

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.68

(02/2006)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

**Gestión de la interferencia electromagnética
ocasionada en los sistemas de
telecomunicaciones por los sistemas de
alimentación eléctrica**

Recomendación UIT-T K.68

Recomendación UIT-T K.68

Gestión de la interferencia electromagnética ocasionada en los sistemas de telecomunicaciones por los sistemas de alimentación eléctrica

Resumen

Esta Recomendación trata sobre la gestión de la interferencia electromagnética (e.m., *electromagnetic*) ocasionada en los sistemas de telecomunicaciones por los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica y por los sistemas de tracción eléctrica.

En esta Recomendación se define el procedimiento para evaluar la aceptabilidad de una interferencia e.m. y se indican:

- los criterios mediante los cuales se definen las situaciones de interferencia que se han de tener en cuenta;
- las tensiones que se admiten a efectos de interferencia;
- las condiciones de instalación de los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, de tracción eléctrica y de telecomunicaciones, que corresponden a las distintas tensiones admisibles cuando hay gestión de interferencia.

Orígenes

La Recomendación UIT-T K.68 fue aprobada el 13 de febrero de 2006 por la Comisión de Estudio 5 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Palabras clave

Daño, funcionamiento incorrecto, inmunidad, interferencia causada por la frecuencia de la red de energía eléctrica, peligro, perturbación, resistibilidad, ruido, seguridad.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2006

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias normativas.....	2
3 Definiciones.....	3
4 Procedimiento de evaluación de la interferencia e.m.	8
4.1 Consideraciones generales.....	8
4.2 Marco de interferencia.....	9
4.3 Recolección de información eléctrica de las plantas inductoras	10
4.4 Evaluación de los resultados de la interferencia y conformidad con las tensiones de referencia	10
5 Situaciones de interferencia a tener en cuenta	11
5.1 Tipos de acoplamiento que se deben considerar	11
5.2 Distancia de influencia de referencia	13
6 Tensiones de referencia	20
6.1 Criterios para la definición de la aceptabilidad de las tensiones de referencia	20
6.2 Tensiones que constituyen un peligro: Límites.....	20
6.3 Tensiones que provocan daños.....	22
6.4 Tensiones de inmunidad	23
6.5 Tensión de ruido: Límite	23
7 Condiciones de interferencia de referencia.....	23
7.1 Consideraciones generales.....	23
7.2 Condiciones relativas a la planta inductora.....	24
7.3 Condiciones relativas a la planta de telecomunicaciones.....	28
8 Conformidad con las tensiones de referencia	28
8.1 Consideraciones generales.....	28
8.2 Superposición de efectos	29
8.3 Comprobación de la conformidad mediante cálculos	29
8.4 Comprobación de la conformidad a través de mediciones.....	29
9 Gestión de interferencia.....	30
9.1 Consideraciones generales.....	30
9.2 Vida útil de la planta.....	30
9.3 Intercambio de información	30
9.4 Documentación de la planta	30
Anexo A – Método de evaluación de la distancia de referencia de influencia	31
A.1 Acoplamiento inductivo	31
A.2 Acoplamiento conductivo.....	36
Apéndice I – Factores de ponderación para el cálculo de la tensión sofométrica ponderada..	43

	Página
Apéndice II – Valores de las magnitudes de las que depende la distancia de influencia de referencia en el acoplamiento inductivo	45
II.1 Valores de referencia	45
II.2 Valores de los parámetros para el cálculo de la RID: acoplamiento inductivo	53
II.3 Valores de los parámetros para el cálculo de la RID: acoplamiento conductivo	55
Apéndice III – Pasos a seguir para establecer los valores de la RID ocasionados por líneas de distribución o de tracción eléctricas con c.a.	56

Introducción

Las Directrices (*Directrices sobre la protección de las líneas de telecomunicaciones contra los efectos perjudiciales de las líneas de energía y de las líneas ferroviarias electrificadas*) son los documentos de referencia en lo que toca a la interferencia electromagnética ocasionada en los sistemas de telecomunicaciones por los sistemas de alimentación eléctrica. Las Directrices (edición de 1989) se dividen en nueve volúmenes, cada uno de los cuales trata sobre una parte de dicho tema. Conviene utilizarlas de la siguiente manera:

- Para obtener información general sobre instalaciones de telecomunicaciones, de transmisión y distribución de energía eléctrica y de líneas ferroviarias electrificadas, y sobre los efectos de acoplamiento entre ellas, consúltese el Volumen I.
- Para obtener información más detallada acerca de las tensiones y corrientes inductoras en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica o en líneas ferroviarias electrificadas, consúltese el Volumen IV (líneas ferroviarias) o el Volumen V (sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica).
- Para entender la teoría físico-matemática de la interferencia e.m. y disponer de los métodos de cálculo correspondientes, con varios niveles de precisión y detalle, consúltense los Volúmenes II y III.
- Para entender los efectos de las tensiones y corrientes inducidas, es decir su peligro y capacidad de perturbación, y los valores extremos recomendados, consúltese el Volumen VI.
- Para obtener recomendaciones acerca de los componentes o dispositivos de protección, consúltese el Volumen VIII.
- Para obtener información sobre los equipos y métodos pertinentes de prueba y medición, consúltese el Volumen IX.

NOTA – El contenido de las Directrices es el resultado de un acuerdo formal entre la UIT, la CIGRE y la UIC.

Desde su primera edición (1952), las Directrices son la referencia obligada en todo el mundo en materia de interferencia e.m. y se emplean para establecer normas regionales o nacionales, incluso tratándose de temas que no son idénticos a los considerados en las Directrices pero que están muy relacionados con éstas, por ejemplo la interferencia e.m. producida en tuberías o estructuras metálicas por sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica o líneas ferroviarias electrificadas.

Cuando se redactaron las Directrices había pocas actividades que producían o soportaban interferencia e.m. En algunos países ya se habían liberalizado las telecomunicaciones, la energía y el transporte, pero en la mayoría existía solamente una empresa de telecomunicaciones, una de energía y una de ferrocarriles. La solución de los problemas de interferencia e.m. era entonces un asunto que competía a unos cuantos especialistas y revestía el carácter de estudio científico. Actualmente, el número de partes interesadas es mucho mayor y la solución de dichos problemas debe considerarse como una parte integrante del proceso de diseño, en el que se debe disponer de la información pertinente y contar con las partes involucradas.

En las Directrices hay bastante información útil de carácter tanto científico como práctico para fines de diseño. Por eso es necesario orientar en su uso a las empresas, que serán especialmente las pequeñas, cuando tengan que enfrentarse por primera vez al problema de la interferencia e.m.

De hecho, las Directrices no responden a las siguientes preguntas:

- 1) ¿quién es responsable de la interferencia e.m.?
- 2) ¿cuándo se ha de evaluar la interferencia e.m.?
- 3) ¿cómo se debe efectuar dicha evaluación?

En la Rec. UIT-T K.53 se definieron las responsabilidades en lo que concierne a la interferencia e.m. (pregunta 1 anterior).

La presente Recomendación trata sobre la gestión de la interferencia e.m. (preguntas 1 y 2), en particular se propone definir:

- la distancia máxima entre las plantas consideradas, para la evaluación de la interferencia e.m.;
- las condiciones en dichas plantas (de instalación, de funcionamiento, de flujo de energía, etc.) de las que dependen las tensiones de referencia a tener en cuenta en la gestión de interferencia.

En esta Recomendación se tratan de una manera integral todos los aspectos de la gestión de la interferencia e.m.

Recomendación UIT-T K.68

Gestión de la interferencia electromagnética ocasionada en los sistemas de telecomunicaciones por los sistemas de alimentación eléctrica

1 Alcance

En esta Recomendación se suministran los criterios necesarios para definir los casos que se han de estudiar y las condiciones de instalación, tanto de las plantas de alimentación de energía como de las de telecomunicaciones, que corresponden a las tensiones con una gestión de la interferencia e.m. ocasionada en los sistemas de telecomunicaciones por los siguientes sistemas:

- de transmisión y distribución de energía eléctrica con corriente alterna (c.a.);
- de transmisión y distribución de energía eléctrica con corriente continua (c.c.);
- de tracción eléctrica con c.a.;
- de tracción eléctrica con c.c.;

teniendo en cuenta la interferencia e.m. producida por los siguientes mecanismos físicos:

- el acoplamiento inductivo;
- el acoplamiento conductivo;
- el acoplamiento capacitivo;

para varias condiciones de funcionamiento de los sistemas de alimentación eléctrica:

- normal;
- de avería;

y en el intervalo de frecuencias entre 0 Hz y 9 kHz.

Se consideran los casos de interferencia e.m. en distintas situaciones:

- valores que constituyen un peligro para los seres humanos;
- valores que pueden ocasionar un daño a los sistemas de telecomunicaciones;
- valores que pueden producir la perturbación a los sistemas de telecomunicaciones (funcionamiento incorrecto, ruido).

Esta Recomendación se aplica a todas las líneas de telecomunicaciones que contengan elementos metálicos. Se han de considerar los cables de fibras ópticas solamente cuando en ellos haya un conductor, un blindaje o una cubierta del cable que sean metálicos

El objetivo de esta Recomendación es establecer:

- el procedimiento de evaluación de la interferencia e.m. (cláusula 4);
- la distancia máxima entre las plantas de alimentación eléctrica y las de telecomunicaciones, con el fin de estudiar la interferencia e.m. entre ellas (cláusula 5);
- las condiciones de instalación (cláusula 7) de las plantas de alimentación eléctrica y de telecomunicaciones, en las que se han de evaluar los efectos de la interferencia e.m. (bien sea empleando los métodos de cálculo suministrados en los Volúmenes II o III de las Directrices, midiéndolos directamente, o a través de una combinación adecuada de ambos procedimientos) para verificar la conformidad (cláusula 8) de las tensiones inducidas en las líneas de telecomunicaciones con las tensiones de referencia adecuadas (cláusula 6);
- una vez más, que es necesario mantener una supervisión apropiada de la evolución de las características técnicas de las plantas que provocan o soportan interferencia e.m., con el fin de evitar que, como resultado de algún cambio en ellas, una interferencia e.m. aceptable se transforme en una inaceptable (cláusula 9).

Esta Recomendación se aplica siempre que una planta de telecomunicaciones, pública o privada, pueda verse afectada por una o varias plantas de alimentación eléctrica.

Esta Recomendación vale para las plantas nuevas de telecomunicaciones y de alimentación eléctrica, y también las existentes cuando se proponen modificaciones, por ejemplo cambios en el sistema de toma a tierra, en la configuración de línea, en la tensión de funcionamiento y en la corriente por avería (causados también por modificaciones en otras plantas conectadas a la planta en cuestión), que aumentarán significativamente los niveles actuales de interferencia e.m.

Esta Recomendación se debe utilizar para establecer los tipos de acoplamiento que se han de tener en cuenta para diversas condiciones de funcionamiento de los sistemas de alimentación eléctrica, y para comparar las tensiones inducidas previstas con las tensiones de referencia dadas en la cláusula 6.

Esta Recomendación no se aplica a la interferencia e.m. ocasionada por sistemas de transmisión y distribución eléctrica que funcionan con tensiones por debajo de 1 kV.

2 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [1] CEI 60050-161:1990, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility.*
- [2] Directrices del UIT-T (1989), *Directrices sobre la protección de las líneas de telecomunicaciones contra los efectos perjudiciales de las líneas de energía y de las líneas ferroviarias electrificadas, Volumen VI – Peligros y perturbaciones.*
- [3] Recomendación UIT-T K.10 (1996), *Interferencia de baja frecuencia debida a la asimetría con respecto a tierra de los equipos de telecomunicación.*
- [4] CEI 60050-448:1995, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 448: Power system protection.*
- [5] CEI/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.*
- [6] Directrices del UIT-T (1989), *Directrices sobre la protección de las líneas de telecomunicaciones contra los efectos perjudiciales de las líneas de energía y de las líneas ferroviarias electrificadas, Volumen II "Cálculo de las tensiones y corrientes inducidas en situaciones prácticas".*
- [7] Recomendación UIT-T K.57 (2003), *Medidas de protección aplicables a estaciones de base radioeléctricas ubicadas en torres de líneas de energía eléctrica.*
- [8] prEN 50122-1 (2005), *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and bonding – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing.*

- [9] Recomendación UIT-T K.33 (1996), *Límites para la seguridad de las personas en relación con el acoplamiento en el sistema de telecomunicaciones de instalaciones de energía eléctrica en c.a. y de instalaciones ferroviarias electrificadas en c.a. en condiciones de avería.*

3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

Se aplicará la definición de los documentos CEI 60050-161 y CEI 60050-448 cuando no se dé una definición en esta Recomendación.

3.1 sistema: Término genérico que comprende todos los elementos, partes y equipos de determinada tecnología conectados entre sí (de transmisión y distribución de energía eléctrica, de tracción eléctrica o de telecomunicaciones).

3.2 sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica con c.a.: Sistema eléctrico que funciona con corriente alterna (c.a.) y que se utiliza para la transmisión y distribución de energía.

NOTA – Se consideran como sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica con c.a. los sistemas eléctricos bifásicos que funcionan a 16 $\frac{2}{3}$ Hz dedicados a alimentar sistemas de tracción eléctrica con c.a., aun si los conductores del caso se han puesto en los mismos polos de las líneas de tracción.

3.3 sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica con c.c.: Sistema eléctrico que funciona con corriente continua (c.c.), que sirve para transmitir energía eléctrica de una subestación a otra.

NOTA – Estas subestaciones son, de hecho, estaciones rectificadoras c.a./c.c. e inversoras c.c./c.a.

3.4 sistema de tracción eléctrica con c.a.: Sistema eléctrico que funciona con corriente alterna (c.a.) y que se utiliza para el suministro de energía eléctrica desde subestaciones de tracción hacia equipos de trenes eléctricos: forman parte del sistema de tracción el trayecto de retorno, los conductores metálicos y/o el sistema de puesta a tierra.

3.5 sistema de tracción eléctrica con c.c.: Sistema eléctrico que funciona con corriente continua (c.c.) y que se utiliza para el suministro de energía eléctrica desde estaciones rectificadoras de tracción hacia equipos de trenes eléctricos: forman parte del sistema de tracción el trayecto de retorno, los conductores metálicos y/o el sistema de puesta a tierra.

3.6 sistema de alimentación eléctrica: Expresión general que abarca, en esta Recomendación, los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica y los de tracción eléctrica.

3.7 sistemas de telecomunicaciones alámbricas: Sistema que permite transmitir información entre dos o más puntos utilizando para ello enlaces físicos. En la presente Recomendación se tendrán en cuenta los sistemas alámbricos que tengan partes metálicas (por ejemplo, pares de alambres metálicos, blindajes metálicos, fibras ópticas reforzadas con metal, etc.: las fibras ópticas propiamente dichas no tienen que ver con los fenómenos físicos considerados en esta Recomendación).

3.8 planta: Parte de un sistema que provoca o soporta problemas de interferencia e.m. por una relación con una o varias plantas de otro sistema:

- puede ser una línea de transmisión de electricidad que conecta dos subestaciones o que va hacia una sola subestación (en cuyo caso es una planta de generación de energía eléctrica);
- puede ser una línea de tracción que conecta dos estaciones de trenes o que va hacia una estación de alimentación eléctrica (planta de generación de energía eléctrica);

- puede ser una línea de telecomunicaciones que conecta dos centrales o una central con varios usuarios mediante un solo cable que sale de la central y que se divide en los armarios en varias ramas (planta de telecomunicaciones).

3.9 funcionamiento normal: Cuando un sistema funciona sin averías. Se consideran como normales los problemas transitorios causados por la conexión/desconexión de sistemas de alimentación eléctrica.

3.10 condición de avería (en sistemas de alimentación eléctrica): Conexión accidental, por contacto directo, formación de un arco, etc. entre un conductor cargado y la tierra o cualquier otro objeto metálico (avería en paralelo), o una desconexión inesperada o ruptura de conductores por los que circula corriente (incluido el trayecto de retorno en sistemas de tracción), es decir una avería en serie.

También se consideran condición de avería los casos de cortocircuitos entre cualesquiera dos fases o una fase desconectada ("una fase desactivada").

3.11 duración de avería: Tiempo durante el cual persiste una condición de avería.

NOTA – La duración de una avería en paralelo (o por derivación) viene dada por el tiempo de reparación de la avería, esto es, por el intervalo de tiempo que transcurre entre el inicio de la avería y su reparación [4].

3.12 duración de avería de referencia: Tiempo máximo de interrupción de corriente en el disyuntor, o los disyuntores correspondientes, necesario para suprimir una corriente por avería cuando la protección funciona correctamente. Si se han de considerar también las averías a tierra de gran impedancia, la duración de avería de referencia viene dada por el máximo tiempo necesario para eliminar por lo menos 65% del total de averías a tierra [4].

NOTA – Por funcionamiento correcto de la protección se entiende el inicio como estaba previsto de una señal de supresión y de otras instrucciones provenientes de un sistema de protección, como respuesta a una avería del sistema de alimentación eléctrica u otra anomalía en éste, y la activación del disyuntor o los disyuntores del caso.

3.13 interferencia e.m.: Fenómeno electromagnético (circunscrito a los tres tipos de acoplamiento electromagnético mencionados) que puede producir una planta de energía eléctrica en una planta de telecomunicaciones cercana, con posibles efectos de peligro, daño o perturbaciones.

3.14 inductora: Adjetivo que se aplica a la planta que produce la interferencia e.m. y las magnitudes pertinentes (línea inductora, corriente inductora, tensión inductora, etc.).

3.15 inducida: Adjetivo que se aplica a la planta afectada por la interferencia e.m. y las magnitudes pertinentes (línea inducida, corriente inducida, tensión inducida, etc.).

3.16 acoplamiento inductivo: Fenómeno en el que el campo magnético producido por una línea de corriente (conductor o conductores inductores) afecta otra línea (conductor o conductores inducidos), y que viene dado por la impedancia mutua entre dos conductores cuyo retorno a tierra es el mismo. La corriente transportada por la línea inductora es la corriente inductora.

3.17 acoplamiento capacitivo: Fenómeno en el que el campo eléctrico producido por una línea de tensión (conductor o conductores inductores) afecta otra línea (conductor o conductores inducidos), y que viene dado por los coeficientes de capacidad entre los conductores y entre cada conductor y tierra. La tensión transportada por la línea inductora es la tensión inductora.

3.18 acoplamiento conductivo: Fenómeno en el que la corriente que fluye desde una estructura conductora (conductor o conductores inductores) hacia tierra afecta otra estructura conductora (conductor o conductores inducidos), y que viene dado por la conductancia entre dichos conductores (estructuras). La corriente que fluye del conductor inductor a tierra es la corriente inductora.

3.19 peligro: Efecto de la interferencia que constituye un riesgo para una persona en contacto con la planta de telecomunicaciones inducida.

3.20 daño: Efecto de la interferencia que degrada permanentemente la calidad de servicio ofrecida por la planta de telecomunicaciones inducida.

NOTA – Cuando desaparece la interferencia e.m., el daño persiste. Es necesaria una intervención para repararlo.

3.21 perturbación: Efecto de la interferencia que produce ruido o funcionamiento incorrecto de la planta de telecomunicaciones inducida.

NOTA – Cuando desaparece la interferencia e.m., también desaparece la perturbación. No requiere intervención para repararla.

3.22 ruido: Tipo de perturbación que provoca una reducción de la calidad de un servicio vocal ofrecido por la planta de telecomunicaciones inducida.

3.23 funcionamiento incorrecto: Tipo de perturbación de equipos instalados junto a una planta de telecomunicaciones inducida, que impide que los equipos inicien o mantengan alguna función prevista por el fabricante, o provoca emisiones por encima de los límites de compatibilidad electromagnética previstos en su diseño.

3.24 distancia de influencia: Distancia desde una planta de alimentación eléctrica a partir de la cual un acoplamiento inductivo, capacitivo, conductivo o una combinación de éstos pueden provocar interferencias en una planta de telecomunicaciones.

NOTA – En teoría, esta distancia tiende a infinito: en efecto, cuanto mayor sea, menor será el efecto de interferencia.

3.25 distancia de influencia de referencia: La distancia máxima a una planta de alimentación eléctrica para la que hay que considerar una posible situación de interferencia.

NOTA – En la práctica, no es necesario considerar en esta Recomendación distancias mayores que la de influencia de referencia.

3.26 longitud inducida: Proyección de una línea de telecomunicaciones sobre una de energía o de tracción electrificada, que abarca todos los puntos de la línea de telecomunicaciones que se encuentran dentro de la distancia de influencia de referencia de la de energía (véase la figura 1).

NOTA – Se debe estudiar la interferencia en toda la línea siempre que una parte de ésta, o toda, esté dentro de la zona expuesta a interferencia.

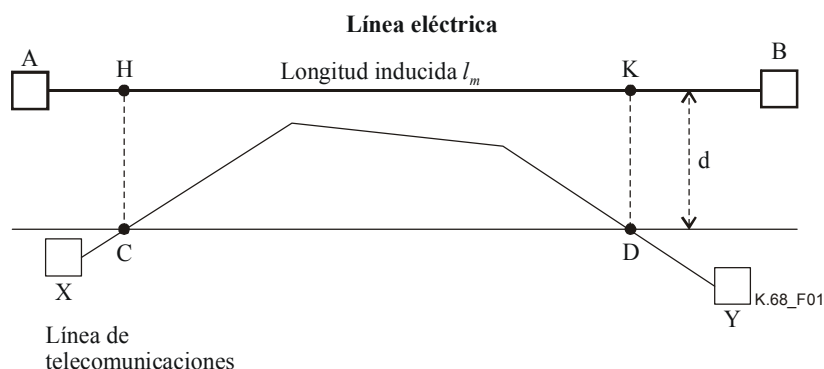


Figura 1/K.68 – Longitud inducida

3.27 tierra: Masa conductiva de la tierra cuyo potencial eléctrico en cualquier punto se suele tomar, por convenio, como cero (en algunos países de habla inglesa se emplea para "tierra" la expresión "ground" en lugar de "earth").

3.28 tensión inducida: Tensión producida en una planta de telecomunicaciones por la interferencia e.m. ocasionada por una o varias plantas de alimentación eléctrica inductoras.

3.29 tensión inducida en modo común: Tensión inducida común a todos los conductores de un grupo que tienen condiciones en modo común idénticas, que se observa entre dicho grupo y la tierra en una posición de la planta de telecomunicaciones (véase la figura 2).

NOTA – La tensión en modo común inducida más alta suele aparecer en un extremo de un conductor, cuando el otro extremo está puesto a tierra.

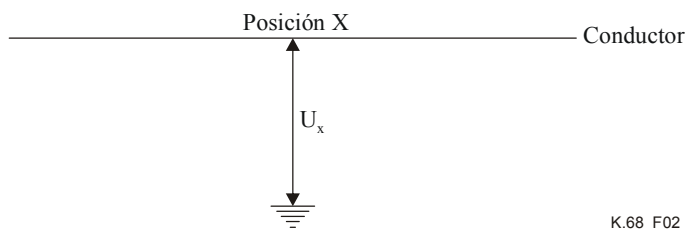


Figura 2/K.68 – Tensión inducida en modo común

3.30 tensión inducida en modo diferencial: Tensión inducida entre dos de los conductores de un determinado grupo, para una ubicación dada de la planta de telecomunicaciones (véase la figura 3).

NOTA – En general, la tensión que cuenta es la que hay entre los dos conductores de un par simétrico. Asimismo, en algunos casos es importante la tensión entre dos pares diferentes.

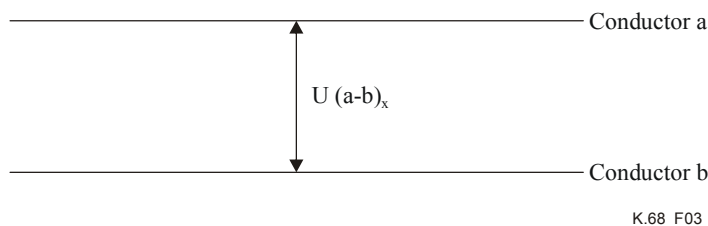


Figura 3/K.68 – Tensión inducida en modo diferencial

3.31 resistividad equivalente del suelo: Resistividad de un suelo homogéneo que es representativo de los distintos tipos de suelo estratificado presentes en la ubicación de las plantas de telecomunicaciones y de alimentación eléctrica que soportan y provocan interferencia.

NOTA – Puede haber varios valores de resistividad equivalente del suelo en las plantas en cuestión.

3.32 Tensión o corriente sofométricas: Tensión o corriente en una línea telefónica (en modo común o diferencial), U_p , o I_p , que viene dada por:

$$U_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f U_f)^2} \quad [\text{V}] \quad (1a)$$

$$I_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f I_f)^2} \quad [\text{A}] \quad (1b)$$

donde:

U_f o I_f es la componente a frecuencia f de la tensión [V] o de la corriente [A]

p_f es el factor de ponderación para esta frecuencia, relacionado con la reactividad del oído humano a ella, dado en la tabla de valores de ponderación correspondiente a la especificación del sofómetro. En el cuadro del apéndice I se indican los valores de p_f para distintas frecuencias, con p_{800} igual, por convenio, a 1000

3.33 zona rural: Zona cuya densidad de estructuras metálicas locales en contacto eléctrico directo con el suelo es baja.

3.34 zona urbana: Zona con alta densidad de estructuras metálicas locales en contacto eléctrico directo con el suelo, como tuberías de agua, cables con coberturas metálicas, cables de cobre de puesta a tierra enterrados, rieles de tranvías o sistemas de tracción enterrados o en superficie, y terminaciones a tierra y estructuras de edificios, mástiles y cimentaciones.

3.35 marco de interferencia: Todos los posibles casos de interferencia relacionados con una planta, que se deben estudiar en su conjunto.

El marco de interferencia de una planta inducida contiene la planta propiamente dicha y todas las plantas inductoras. El marco de interferencia de una planta inductora contiene la planta en cuestión y todas las plantas que son inducidas.

3.36 resultado de interferencia: Magnitud eléctrica que describe cuánta interferencia hay. Se puede obtener mediante cálculos o mediciones.

3.37 efecto de la interferencia: Consecuencia de la interferencia sobre las personas que tocan la planta inducida, y sobre la misma planta inducida o el equipo conectado.

3.38 inmunidad: Capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación cuando hay perturbación, véase 3.21.

3.39 resistibilidad: Capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para soportar sin sufrir daño un fenómeno electromagnético, hasta un determinado nivel y conforme a un criterio especificado.

3.40 tensión de referencia: Expresión general que engloba todas las tensiones inducidas que deben considerarse al evaluar si una situación de interferencia es aceptable, es decir:

- los valores límite por el factor de peligro que puedan correr los trabajadores de una planta de telecomunicaciones;
- los valores límite por el factor de ruido;
- el nivel mínimo de tensión de resistibilidad de los equipos conectados a la planta de telecomunicaciones;
- el aislamiento mínimo que permite soportar el nivel de tensión de la planta de telecomunicaciones;
- el nivel mínimo de tensión de inmunidad de los equipos conectados a la planta de telecomunicaciones.

3.41 situación habitual: La situación de interferencia e.m. ocasionada por sistemas de alimentación eléctrica es la habitual cuando se dan las siguientes condiciones:

- el trabajo en las plantas de telecomunicaciones es efectuado por personal bien formado y con experiencia;
- en las condiciones de trabajo que imperan sólo es necesario considerar los trayectos de la corriente mano a mano y mano a pie;
- la corriente admisible es la indicada en [5] (figura 20, curva c_2).

3.42 situación grave: Cuando no se dan estas condiciones que caracterizan la situación habitual de interferencia e.m. causada por sistemas de alimentación eléctrica, se dice que se trata de una situación grave, que viene caracterizada por los siguientes aspectos:

- en las condiciones de trabajo que imperan hay que tener en cuenta los trayectos de la corriente mano a mano, mano a pie, mano a pecho y mano a cadera;
- se supone que el valor de la impedancia fuente es cero;
- la corriente admisible es la indicada en [5] (figura 20, curva c_1).

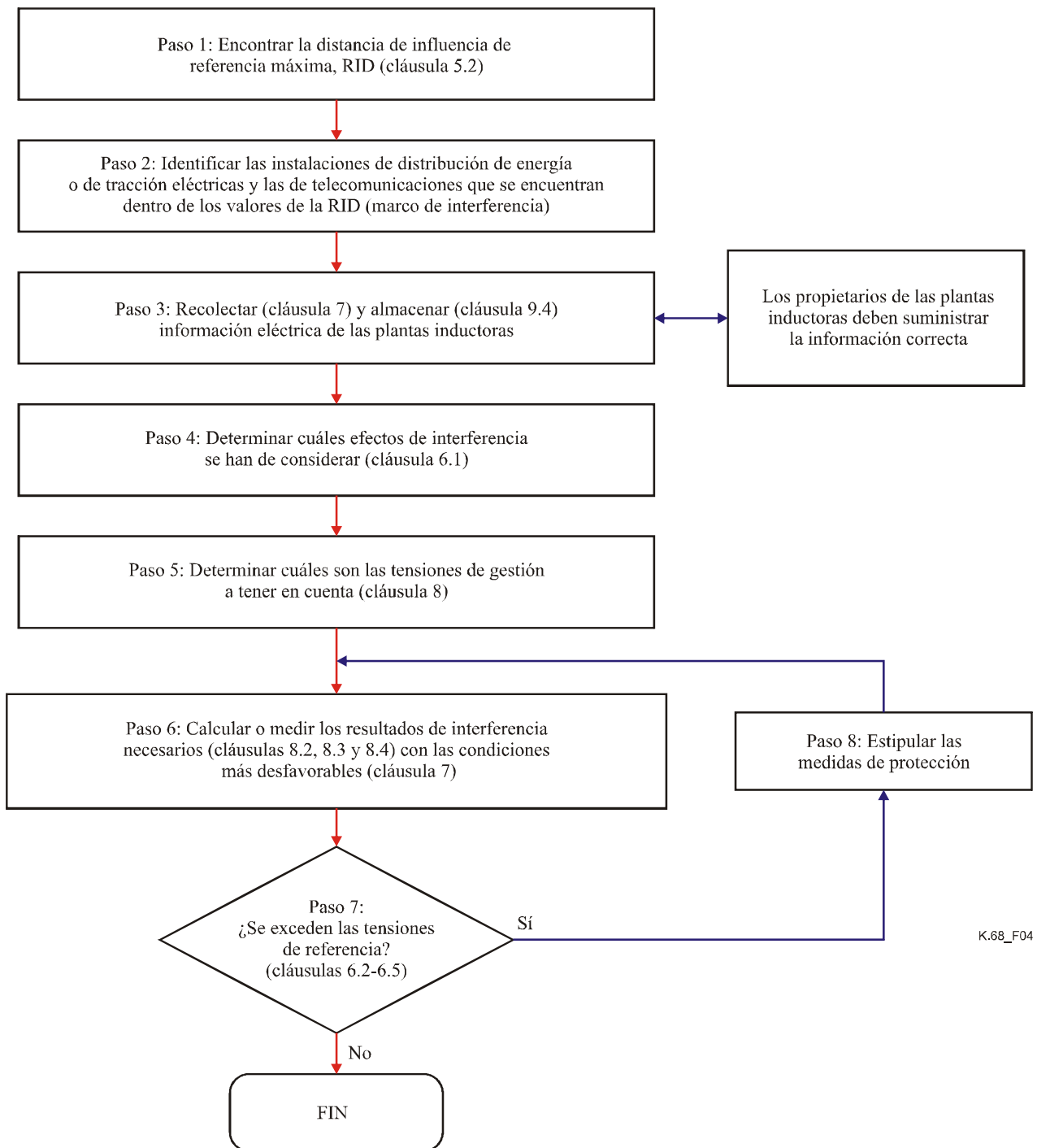
4 Procedimiento de evaluación de la interferencia e.m.

4.1 Consideraciones generales

Con el fin de determinar si una situación de interferencia es aceptable hay que seguir varios pasos (véase la figura 4).

En las cláusulas a continuación se recomienda el procedimiento a seguir¹.

¹ El procedimiento descrito se refiere al diseño de una nueva planta de telecomunicaciones cerca de varias plantas de alimentación eléctrica ya existentes. El caso contrario, por supuesto, también es posible. Cuando se diseñe una nueva planta inductora el procedimiento es similar, aunque hay algunas diferencias "obvias".



K.68_F04

Figura 4/K.68 – Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación de la interferencia e.m.

4.2 Marco de interferencia

Hay que efectuar un inventario de las posibles plantas inductoras que se encuentren dentro de una distancia máxima de referencia (dado en 5.2), bien sea mediante encuestas y/o comunicándose con los propietarios de dichas plantas con el fin de conocer su configuración. Luego, según el tipo de cada planta, se deben escoger los tipos de acoplamiento pertinentes (véase 5.1) y determinar las distancias de influencia de referencia reales (véase 5.2) para cada tipo de acoplamiento y para cada posible planta inductora. Dependiendo de las distancias de influencia de referencia reales tal vez se puedan omitir algunas plantas inductoras. Al final de este paso, se conoce el marco de interferencia para la planta inducida.

4.3 Recolección de información eléctrica de las plantas inductoras

Cuando se planee construir una planta inductora o modificar una existente, el propietario debe informar a los propietarios de las plantas que puedan verse afectadas. Deberá indicar la información eléctrica necesaria para describir las condiciones de interferencia de referencia (cláusula 7).

Compete a los propietarios de las plantas inductoras suministrar la información correcta: es importante entonces mantener un registro de información adecuado (véase 9.4).

4.4 Evaluación de los resultados de la interferencia y conformidad con las tensiones de referencia

4.4.1 Principios básicos

En función del tipo de planta inducida y teniendo en cuenta todas las plantas inductoras, quien diseña debe:

- decidir cuál o cuáles efectos de interferencia hay que considerar, conforme a 6.1;
- evaluar el resultado o los resultados de cada uno de los efectos escogidos en el paso anterior, conforme a 6.1;
- efectuar cálculos o mediciones, o una combinación apropiada de ambos, para evaluar los resultados de interferencia requeridos, conforme a las cláusulas 8.2, 8.3 y 8.4. Se deben escoger, con arreglo a la cláusula 7, las situaciones de interferencia que hay que estudiar (el caso más grave).

4.4.2 Primera evaluación

Se debe verificar la conformidad de las tensiones elegidas con las tensiones de referencia (cláusulas 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5), para una configuración básica de diseño de la planta inducida (véase 8.1), empleando cálculos o mediciones, o una combinación apropiada de ambos.

Si la situación de interferencia es aceptable, no se requiere seguir teniéndola en cuenta en el diseño.

Si la situación de interferencia es inaceptable, hay que adoptar medidas de reducción de interferencia.

4.4.3 Medidas de reducción de interferencia: evaluaciones subsiguientes

Hay que escoger las posibles medidas de reducción de interferencia y efectuar cálculos o mediciones, o una combinación apropiada de ambos, para determinar cuáles son las más adecuadas para la planta inducida.

Cuáles medidas se habrán de tomar en el sistema inductor o en el inducido dependerá del tipo de interferencia y de su magnitud, del costo de las medidas de reducción de interferencia y de si los sistemas del caso ya existen o están siendo diseñados. Como en toda actividad de diseño, la mejor solución representa un equilibrio entre aspectos técnicos y financieros.

Se debe realizar con bastante cuidado esta actividad.

No hay que olvidar que las medidas de reducción de interferencia en una parte de la planta inducida (por ejemplo una conexión a tierra en un extremo de la planta) son susceptibles de aumentar la interferencia en otra parte de ésta (por ejemplo en el extremo opuesto): es importante entonces considerar diversas configuraciones de inducción.

Asimismo, conviene recordar que una medida de reducción de interferencia capaz de resolver una situación de interferencia inaceptable producida por determinada planta inductora puede, a su vez, transformar una situación de interferencia aceptable producida por otra planta inductora en una inaceptable. Es decir, se han de considerar apropiadamente todas las plantas del marco de interferencia.

NOTA – En general, salvo para el caso del acoplamiento conductivo en subestaciones, se prevé que la situación sea aceptable cuando la línea inducida sea un conductor en un cable con cubierta o pantalla metálica conectada a tierra y, además, esta línea cuente con protección antirrayos en ambos extremos y siempre que se tomen las debidas precauciones para impedir un flujo inadmisible de corriente a través del cuerpo.

5 Situaciones de interferencia a tener en cuenta

5.1 Tipos de acoplamiento que se deben considerar

5.1.1 Etapa de planificación

En los cuadros 1, 2 y 3 se definen los tipos de acoplamiento que se deben estudiar (bien sea a través de un cálculo o de una medición) antes de que la nueva planta entre en servicio.

El cuadro 1 se refiere a las condiciones de avería por derivación a tierra y en él se tiene en cuenta que los valores de corriente por avería correspondientes a los sistemas aislados y con conexión resonante a tierra son bajos.

Sólo se considera el acoplamiento conductivo en zonas en que los sistemas de telecomunicaciones estén en presencia de una elevación del potencial de tierra (EPR, *earth potential rise*) causado por una rejilla eléctrica de puesta a tierra.

Cuadro 1/K.68 – Tipos de acoplamiento que se deben considerar en plantas de alimentación eléctrica con diversas condiciones de avería por derivación a tierra – Etapa de planificación

Tipo de planta eléctrica		Tipo de planta de telecomunicaciones		
		Sin blindaje metálico	Con blindaje metálico conectado a tierra	Cable subterráneo
Sistema aéreo de alimentación eléctrica c.a. bifásica y trifásica	Con neutro conectado directamente a tierra o mediante una baja impedancia	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo
	Con neutro aislado o con conexión a tierra resonante	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de cables de alimentación eléctrica c.a. bifásica y trifásica	Con neutro conectado directamente a tierra o mediante una baja impedancia	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo
	Con neutro sin conexión directa a tierra	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de distribución y transmisión eléctrica c.c.		Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de tracción eléctrica c.a.		Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo
Sistema de tracción eléctrica c.c.		Ninguno	Ninguno	Ninguno

Cuadro 2/K.68 – Tipos de acoplamiento que se deben considerar en plantas de alimentación eléctrica con funcionamiento normal, que pueden causar daño a los seres humanos o a una planta de telecomunicaciones – Etapa de planificación

Tipo de planta eléctrica		Tipo de planta de telecomunicaciones		
		Cable aéreo		Cable subterráneo
		Sin blindaje metálico	Con blindaje metálico conectado a tierra	
Sistema aéreo de alimentación eléctrica c.a. trifásica	Todos los tipos de puesta a tierra del neutro	Inductivo Capacitivo	Inductivo	Inductivo
Sistema de cables de alimentación eléctrica c.a. trifásica	Todos los tipos de puesta a tierra del neutro	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de distribución y transmisión eléctrica c.c.		Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de tracción eléctrica c.a.		Inductivo	Inductivo Conductivo	Inductivo Conductivo
Sistema de tracción eléctrica c.c.		Ninguno	Conductivo	Conductivo

Cuadro 3/K.68 – Tipos de acoplamiento que se deben considerar en plantas de alimentación eléctrica con funcionamiento normal, que pueden causar perturbaciones a una planta de telecomunicaciones – Etapa de planificación

Tipo de planta eléctrica		Tipo de planta de telecomunicaciones		
		Cable aéreo		Cable subterráneo
		Sin blindaje metálico	Con blindaje metálico conectado a tierra	
Sistema aéreo de alimentación eléctrica c.a. trifásica	Todos los tipos de puesta a tierra del neutro	Inductivo	Inductivo	Inductivo
Sistema de cables de alimentación eléctrica c.a. trifásica	Todos los tipos de neutro puesta a tierra del neutro	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de distribución y transmisión eléctrica c.c.		Ninguno	Ninguno	Ninguno
Sistema de tracción eléctrica c.a.		Inductivo	Inductivo conductivo	Inductivo conductivo
Sistema de tracción eléctrica c.c.		Ninguno	Ninguno	Ninguno

5.1.2 Etapa de funcionamiento

Los otros acoplamientos, que no figuran en los cuadros 1, 2 y 3, no suelen representar un peligro, ni producir daños o perturbaciones. Por consiguiente, los cálculos o mediciones correspondientes sólo se han de efectuar cuando se presenten efectos de interferencia.

5.2 Distancia de influencia de referencia

5.2.1 Consideraciones generales

A los efectos de establecer el marco de interferencia de una planta de telecomunicaciones inducida, se considerarán como sus plantas inductoras todas aquellas plantas de alimentación eléctrica que se encuentren a una distancia de ésta menor o igual que la distancia de influencia de referencia (RID, *reference influence distance*).

A los efectos de establecer el marco de interferencia de una planta de alimentación eléctrica inductora, se considerarán como sus plantas inducidas todas aquellas plantas de telecomunicaciones ubicadas a una distancia de ésta menor o igual que la RID.

El objetivo de la RID es limitar la cantidad de plantas inductoras que hay que tener en cuenta, y para las que se necesitan los valores de tensiones y corriente inductoras.

En esta Recomendación se recomiendan los valores de la RID que se suministran en las cláusulas a continuación, y que han sido calculados utilizando el método del anexo A con las hipótesis del apéndice II para el caso de las condiciones más desfavorables, es decir, las condiciones de avería para las líneas de energía y las normales para las de tracción eléctrica (los valores indicados en los cuadros son los del caso más desfavorable, es decir las mayores RDI). Ahora bien, es posible que en cada país la comisión o autoridad del caso, u otros organismos, puedan definir valores diferentes o que las partes tengan que acordar otros valores, empleando el método del anexo A y suponiendo valores de los parámetros correspondientes diferentes de II.2, con el fin de satisfacer los requisitos nacionales. En II.1 se presenta una gama de valores para dichos parámetros.

En la práctica, la RID permite saber cuáles son las plantas para las cuales hay que pedir información eléctrica a la administración u operador de electricidad, ferrocarriles o telecomunicaciones. No obstante, el concepto de RID no exime de responsabilidad a las partes en cuestión sobre lo que pueda ocurrir a distancias mayores.

La RID se debe medir a partir de la proyección vertical del centro de la línea de energía.

5.2.2 Acoplamiento inductivo

5.2.2.1 Condiciones de avería

5.2.2.1.1 Línea de energía c.a.

Se deben aplicar para $f = 50/60$ Hz los valores de la RID indicados en el cuadro 4 para una situación habitual y cuadro 5, para una grave.

En estos cuadros se dan los valores de la RID para líneas de telecomunicaciones sin blindaje, cortas (por ejemplo, la red de acceso) o largas, en función de la resistividad del suelo equivalente, para líneas de electricidad c.a. aéreas o enterradas, y con un neutro directamente puesto a tierra, tanto en áreas rurales como urbanas.

Cuadro 4/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación eléctrica c.a. a 50/60 Hz en una situación habitual

Longitud del sistema de telecomunicaciones	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]			
		Sistema de alimentación eléctrica/entorno			
		Aéreo		Subterráneo	
		Rural	Urbano	Rural	Urbano
Línea corta	50	550	70	Nota	Nota
	500	1700	100	Nota	
	5000	5400	100	300	
Línea larga	50	1200	500	300	20
	500	3700	1200	1000	
	5000	12000	2400	3100	

NOTA – No hay interferencia.

Cuadro 5/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación eléctrica c.a. a 50/60 Hz en una situación grave

Longitud del sistema de telecomunicaciones	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]			
		Sistema de alimentación eléctrica/entorno			
		Aéreo		Subterráneo	
		Rural	Urbano	Rural	Urbano
Línea corta	50	1000	400	250	Nota
	500	3300	800	750	
	5000	10000	1450	2400	
Línea larga	50	1800	1050	750	200
	500	5800	2600	2400	400
	5000	18000	6500	7500	600

NOTA – No hay interferencia.

En una situación habitual, las líneas eléctricas con c.a. que no tienen neutro conectado directamente a tierra no suelen causar interferencia en las líneas de telecomunicaciones (la interferencia puede ocurrir solamente en un caso excepcional, véase II.1); en la situación grave, sólo las líneas eléctricas aéreas con c.a. en áreas rurales pueden producir interferencia en las líneas largas de telecomunicaciones, en cuyo caso hay que utilizar los siguientes valores de la RID:

- 30 m para $\rho = 50 \Omega\text{m}$;
- 100 m para $\rho = 500 \Omega\text{m}$;
- 300 m para $\rho = 5000 \Omega\text{m}$.

Se deben emplear los valores de la RID indicados en el cuadro 6, tanto en la situación habitual como en la grave, para plantas de alimentación eléctrica bifásicas con c.a. y $f = 16\frac{2}{3}$ Hz.

En el cuadro 6 se suministran los valores de la RID para líneas de telecomunicaciones sin blindaje, cortas (por ejemplo, la red de acceso) o largas, en función de la resistividad del suelo equivalente para líneas de electricidad c.a. aéreas en zonas rurales.

NOTA 1 – Se supone que una línea eléctrica subterránea es una línea con blindaje. Si el blindaje plástico aislante está conectado a tierra en un sólo extremo, se debe considerar como una línea aérea.

NOTA 2 – Una línea eléctrica c.a. es "aérea" en zonas rurales mientras que en las urbanas sólo se instala enterrada.

Cuadro 6/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación eléctrica c.a. bifásicos a 16 ⅔ Hz en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]			
		Sistema de telecomunicaciones			
		Situación habitual		Situación grave	
		Línea corta	Línea larga	Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	100	700	800	1800
	500	300	2200	2500	5800
	5000	1000	7000	8000	18000

5.2.2.1.2 Línea eléctrica c.c.

En estudio.

5.2.2.2 Funcionamiento normal

5.2.2.2.1 Línea de tracción eléctrica con c.a.

5.2.2.2.1.1 RID para la inducción con frecuencia fundamental

Se deben aplicar los valores de la RID indicados en el cuadro 7, para una frecuencia de 50/60 Hz y cuadro 8, para una de 16⅔ Hz, cuando se trate de una línea de tracción eléctrica c.a. con un mismo sistema de alimentación de retorno por los rieles y a tierra (RR, *rail and earth return*) y para ambas situaciones, habitual y grave.

Se deben aplicar los valores de la RID indicados en el cuadro 9, para una frecuencia de 50/60 Hz y cuadro 10, para una de 16⅔ Hz, cuando se trate de una línea de tracción eléctrica c.a. con sistema de alimentación especial: con autotransformador (AT, *autotransformer*) o transformador-regulador (BT, *booster transformer*) y para ambas situaciones, habitual y grave.

En estos cuadros se indican los valores de la RID para líneas de telecomunicaciones sin blindaje, cortas (por ejemplo, la red de acceso) o largas, en función de la resistividad del suelo equivalente, para líneas eléctricas c.a., aéreas y subterráneas, y en zonas rurales y urbanas.

Cuadro 7/K.68 – Valores de la RID para líneas de tracción eléctrica c.a. con sistema de alimentación de retorno por los rieles (RR) a 50/60 Hz en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	700	1350
	500	2200	4300
	5000	7000	13500
Aéreo/urbano	50	140	600
	500	250	1600
	5000	300	3500

Cuadro 8/K.68 – Valores de la RID para líneas de tracción eléctrica c.a. con sistema de alimentación de retorno por los rieles (RR) a 16²/₃ Hz en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	450	1400
	500	1400	4300
	5000	4500	13500
Aéreo/urbano	50	15	400
	500		800
	5000		1200

Cuadro 9/K.68 – Valores de la RID para líneas de tracción eléctrica c.a. con sistema de alimentación especial (AT o BT) a 50/60 Hz en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	160	600
	500	500	2000
	5000	1000	2800
Aéreo/urbano	50	Nota	130
	500		240
	5000		300

NOTA – No hay interferencia.

Cuadro 10/K.68 – Valores de la RID para líneas de tracción eléctrica c.a. con sistema de alimentación especial (AT o BT) a 16²/₃ Hz en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	10	280
	500	30	900
	5000	500	5000
Aéreo/urbano	50	Nota	Nota
	500		
	5000		

NOTA – No hay interferencia

5.2.2.2.1.2 RID para la inducción con frecuencia sofométrica

Los valores de la RID calculados para un equipo de tracción con inversor de frecuencia y motor asíncrono son inferiores a aquellos relacionados con la frecuencia de la red de alimentación

eléctrica. En los cuadros 11 y 12 se indican los valores de la RID calculados para locomotoras con diodos (tiristores) con filtro, o para una locomotora de sistema combinado tiristor y diodos sin filtro, respectivamente, y para ambas situaciones, habitual y grave. Estos valores, en cambio, son mayores que los relacionados con la frecuencia de la red de alimentación eléctrica.

Cuadro 11/K.68 – Valores de la RID para inducción sofométrica causada por una línea de tracción c.a., locomotora con diodo (tiristor), con filtro, a 50/60 Hz y en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	940	Irrelevante
	500	3000	
	5000	9400	
Aéreo/urbano	50	650	
	500	1800	
	5000	5300	

Cuadro 12/K.68 – Valores de la RID para inducción sofométrica causada por una línea de tracción c.a., locomotora controlada por tiristor y diodo, sin filtro, a 50/60 Hz y en situación habitual y grave

Sistema de alimentación eléctrica/entorno	Resistividad del suelo equivalente [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de telecomunicaciones	
		Línea corta	Línea larga
Aéreo/rural	50	1900	Irrelevante
	500	6000	
	5000	19000	
Aéreo/urbano	50	1250	
	500	3500	
	5000	9400	

5.2.2.2.2 Línea de tracción eléctrica c.c.

En estudio.

5.2.3 Acoplamiento capacitivo

La RID debe ser 100 m solamente cuando tanto la línea inducida como la inductora sean aéreas y sin blindaje. En todas las otras situaciones no se considera el acoplamiento capacitivo.

5.2.4 Acoplamiento conductivo

Al calcular la RID para el acoplamiento conductivo, hay que considerar la resistividad de la capa de suelo de superficie en la que se ha introducido el sistema (rejilla) de electrodo de puesta a tierra.

5.2.4.1 Rejilla de puesta a tierra en la subestación

Se deben utilizar los valores de la RID indicados en el cuadro 13, para la situación habitual y cuadro 14, para la grave, con $f = 50/60$ Hz.

En estos cuadros se indican los valores de la RID para líneas de telecomunicaciones sin blindaje, cortas (por ejemplo, la red de acceso) o largas, en función de la resistividad del suelo equivalente, para líneas eléctricas c.a., aéreas, mixtas y subterráneas, con neutros conectados directamente a tierra, y en zonas rurales y urbanas.

NOTA – Al ser poco probable que una subestación se encuentre ubicada en un suelo de muy alta resistividad, no se espera tener que utilizar los valores de la RID indicados para $5000 \Omega\text{m}$, teniendo en cuenta que el valor para $500 \Omega\text{m}$ cubre el intervalo de resistividades entre $150 \Omega\text{m}$ y $1500 \Omega\text{m}$, como se especifica en el cuadro II.1.

Cuadro 13/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación c.a. a 50/60 Hz en situación habitual (acoplamiento conductivo ocasionado por la rejilla de puesta a tierra en la subestación)

Tamaño de la rejilla de subestación [m ²]	Resistividad del suelo [Ωm]	RID [m]					
		Sistema de alimentación eléctrica/entorno					
		Aéreo		Mixto		Subterráneo	
		Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
225 (15 m × 15 m)	50	40	15	10	Nota	Nota	Nota
	500	450	150	200	60	90	30
	5000	4700	1150	1900	450	900	200
2500 (50 m × 50 m)	50	50	10	5	Nota	Nota	Nota
	500	700	200	250	75	120	30
	5000	7000	1700	2800	680	1400	300
22500 (150 m × 150 m)	50	30	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota
	500	850	250	300	60	120	2
	5000	9300	2200	3700	850	1800	400

NOTA – No hay interferencia.

Cuadro 14/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación c.a. a 50/60 Hz en situación grave (acoplamiento conductivo ocasionado por la rejilla de puesta a tierra en la subestación)

Tamaño de la rejilla de subestación [m ²]	Resistividad del suelo [Ωm]	RID [m]					
		Sistema de alimentación eléctrica/Entorno					
		Aéreo		Mixto		Subterráneo	
		Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
225 (15 m × 15 m)	50	100	40	40	10	15	Nota
	500	1100	400	430	150	200	70
	5000	11000	2700	4300	1000	2200	500

Cuadro 14/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación c.a. a 50/60 Hz en situación grave (acoplamiento conductivo ocasionado por la rejilla de puesta a tierra en la subestación)

Tamaño de la rejilla de subestación [m ²]	Resistividad del suelo [Ωm]	RID [m]					
		Sistema de alimentación eléctrica/Entorno					
		Aéreo		Mixto		Subterráneo	
		Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
2500 (50 m × 50 m)	50	140	50	40	5	10	Nota
	500	1600	500	600	200	300	90
	5000	16400	4000	6500	1600	3200	800
22500 (150 m × 150 m)	50	150	30	20	Nota	Nota	Nota
	500	2100	700	800	200	350	80
	5000	21800	5400	8600	2100	4300	1000

NOTA – No hay interferencia.

5.2.4.2 Puesta a tierra de torre de línea eléctrica

Se deben utilizar los valores de la RID indicados en el cuadro 15, para la situación habitual y cuadro 16, para la grave, con $f = 50/60$ Hz.

En estos cuadros se indican los valores de la RID para líneas de telecomunicaciones sin blindaje, cortas (por ejemplo, la red de acceso) o largas, en función de la resistividad del suelo equivalente, para líneas eléctricas c.a., aéreas, con neutros conectados directamente a tierra, y en zonas rurales y urbanas.

Si las mediciones dan como resultado valores distintos de los de los cuadros 15 y 16, prevalecen los valores medidos.

Cuadro 15/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación c.a. a 50/60 Hz en situación habitual (acoplamiento conductivo ocasionado por torre de línea eléctrica)

Configuración del hilo de blindaje	Resistividad del suelo [Ωm]	RID [m]	
		Sistema de alimentación eléctrica/entorno	
		Aéreo/rural	Aéreo/urbano
1 sw	50	15	6
	500	25	8
	5000	30	8
2 sw	50	10	4
	500	15	6
	5000	20	5
1 sw + cp	50	3	1
	500	7	2
	5000	15	3

Cuadro 16/K.68 – Valores de la RID para sistemas de alimentación c.a. a 50/60 Hz en situación grave (acoplamiento conductivo ocasionado por torre de línea eléctrica)

Configuración del hilo de blindaje	Resistividad del suelo [Ω m]	RID [m]	
		Sistema de alimentación eléctrica/entorno	
		Aéreo/rural	Aéreo/urbano
1 sw	50	30	15
	500	55	30
	5000	80	30
2 sw	50	20	10
	500	40	15
	5000	50	15
1 sw + cp	50	6	3
	500	15	5
	5000	30	7

5.2.4.3 Sistemas de tracción eléctrica c.a.

El valor de la RID es 5 m para ambas situaciones, habitual y grave.

6 Tensiones de referencia

6.1 Criterios para la definición de la aceptabilidad de las tensiones de referencia

En el cuadro 17 se señalan los efectos a tener en cuenta y los resultados de la interferencia e.m. que se deben evaluar para poder cuantificar la magnitud de ésta en las situaciones más desfavorables. En las cláusulas 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 se indican las tensiones de referencia correspondientes.

Cuadro 17/K.68 – Efectos a tener en cuenta y resultados pertinentes

Efecto en la planta inducida	Planta inductora	¿Hay que tener en cuenta el efecto?	Resultado de interferencia
Peligro	En funcionamiento normal	Sí	Tensión a tierra
	En condición de avería	Sí	Tensión a tierra
Daño	En funcionamiento normal	Sí	Tensión a tierra
	En condición de avería	Sí	Tensión a tierra
Perturbación	En funcionamiento normal	Sí	Tensión entre los dos hilos de un par
	En condición de avería	No	-----

6.2 Tensiones que constituyen un peligro: Límites

6.2.1 Consideraciones generales

En esta cláusula se proporcionan los valores de tensión inducida y su duración causados en una planta de telecomunicaciones por una planta cercana de distribución y transmisión de energía eléctrica c.a. o de tracción eléctrica c.a., en condiciones normales y de avería, y que los operadores de dichas plantas están autorizados a producir en una planta inducida de telecomunicaciones como

resultado de cualquier tipo de acoplamiento electromagnético, sin que haya peligro para los trabajadores de esta última.

NOTA – No se permite que los usuarios de los servicios de telecomunicaciones toquen ningún elemento metálico de la red de telecomunicaciones (véase la Rec. UIT-T K.50).

6.2.2 Condición de avería

Los valores límite de la tensión inducida en modo común con respecto a tierra, en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones, se indican en el cuadro 18, para situaciones habituales, y cuadro 19, para las graves.

NOTA 1 – Es posible calcular valores límite diferentes utilizando la Rec. UIT-T K.33.

NOTA 2 – En el Volumen VI de las Directrices se explica el porqué de los valores dados en estos cuadros.

Cuadro 18/K.68 – Límites relacionados con valores que constituyen un peligro en caso de interferencia e.m. ocasionada por plantas de energía eléctrica c.a. en condiciones de avería: situación habitual

Duración de avería de referencia t [s]	Tensión inducida r.m.s. [V]
$t \leq 0,10$	2000
$0,10 < t \leq 0,20$	1500
$0,20 < t \leq 0,35$	1000
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,00$	430
$1,00 < t \leq 3,00$	150
$3,00 < t$	60

Cuadro 19/K.68 – Límites relacionados con valores que constituyen un peligro en caso de interferencia e.m. ocasionada por plantas de energía eléctrica c.a. en condiciones de avería: situación grave

Duración de avería de referencia t [s]	Tensión inducida r.m.s. general [V]	Tensión inducida r.m.s. cuando no hay que considerar trayectos a través del pecho o de la cadera [V]
$t \leq 0,06$	430	650
$0,06 < t \leq 0,1$	430	430
$0,1 < t \leq 1,0$	300	300
$t > 1,0$	60	60

Para averías en sistemas de alimentación eléctrica c.c. la tensión inducida en modo común, en condiciones transitorias, con respecto a tierra y en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones inducida, no rebasará los valores máximos dados en los cuadros 18 y 19, para las condiciones habitual y grave respectivamente.

NOTA 3 – Se obtiene protección contra el peligro si la línea inducida es un conductor en un cable con cubierta o pantalla metálicas puestas a tierra y todos los conductores tienen un protector antirrayos en ambos extremos, la cobertura está conectada a tierra en los intervalos prescritos y se tienen precauciones especiales para evitar un flujo inadmisibles de corriente a través del cuerpo.

6.2.3 Funcionamiento normal

El valor límite de la tensión inducida en modo común con respecto a tierra, en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones inducida, y producida por todas las plantas inductoras del marco de interferencia, en condiciones normales de funcionamiento, y simultáneamente, es 60 V r.m.s.

6.3 Tensiones que provocan daños

En esta cláusula se proporcionan los valores de tensión inducida y su duración causados en una planta de telecomunicaciones por una planta cercana de distribución y transmisión de energía eléctrica o de tracción eléctrica, en condiciones normales y de avería, y que los operadores de dichas plantas de alimentación eléctrica están autorizados a producir en una planta inducida de telecomunicaciones como resultado de cualquier tipo de acoplamiento electromagnético, sin que se tengan que tomar medidas de reducción de interferencia para proteger contra daños el aislamiento y/o los equipos de la planta de telecomunicaciones.

Los valores de las tensiones inducidas en modo común, con respecto a tierra, en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones y que pueden provocar daños durante la condición de avería de plantas de alimentación eléctrica son:

- 1) los valores indicados en el cuadro 20 que son el nivel mínimo de resistibilidad de los equipos conectados a plantas de telecomunicaciones;

NOTA 1 – Cuando la interferencia e.m. es causada por una planta de alimentación eléctrica c.c., en condiciones transitorias, los valores límite vienen dados por los valores de las tensiones inducidas r.m.s. (valor cuadrático medio) del cuadro 20.

- 2) 1000 V r.m.s. que es la tensión que corresponde a la capacidad de aislamiento mínima en plantas de telecomunicaciones compuestas por cables simétricos con conductores aislados con papel, sin importar la duración de la avería de referencia;
- 3) 2000 V r.m.s. que es la tensión que corresponde a la capacidad de aislamiento mínima en plantas de telecomunicaciones compuestas por cables coaxiales, sin importar la duración de la avería de referencia;
- 4) 2000 V r.m.s. que es la tensión que corresponde a la capacidad de aislamiento mínima en plantas de telecomunicaciones compuestas por cables de fibra óptica que contienen partes metálicas, sin importar la duración de la avería de referencia.

NOTA 2 – Se obtiene protección contra daños en el aislamiento y/o en los equipos de la planta de telecomunicaciones si la línea inducida es un conductor en un cable con cubierta o pantalla metálicas conectadas a tierra y todos los conductores tienen un protector antirrayos en ambos extremos.

Cuadro 20/K.68 – Nivel mínimo de resistibilidad de los equipos conectados a plantas de telecomunicaciones en función de la duración de avería en plantas de alimentación eléctrica c. a.

Duración de avería de referencia t [s]	Tensión inducida r.m.s. [V]
$t \leq 0,20$	1030
$0,20 < t \leq 0,35$	780
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,0$	430
$1,0 < t \leq 2,0$	300
$2,0 < t \leq 3,0$	250

Cuadro 20/K.68 – Nivel mínimo de resistibilidad de los equipos conectados a plantas de telecomunicaciones en función de la duración de avería en plantas de alimentación eléctrica c. a.

Duración de avería de referencia t [s]	Tensión inducida r.m.s. [V]
$3,0 < t \leq 5,0$	200
$5,0 < t \leq 10,0$	150
$t > 10,0$	60

6.4 Tensiones de inmunidad

Los valores de la tensión inducida producida por todas las plantas de alimentación eléctrica inductoras del marco de interferencia, en condiciones normales de funcionamiento, que funcionan simultáneamente, y que pueden provocar el funcionamiento incorrecto de la planta de telecomunicaciones son:

- 60 V r.m.s. para la tensión en modo común inducido, con respecto a tierra y en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones;
- 60 V r.m.s. para la tensión inducida entre dos de las partes metálicas en la misma posición y en cualquier lugar de la planta de telecomunicaciones.

6.5 Tensión de ruido: Límite

El valor límite de la tensión sofométrica inducida entre los dos hilos de un par de la planta de telecomunicaciones inducida, que es producida por todas las plantas de alimentación eléctrica inductoras del marco de interferencia, en condiciones normales de funcionamiento, simultáneamente y que pueden degradar la calidad de un servicio vocal ofrecido por la planta de telecomunicaciones inducida, es 0,5 mV en cualquier terminal de ésta.

NOTA 1 – Conforme a la cláusula 6/K.10, los valores de atenuación de conversión longitudinal (LCL, *longitudinal conversion loss*) conducen a una tensión sofométrica inducida aceptable de 200 mV en cualquier terminal de una línea de telecomunicaciones.

NOTA 2 – En caso de interferencia e.m. provocada por sistemas de tracción eléctrica, si la tensión sofométrica inducida es mayor que el límite de ruido dado en esta cláusula pero inferior a 2,5 mV, el ruido es tolerable siempre que en cualquier intervalo menor que un minuto la suma de los productos de los valores de las tensiones sofométricas mayores que 0,5 mV y para la duración correspondiente es menor o igual que 30 mV.

7 Condiciones de interferencia de referencia

7.1 Consideraciones generales

Los valores de las tensiones de referencia indicados en la cláusula 6 corresponden a condiciones de interferencia que han de ser, al mismo tiempo, realistas (no demasiado improbables) y las más desfavorables.

En la planta inductora la condición de interferencia de referencia suele ser la representada por los mayores valores de los parámetros inductores (corrientes, tensiones, longitud de aproximación, etc.).

Teniendo esto en mente, en esta Recomendación sólo se pueden proporcionar directrices acerca de las condiciones de interferencia de referencia, en especial para el caso de plantas complejas (por ejemplo, plantas de tracción eléctrica c.a. con autotransformador o transformador-regulador). Puesto

que hay muchos parámetros en juego, en la mayoría de los casos es imposible definir *a priori* la peor condición de interferencia: en las plantas inducidas lo más grave no es siempre que la tensión inducida sea muy alta, en ocasiones puede ser más grave que la tensión inducida aparezca en una parte más importante de la planta.

En el diseño hay que considerar varias condiciones de interferencia para, tras estudiar el conjunto completo de resultados de interferencia, establecer la peor de ellas.

En la planta inducida, la condición de interferencia de referencia es la caracterizada por la mejor configuración de protección, de conformidad con la información de diseño.

La asimetría con respecto a tierra de las plantas de telecomunicaciones debe ser conforme a la Rec. UIT-T K.10 [3].

7.2 Condiciones relativas a la planta inductora

7.2.1 Sistema de alimentación eléctrica c.a.

7.2.1.1 Condiciones de avería

Hay que considerar la condición de avería por derivación a tierra de una fase.

NOTA – Estos valores están relacionados con las corrientes transitorias de cortocircuito fase-tierra. Se debe considerar también la primera cresta de la subtransitoria, o sea, la de una subestación de una central generadora.

La entidad encargada de la explotación de la planta de alimentación eléctrica c.a. correspondiente proporcionará el valor de la corriente por avería, en la que se recomienda tener en cuenta los posibles aumentos previstos del nivel de corriente por avería de la planta.

Se debe indicar la corriente por avería por derivación a tierra para todos los puntos de la longitud de la planta inductora, incluyendo las subestaciones, pues todos ellos pueden ser puntos de avería.

Los valores de corriente por avería se indicarán en forma de diagramas, fórmulas o cuadros, como valores de la corriente inductora real, teniendo en cuenta la posible reducción debida a, por ejemplo, los hilos superiores conectados a tierra.

La compañía distribuidora de energía eléctrica suministrará el valor de la duración de avería de referencia basándose en la configuración de la protección de relevador (*relay*) o en información estadística aplicable a la planta en estudio.

7.2.1.1.1 Acoplamiento conductivo

Hay que medir las tensiones ocasionadas en el sistema de telecomunicaciones por el acoplamiento conductivo en una subestación, pues puede haber grandes variaciones de un punto a otro. Las mediciones se efectúan por medio de un generador de prueba con una corriente del orden de decenas de amperios. Conviene emplear una frecuencia diferente, aunque no mucho, de la fundamental: por ejemplo 5-10 Hz por debajo de ella. Gracias a la utilización de un voltímetro selectivo en frecuencia se evita la interferencia de la frecuencia fundamental en los resultados de las pruebas. La corriente que provoca la EPR es la que fluye a través de la rejilla de puesta a tierra de la subestación, que es tan sólo una parte de la corriente total de avería.

Las tensiones de interferencia de referencia se obtienen entonces multiplicando los resultados de las pruebas por los valores de los cocientes (corriente de rejilla de puesta a tierra)/(corriente de prueba).

Las tensiones que se presentan en una subestación como resultado del acoplamiento conductivo se pueden calcular si se dispone de los parámetros de la rejilla de puesta a tierra de la subestación y la corriente de puesta a tierra. Si no se conocen dichos parámetros, si la subestación se encuentra en un área urbana o si el suelo cerca de la subestación presenta inhomogeneidades importantes, es posible que haya que medir las tensiones.

La sonda de corriente correspondiente al generador de inyección se debe poner lo suficientemente lejos de la subestación para evitar que exista un acoplamiento significativo entre la rejilla y la sonda. Los conductores correspondientes a las sondas de medición de inyección y de la EPR deben formar un ángulo de por lo menos 90 grados, de tal manera que no exista inductancia mutua.

7.2.1.1.2 Acoplamiento inductivo

Quien evalúe los resultados de interferencia, a comparar con los límites dados, escogerá la ubicación de la avería que provoque la situación inducida más desfavorable en una determinada línea de telecomunicaciones.

En la figura 5 se muestra el perfil de longitud (líneas punteadas) de las corrientes por avería que fluyen desde las subestaciones A y B, en función de la ubicación de la avería en la línea eléctrica. En este caso, la impedancia a tierra de la línea eléctrica es la misma en todos los puntos, por ejemplo, 0Ω .

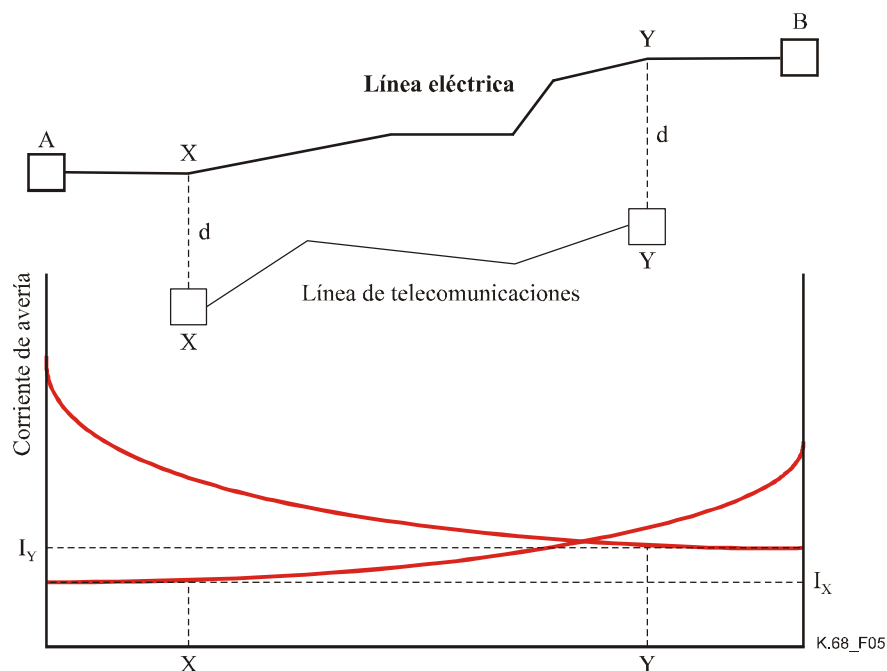


Figura 5/K.68 – Variación característica de la corriente por avería por derivación a tierra en función de la localización de la avería (por ejemplo, X e Y) que es pertinente en caso de plantas donde la impedancia de avería no varía en toda la línea

La corriente por avería proveniente de la subestación A disminuye a lo largo de la línea hasta la subestación B. Un fallo en la posición Y, uno de los extremos de la proyección de la línea de telecomunicaciones X-Y, provocará por regla general la mayor tensión inducida de la subestación A.

La corriente proveniente de la subestación B provocará la mayor tensión inducida en la posición de avería, X. Como I_Y es mayor que I_X , I_Y corresponde al caso más desfavorable.

En la figura 6 se muestra el caso en que la impedancia de avería de la línea eléctrica a tierra es menor en los extremos, como resultado de una impedancia de 0Ω en las subestaciones. La impedancia en cualquier punto de la línea puede ser, por ejemplo, 15Ω . Habrá entonces un salto en el perfil de corriente fuera de las subestaciones. Por consiguiente, hay que verificar la corriente no sólo para averías en los extremos X e Y, sino también en las subestaciones alimentadoras A y B, y compararlas.

En este caso, la corriente proveniente de la subestación A, I_Z , provocará la mayor tensión, al ser mayor que I_X e I_Y .

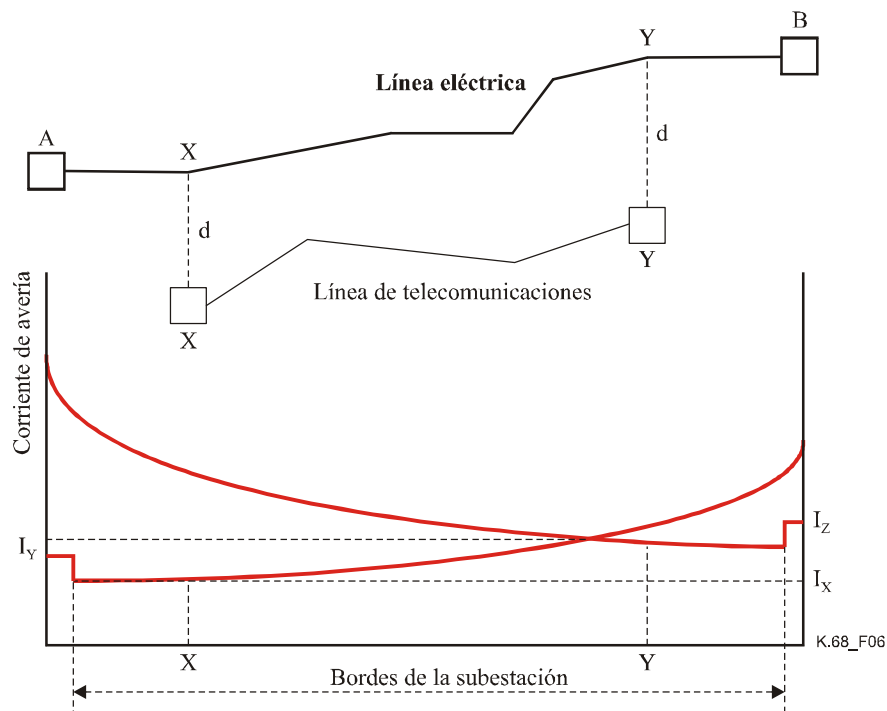


Figura 6/K.68 – Perfil de longitud característico de la corriente por avería por derivación a tierra que es pertinente para plantas donde la impedancia de avería es baja en los extremos (subestaciones) y alta en el resto de la línea (caso más real)

7.2.1.2 Condiciones de funcionamiento

En lo que se refiere al acoplamiento inductivo, la corriente inductora es la corriente de fase continua que tiene asimetría de 2%. Cuando se funciona en el modo de una fase desconectada (*one phase off operation*), la corriente inductora debe tomarse como 2/3 de la corriente de régimen de la línea eléctrica.

En lo que se refiere al acoplamiento capacitivo, la tensión inductora es 110% de la tensión nominal.

7.2.2 Sistemas de alimentación eléctrica c.c.

7.2.2.1 Condiciones de avería

En estudio.

7.2.2.2 Condiciones de funcionamiento

En lo que se refiere al acoplamiento inductivo, la corriente inductora es la corriente de ondulación ocasionada por la rectificación, que viene al caso para las condiciones de funcionamiento más desfavorables (por ejemplo, durante el mantenimiento de la planta).

La entidad que se encarga de la alimentación eléctrica tiene que suministrar dichos valores.

7.2.3 Sistema de tracción eléctrica c.a.

7.2.3.1 Condiciones de avería

La condición de avería que se debe considerar es la de corriente derivación a tierra en un conductor de la línea de tracción (por lo general el hilo de contacto: hay que tener en cuenta los demás conductores a los efectos de determinar la condición del caso más desfavorable).

Se debe evaluar la corriente por avería a partir de las impedancias fuente y de línea relativas a la planta inductora. Hay que suponer que la tensión fuente es la máxima en el momento de la avería (110% de la tensión nominal) y que la impedancia de avería es 0Ω .

El operador de la línea de tracción tiene que proporcionar dichos valores.

La ubicación de la avería, que se debe suponer a los efectos de evaluar los resultados de interferencia que se han de comparar con los límites fijados, se escogerá como aquella que provoque la situación inducida más desfavorable.

Es posible que se deban tener en cuenta varios casos antes de poder identificar la ubicación de la avería más desfavorable, en particular tratándose de sistemas especiales de alimentación, como autotransformadores o transformadores-reguladores.

7.2.3.2 Condiciones de funcionamiento

a) *Corrientes a la frecuencia fundamental*

El operador de la línea de tracción tiene que proporcionar los valores de las corrientes de funcionamiento en todos los conductores de la planta de tracción (incluidos los rieles y la tierra) teniendo en cuenta:

- la construcción del sistema eléctrico;
- la ubicación de los sistemas de tren con respecto a la posible intersección entre los conductores de retorno y otros dispositivos eléctricos, como autotransformadores o transformadores-reguladores; y
- la corriente en todas las vías del caso.

b) *Corrientes a las frecuencias de los armónicos*

El operador de la línea de tracción tiene que proporcionar los valores de todas las corrientes armónicas pertinentes, teniendo en cuenta la resonancia del sistema, la capacitancia del sistema y considerando cada equipo de tren eléctrico como una fuente de corriente. De otra parte, debe suministrar el valor de la corriente sofométrica.

El patrón de carga de los sistemas de trenes será uno de los empleados para a) anterior.

c) *Conexión de línea*

La frecuencia f de la corriente inductora que se ha de utilizar para calcular las tensiones inducidas ocasionadas por la activación de una línea de tracción eléctrica c.a. viene dada por:

$$f = \frac{v}{4l} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

donde:

v es la velocidad de propagación [km/s] (= 290 000 km/s)

l es la longitud de la sección activada de línea [km]

El valor de la corriente se calcula mediante la expresión:

$$I_s = E / Z_c \quad [\text{A}] \quad (3)$$

donde:

E es el valor máximo de la tensión de alimentación [V]

Z_c es la impedancia característica del bucle catenaria-tierra [Ω]

7.2.4 Sistema de tracción eléctrica c.c.

7.2.4.1 Condiciones de avería

En estudio.

7.2.4.2 Condiciones de funcionamiento

En lo que se refiere al acoplamiento inductivo las corrientes inductoras son:

- a) la corriente de ondulación ocasionada por la rectificación, evaluada (bien sea a través de cálculos o mediciones) con las condiciones de funcionamiento más desfavorables (por ejemplo, durante el mantenimiento de la plantas);
- b) la corriente que resulta del patrón de carga de los conjuntos de trenes.

La administración de la planta de tracción tiene que proporcionar dichos valores.

7.3 Condiciones relativas a la planta de telecomunicaciones

La condición de referencia para la planta de telecomunicaciones inducida es aquella especificada en el diseño de la planta para la instalación.

No se tendrá en cuenta la disminución en la protección contra la interferencia, ocasionada por falta de mantenimiento.

El operador de telecomunicaciones tiene que proporcionar dichos valores.

De ser necesario, hay que suministrar los parámetros que describen la asimetría (cabe recordar que la asimetría respecto a tierra de los equipos de telecomunicaciones ha de ser conforme a la Rec. UIT-T K.10 [3]).

8 Conformidad con las tensiones de referencia

8.1 Consideraciones generales

Con el fin de establecer la conformidad con las tensiones de referencia, hay que determinar el nivel de las tensiones inducidas, bien sea calculándolas, midiéndolas o estimándolas mediante una combinación adecuada de cálculos y mediciones.

Cuando el peligro al que se exponen los seres humanos no sea despreciable, las tensiones inducidas no podrán ser mayores que las tensiones que constituyen un peligro, es decir, los límites establecidos en 6.2 (en condiciones habituales o graves, según el caso).

Cuando el daño a los equipos sea relevante, hay dos opciones:

- 1) la tensión inducida en el punto en que el equipo ha sido o puede ser instalado no excede las tensiones que provocan un daño establecidas en 6.3; o
- 2) es posible que la tensión inducida en el punto en que el equipo ha sido o puede ser instalado sea mayor que las tensiones que provocan un daño establecidas en 6.3, en cuyo caso se dará una de las dos condiciones siguientes:
 - a) el equipo, cuyo nivel de resistibilidad es menor o igual que los valores dados en 6.3, tendrá la protección adecuada;
 - b) se instalará un equipo que tenga mejor nivel de resistibilidad (mayor que los valores indicados en 6.3).

NOTA 1 – Las tensiones que provocan daño, especificadas en 6.3, tienen como único fin el de definir las responsabilidades (en lo que se refiere a gastos, por ejemplo) que competen a los propietarios de la planta inductora y de la inducida.

Cuando se deba tener en cuenta el funcionamiento incorrecto, hay dos opciones:

- 1) la tensión inducida en el punto en que el equipo ha sido o puede ser instalado no excede las tensiones de inmunidad establecidas en 6.4; o
- 2) es posible que la tensión inducida en el punto en que el equipo ha sido o puede ser instalado sea mayor que las tensiones de inmunidad establecidas en 6.4, en cuyo caso habrá que instalar un equipo con un nivel de inmunidad mayor (comparado con los valores indicados en 6.4).

NOTA 2 – Las tensiones relativas al funcionamiento incorrecto especificadas en 6.4, tienen como único fin el de definir las responsabilidades (en lo que se refiere a gastos, por ejemplo) que competen a los propietarios de la planta inductora y de la inducida.

Cuando venga al caso el ruido, la tensión sofométrica evaluada entre dos cables de un par, en cualquier terminal de la planta de telecomunicaciones inducida, no podrá exceder el valor límite para el ruido dado en 6.5.

8.2 Superposición de efectos

Tratándose del marco de interferencia de una planta inducida, valen las siguientes hipótesis:

- los fallos en las plantas inductoras (cuyas duraciones son muy cortas) no son simultáneos: es decir, se han de evaluar los resultados de interferencia ocasionados en una planta inducida por una sola planta inductora, para luego compararlos con las tensiones de referencia del caso, sin antes tener en cuenta las otras plantas inductoras;
- las condiciones normales de funcionamiento de todas las plantas se presentan simultáneamente: es decir, se han de evaluar los resultados "acumulados" de interferencia ocasionados en una planta inducida por todas las plantas inductoras en condiciones normales de funcionamiento, para luego compararlos con las tensiones de referencia del caso.

8.3 Comprobación de la conformidad mediante cálculos

Por lo general, la conformidad se establece empleando métodos analíticos.

Los cálculos se efectuarán con arreglo a lo acordado entre las dos partes, que a su vez deberá ser conforme a alguna de las metodologías estipuladas en las Directrices.

8.4 Comprobación de la conformidad a través de mediciones

No se suele utilizar, por varias razones, por ejemplo porque una campaña de medición exhaustiva puede ser muy costosa. Además, cabe recordar que en general no es posible comparar directamente los resultados de las mediciones con las tensiones de referencia, dada la dificultad que se presenta al reproducir en las mediciones las condiciones de interferencia de referencia correspondientes a las tensiones de referencia. Es decir, para obtener valores que puedan ser comparados con las tensiones de gestión es necesario modificar, a través de cálculos, los resultados de las mediciones, efectuados en condiciones que no son las más desfavorables.

De otra parte, en algunos casos es preferible utilizar mediciones en lugar de cálculos, por ejemplo cuando los datos iniciales necesarios para estos últimos se conocen con muy poca precisión o cuando el algoritmo empleado es apenas aproximado. Así, por ejemplo, podría ser mejor medir la magnitud del ruido que calcularla.

9 Gestión de interferencia

9.1 Consideraciones generales

En toda situación de interferencia tiene que ver la seguridad de la gente, el daño de una planta o el funcionamiento incorrecto de ésta, por lo que es un asunto que debe tratarse con sumo cuidado (véase la cláusula 4), a fin de poder garantizar que tras el proceso de diseño la interferencia será aceptable; de ser necesario, se deben tomar medidas apropiadas de reducción de interferencia (véase 4.4.3).

Conviene a todos los propietarios de las plantas en cuestión cooperar para resolver los problemas de interferencia e.m.

9.2 Vida útil de la planta

Cabe recordar que las características técnicas de una planta suelen variar durante la vida útil de ésta y, por consiguiente, también puede variar la situación de interferencia durante dicho periodo.

Una situación grave ocurre cuando, debido a modificaciones de las características técnicas de una planta o varias plantas, o a la entrada de una nueva planta inductora en el marco de interferencia de una inducida, una interferencia aceptable se convierte en inaceptable. Para evitarlo, se debe efectuar una supervisión de la evolución temporal de las características técnicas de las plantas involucradas en la interferencia e.m.

9.3 Intercambio de información

No hay que olvidar que en un marco de interferencia puede haber varias plantas inductoras/inducidas que a su vez pueden pertenecer a distintos propietarios. Esto implica que es muy importante poder intercambiar información entre las empresas del caso, de una manera correcta, eficiente, fiable y oportuna.

Una posible solución consiste en que cada una de las partes nombre un "gestor de interferencia" que conozca todos los aspectos de interferencia relacionados con su empresa, para que pueda ser el contacto en caso necesario.

9.4 Documentación de la planta

Por motivos de control, es conveniente mantener un expediente de interferencia para cada planta.

Este expediente puede dividirse en tantos subexpedientes como situaciones de interferencia haya en la planta: es decir, el expediente de una planta de telecomunicaciones tendrá un número de subexpedientes igual al número de plantas inductoras, mientras que el de una planta de alimentación eléctrica será igual al número de plantas inducidas (un expediente corresponde a un marco de interferencia).

Cada subexpediente contendrá todos los documentos relacionados con el problema, por ejemplo:

- los contactos mantenidos con todos los otros propietarios de plantas inductoras (en el caso de un expediente de una planta de telecomunicaciones) o de los propietarios de plantas inducidas (en el caso de un expediente de una planta de alimentación eléctrica) con el fin de mantener un registro de cuándo, cómo y de dónde se recopiló la información;
- las descripciones geométrica y eléctrica de las plantas correspondientes;
- los resultados de los cálculos realizados (uno sólo si la interferencia es aceptable desde el principio, varios si no lo era y por ende se hicieron necesarias medidas de reducción, en cuyo caso hay que conservar registro de dichas medidas);
- los resultados de las mediciones efectuadas, si las hubiere;

- cualquier otro documento relativo a los acuerdos entre propietarios de plantas, en lo que toca a la distribución de costos de interferencia, si lo hubiere.

Cada subexpediente debe ser independiente y completo.

Así como las características de las plantas pueden variar durante la vida útil de éstas, también es posible que existan cambios en el expediente de interferencia durante dicho periodo, por lo que tal vez sea necesario añadir nuevos documentos (algo que sólo puede hacerse a un expediente) para guardar un registro de la historia de la planta.

Anexo A

Método de evaluación de la distancia de referencia de influencia

A.1 Acoplamiento inductivo

A.1.1 Base de cálculo

La distancia de influencia de referencia (RID, *reference influence distance*) para sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica y para los de tracción eléctrica se puede determinar a partir de las tensiones de referencia U_m teniendo en cuenta el valor de la corriente inducida, la posible longitud inductora máxima y los diversos casos de apantallamiento. El primer paso consiste en calcular un valor normalizado de la tensión de referencia u_m mediante la expresión:

$$u_m = \frac{U_m}{l_m} \frac{1}{k_t} \frac{1}{k_u} \frac{1}{k_p} \frac{1}{I_p} \left[\frac{V}{km \cdot kA} \right] \quad (A-1)$$

donde:

U_m es el valor adecuado de la tensión de referencia correspondiente a la condición inductora (de avería o de funcionamiento normal) y al tipo de tensión de referencia (daño, resistibilidad), en V

l_m es la longitud inductora máxima para las plantas de un caso de inducción determinado, en km

k_t es el factor de apantallamiento correspondiente a la línea inducida, que es una cantidad adimensional

k_u es el factor de apantallamiento ocasionado por estructuras metálicas urbanas enterradas (factor urbano), que es una cantidad adimensional

k_p es el factor de apantallamiento correspondiente a la línea eléctrica inductora, que es una cantidad adimensional

I_p es la corriente con retorno a tierra de la línea eléctrica inductora, en kA

La magnitud de u_m dada por la expresión *supra* es igual al valor de la impedancia mutua z_m , por unidad de longitud, entre la línea inductora y una línea hipotética paralela a ésta a una distancia RID, es decir:

$$u_m = z_m \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-2)$$

El valor de z_m es una función de las siguientes magnitudes:

f la frecuencia de la corriente inductora, en Hz

ρ la resistividad del suelo equivalente

d la distancia de influencia de interferencia para el acoplamiento inductivo

es decir:

$$z_m = f(f, \rho, d) \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-3)$$

Para un caso de inducción dado, se conocen tanto la frecuencia f como la resistividad del suelo ρ , con lo cual se puede determinar la distancia de influencia de referencia d empleando la relación indicada. Ahora bien, debido a la dificultad matemática inherente a dicha relación, no existe una fórmula explícita para calcular d . No obstante, uno de los métodos descritos a continuación permite estimarla.

A.1.2 Cálculo de la distancia de influencia de referencia

A.1.2.1 Método de cálculo

En principio, para calcular los valores de la RID para el acoplamiento inductivo d se puede utilizar cualquier expresión que relacione la impedancia mutua z_m con retorno a tierra y las variables indicadas en la fórmula (A-3). En el Volumen II de las Directrices (cláusula 4.1 de [6]) se presentan las expresiones que cumplen este requisito. Teniendo en cuenta el carácter aproximado de la evaluación de la RID, no se requiere demasiada precisión en la expresión para z_m . Es posible utilizar entonces las siguientes expresiones polinominales:

para $x \leq 10$:

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} (142,5 + 45,96x - 1,413x^2 - 198,4 \ln x) \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-4a)$$

para $x > 10$:

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} \frac{400}{x^2} \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-4b)$$

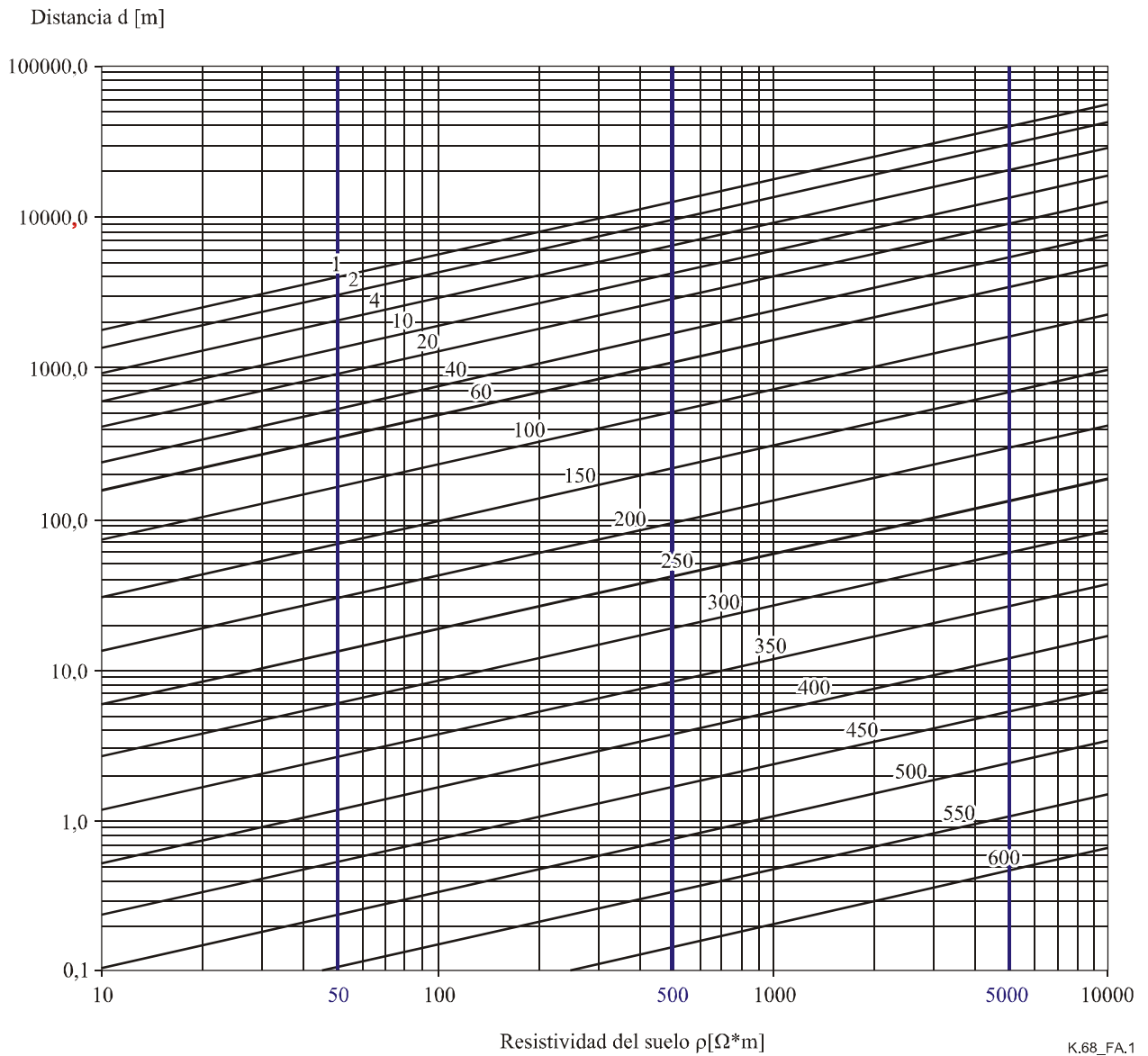
donde:

$$x = \alpha \cdot d = \sqrt{\mu_o \frac{\omega}{\rho}} \cdot d = 2,81 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot d \quad [-] \quad (A-5)$$

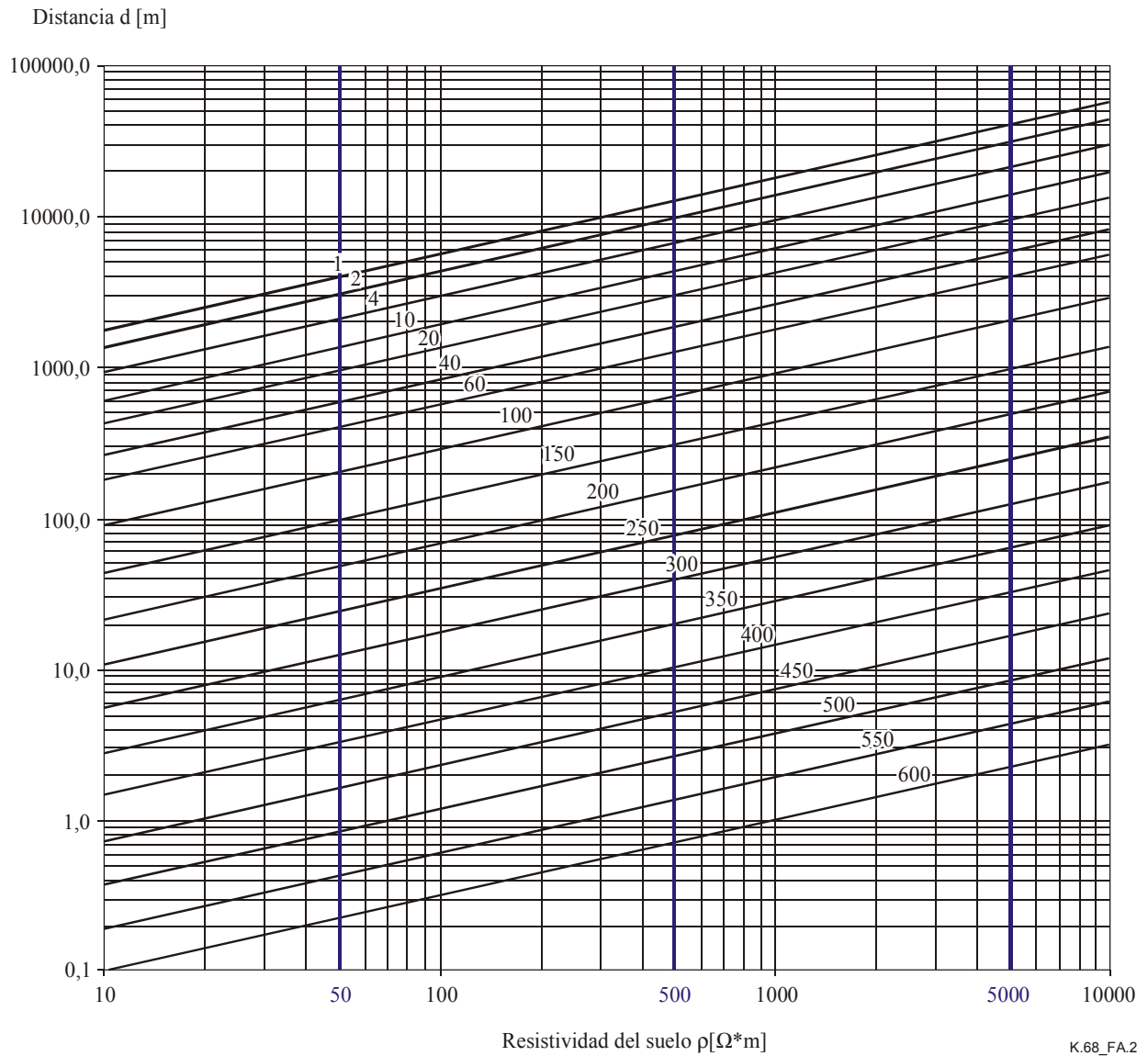
Cuando se escogen la frecuencia f y la resistividad de tierra ρ con arreglo a las condiciones reales, x viene dado en función de d por la fórmula (A-5). Al reemplazar este valor de x en (A-4) e identificar $|z_m|$ a través de (A-1) y (A-2), se puede obtener la relación entre $|z_m|$ y d , a partir de la cual es posible determinar el valor de esta última variable, es decir la RID requerida. En la práctica, para que este cálculo sea eficaz conviene utilizar un software especializado (por ejemplo, de técnicas de iteración).

A.1.2.2 Utilización de gráficas

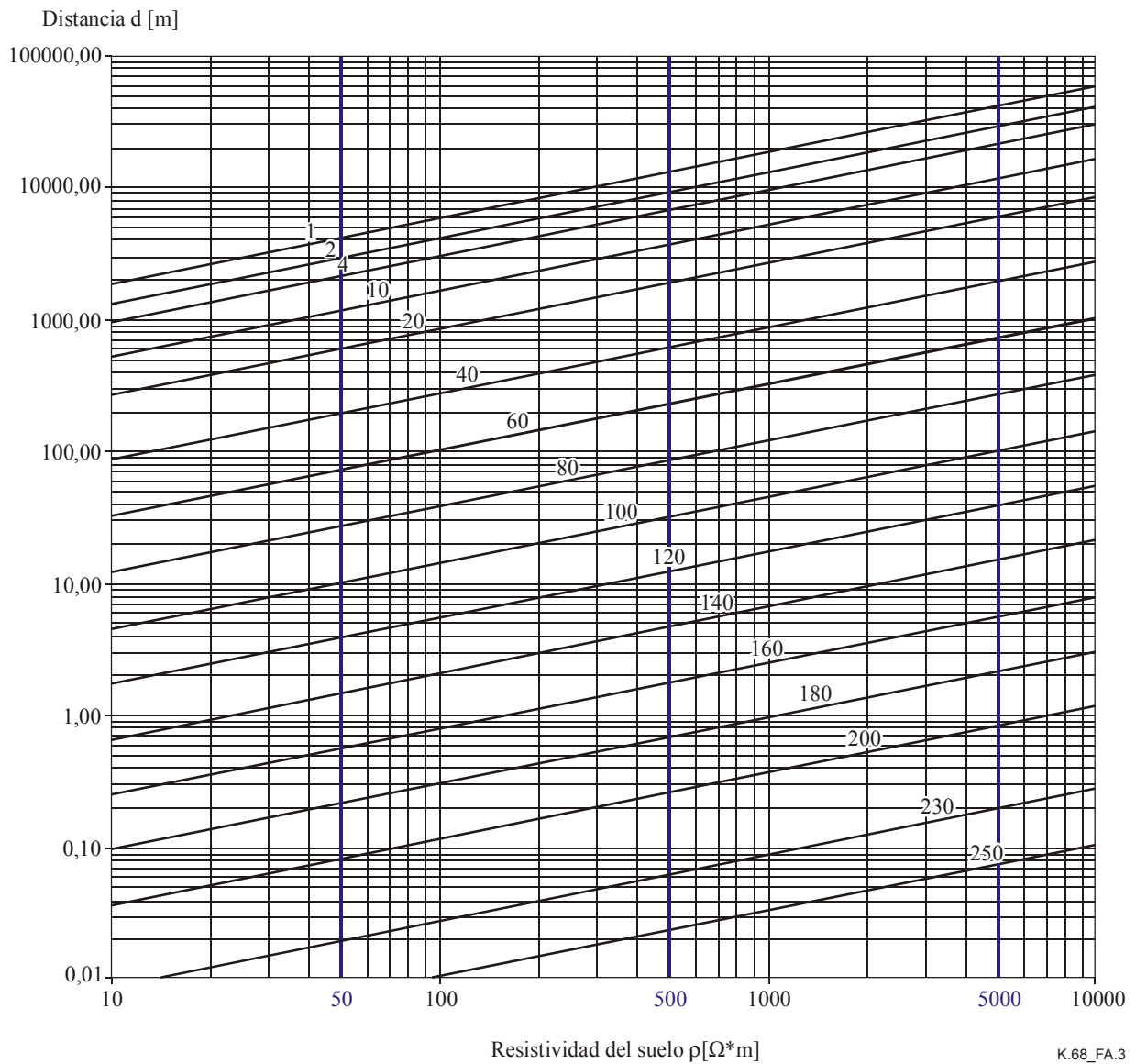
En las figuras A.1, A.2, A.3 y A.4 se muestran conjuntos de curvas que permiten establecer el valor de la RID en función de la resistividad de la tierra y con la tensión de referencia normalizada como parámetro de las curvas para 50 Hz, 60 Hz y 16 $\frac{2}{3}$ Hz y 800 Hz, respectivamente. Con estas gráficas, es relativamente simple determinar la RID pertinente, dada una tensión de referencia normalizada u_m por km y por kA, obtenida a partir de (A-1) y empleando el valor real de la resistividad específica del suelo, ρ , en Ωm .



**Figura A.1/K.68 – Relación gráfica entre la distancia de separación y la resistividad del suelo para determinadas tensiones de referencia con respecto a las curvas dadas en [V/(km.kA)]
Frecuencia: 50 [Hz]**

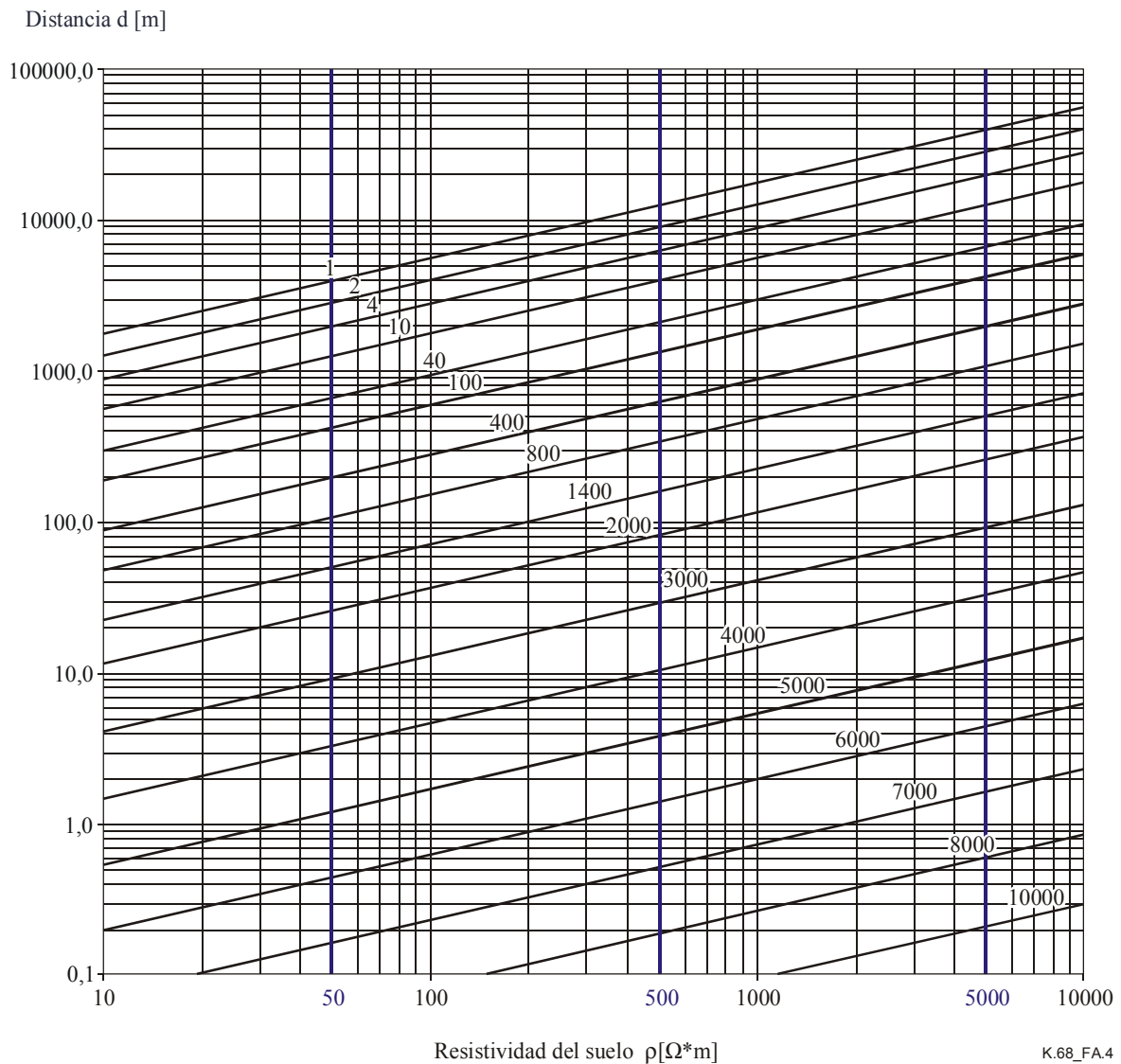


**Figura A.2/K.68 – Relación gráfica entre la distancia de separación y la resistividad del suelo para determinadas tensiones de referencia con respecto a las curvas dadas en [V/(km.kA)]
Frecuencia: 60 [Hz]**



K.68_FA.3

**Figura A.3/K.68 – Relación gráfica entre la distancia de separación y la resistividad del suelo para determinadas tensiones de referencia con respecto a las curvas dadas en [V/(km.kA)]
Frecuencia: $16^{2/3}$ [Hz]**



**Figura A.4/K.68 – Relación gráfica entre la distancia de separación y la resistividad del suelo para determinadas tensiones de referencia con respecto a las curvas dadas en [V/(km.kA)]
Frecuencia: 800 [Hz]**

A.2 Acoplamiento conductivo

A.2.1 Cálculo de la RID para una rejilla de puesta a tierra de subestación

La corriente I_e que pasa a través de la resistencia de la rejilla de puesta a tierra de una subestación provoca un aumento de potencial en la rejilla propiamente dicha (elevación del potencial de los electrodos) y, como consecuencia de ello, se origina en la zona alrededor de la subestación una elevación del potencial de tierra (EPR, "embudo de potencial"). Estos potenciales pueden transferirse, a través del acoplamiento conductivo, a la planta inducida al entrar en la subestación o el embudo de potencial a una distancia inferior a la RID para el acoplamiento conductivo.

Se puede calcular el aumento de potencial debido a la rejilla de puesta a tierra empleando la siguiente expresión [7]:

$$U_e = R_e I_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} k_p I_p \quad [\text{V}] \quad (\text{A-6})$$

donde:

$$R_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad \text{es la resistencia de puesta a tierra de la rejilla, en } \Omega$$

ρ es la resistividad específica del suelo (en la superficie) en $\Omega \cdot \text{m}$

A es el área de la rejilla de puesta a tierra, en m^2

$I_e = k_p I_p$ es la corriente a tierra en la subestación, es decir, la fracción de la corriente por avería que fluye desde la rejilla a tierra, en A

k_p es el factor corriente-tierra, que identifica la fracción de la corriente por avería que fluye desde la rejilla a tierra; es adimensional

I_p es la corriente por avería de tipo asimétrico (secuencia cero) que se presenta en la subestación, en A

Cabe mencionar que la elevación de potencial se incrementa linealmente con el valor de ρ , y disminuye cuando aumenta el área de la rejilla de puesta a tierra.

La corriente a tierra I_e es la diferencia entre la corriente por avería de la subestación y la corriente que retorna a través del neutro del transformador o de los transformadores de la subestación, pasando por el cable o los cables a tierra de la línea o las líneas de eléctricas y por la cubierta o cubiertas del cable o los cables conectados a la subestación. Estos dos últimos pueden expresarse mediante el factor de apantallamiento de las líneas en cuestión.

La EPR está caracterizada por la distribución de potencial $k(a)$ que es, por definición, el valor normalizado del potencial a tierra $V(a)$ dividida por el potencial de rejilla U_e

$$k(a) = \frac{V(a)}{U_e} \quad [-] \quad (\text{A-7})$$

donde $V(a)$ es la EPR, a una distancia a medida a partir del borde de la rejilla.

La función de potencial a tierra viene dada por:

$$k(a) = 0,674 \ln \frac{a + 0,815\sqrt{A}}{a + 0,185\sqrt{A}} \quad [-] \quad (\text{A-8})$$

En la figura A.5 se muestra la función de distribución de potencial a tierra $k(a)$ en función de la distancia a desde el borde de la rejilla.

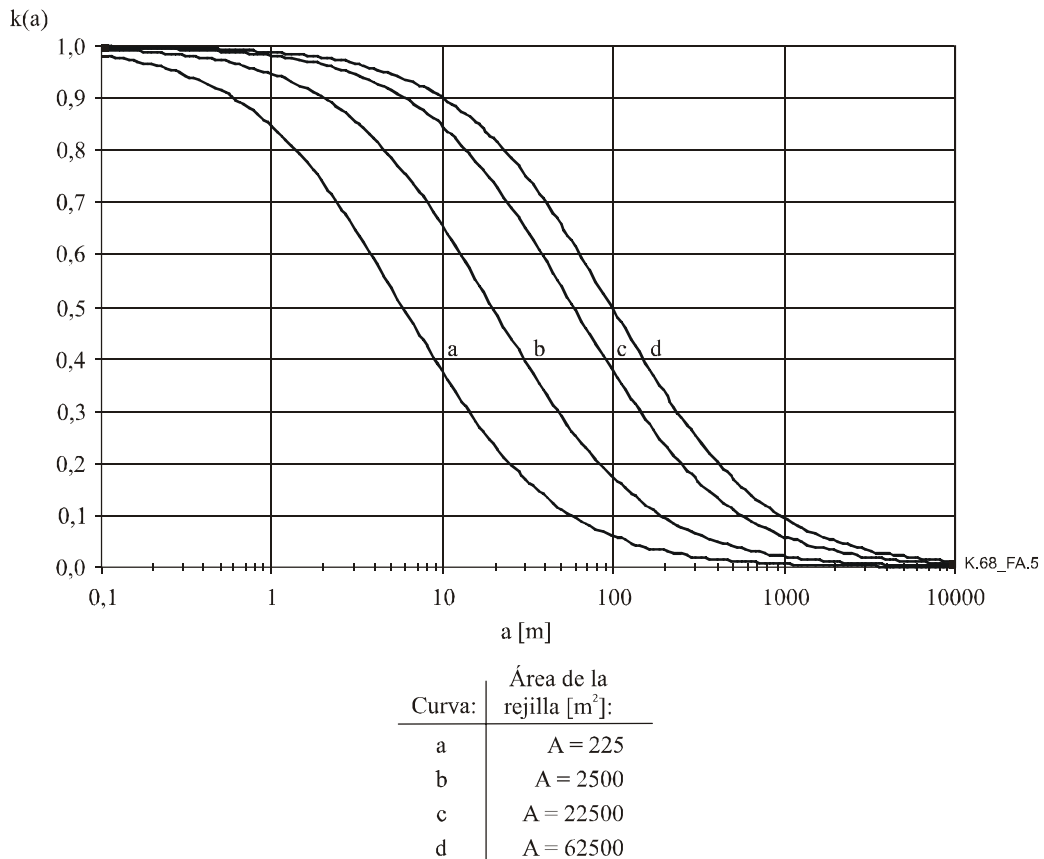


Figura A.5/K.68 – Función de distribución de potencial a tierra $k(a)$, en función de la distancia a , desde el borde de la rejilla de puesta a tierra

A partir de la fórmula (A-8), se puede expresar a en función de $k(a)$ utilizando la expresión:

$$a = \frac{0,815 - 0,185 \times 4,41^{k(a)}}{4,41^{k(a)} - 1} \sqrt{A} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-9})$$

El potencial a tierra $V(a)$, tras haberlo disminuido aplicándole los efectos de compensación, ha de ser igual a la tensión de referencia U_m , a una distancia a , que corresponde a la RID:

$$U_m = k_u k_t V(a) \quad [\text{V}] \quad (\text{A-10})$$

donde:

k_u es el factor urbano

k_t es el factor de apantallamiento de la línea inducida

Si se despeja $V(a)$ en (A-10):

$$V(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-11})$$

y se reemplazan (A-6) y (A-11) en (A-7), se obtiene la siguiente expresión para $k(a)$:

$$k(a) = \frac{U_m}{k_p k_u k_t} = \frac{u_m}{\frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} I U_e(A_k)} \quad [-] \quad (\text{A-12})$$

donde u_m es el valor normalizado de la tensión de referencia correspondiente al acoplamiento conductivo de la rejilla de puesta a tierra de una subestación.

Utilizando el valor de $k(a)$ dado en (A-12), se puede establecer la distancia RID igual a a bien sea mediante la función de distribución de potencial de tierra de la figura A.5, o bien mediante la fórmula (A-9).

A.2.2 Cálculo de la RID para la puesta a tierra de una torre de línea de energía eléctrica

A.2.2.1 Línea eléctrica sin hilo pantalla

La elevación de potencial de tierra en caso de una línea eléctrica sin hilo pantalla viene dada por la siguiente expresión que se aplica al electrodo de puesta a tierra hemisférico:

$$U_e = R_e I_{p-ef} = \frac{\rho}{2\pi r_e} I_{p-ef} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-13})$$

donde:

r_e es el radio equivalente de la base de puesta a tierra de la torre, en m

I_{p-ef} es la corriente por avería del corto circuito fase a tierra, en A

La EPR $V(a)$ se caracteriza por la siguiente distribución de potencial correspondiente a las bases de torre que se suelen utilizar, representadas por el electrodo de puesta a tierra hemisférico [7]:

$$V(a) = 2,9 \frac{U_e}{a} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-14})$$

donde $V(a)$ es la EPR a una distancia a medida desde el centro de la base de la torre.

Si se despeja en esta fórmula la distancia a y se reemplazan las expresiones dadas en (A-10) y (A-11), es decir, si $V(a) = u_m$, la distancia a desde el centro del electrodo es igual a la RID:

$$RID = a = 2,9 \frac{U_e}{V(a)} = 2,9 \frac{U_e}{\frac{U_m}{k_u k_t}} = 2,9 \frac{U_e}{u_m} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-15})$$

Asimismo, si se sustituye la expresión para U_e de (A-13), la RID viene dada por:

$$RID = 2,9 \frac{\rho k_u k_t}{2\pi r_e U_m} I_{p-ef} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-16})$$

A.2.2.2 Línea eléctrica con hilo pantalla

Este caso está determinado básicamente por:

- la magnitud de la corriente de avería a tierra;
- la resistencia promedio de puesta a tierra de las torres;
- la configuración del hilo pantalla;
- el tramo promedio.

En el cuadro A.1 [7] se indican los valores de la elevación de potencial de torre que se obtienen en las simulaciones para las condiciones de referencia identificadas.

Es posible hacer otros cálculos para corrientes diferentes de 10 kA:

$$U_e = U_{10} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-17})$$

donde:

U_{10} es la elevación de potencial de torre para las condiciones de referencia dadas en el cuadro A.1, en V/10 kA

I_{p-ef} es la corriente por avería a tierra, en kA

Cuadro A.1/K.68 – Elevación de potencial en la torre donde ocurre la avería para las condiciones de referencia por 10-kA de corriente por avería a tierra

Resistencia de puesta a tierra [Ω]	Elevación de potencial en la torre U_{10} , [V/10 kA]		
	Configuración del hilo pantalla		
	1 sw [kV]	2 sw [kV]	1 sw + cp [kV]
8	4663	3237	872
25	8208	5589	2290
50	11413	7432	4316
sw hilo pantalla			
cp contraantena (<i>counterpoise</i>)			

Si se substituye la expresión para U_e dada por (A-17) en (A-15), el valor de la RID viene dado por:

$$RID = 2,9 \frac{U_{10}}{u_m} \frac{I_{p-ef}}{10} = 2,9 k_u k_t \frac{U_{10}}{U_m} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-18})$$

A.2.3 Cálculo de la RID en caso de acoplamiento conductivo de un sistema de tracción eléctrica c.a.

En este caso, el acoplamiento conductivo proviene de la elevación de potencial de los rieles (potencial de electrodo) que se presenta en los puntos en los que se inyecta o se extrae la corriente de los rieles (por ejemplo, en el tren, en el borde del BT, en la ubicación del AT, o en el punto de alimentación).

La elevación de potencial de los rieles se caracteriza porque:

- 1) Depende mucho de la conductividad de fuga a tierra, G (disminuye a medida que ésta aumenta).
- 2) Es diferente para sistemas con frecuencias de 50 Hz (es mayor) y 16 $\frac{2}{3}$ Hz (es menor).
- 3) Se incrementa a medida que aumenta la longitud entre los puntos donde se inyecta o extrae la corriente en los rieles (esta tendencia sólo prevalece hasta una distancia menor que el doble de la distancia entre las zonas extremas del bucle rieles-tierra). Debido a ello, la elevación de potencial de los rieles es menor para sistemas de alimentación especial (AT o BT) que para sistemas RR simples, especialmente cuando la distancia entre los AT o BT sea pequeña. La diferencia que es aproximadamente 20%, no se tiene en cuenta al calcular la RID, por lo que esta última se maximiza cuando se trata de dichos sistemas especiales.

En la figura A.6 [8] se pueden observar las tendencias mencionadas en 1) y 2).

Si se considera como referencia para la fuga riel-tierra un valor de $G = 0,25$ S/km, se aplican los siguientes valores de potencial de riel normalizado, tomados de la figura A.6 [8]:

- $U_{e50} = 25$ V por 100 A para 50 Hz, y
- $U_{e16\frac{2}{3}} = 15$ V por 167 A para 16 $\frac{2}{3}$ Hz.

Conviene observar que la corriente de tracción que viene al caso para determinada potencia de tracción, es decir en 2500 kVA, provoca prácticamente el mismo potencial en los rieles de los sistemas de tracción de 25 kV y de 15 kV, en otras palabras, para el sistema a 25 kV la corriente es 100A, que produce un potencial en los rieles de $1 \times 25V = 25 V$, mientras que para el sistema a 15 kV la corriente es 167 A, cuyo resultado es $1,67 \times 15V = 25,05 V$.

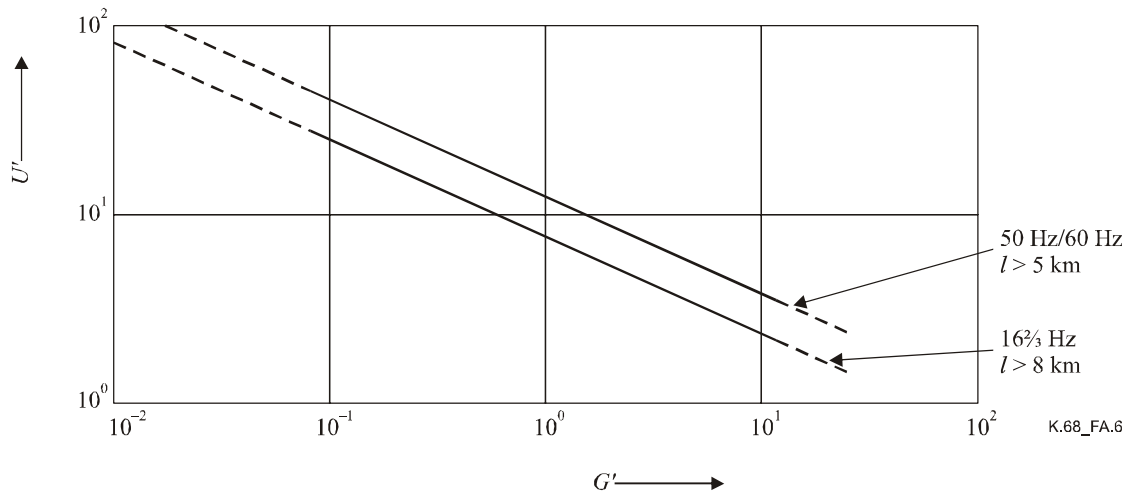


Figura A.6/K.68 – Valores de referencia para el potencial normalizado en los rieles U' , V por 100 A, en un sistema de tracción c.a. en función de la conductividad de fuga riel a tierra en S/km

El potencial en los rieles que corresponde a una potencia de tracción S kVA viene dado por:

$$U_e = U_{RE} = 25 \frac{S}{2500} = \frac{S}{100} \quad [V] \quad (A-19)$$

En la figura A.7 [8] se muestra el valor normalizado de la EPR U_{PE} , la base es el potencial en los rieles U_{RE} , en función de la distancia lateral a para una línea c.a. de doble vía.

El potencial a tierra U_{PE} , tras haber sido disminuido al aplicarle los efectos de compensación, ha de ser igual a la tensión de referencia U_m , a una distancia a , que corresponde a la RID:

$$U_m = k_u k_t U_{PE}(a) \quad [V] \quad (A-20)$$

donde:

k_u es el factor urbano

k_t es el factor de apantallamiento de la línea inducida

Si se despeja $U_{PE}(a)$ en (A-20):

$$U_{PE}(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [V] \quad (A-21)$$

y se utilizan las expresiones (A-19) y (A-21), el cociente U_{PE}/U_{RE} viene dado por:

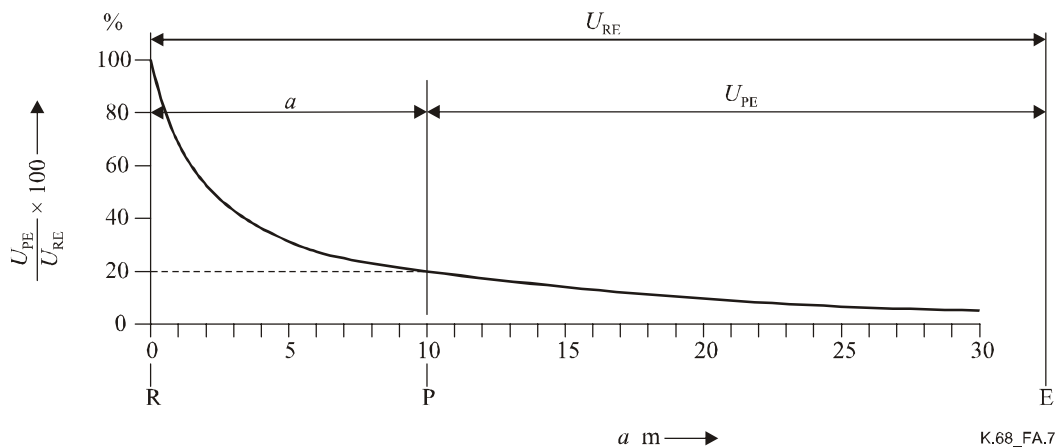
$$100 \frac{U_{PE}(a)}{U_{RE}} = \frac{10^4}{S} \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [%] \quad (A-22)$$

donde:

U_m es la tensión de referencia, en V

S es la potencia de tracción, en kVA

Utilizando el valor porcentual indicado en (A-22), se puede extraer la $RID = a$ de la figura A.7.



E = Tierra
P = Punto de medición
R = Riel
a = Distancia al punto de medición desde el riel

Figura A.7/K.68 Valor normalizado de la EPR U_{PE} , dividido por el potencial en los rieles U_{RE} , en función de la distancia lateral a , para una línea c.a. de doble vía

Vale la pena observar que en este método se supone que el valor más restrictivo de la RID es provocado por la corriente de funcionamiento en lugar de la de cortocircuito.

Apéndice I

Factores de ponderación para el cálculo de la tensión sofométrica ponderada

En los siguientes cuadros se indican los valores numéricos de los factores de ponderación en la gama de frecuencias de $16\frac{2}{3}$ Hz a 6000 Hz, que se emplean en la definición de la tensión sofométrica ponderada (véase la definición de 3.32).

Frecuencia [Hz]	Factor de ponderación
16,66	0,056
50	0,71
100	6,91
150	35,5
200	89,1
250	178
300	295
350	376
400	484
450	582
500	661
550	733
600	794
650	851
700	902
750	955
800	1000
850	1035
900	1072
950	1109
1000	1122
1050	1109
1100	1072
1150	1035
1200	1000
1250	977
1300	955
1350	928
1400	905
1450	881
1500	861
1550	842
1600	824

Frecuencia [Hz]	Factor de ponderación
1650	807
1700	791
1750	775
1800	760
1850	745
1900	732
1950	720
2000	708
2050	698
2100	689
2150	679
2200	670
2250	661
2300	652
2350	643
2400	634
2450	626
2500	617
2550	607
2600	598
2650	590
2700	580
2750	571
2800	562
2850	553
2900	543
2950	534
3000	525
3100	501
3200	473
3300	444
3400	412
3500	376
3600	335
3700	292
3800	251
3900	214
4000	178
4100	144,5
4200	116

Frecuencia [Hz]	Factor de ponderación
4300	92,3
4400	72,4
4500	56,2
4600	43,7
4700	33,9
4800	26,3
5000	20,4
> 5000	15,9
> 6000	7,1

Apéndice II

Valores de las magnitudes de las que depende la distancia de influencia de referencia en el acoplamiento inductivo

II.1 Valores de referencia

II.1.1 Consideraciones generales

En este apéndice se suministran valores de referencia para las cantidades de las que depende la distancia de influencia de referencia (RID) en el acoplamiento inductivo (véase A.1), con lo cual se facilita una estimación realista de los valores de la RID.

Dichos valores de referencia se clasifican como:

- magnitudes que caracterizan el entorno electromagnético;
- magnitudes que caracterizan las plantas inductoras;
- magnitudes que caracterizan las plantas inducidas.

También se clasifican conforme al tipo y condiciones de las plantas en cuestión.

II.1.2 Magnitudes que caracterizan el entorno electromagnético

Son aquellas que no se relacionan con las plantas inductoras, ni con las inducidas, puesto que afectan el proceso de inducción, como un todo.

II.1.2.1 Tensiones de gestión, U_m

La tensión de gestión es el valor de tensión apropiado cuya obtención se describe en la cláusula 6.

II.1.2.2 Resistividad específica del suelo, ρ

En el acoplamiento inductivo a baja frecuencia es clave la resistividad de las capas profundas del suelo (entre varios centenares y varios miles de metros de profundidad), puesto que existe una gran profundidad de penetración en el terreno.

A los efectos prácticos, en esta Recomendación sólo se tendrán en cuenta los valores indicados en el cuadro II.1.

Cuadro II.1/K.68 – Valores de referencia de la resistividad del suelo

	Resistividad del suelo [$\Omega.m$]		
Valor	50	500	5000 (nota)
Intervalo	10 – 150	150 – 1500	1500 – 15000 (nota)
NOTA – Para zonas que tengan capas profundas compuestas de rocas primitivas.			

II.1.2.3 Factor de apantallamiento de estructuras enterradas (factor urbano), k_u

En las zonas urbanas existe un efecto general de apantallamiento debido a estructuras metálicas enterradas. El factor urbano k_u , cuyos valores recomendados se indican en el cuadro II.2, permite tener en cuenta este efecto.

Cuadro II.2/K.68 – Valores de referencia del factor urbano, k_u

	Entorno	
	Zona urbana	Zona rural
Factor urbano k_u .	0,1-0,4-0,7 (nota)	1,0
NOTA – Ciudades grandes con alta resistividad del suelo.		

Conviene observar que el efecto de apantallamiento en zonas urbanas disminuye cada vez más debido a la disminución constante de la utilización de estructuras públicas metálicas.

II.1.3 Magnitudes que caracterizan las plantas inductoras**II.1.3.1 Valores de referencia para plantas de alimentación eléctrica c.a.****II.1.3.1.1 Plantas eléctricas con neutro conectado directamente a tierra**

Plantas cuyo neutro se conecta a tierra directamente, a través de una pequeña impedancia o mediante una combinación de ambos métodos. A esta categoría pertenecen las redes de alta tensión (término que incluyen las de alta (HV), muy alta (EHV, *extra high-*) e hiperalta (UHV, *ultra high-*) tensión).

II.1.3.1.1.1 Corriente inductora*a) Corriente de cortocircuito de fase a tierra, I_{p-sc}*

En las redes de alta tensión (HV), cuyo neutro está conectado directamente a tierra, un cortocircuito de fase a tierra provoca una alta corriente por avería a tierra. Una parte importante de dicha corriente retorna a través de tierra provocando inducción en las plantas vecinas inducidas. De otra parte, la protección de relevador detecta fácilmente las averías a tierra en dichos sistemas y los corrige rápidamente, en un periodo que suele durar entre 60 y 100 milisegundos.

La magnitud de la corriente por avería se incrementa con la potencia de cortocircuito de la subestación o subestaciones alimentadoras, y disminuye con la distancia entre la subestación y el punto averiado.

A los efectos prácticos, se proponen los valores indicados en el cuadro II.3 para las corrientes de avería a tierra, en líneas cuyas redes tienen un neutro conectado directamente a tierra, y cuando la resistencia de avería a tierra es 0Ω o 15Ω .

Cuadro II.3/K.68 – Valores de referencia para las corrientes por avería a tierra I_{p-ef} , en líneas con un neutro conectado directamente a tierra

Valores de resistencia de avería a tierra [Ω]	Corriente por avería a tierra [kA]		
	Avería muy distante, baja potencia de cortocircuito	Condiciones intermedias	Avería cercana, alta potencia de cortocircuito
0	10	20	40
15	7	10	15

b) *Corriente de cortocircuito de fase a tierra en línea de alta tensión a 16 $\frac{2}{3}$ Hz, I_{p-sc}*

En caso de alta tensión (en general, un nivel entre 110 y 130 (2x65) kV), de redes bifásicas a 16 $\frac{2}{3}$ Hz y de sistemas de tracción eléctrica, la corriente inductora de referencia es la corriente de cortocircuito de fase a tierra. En el cuadro II.4 se proporcionan valores de referencia para la corriente por avería a tierra I_{p-rw} , en líneas de transmisión bifásicas de alta tensión que alimentan sistemas de ferrocarriles 16 $\frac{2}{3}$.

Cuadro II.4/K.68 – Valores de referencia para la corriente por avería a tierra I_{p-rw} , en líneas de transmisión bifásicas de alta tensión que alimentan sistemas de ferrocarriles a 16 $\frac{2}{3}$

Tipo de alimentación del sistema de ferrocarril a 16 $\frac{2}{3}$ con alta tensión	Corriente por avería a tierra I_{p-rw} [kA]
Alimentado solamente por convertidores a 50/16 $\frac{2}{3}$ Hz	3-5-8
Alimentado por unidades de generador a 16 $\frac{2}{3}$ Hz	4-10-30

c) *Corriente por avería a tierra con impedancia alta de fallo, I_{p-imp}*

En algunos casos puede ocurrir una avería a tierra a través de una alta impedancia de avería, en una línea de red de alta tensión con neutro conectado directamente a tierra, por ejemplo cuando se forman arcos hasta los árboles. El resultado es una corriente por avería a tierra de baja magnitud. Este tipo de avería no puede ser detectada ni corregida en un tiempo corto por la protección de base, es decir la duración de la avería a tierra de alta impedancia puede ser de un par de segundos, por lo que valen los valores límite para duraciones mayores que un segundo. En el cuadro II.5 se proporcionan valores de referencia para la corriente por avería a tierra de línea de alta tensión I_{p-imp} , en caso de una alta impedancia de avería.

Cuadro II.5/K.68 – Valores de referencia para la corriente por avería a tierra de líneas de alta tensión I_{p-imp} , en caso de una alta impedancia de avería a tierra

	Alta impedancia de avería a tierra
Corriente por avería a tierra, kA	1,5

d) *Corriente por avería por una fase desconectada, I_{p-off}*

Una línea de alta tensión de una red con neutro conectado directamente a tierra puede estar funcionando en esta condición de avería cuando una fase esté desconectada, algo que sólo suele ocurrir en redes que funcionan con tensiones entre 110 y 130 kV. (En la práctica, esta situación se da cuando el disyuntor no se cierra en una fase durante la activación/desactivación de la línea.) Este tipo de funcionamiento incorrecto puede llegar a mantenerse algunas veces durante periodos de hasta horas, en cuyo caso el retorno a tierra va reemplazando la fase desconectada y la corriente a tierra es prácticamente idéntica a la que fluye en las fases sin avería. Mientras persista esta

condición de avería, la potencia transmitida y, por ende, la corriente, se limitan a valores entre 70 y 80% de la carga permitida normalmente.

A los efectos prácticos, se proponen los valores del cuadro II.6 para la corriente por avería en líneas que funcionan con una fase desconectada.

Cuadro II.6/K.68 – Valores de referencia para la corriente por avería en una línea que funciona con una fase desconectada, I_{p-off}

	Potencia transmitida		
	Baja (20 MVA) (Nota)	Media (60 MVA) (Nota)	Alta (120 MVA) (Nota)
Corriente inductora, A	100	300	600
NOTA – En el rango de tensiones entre 110 y 130 kV.			

La inducción causada por la corriente de una fase desconectada debe considerarse como una inducción a largo plazo para la que valen las tensiones de gestión de funcionamiento normal correspondientes.

II.1.3.1.1.2 Factor de apantallamiento, k_p

Las estructuras de apantallamiento correspondientes a la planta inductora, es decir el hilo pantalla de la línea eléctrica aérea y la cubierta de los cables subterráneos, permiten el retorno de corriente, con lo cual se reduce la corriente que retorna a través de tierra en una magnitud expresada mediante el factor de apantallamiento.

a) Factor de apantallamiento de hilos pantalla de líneas eléctricas aéreas

En el cuadro II.7 se indican los valores de referencia del factor de apantallamiento de hilos pantalla de líneas eléctricas aéreas.

Cuadro II.7/K.68 – Valores de referencia del factor de apantallamiento de hilos pantalla de líneas eléctricas aéreas

Hilo pantalla	Resistencia del hilo o hilos pantalla [Ω/km]		
	< 0,1	< 0,5	< 1,0 (nota)
Simple	0,55-0,70	0,65-0,75	0,80-0,90
Doble	0,40-0,50	0,5-0,65	0,65-0,75
NOTA – Compuesto de acero trenzado.			

b) Factor de apantallamiento de cubiertas de cables subterráneos de alta tensión

Debido al fuerte acoplamiento entre el cable conductor y la cubierta, una altísima fracción de la corriente por avería a tierra retorna a través de dicha cubierta. En consecuencia, la cobertura de los cables de alta tensión proporciona un factor de apantallamiento muy bueno (bajo).

En el cuadro II.8 se indican los valores de referencia del factor de apantallamiento de cubiertas de cables de alta tensión.

Cuadro II.8/K.68 – Valores de referencia del factor de apantallamiento de cubiertas de cables subterráneos de alta tensión

	Tipo de cubierta	
	Plomo	Aluminio o pantalla de alambre de cobre concéntrico
Factor de apantallamiento	0,15-0,25-0,30	0,04-0,1-0,15

II.1.3.1.2 Plantas de alimentación eléctrica sin neutro conectado directamente a tierra

En primer lugar, cabe mencionar que hay zonas en las que, conforme a la política en vigor en ellas sobre la materia, el neutro siempre se conecta directamente a tierra, sin importar el tipo de red. Tal es el caso de América del Norte.

Las redes sin neutro conectado directamente a tierra corresponden a uno de los tres casos siguientes:

- 1) neutro aislado;
- 2) neutro con puesta a tierra resonante;
- 3) neutro con puesta a tierra de alta impedancia (por lo general una resistencia).

La opción 1 se suele utilizar sólo en redes de plantas industriales y no en las redes públicas de distribución.

La opción 2 se suele utilizar en redes rurales de distribución de tensión media (MV, *medium voltage*) compuestas por líneas aéreas. Es posible que estas redes también se conecten temporalmente (durante un par de segundos) a tierra por una resistencia conectada entre el neutro y por ende, la tierra lo que permite al retransmisor de protección la identificación discriminada de la línea que presenta la avería.

La opción 3 se emplea en redes de distribución MV, urbanas o suburbanas, de cable subterráneo o una mezcla de éste y líneas aéreas, cuando la corriente por avería a tierra capacitiva es alta y, por tanto, es muy improbable que la avería de tierra desaparezca solo, a pesar de la puesta a tierra resonante.

II.1.3.1.2.1 Corriente inductora

a) *Corriente por avería a tierra, I_{p-sef}*

En general, la avería a tierra es el más frecuente en las redes sin neutro conectado directamente a tierra. No se trata de una avería del tipo cortocircuito, pues la corriente por avería es aún más pequeña que la de funcionamiento, en particular si se trata de redes con puesta a tierra resonante. Por consiguiente, no se tendrá en cuenta la inducción ocasionada por la corriente por avería a tierra de redes con puesta a tierra resonante.

La corriente por avería a tierra de redes conectadas a tierra con alta impedancia/resistencia sigue siendo baja. Su valor depende de la magnitud de la impedancia de conexión a tierra, de la distancia entre el lugar de la avería y la subestación alimentadora, y de la impedancia de avería (resistencia de arco y de puesta a tierra). En el cuadro II.9 se indican los valores de referencia de la corriente por avería a tierra en redes conectadas a tierra con alta impedancia/resistencia.

La duración de avería es menor que un segundo, por lo que se deben tener en cuenta las tensiones de referencia para duraciones de la misma magnitud.

Cuadro II.9/K.68 – Valores de referencia para la corriente por avería a tierra, I_{p-sef} , en redes conectadas a tierra con alta impedancia/resistencia

Magnitud de la impedancia/resistencia de la conexión a tierra del neutro	Corriente por avería a tierra I_{p-sef} [A]
Alta Redes con cables subterráneos y aéreos	70-100-150
Moderadamente alta Redes con cables subterráneos	150-250-40

b) *Corriente de doble avería a tierra, I_{p-dbf}*

Si bien la doble avería a tierra, es decir cuando hay averías simultáneas a tierra en dos fases en posiciones diferentes, es un evento mucho menos frecuente, la corriente por avería que se genera es mucho mayor, y la componente de secuencia cero de esta corriente retorna por el trayecto de tierra entre los dos puntos donde hay averías. Su magnitud depende de:

- 1) la potencia de cortocircuito de la alimentación de la subestación en la avería (el valor máximo de la corriente de doble avería podría ser, en principio, 86% de la corriente de cortocircuito trifásica);
- 2) la impedancia, por unidad de longitud, de la línea eléctrica correspondiente al trayecto con avería;
- 3) la distancia entre las posiciones de los puntos de avería;
- 4) las impedancias de avería (la resistencia de arco más la de conexión a tierra) en los puntos de avería. (Esto puede ser muy importante cuando se trate de una avería en una línea aérea de polo que no dispone de hilo pantalla).

En el cuadro II.10 se indican los valores de referencia de la corriente de doble avería a tierra, I_{p-dbf} , en redes sin neutros conectados directamente a tierra.

Cuadro II.10/K.68 – Valores de referencia de la corriente de doble avería a tierra, I_{p-dbf} , en redes sin neutros conectados directamente a tierra

	Tipo de línea con avería	
	Aéreo	Cable subterráneo
Corriente de doble avería a tierra [kA]	1-2,5-5	2-4-7

Por regla general, la corriente de doble avería a tierra desaparece rápidamente ($t < 0,2$ s), salvo si se trata de pequeñas magnitudes ($I_{p-dbf} < 1,5$ kA), en cuyo caso el tiempo de desconexión será un par de segundos y, en consecuencia, valen los límites de tensiones para duraciones de más de un segundo.

II.1.3.1.2.2 Factor de apantallamiento de la cubierta de cables de alimentación eléctrica con tensiones medias (MV)

En el cuadro II.11 se indican los valores de referencia del factor de apantallamiento de la cubierta de cables de alimentación eléctrica con tensiones medias.

Cuadro II.11/K.68 – Valores de referencia del factor de apantallamiento de la cubierta de cables de alimentación eléctrica con tensiones medias

Tipo de cubierta	Factor de apantallamiento, k_p
Capa delgada de aluminio	0,7-0,8-0,9
Cubierta de plomo	0,4-0,5-0,6
Cubierta de aluminio o pantalla de alambre de cobre concéntrico	0,15-0,2-0,3

II.1.3.2 Valores de referencia para plantas de tracción eléctrica c.a.

II.1.3.2.1 Corriente de funcionamiento

Para un sistema de tracción eléctrica c.a., el cociente entre la corriente de cortocircuito y el valor máximo de la corriente de funcionamiento suele ser menor que el cociente entre la tensión de referencia para la inducción a corto plazo y la tensión de referencia para la inducción a largo plazo. Por lo tanto, la RID para el acoplamiento inductivo se determinará sobre la base de la inducción producida por la corriente de funcionamiento.

En el cuadro II.12 se indican los valores de referencia para la corriente de funcionamiento I_{p-rrw} de los sistemas de ferrocarriles electrificados. Estos valores equivalen a una potencia cresta de tracción de aproximadamente 20000 kVA.

Cuadro II.12/K.68 – Valores de referencia para la corriente de funcionamiento I_{p-rrw} de los sistemas de ferrocarriles electrificados con c.a.

Sistema de alimentación	Corriente de funcionamiento [A]	
	Alimentación por un solo extremo	Alimentación por ambos extremos
16 $\frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	(600)	1200
50 Hz, 25 kV	800	–

II.1.3.2.2 Corriente sofométrica

En el cuadro 13 se indican los valores de referencia para la corriente sofométrica I_{p-ps} de los sistemas de ferrocarriles electrificados con c.a.

Cuadro II.13/K.68 – Corriente sofométrica I_{p-ps} de los sistemas de ferrocarriles electrificados con c.a.

Tipo de sistema de tracción	Corriente (sofométrica) perturbadora equivalente [A]
Sistema con inversor de frecuencia y motor asíncrono	1,5
Locomotora equipada de dispositivos controlados por diodo (tiristor) con filtro	4
Locomotora equipada de dispositivos controlados por diodo y por tiristor sin filtro	16

El acoplamiento inductivo ocasionado por la corriente sofométrica sólo es importante en el caso de redes de acceso, es decir de líneas cortas.

II.1.3.2.3 Factor de apantallamiento de los rieles de retorno

Cuando se trate de un sistema simple de alimentación con retorno riel y tierra (sistema RR), los valores de referencia del factor de apantallamiento de los rieles k_{p-rr} de los sistemas de ferrocarriles electrificados con c.a. son los indicados en el cuadro II.14.

Cuadro II.14/K.68 – Valores de referencia del factor de apantallamiento de los rieles k_{p-rr} de los sistemas de ferrocarriles electrificados c.a. con retorno riel y tierra (sistema RR)

Sistema de alimentación	Frecuencia de funcionamiento [Hz]		
	16 $\frac{2}{3}$	50 ó 60	800
Factor de apantallamiento (nota)	0,4	0,50	0,55
NOTA – Una sola vía con riel doble de retorno.			

II.1.3.2.4 Factor de compensación equivalente para sistemas especiales de alimentación

En los sistemas especiales de alimentación, como el sistema de transformador-regulador con retorno por los rieles (BTRR, *booster transformer system with rail return*) o con conductor de retorno (BTRC), y el sistema de autotransformador (AT, *autotransformer*), el efecto de inducción se ve disminuido a través de un mecanismo complejo.

El valor del factor de compensación para una sección de una línea inductora entre dos BT (*booster transformer*) o AT adyacentes depende de si la sección inducida está:

- 1) dentro de la sección de tracción;
- 2) fuera de la sección de tracción.

En el cuadro II.15 se indican los valores de referencia del factor de compensación para sistemas especiales de alimentación.

Cuadro II.15/K.68 – Valores de referencia del factor de compensación para sistemas especiales de alimentación

Corriente inductora	Frecuencia [Hz]	Factor de compensación k_p	
		Longitud inducida	
		Dentro de la sección de tracción	Fuera de la sección de tracción
Frecuencia fundamental	16 $\frac{2}{3}$ Hz	0,1	0,04
	50 Hz	0,15	0,05
Sofométrica	(800 Hz)	0,25	0,06

II.1.4 Magnitudes que caracterizan las plantas inducidas

II.1.4.1 Factor de apantallamiento de los cables de telecomunicaciones inducidos

En el cuadro II.16 se indican los valores del factor de apantallamiento de la cubierta de los cables de telecomunicaciones inducidos k_t desde la óptica de la distancia de interferencia de referencia.

El factor de apantallamiento de líneas de hilo o cables sin pantalla es uno.

Cuadro II.16/K.68 – Valores de referencia del factor de apantallamiento de la cubierta de los cables de telecomunicaciones inducidos k_t

	Tipo de cubierta		
	Cubierta de plástico con capa delgada de aluminio $R_{dc} > 2,5 \Omega/\text{km}$	Cubierta de plomo $R_{dc} < 0,5 \Omega/\text{km}$	Cubierta de aluminio o pantalla de alambre de cobre concéntrico $R_{dc} < 0,1 \Omega/\text{km}$
Factor de apantallamiento	>0,9	<0,5	<0,15

II.1.4.2 Longitudes de referencia de línea inducida

En el cuadro II.17 se proporcionan los valores de referencia para las longitudes de referencia l_m de cables de telecomunicaciones inducidos en varios tipos de redes de telecomunicaciones.

Cuadro II.17/K.68 – Valores de referencia para las longitudes de referencia l_m de cables de telecomunicaciones inducidos

Entorno	Longitudes inducidas [km]	
	Tipo de red de telecomunicaciones	
	Líneas cortas (por ejemplo, red de acceso) (nota)	Líneas largas (por ejemplo, red de larga distancia)
Zona rural	3-5-7	10-15-20
Zona urbana	1-3-5	5-10-15
NOTA – Vale para secciones cortas de cables de ferrocarril inducidas por sistemas de alimentación BT o AT.		

II.2 Valores de los parámetros para el cálculo de la RID: acoplamiento inductivo

Basándose en la información de referencia de II.1, se calculan los valores de la RID dados en 5.2 con los siguientes parámetros:

- El factor urbano k_u que caracteriza la acción de apantallamiento general del entorno:
 - para un entorno rural: $k_u = 1$
 - para un entorno urbano: $k_u = 0,45$ para $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,35$ para $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,25$ para $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- La longitud inducida l_m :
 - para líneas cortas en zona rural: $l_m = 5 \text{ km}$
 - para líneas cortas en zona urbana: $l_m = 3 \text{ km}$
 - para líneas largas en zona rural: $l_m = 15 \text{ km}$
 - para líneas largas en zona urbana: $l_m = 10 \text{ km}$
- Clases de resistividad del suelo:
 - para la clase de baja resistividad: $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 - para la clase de resistividad media: $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 - para la clase de alta resistividad: $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- Factor de apantallamiento de la planta inductora k_p :
 - Línea de alimentación eléctrica c.a. de alta tensión:
 - Aérea a 50/60 Hz: $k_p = 0,5$
 - Subterránea a 50/60 Hz: $k_p = 0,1$
 - Aérea a 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,75$
 - Línea de alimentación eléctrica c.a. de tensión media (MV)
 - Aérea a 50/60 Hz: $k_p = 1$
 - Subterránea a 50/60 Hz: $k_p = 0,5$

- Línea de tracción eléctrica c.a.:
 - Aérea con sistema de alimentación RR a 50 Hz: $k_p = 0,5$
 - Aérea con sistema de alimentación RR a 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,4$
 - Aérea con sistema de alimentación RR a 800 Hz: $k_p = 0,55$
 - Aérea con sistema de alimentación especial a 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,1$
 - Aérea con sistema de alimentación especial a 50 Hz: $k_p = 0,15$
 - Aérea con sistema de alimentación especial a 800 Hz: $k_p = 0,25$
- Factor de apantallamiento de la planta inducida k_t :
 - Línea sin cubierta: $k_t = 1$

En el cuadro II.18 se indican los valores calculados de las corrientes inductoras para las condiciones reales más desfavorables, con sistemas de alimentación eléctrica (distribución y tracción) c.a., junto con los valores correspondientes de las tensiones de referencia U_m .

NOTA – Se supone que las curvas de la figura A.1 son válidas incluso para una frecuencia de 60 Hz.

Cuadro II.18/K.68 – Valores de las tensiones de referencia y de las corrientes inductoras para el cálculo de la RID

Sistema de alimentación c.a. a 50/60 Hz	Situación	U_m [V]	I_p [kA]	Observaciones
Red de alta tensión con neutro conectado directamente a tierra	Habitual	1000	10	Condición igual o menos grave, comparada con la de avería a tierra de alta impedancia
	Grave	430		
Avería a tierra de alta impedancia en red de alta tensión con neutro conectado directamente a tierra	Habitual	150	1,5	Valores calculados de la RID que se indican en 5.2
	Grave	60		
Condición de una fase desconectada en red de alta tensión con neutro conectado directamente a tierra	Habitual/ Grave	60	0,3	Condición menos grave
Avería a tierra en red de tensión media sin neutro conectado directamente a tierra: línea aérea	Habitual	430	0,1	Valores calculados de la RID que se indican en 5.2
	Grave	300		
Avería a tierra en red de tensión media sin neutro conectado directamente a tierra: línea subterránea	Habitual	430	0,25	Condición menos grave comparada con la línea subterránea
	Grave	300		
Doble avería a tierra en red de tensión media sin neutro conectado directamente a tierra: línea aérea	Habitual	430	2,5	No se tiene en cuenta debido a que es muy improbable
	Grave	300		
Doble avería a tierra en red de tensión media sin neutro conectado directamente a tierra: línea subterránea	Habitual	430	4	
	Grave	300		
Sistemas de alimentación c.a. a 16$\frac{2}{3}$ Hz				
Cortocircuito fase a tierra de red de ferrocarril de alta tensión a (2x65 kV) 16 $\frac{2}{3}$ Hz con punto medio conectado directamente a tierra	Habitual	1000	5	Sólo en línea aérea en zona rural
	Grave	300		

Cuadro II.18/K.68 – Valores de las tensiones de referencia y de las corrientes inductoras para el cálculo de la RID

Sistema de alimentación c.a. a 50/60 Hz	Situación	U_m [V]	I_p [kA]	Observaciones
Sistemas de tracción c.a.				
Corriente de funcionamiento de línea de tracción electrificada	Habitual/ Grave	60	1,2	Sistema 16 $\frac{2}{3}$ Hz
			0,8	Sistema a 50 Hz
Corriente sofométrica (800 Hz) de unidad de tracción con inversor de frecuencia y motor asíncrono	Habitual/ Grave	0,2	0,0015	Menos grave comparada con la de inducción causada por la frecuencia de la red de alimentación eléctrica
Corriente sofométrica (800 Hz) de locomotora equipada de dispositivos controlados por diodo (tiristor) con filtro			0,004	Más grave comparada con la de inducción causada por la frecuencia de la red de alimentación eléctrica
Corriente sofométrica (800 Hz) de locomotora equipada de dispositivos controlados por diodo y por tiristor sin filtro			0,015	Más grave comparada con la de inducción causada por la frecuencia de la red de alimentación eléctrica

II.3 Valores de los parámetros para el cálculo de la RID: acoplamiento conductivo

Basándose en la información de referencia de II.1, se calculan los valores de la RID dados en 5.2.4 con los siguientes parámetros:

- El factor urbano k_u que caracteriza la acción de apantallamiento general del entorno:
 - para un entorno rural: $k_u = 1$
 - para un entorno urbano: $k_u = 0,45$ para $\rho = 50 \Omega m$
 $k_u = 0,35$ para $\rho = 500 \Omega m$
 $k_u = 0,25$ para $\rho = 5000 \Omega m$
- Clases de resistividad del suelo:
 - para la clase de baja resistividad: $\rho = 50 \Omega m$
 - para la clase de resistividad media: $\rho = 500 \Omega m$
 - para la clase de alta resistividad: $\rho = 5000 \Omega m$
- Subestaciones:
 - Dimensiones de la rejilla de puesta a tierra y la correspondiente corriente de fallo:
 - $A = 225 m^2$; $I_p = 10 kA$;
 - $A = 2500 m^2$; $I_p = 15 kA$;
 - $A = 22500 m^2$; $I_p = 20 kA$;
- Torre de línea eléctrica:
 - corriente de fallo de 10 kA correspondiente a los siguientes valores de resistencia tierra torre:
 - $\rho = 50 \Omega m$ $R_E = 8 \Omega$;
 - $\rho = 500 \Omega m$ $R_E = 25 \Omega$;
 - $\rho = 5000 \Omega m$ $R_E = 50 \Omega$.

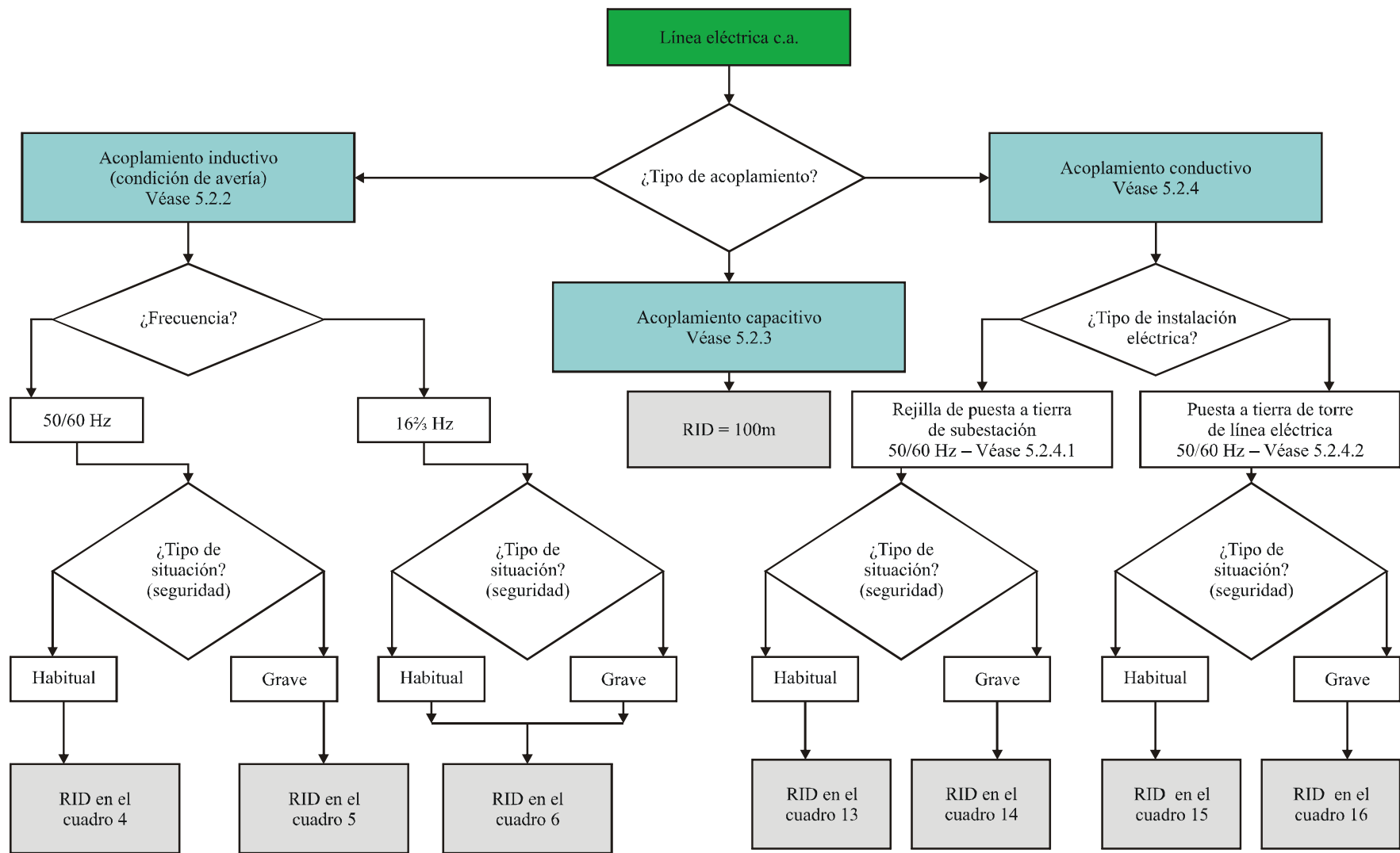
- Factor de apantallamiento de la planta inductora k_p :
 - Línea de alimentación eléctrica c.a. de alta tensión:
 - Aérea a 50/60 Hz: $k_p = 0,5$
 - Mezcla de aérea y subterránea a 50/60 Hz: $k_p = 0,2$
 - Subterránea a 50/60 Hz: $k_p = 0,1$
 - Aérea a 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,75$
- Corriente de funcionamiento I_p :
 - Línea de tracción c.a.:
 - Corriente de funcionamiento a 50 Hz: $I_p = 800$ A
 - Corriente de funcionamiento a 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $I_p = 1200$ A

NOTA – Las mismas corrientes de funcionamiento valen para los sistemas de alimentación simple y de alimentación especial.
- Tensión de referencia U_m :
 - Línea eléctrica a 50/60 Hz para la situación habitual: $U_m = 1000$ V
 - Línea eléctrica a 50/60 Hz para la situación grave: $U_m = 430$ V
 - Línea de tracción a 50/60 ó 16 $\frac{2}{3}$ Hz para la situación habitual y para la grave: $U_m = 60$ V
- Factor de apantallamiento de la planta inducida k_i :
 - Línea sin cubierta: $k_i = 1$

Apéndice III

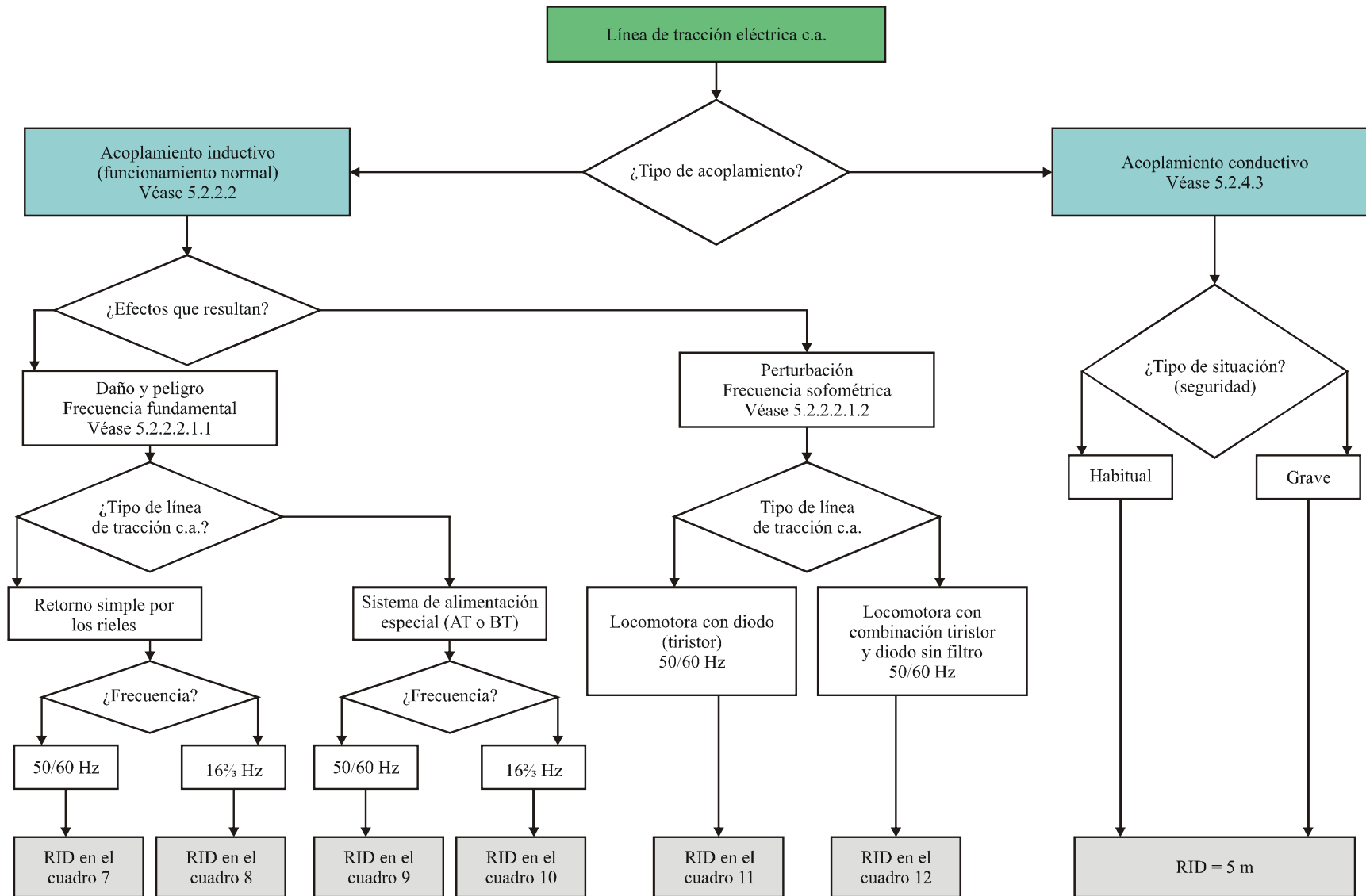
Pasos a seguir para establecer los valores de la RID ocasionados por líneas de distribución o de tracción eléctricas con c.a.

En las figuras III.1 y III.2 se indican los pasos a seguir cuando se calcule la RID para líneas de distribución o de tracción eléctricas con c.a., respectivamente.



K.68_FIII.1

Figura III.1/K.68 – Diagrama de flujo para el cálculo de la RID ocasionada por una línea eléctrica c.a.



K.68_FIII.2

Figura III.2/K.68 – Diagrama de flujo para el cálculo de la RID ocasionada por una planta de tracción eléctrica c.a.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación