el sitio de instalación, compuesta por cuatro varillas de 2,4m, 5/8" que en conjunto tienen una resistencia de puesta a tierra de 10Ω en un terreno de $100\Omega.m$.



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

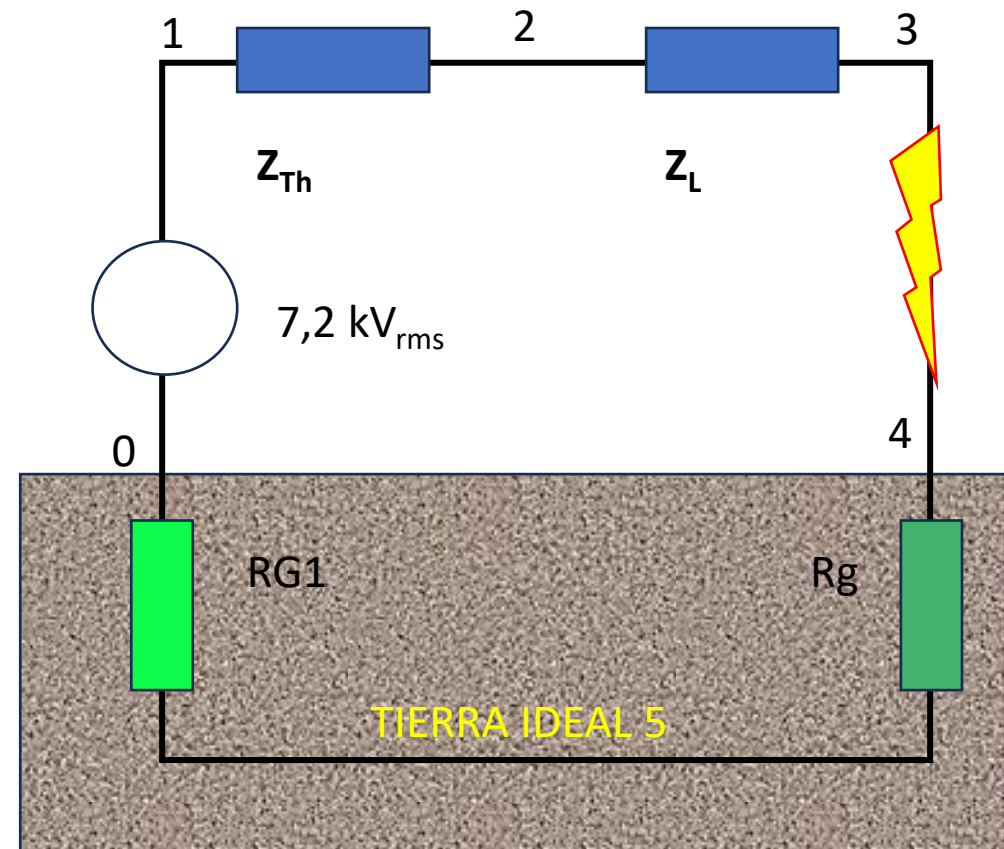
Puesta a Tierra

Ejemplo 1.a (Cont). Evalúa los potenciales de paso y contacto y le dan por encima del máximo admitido por el RETIE. Asume una capa superficial de grava de más de $3000\Omega\cdot m$ y logra una tensión aceptable.

Al suponer una corriente es $5kA$ (60% de $8,3kA$), el potencial de la puesta a tierra sería de:

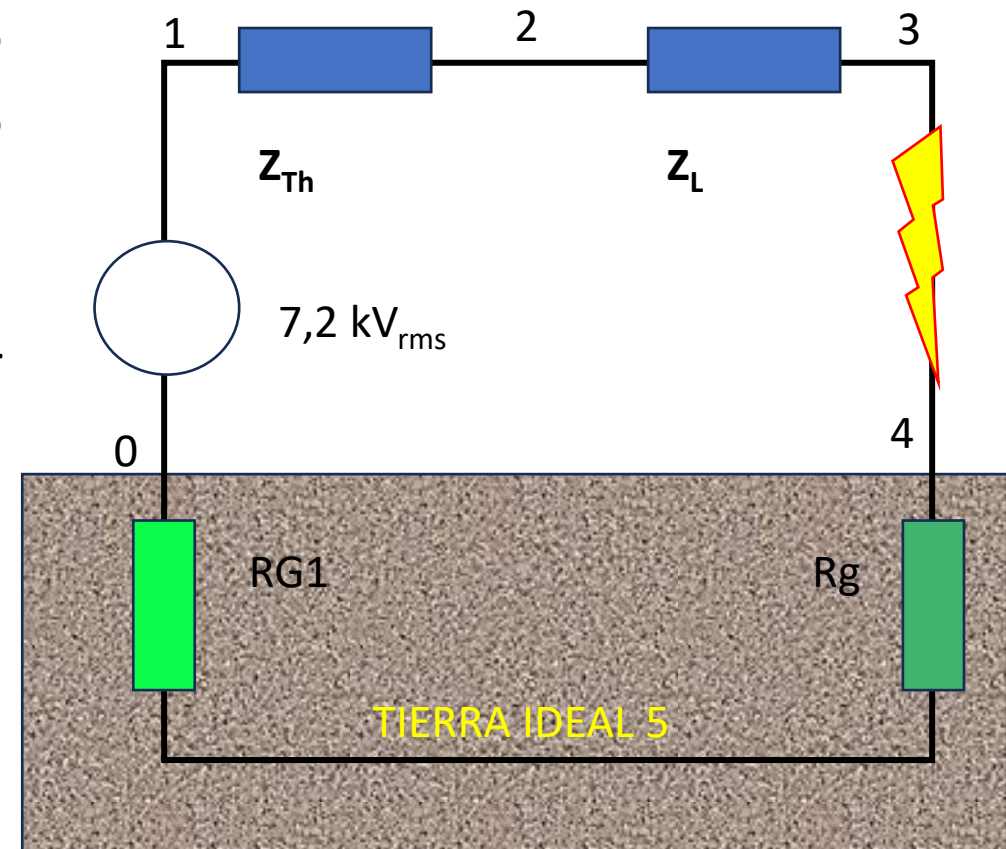
$$GPR = R_g * I_g = 10\Omega * 5kA = 50kV,$$

Esta tensión es imposible ya que el circuito RL se alimenta solo con una fuente de $7,62kV$ y se viola la teoría de circuitos, pero eso es siguiendo las recomendaciones de algunos OR.



Ejemplo 1.a (Cont).

La capa de grava difícilmente se instala y si se hace no dura mucho pues no se le hace mantenimiento como si se hace a las de subestaciones de potencia, dejando el sistema inseguro. Ahí se puede caer en una práctica nociva de algunos constructores al tener un SPT costoso e inviable en el sitio: Una cosa se diseña y otra se construye. Se apunta a garantizar lo que pide el inspector, que es la resistencia de puesta a tierra, a sabiendas que lo importante son los potenciales de paso y contacto.

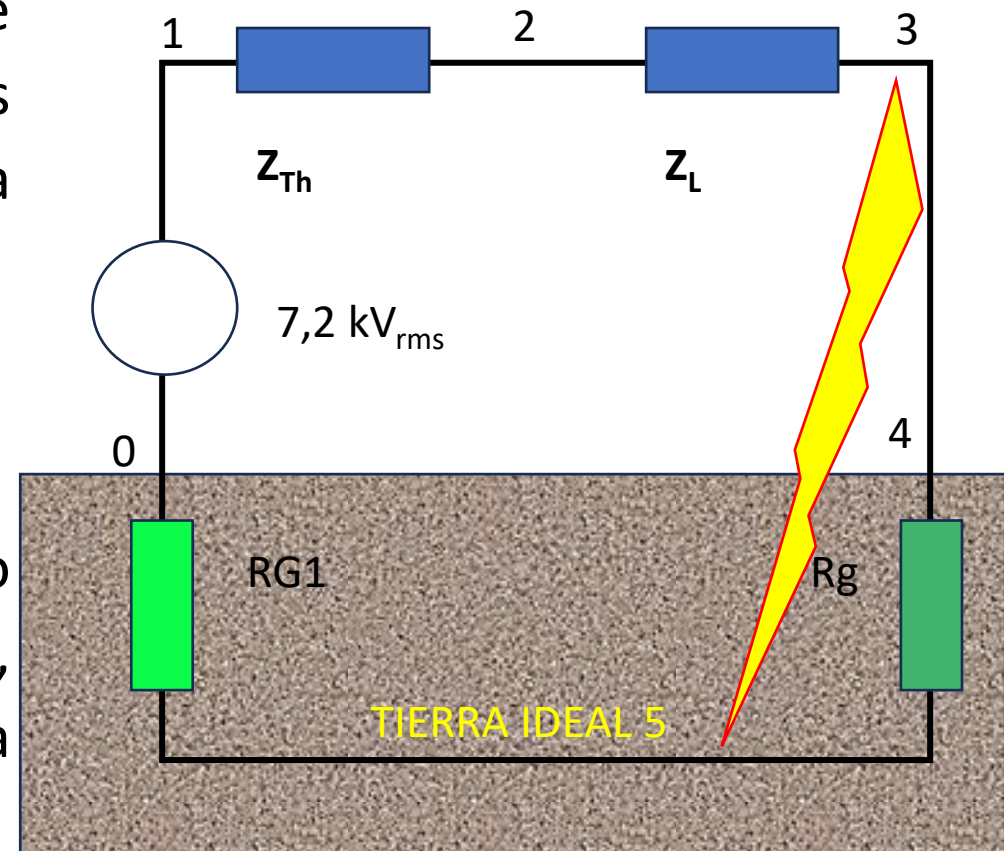


Ejemplo 1.b. El diseñador supone que la corriente dada corresponde a la del equivalente Norton en el punto de conexión de 3 a 5 (tierra ideal), no tiene en cuenta las puestas a tierra del neutro de BT. Calcula la resistencia Thevenin y la corriente de falla así:

$$R_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{cc}} = \frac{7,62kV}{5kA} = 1,52\Omega \rightarrow I_g = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_g} = \frac{7,62kV}{1,52\Omega + 10\Omega} = 724 A$$

$$\text{Con } V_g = 724 A * 10 \Omega = 7240V$$

Este valor de tensión de malla es muy alto y 724A no disparan tan rápido la protección de sobrecorriente, aunque como hay protección de falla a tierra esta dispara en instantáneo.



Ejemplo 1.b.

Para poder convivir con ese GPR se requeriría de una malla muy grande o nuevamente especificar la grava, que en la práctica mantendría el sistema inseguro.

En estos cálculos se cometieron dos errores.

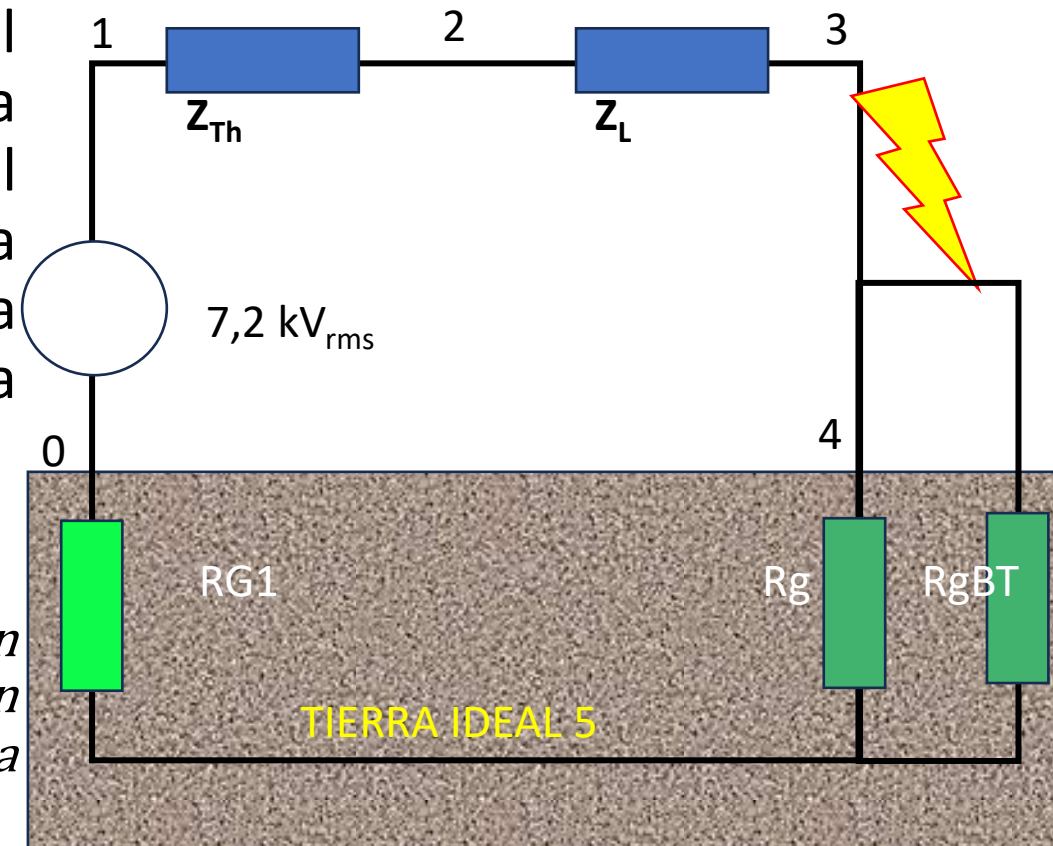
1. No considerar las puestas a tierra del neutro de baja tensión (el RETIE lo permite).
2. Suponer que la corriente dada por el OR no tenía una componente inductiva, que al considerarla sube la corriente y el GPR.

Razón por la que se debe insistir al OR que entregue el valor de la corriente como un fasor o la impedancia Thevenin como un complejo o completo en componentes simétricas en el sitio de conexión del cliente.

Ejemplo 1.c) El diseñador supone que la corriente dada corresponde a la del equivalente Norton en el punto de conexión de 3 a 5 (tierra ideal), considera las puestas a tierra del neutro de BT y al no recibir el ángulo de la corriente, lo estima con base en la literatura, tomando un ángulo de 60. Calcula la resistencia de Puesta a Tierra, la impedancia Thevenin y la corriente de falla de 3 a 4 así:

$$Z_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{cc}} = \frac{7,2kV}{5kA \angle -60} = 1,44\Omega \angle 60 = 0,72\Omega + j1,24\Omega$$

La resistencia a tierra del neutro con 50 casas, 20 uniones en los postes con una resistencia de 20 Ω cada una y todas en paralelo con un factor de seguridad de 2 por resistencia mutua.



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

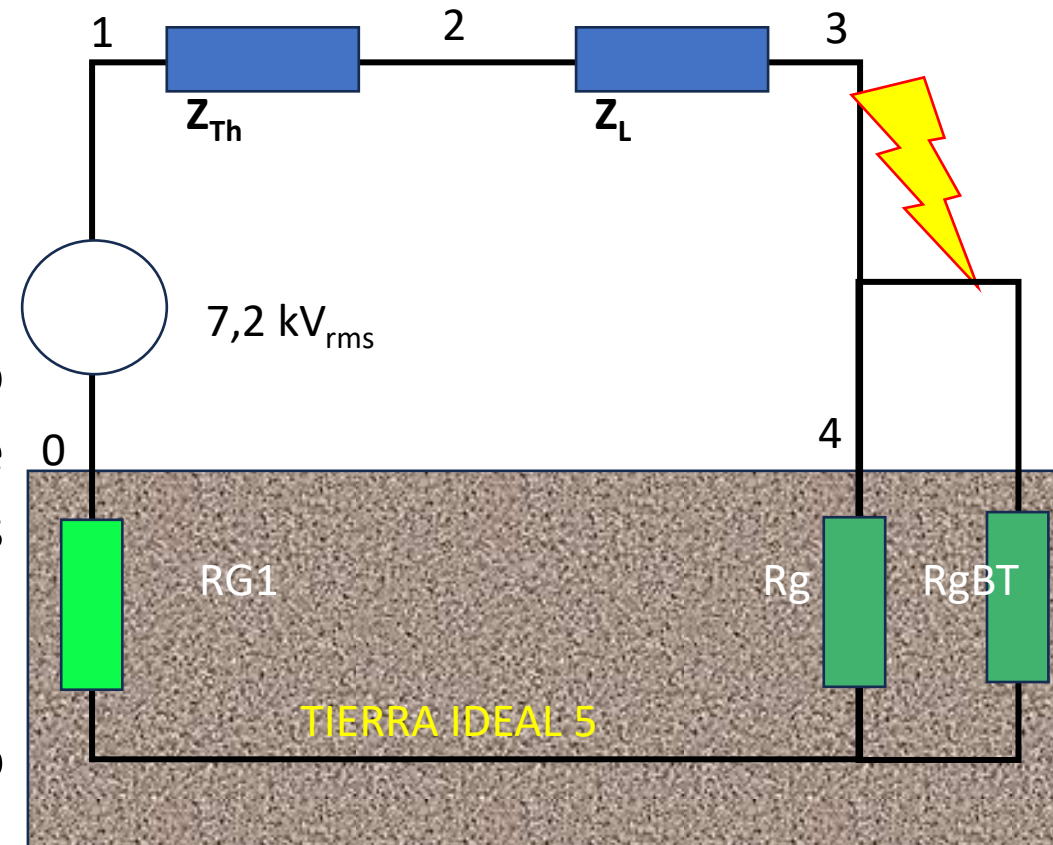
Puesta a Tierra

$$R_{gBT} = (20 \Omega / 70) * 2 = 0,6 \Omega$$

$$I_g = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_g} = \frac{7,2kV}{(0,72\Omega + j1,24) + 0,6\Omega} = 3980 A \rightarrow$$

$$V_g = 3980A * 0,6\Omega = 2388 V$$

Este valor es menor que la mitad del caso donde no consideraron las puestas a tierra del neutro y de todas las casas. Este valor sigue pareciendo alto y es necesario un análisis más detallado por la distribución del potencial en el suelo que logra la cantidad de puestas a tierra conectadas al mismo punto.

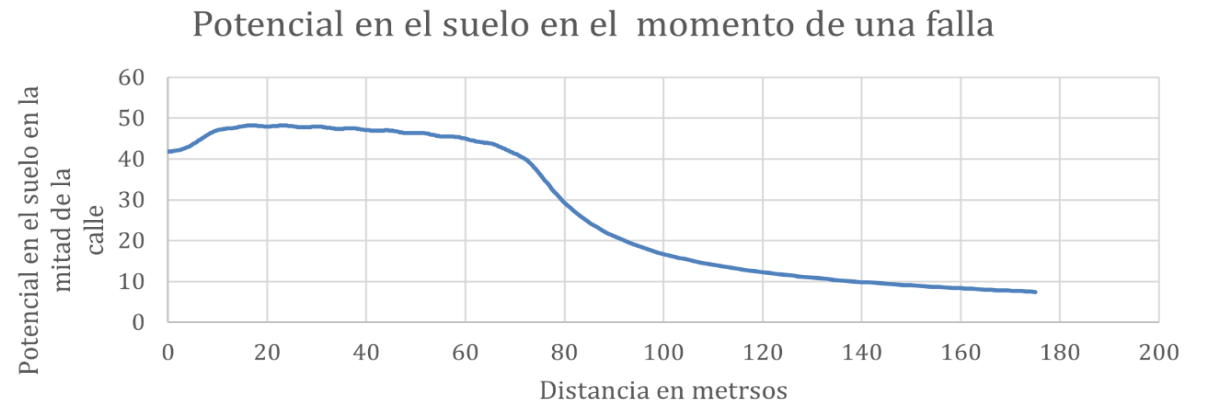
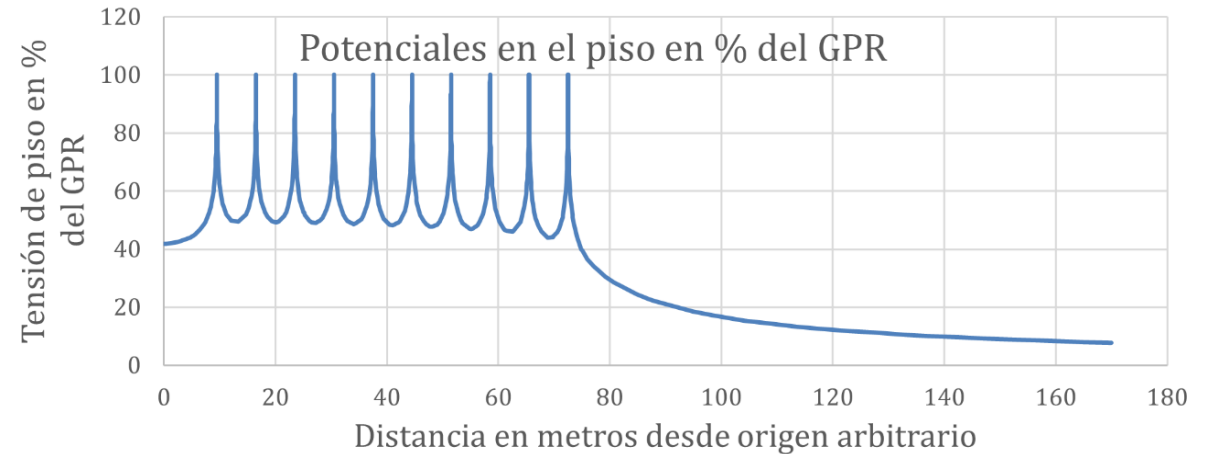


Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Puesta a Tierra

La cantidad de puestas a tierra en la cuadra alimentada por el transformador eleva el potencial del piso al 50% (figura de arriba potencial alrededor de las varillas y abajo en la mitad de la calzada) de la tensión de malla por lo que en el piso solo toca distribuir el otro 50%, es decir 1190 V. ya se pueden distribuir con la malla. Adicionalmente, una corriente de 3980A dispara las protecciones en instantáneo, lo que permite valores más altos de potenciales de paso y contacto .



Haciendo un análisis de seguridad de los tres casos, el primero y segundo que parecían inseguros, afortunadamente también tienen en paralelo las resistencias de SPT de todos neutros conectados a tierra en los postes y de las casas, pero el cálculo equivocado no permite optimizar adecuadamente la malla del transformador.

Es de anotar que el RETIE también exige la conexión de la estructura de concreto reforzado, de la casa, al SPT: Esta conexión bajaría apreciablemente la resistencia del SPT a menos de la tercera parte y por tanto también la bajaría la tensión, aunque no en la misma proporción pues aún tendría una impedancia Thevenin del mismo orden de magnitud. Adicionalmente la tensión se distribuye en una “malla” más grande y más densa, disminuyendo los potenciales esta vez de toda la manzana, volviéndola una zona segura contra choque eléctrico dentro y fuera de las viviendas. Esta última sería la manera adecuada de resolver el problema, pero es necesario que los inspectores y operadores de red lo vean con ese punto de vista.

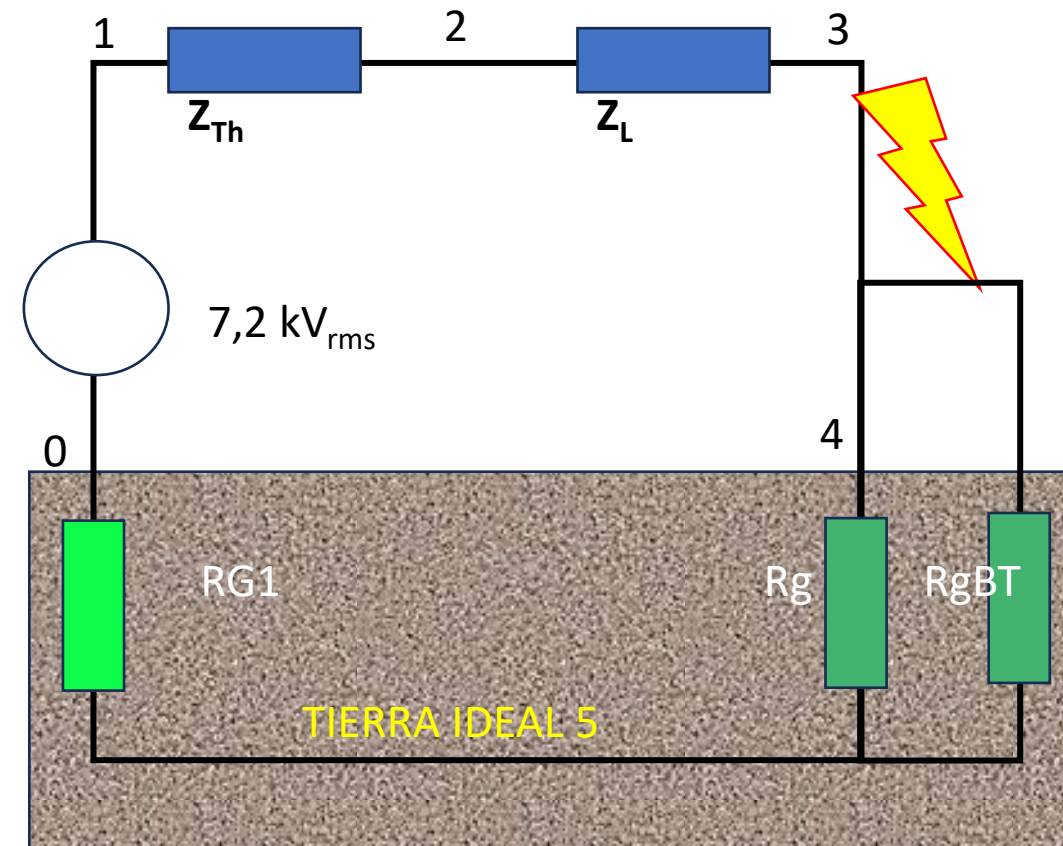
Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Puesta a Tierra

Ejemplo 2. Un transformador de 10 kVA de 13200V a 240V/120V para una zona rural alimenta 4 casas, las características del circuito son similares a la del caso anterior excepto en que la corriente de falla es de solo de 3 kA (Su 60% es de 1,8 kA).

El circuito que alimenta este transformador tiene protección de sobrecorriente ajustada en 100 A con curva inversa y de falla a tierra ajustada en 50 A con curva muy inversa.



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Puesta a Tierra

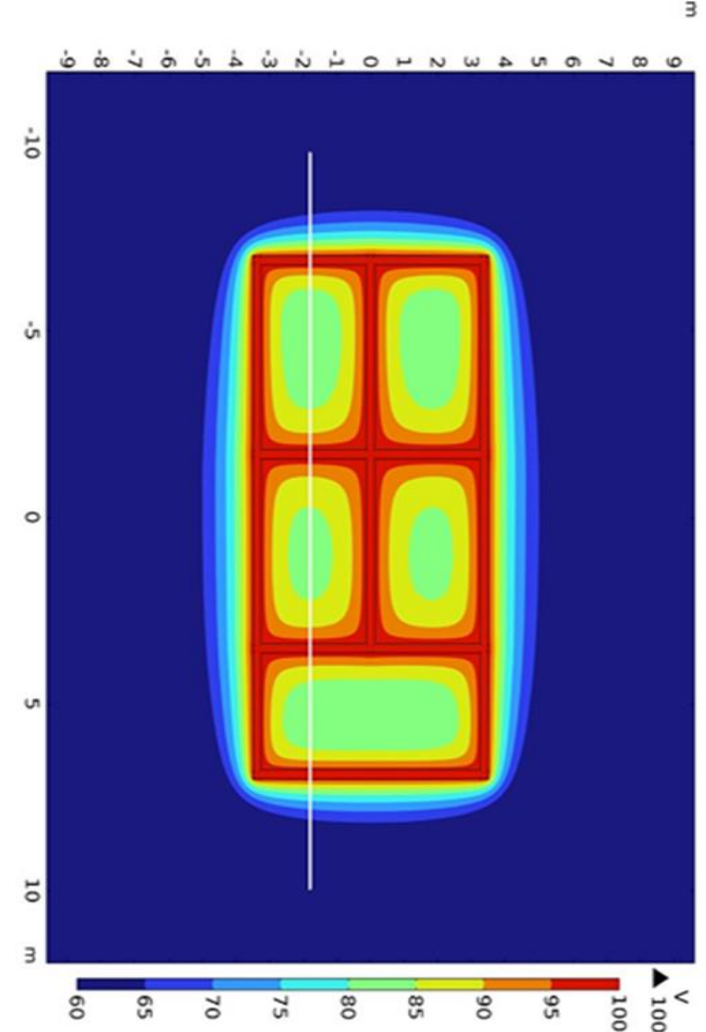
Ejemplo 2. (Cont) Utilizando divisor de tensión

$$Z_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{cc}} = \frac{7,2kV}{5kA \angle -60} = 1,44\Omega \angle 60 = 0,72\Omega + j1,24\Omega$$

$$V_g = \frac{V_{Th} * R_g}{Z_{Th} + R_g} = \frac{7200V * 2,5\Omega}{(0,72\Omega + 2,5\Omega) + j1,24\Omega} = 5220V \angle 20$$

Este valor es especialmente alto, una manera de bajarlo de parte del diseñador es con una malla de gran tamaño, que seguramente es inviable.

En este caso es **indispensable** unir el SPT con la estructura metálica del edificio, la figura de la derecha (construida con el MEF) muestra que los potenciales bajan al 20% con una casa de cimientos básicos, en el interior de la casa, pero siguen siendo altos afuera. El caso de una sola casa es muy crítico y es necesario reforzar todas las seguridades.



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

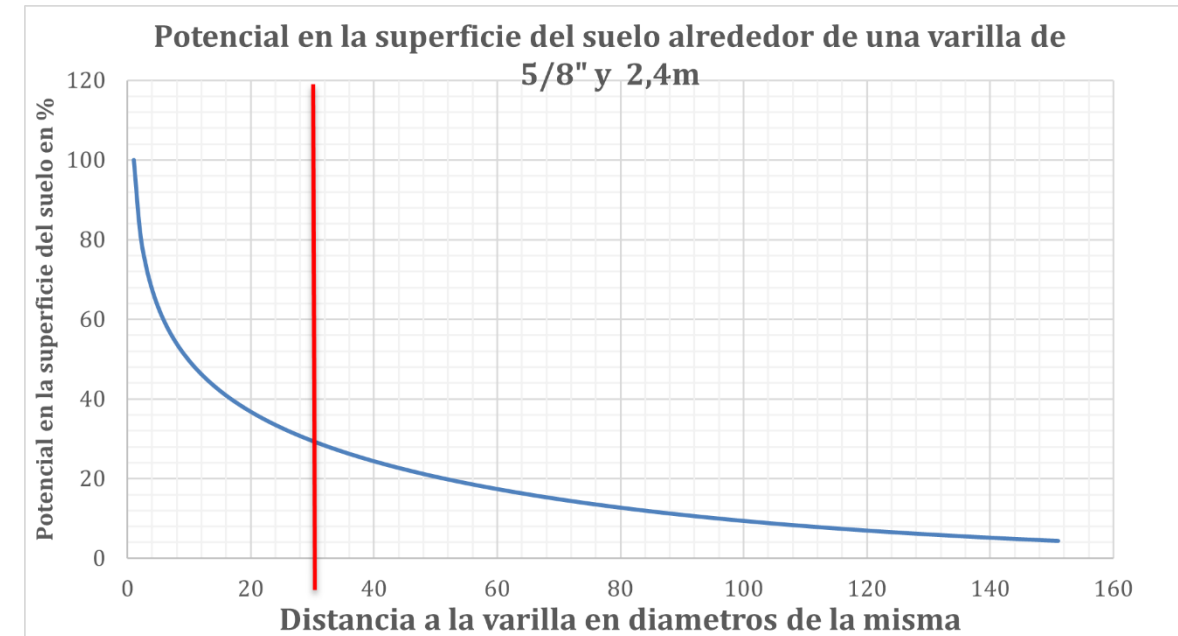
Puesta a Tierra

Ejemplo 3. Se va a energizar una casa rural que no tiene cimientos de concreto reforzado, con un transformador de poste de 13200V/240/120 V, con una potencia de 5 kVA. La corriente de falla del circuito en el sitio de instalación a diseñar es de 3kA con ángulo de 60 grados y la casa tiene una puesta a tierra de 20Ω , con una sola varilla (ver figura), que con la del poste de 10Ω , resultan en una de 7Ω .

$$Z_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{cc}} = \frac{7,2kV}{5kA \angle -60} = 1,44\Omega \angle 60 = 0,72\Omega + j1,24\Omega$$

Utilizando la división de tensión, se tiene:

$$V_g = \frac{V_{Th} * R_g}{Z_{Th} + R_g} = \frac{7200V * 7\Omega}{(0,72\Omega + j1,24) + 7\Omega} = 6450V \angle 9$$

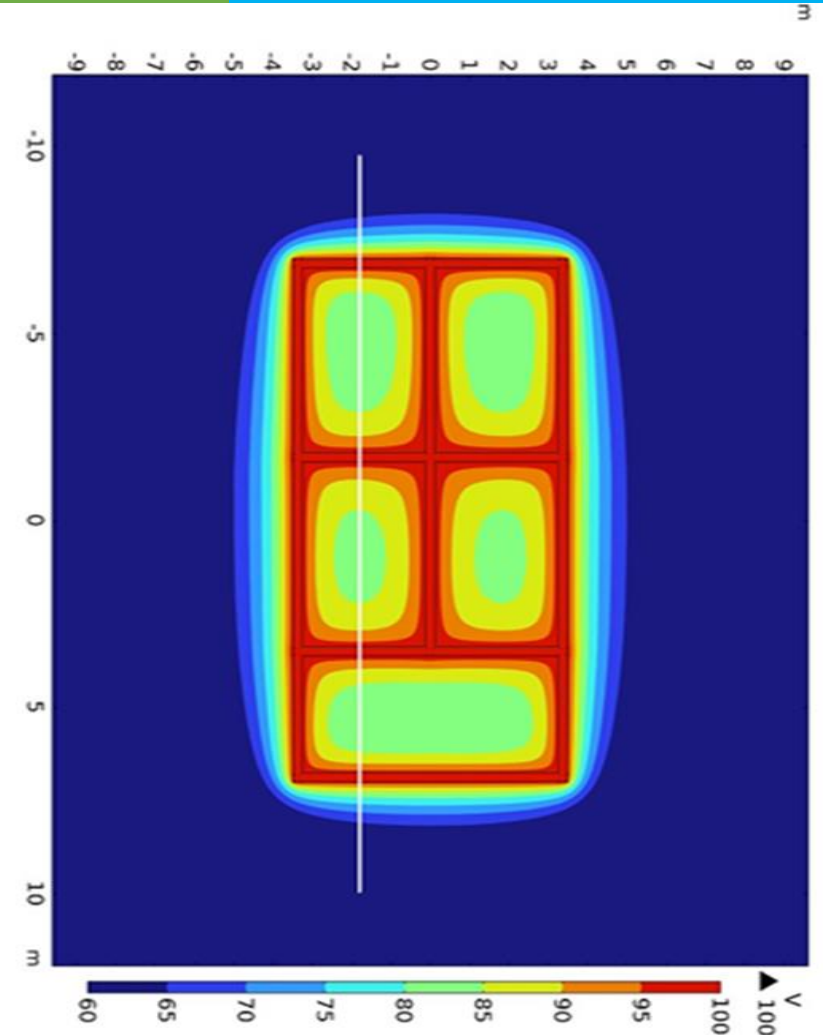


Una varilla solo eleva el potencial en su entorno cercano, la línea roja, a 50 cm de la varilla, está a una tensión de solo el 29% de el de la varilla.

Ejemplo 3. (Cont.)

Como la varilla no eleva el potencial del piso, prácticamente todos los equipos cuyo chasis esté conectado a la puesta a tierra, se elevarían con respecto al piso a una tensión de 6450V insoportables para una persona y justamente en las zonas donde la gente permanece descalza.

Este caso reviste tal gravedad que debe ser **diseñada y construida** alrededor de la vivienda (y de ser posible en su interior para simular eléctricamente los cimientos) una malla de puesta a tierra que logre llevar los potenciales a valores soportables. Paradójicamente a una casa de este estilo es a la que menos atención y calidad se les pone a las instalaciones eléctricas.



Sistemas de distribución en media tensión de Un solo Hilo.

Con el ánimo de disminuir los costos de los sistemas de distribución de energía y poder llevarla “más lejos”, especialmente en los sectores rurales, se han construido en Colombia y en otras partes del mundo distribución primaria con un solo hilo, la fase, el otro terminal se saca de la puesta a tierra. En principio esto funciona adecuadamente y con una eficiencia aceptable. El problema identificado es el incremento en los riesgos de tipo eléctrico para las personas que utilizan este tipo de sistema por diferentes motivos que se presentan en Colombia:

- Informalidad en las instalaciones eléctricas
- Robo de conductores de puesta a tierra
- No cumplimiento de requisitos de seguridad exigidos en las instalaciones eléctricas.
- Diseños de puesta a tierra no adecuados a esta situación.

El sistema consiste en tener transformadores de potencia trifásicos con secundario en estrella y con el neutro sólidamente conectado a tierra. Los circuitos de distribución se llevan desde la S/E hasta los transformadores MT/BT con un solo hilo (la fase) a los diferentes sectores geográficos con población. No tienen cable de guarda o si no este serviría de neutro y retornaría buena parte de la corriente por él.

El retorno de la corriente de la carga a la fuente se hace por la puesta a tierra, tanto la de la carga -transformadores de distribución- como la de la fuente de alimentación –el transformador de potencia-. Estas aplicaciones se pueden hacer por las bajas corrientes de los circuitos primarios en este tipo de cargas rurales aisladas, no soportan cargas importantes de tipo industrial o agropecuario.

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

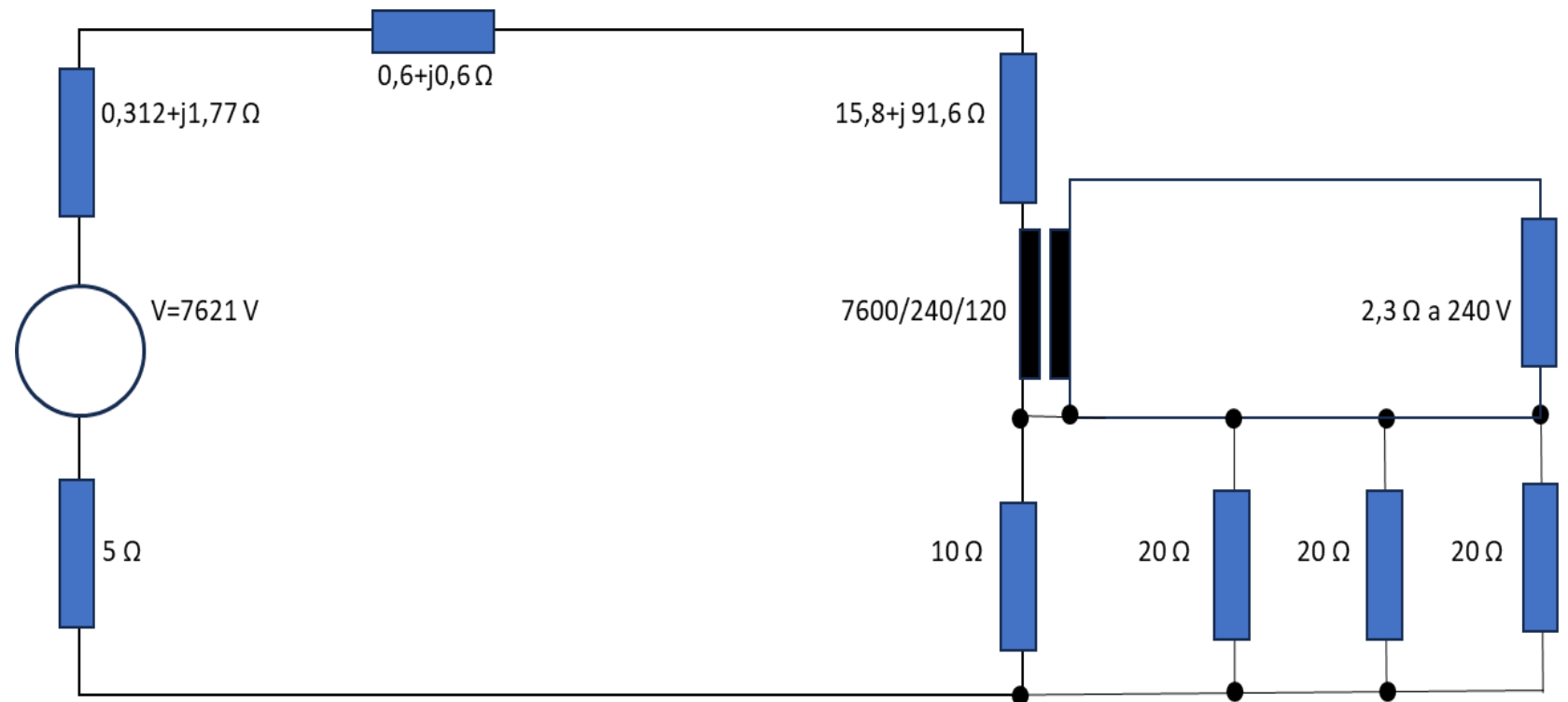
De un solo hilo

El circuito equivalente del sistema es como se muestra en la figura.

Transformador de potencia trifásico con $S=4,5$ MVA
Tensión 34,5kV/13,2 kV/7,6kV
 $Z_{cc}=4,7\%$ y f_p del 17%

Un kilómetro de línea a 8 metros de altura.

Transformador de distribución monofásico con $S=25$ kVA
Tensión 7,6 kV/240V/120V
 $I_{np}=3,3$ A
 $Z_{cc}=4\%$ y $f_p=17\%$



En operación normal y a plena carga tendría una corriente de 3,3 A que una resistencia de puesta a tierra de 5Ω tendría una tensión en esta de 16,5 Voltios, que estaría en todos los chasis de los equipos conectados a la puesta a tierra, lo que de por si no es peligroso, pero si molesto, tocar la nevera y sentir cosquillas.

Razón por la cual esta potencia de 25kVA puede ser alta para esta aplicación, si fuera de 5 kVA la tensión de operación normal sería de 3,2V, que es más aceptable, especialmente si el piso, en virtud de la puesta a tierra, está a un porcentaje alto de este valor.

El riesgo de este sistema es similar al de los demás, pues la probabilidad de una falla a tierra en el en poste del transformador es relativamente baja, solo una falla en el transformador podría ocasionarla, las sobretensiones por rayos estarían limitadas por el descargador y las fallas en otros postes de MT no tendrían conexión con el neutro de BT, especialmente si con un transformador se alimenta a un solo usuario.

El riesgo mayor de este tipo de sistema de distribución es que la corriente de carga en BT reflejada al primario y por tanto los cortocircuitos en BT, que implican un incremento apreciable en la corriente por la tierra y una tensión elevada en la puesta tierra y por tanto en todos los chasis de los equipos eléctricos con partes conductoras accesibles.

La ocurrencia de cortocircuitos en baja tensión es más común y por tanto el riesgo se incrementa.

En caso de un cortocircuito en BT quedaría en el circuito primario la impedancia de cortocircuito del transformador (4% de $Z_{base} = 93\Omega$ fuertemente inductivo) que limitaría la corriente a tierra a 78 A y la tensión en la puesta a tierra equivalente de 5Ω a 390 V, esta tensión es muy elevada pues con un suelo de $150\Omega m$ con la ecuación de IEEE-80 le tocaría a la persona una tensión de 300V que de acuerdo con RETIE (tabla 15,1) debería despejarse en menos de 150ms desde el fusible de MT que con una corriente de 8 veces la nominal podría fundir en un tiempo entre 150 y 200ms, sin tener en cuenta el tiempo de apagado del arco. Lo que implica que es muy crítico para la población.

Análisis del riesgo:

Los cálculos se hicieron con una resistencia de puesta a tierra equivalente en el transformador de 5Ω , si esta fuera de 10 la tensión se sube a cerca del doble (768 V), porque la corriente casi no varía ya que la impedancia de corto de transformador es elevada e inductiva. Mantener esta resistencia en niveles bajos es muy complicado si no se revisan periódicamente y se garantiza que estén integras y no han sido deteriorada ni vandalizadas.

Aquí como en el caso de fallas de MT a tierra analizado en el aparte “puesta a tierra” es **indispensable** garantizar que la estructura metálica del cimiento este conectada al SPT y si no existe construir una malla que mitigue las tensiones y los lleve a valores tolerables.

Otra situación peligrosa es instalar un fusible de mayor corriente de la requerida porque no hay más o porque alguien lo cambio por un alambre luego de haberse reventado.

En la página siguiente se muestra un caso **gravísimo** que fue necesario hacerlo corregir inmediatamente por el OR y que su análisis aclara algunos de los riesgos vistos.

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

De un solo hilo

Descripción del caso:

Una instalación de una casa en la costa caribe alimentada por un transformador exclusivo y de un solo hilo (Existiendo las tres fases en el poste).

La puesta a tierra del transformador estaba reventada, no se veían signo de vandalismo, es decir la única conexión a tierra era la de la casa para MT y BT, estaba como muestra la fotografía conectada desde el contador al suelo con un alambre de cobre calibre 14 AWG que bajaba por la pared e iba al jardín por encima de un andén de cemento.



No es necesario evaluar el circuito si el cable se revienta al barrer y lo que hubiera sucedido.

Ferrorresonancia en Transformadores de Potencial.

El caso de las sobretensiones por resonancia en transformadores de potencial en Media Tensión, que se instalan en línea viva, fue otro que se consideró confuso y peligroso -en varias ocasiones fue consultado por la industria ante eventos de explosiones que pudieron ser graves, además de lo didáctico que es su explicación para invitar al análisis de los casos desde el punto de vista del circuito equivalente y los campos electromagnéticos.

El evento: Un transformador de potencial (TP) se explotó cuando se estaba conectando en un sistema de MT en línea viva, ya habían tenido un caso parecido meses atrás, explotó cuando solo se le había conectado uno de los terminales. Al transformador se le habían realizado previamente las pruebas de tensión aplicada y de aislamiento don DC.

Luego del análisis preliminar donde se vieron las siguientes posibilidades:

- Falla del aislamiento a tierra: Se descartó por la prueba de aislamiento previa y a la de tensión aplicada.
- Falla entre espiras. Se descartó porque aún no había sido conectado sino un solo lado, y no había tensión inducida.
- Ferrorresonancia: Se intentó descartar porque no había sido conectado a cables largos, solo tenía las colas de menos de un metro.

Se analizó y se vio la posibilidad de la ferrorresonancia.

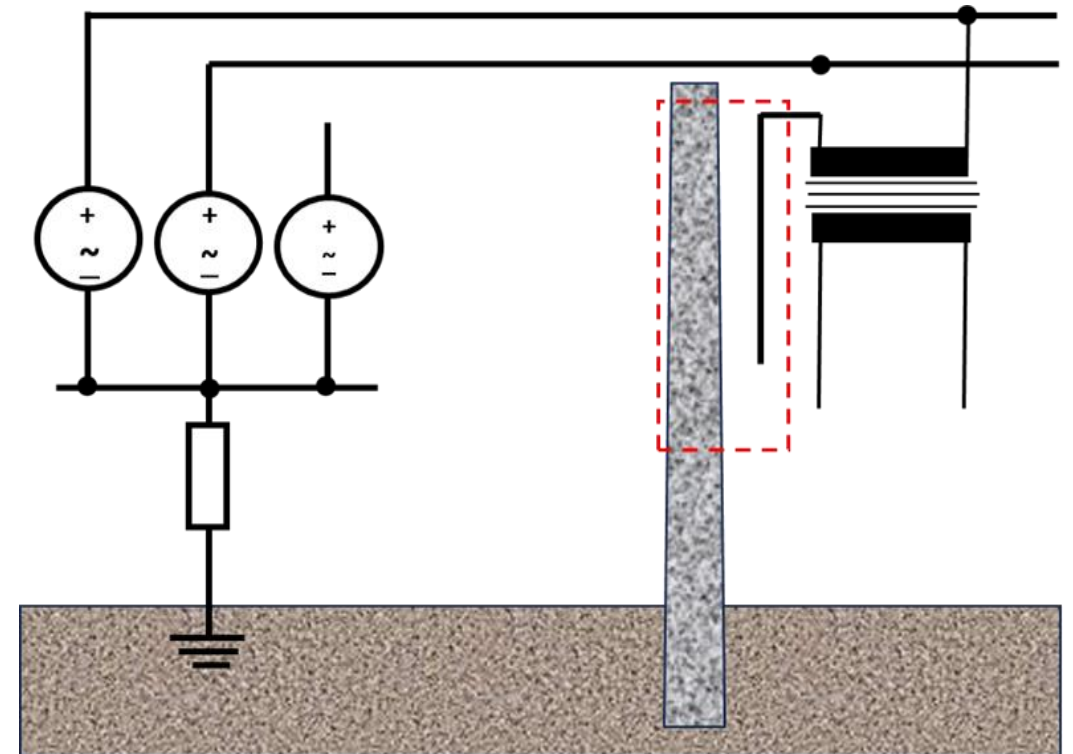
Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Ferrorresonancia

Para que haya Ferrorresonancia se requiere que un condensador quede en serie con el devanado del transformador, que los dos tengan impedancias de similar magnitud. El único condensador que estaba en serie era el formado por el cable del transformador -que no se había conectado- y la tierra junto con la persona que lo estaba conectando. La figura muestra:

- La fuente: un transformador de potencia trifásico con neutro sólidamente conectado a tierra y la resistencia del SPT.
- El TP que se instalaba.
- El poste como parte de la puesta a tierra.
- El Cable colgando



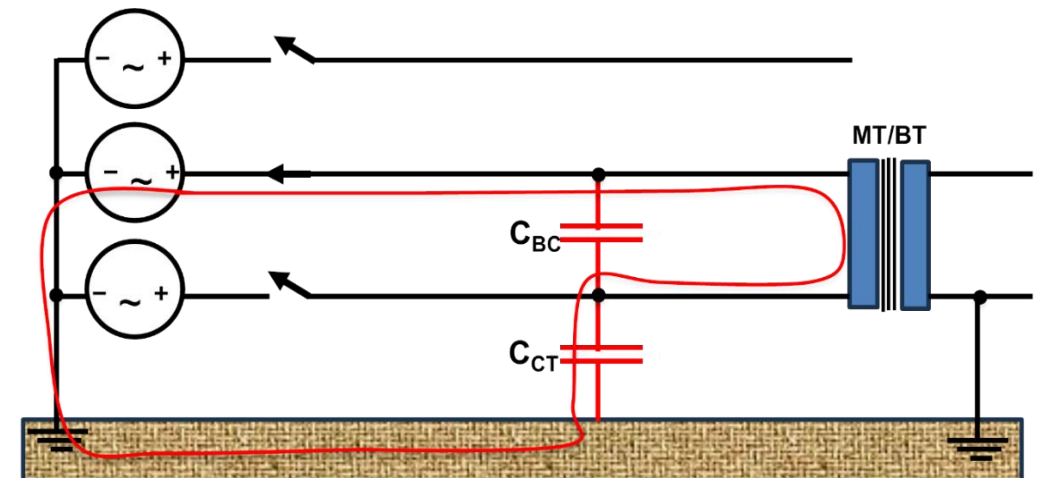
Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Ferrorresonancia

La ferrorresonancia en transformadores de potencia ocurre cuando el transformador de distribución con muy baja carga o en vacío queda, por la desconexión de una o dos fases, en serie con un condensador formado por el cable suelto y la tierra (suelo o pantalla en cables subterráneos) como muestra la figura.

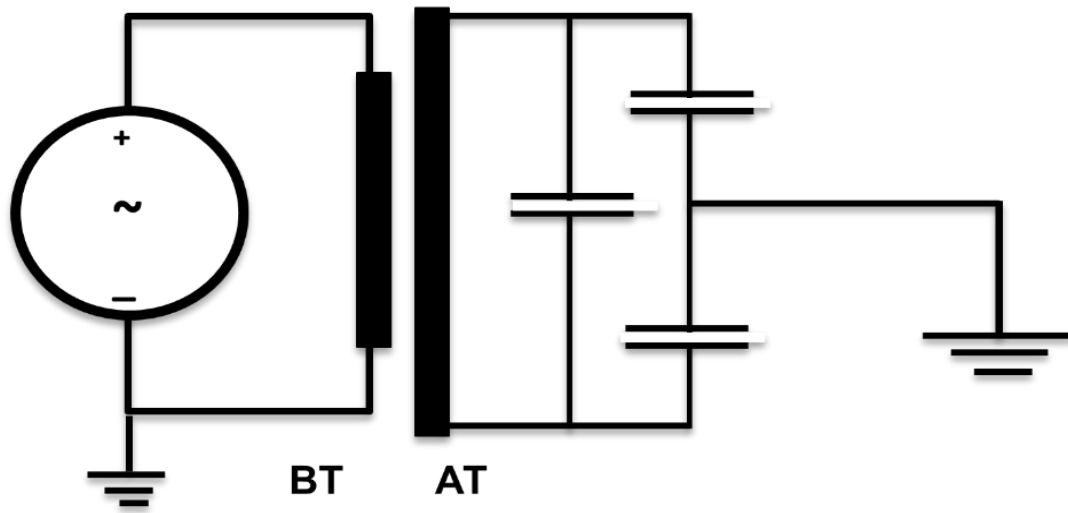
Si las magnitudes de las impedancias del cable y la de vacío del transformador son similares como una es inductiva y la otra capacitiva, la total es la resta de las dos, originando un incremento en la tensión que puede ser destructiva para cables, transformador o descargadores de sobretensión conectados al transformador. La línea roja muestra el camino de la corriente que hace que queden en serie. El condensador entre fases afecta y puede cambiar la impedancia.



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Ferrorresonancia



S=	25 VA
Vp=	13200 V _{LL-RMS}
Vs=	120 V _{RMS}
F=	60 Hz
Io=	10% In
In=	1,89 mA
Io=	0,19 mA
Zo=	69.696.000 Ω
	69,7 MΩ

Un equivalente del TP simplificado se muestra en la figura (no se consideran capacitores entre espiras ni entre capas) las capacidades entre los devanados de AT a BT se asimilaron como si fueran a tierra, dado que solo se trabajará con 60 Hz y no alta frecuencia.

La impedancia de vacío del TP se obtiene a partir de la corriente nominal, y la de vacío un porcentaje bajo de esta, esta estimación inicial resulta en:

$Z_o = 70 \text{ M}\Omega$, Un cable con una impedancia similar sería de unos 37 pF.

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

Distribución

Ferrorresonancia

Un condensador de 37 pF, utilizando la ecuación:

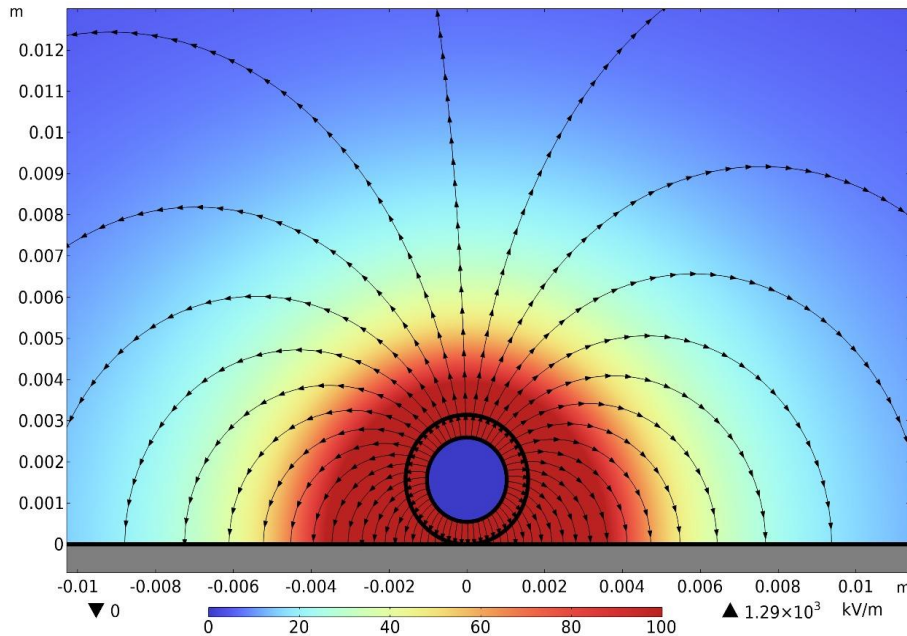
$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right)}$$

Siendo:

- C , la capacidad de un cable a un plano por unidad de longitud
- h , la separación entre en cable y el plano de tierra (20 cm),
- r , el radio del conductor (3mm) y
- ϵ , la permitividad del medio (10 pF/m, la del aire)

Da un valor de 13 pF/m y si estuviera a 1 cm seria de 30pF/m.

La imagen muestra las líneas de campo de un cable, aislado, tirado encima de un plano conductor, tiene una capacitancia de 100 pF/m, con permitividad relativa de 3



Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

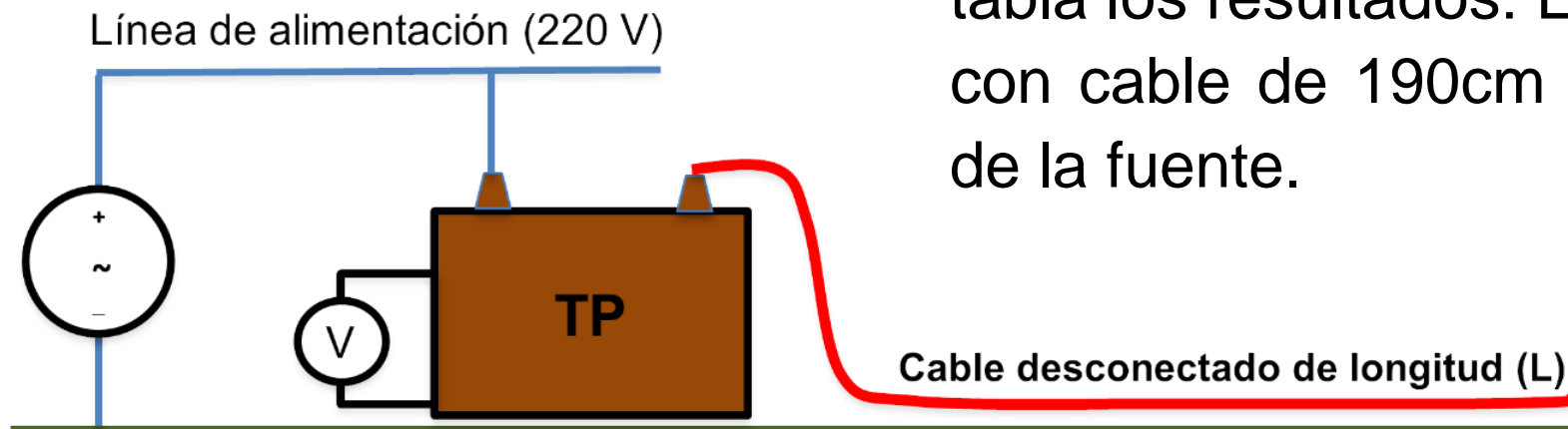
Distribución

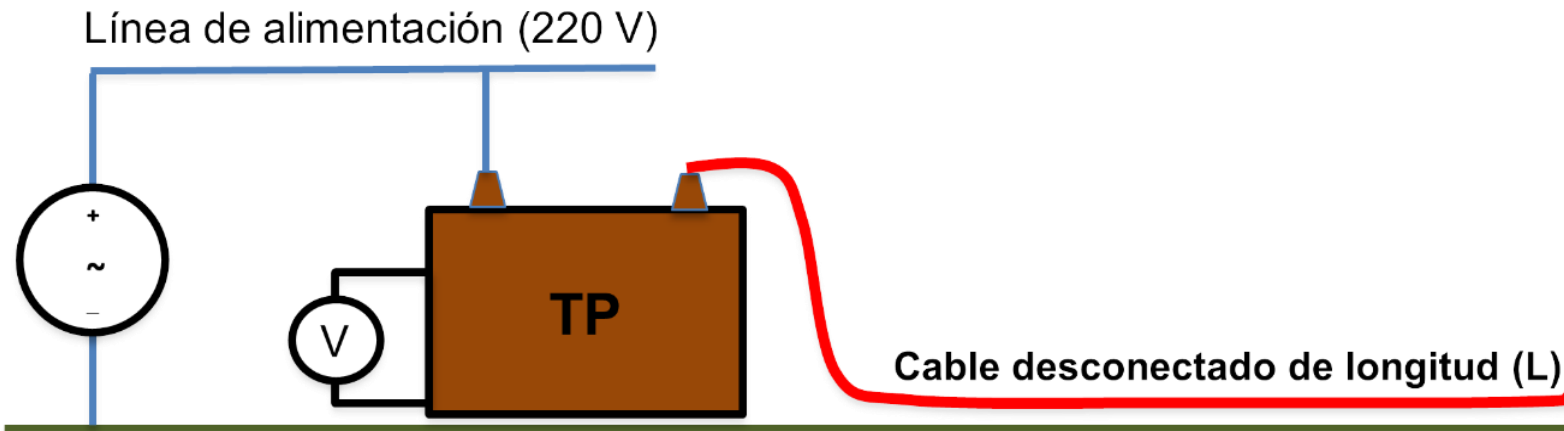
Ferrorresonancia

Tensión inducida en secundario para diferentes longitudes de cable suelto. Alimentación: 220V, RT=110

Longitud L [cm]	30	110	190	170
Tensión BT [V]	0,284	2,6	2,9	2,8
Tensión AT [V]	31,2	286	319	308
Tensión %	14	130	145	140

Se concluye que sí es posible tener una capacidad cuya impedancia sea la necesaria para que el TP entre en resonancia con un cable suelto, para corroborar se hizo una prueba experimental en la que se recreó la situación. La figura muestra la situación y la tabla los resultados: La máxima tensión se logró con cable de 190cm y fue solo de 145% de la de la fuente.





En la bibliografía consultada se encontraron otros TP que el fp de la impedancia de corto era mucho más bajo, más inductivo y con menos amortiguamiento que presentaría sobretensiones mucho mayores que las aquí obtenidas. Se recomienda tenerlos en cuenta para utilizar las medidas mitigantes que se consideren adecuadas.

Como evitar la situación.

Como se encontró que con el procedimiento seguido la ferrorresonancia es posible, una manera de evitar la sobretensión mantener, mientras se conecta el transformador mantenerlo con una carga en secundario del orden del 20% del *burden* del TP. Se puede con una resistencia de:

$$R = \frac{5 * V_{BT}^2}{S}$$

Siendo

V_{BT} es valor de la tensión en secundario en voltios.

S la potencia del TP en VA (*burden*) y

R es la resistencia en Ohmios (de potencia adecuada).

No se recomienda de mayor carga pues la temperatura podría ser un problema.

Errores comunes en proyectos de Ingeniería eléctrica

FIN