



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.56

(07/2003)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

**Protección de las estaciones de base
radioeléctricas contra el rayo**

Recomendación UIT-T K.56

Recomendación UIT-T K.56

Protección de las estaciones de base radioeléctricas contra el rayo

Resumen

Esta Recomendación presenta un procedimiento cuantitativo para proteger las estaciones de base radioeléctricas (RBS) de las redes de acceso inalámbrico contra los rayos. El nivel de protección se basa en la frecuencia tolerable de los daños que el operador asigna a la RBS, teniendo en cuenta las consecuencias de la interrupción del servicio y la pérdida del equipo. Las RBS objeto de esta Recomendación están compuestas por una cubierta o pequeño edificio que alberga los equipos y una torre cercana donde se sitúan las antenas. Entre los procedimientos de protección se incluyen la puesta a tierra, la continuidad eléctrica, el apantallamiento y la instalación de dispositivos de protección contra sobrecargas (SPD).

Orígenes

La Recomendación UIT-T K.56 fue aprobada el 29 de julio de 2003 por la Comisión de Estudio 5 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

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.

© UIT 2004

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 y objetivo	1
2	Referencias	1
3	Definiciones.....	2
4	Abreviaturas.....	2
5	Configuración de referencia	2
6	Necesidad de protección	3
7	Análisis probabilístico	4
	7.1 Frecuencia tolerable de los daños (F_t).....	4
	7.2 Frecuencia de rayos en la torre (F_a)	5
	7.3 Frecuencia de rayos en el recinto de la RBS (F_d).....	5
	7.4 Análisis de la frecuencia de los rayos.....	5
8	Determinación de los parámetros de corriente de rayo	6
9	Procedimientos de protección en la LPZ0	6
	9.1 Procedimientos aplicables a la torre	6
	9.2 Sistema de puesta a tierra	7
10	Procedimientos de protección para los cables procedentes de la torre.....	8
11	Protección contra los efectos del rayo dentro del recinto	8
	11.1 Factor de apantallamiento (η)	9
	11.2 Configuración BN en malla (Red de continuidad eléctrica en malla).....	9
	11.3 Configuración IBN en malla (red de continuidad eléctrica aislada en malla).....	11
	11.4 Procedimiento de protección en la frontera entre LPZ1 y LPZ2.....	11
12	Protección contra los efectos del rayo en las entradas de servicio	12
	12.1 Servicio de alimentación	12
	12.2 Servicio de telecomunicaciones	13
Anexo A – Factor para la distribución de corriente en la torre (α).....		14
	A.1 Torre cilíndrica	14
	A.2 Torre triangular.....	14
	A.3 Torre cuadrangular	15
Anexo B – Factor de apantallamiento (η) para los bucles de la CBN		16
Anexo C – Factor de la transferencia (β) para las bandejas de cables y conductores de tierra.....		17
	C.1 Conductor de tierra único	17
	C.2 Conductor de tierra doble	17
	C.3 Plancha de tierra	18

	Página
Anexo D – Radio geométrico medio.....	19
Apéndice I – Fundamento del tiempo efectivo del flanco anterior.....	20
Apéndice II – Ejemplo de aplicación.....	21

Introducción

La frecuente utilización de estaciones de base radioeléctricas (RBS, *radio base stations*) para la telefonía móvil y para el bucle local inalámbrico ha suscitado preocupaciones acerca de su exposición a los rayos, que pueden dañar los equipos y el cableado de la RBS. En esta Recomendación se presentan procedimientos de protección de los equipos y el cableado de la RBS contra los rayos, basándose en un análisis estadístico de la instalación.

Recomendación UIT-T K.56

Protección de las estaciones de base radioeléctricas contra el rayo

1 Alcance y objetivo

Esta Recomendación se aplica a las RBS constituidas por una cubierta o pequeño edificio que alberga los equipos y una torre cercana, que contiene las antenas, de tal manera que la torre evita que los rayos caigan sobre la cubierta o el pequeño edificio. El objetivo de esta Recomendación es establecer los criterios para definir los procedimientos necesarios para proteger la RBS contra los rayos.

2 Referencias

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] Recomendación UIT-T K.39 (1996), *Evaluación del riesgo de daños en los emplazamientos de telecomunicaciones debido a las descargas del rayo.*
- [2] Recomendación UIT-T K.40 (1996), *Protección contra los impulsos electromagnéticos ocasionados por el rayo en los centros de telecomunicaciones.*
- [3] Recomendación UIT-T K.27 (1996), *Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra dentro de los edificios de telecomunicaciones.*
- [4] Recomendación UIT-T K.35 (1996), *Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra en instalaciones electrónicas distantes.*
- [5] CEI 61024-1-1:1993, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles – Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems.*
- [6] CEI 61024-1-2:1998, *Protection of structures against lightning – Part 1-2: General principles – Guide B – Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.*
- [7] CEI 61643-1:2002, *Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods.*
- [8] CEI 61643-12:2002, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles.*
- [9] CEI 61662:1995, *Assessment of the risk of damage due to lightning.*
- [10] ETSI EG 200 053 (2002), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matters (ERM); Radio site engineering for radio equipment and systems.*

3 Definiciones

Las definiciones que figuran en las referencias se aplican a la presente Recomendación. Esta cláusula aporta las definiciones adicionales necesarias para la protección de las estaciones de base radioeléctricas (RBS).

3.1 estación de base radioeléctrica (RBS, *radio base station*): Instalación destinada a proporcionar acceso al sistema de telecomunicaciones mediante ondas radioeléctricas.

3.2 frecuencia de los rayos (F): Número de veces al año que un rayo cae sobre una RBS.

3.3 frecuencia tolerable de los daños (F_t): Máximo número de veces al año que un rayo puede caer sobre una RBS causándole daños.

3.4 densidad de descargas a tierra (N_g): Número anual probable de rayos por kilómetro cuadrado.

3.5 corriente del rayo crítica (I_c): Mínimo valor de cresta de la corriente del rayo que debe resistir una RBS para no superar la frecuencia tolerable de los daños (F_t). Este parámetro está asociado a la descarga de retorno del rayo.

3.6 pendiente de subida de la corriente del rayo crítica (di_c/dt): Mínimo valor de la pendiente de subida de la corriente del rayo que ha de soportar una RBS para no superar la frecuencia tolerable de los daños (F_t). Este parámetro está asociado a las descargas posteriores del rayo.

3.7 factor de torre (α): Factor que representa la fracción de la corriente del rayo que fluye por el haz formado por los conductores de telecomunicaciones a lo largo de la torre de la RBS.

3.8 factor de apantallamiento (η): Factor que representa la atenuación de la tensión inducida en el bucle de telecomunicaciones dentro de la RBS debido al apantallamiento de los conductores de la red de continuidad eléctrica común (CBN, *common bonding network*).

3.9 tensión inducida (V_i): Valor de cresta de la tensión inducida en los bucles de telecomunicaciones dentro de la RBS debido al flujo de corriente del rayo crítica a lo largo de la torre.

3.10 factor de transferencia (β): Factor que representa la fracción de la tensión inducida en los bucles de telecomunicaciones dentro de la RBS que se transfiere al interior de los cables no apantallados.

3.11 radio geométrico medio (r'): El radio geométrico medio de un conductor es el radio de un hipotético conductor tubular de paredes infinitamente delgadas sin flujo magnético interno que presenta el mismo acoplamiento de flujo externo que el acoplamiento de flujo total (interno + externo) del conductor original.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

LPZ Zona de protección contra el rayo (*lightning protective zone*)

RBS Estación de base radioeléctrica (*radio base station*)

5 Configuración de referencia

En la figura 1 se muestra la configuración de referencia objeto de esta Recomendación. En dicha figura pueden observarse tres zonas de protección contra el rayo (LPZ, *lightning protective zones*), como se describe en la Rec. UIT-T K.40:

– LPZ0: formada por la torre, las antenas, los cables exteriores y el sistema de puesta a tierra;

- LPZ1: formada por el recinto de la RBS, los cables internos, las guías de los cables, las baterías, etc.;
- LPZ2: formada por los bastidores de los equipos y su contenido.

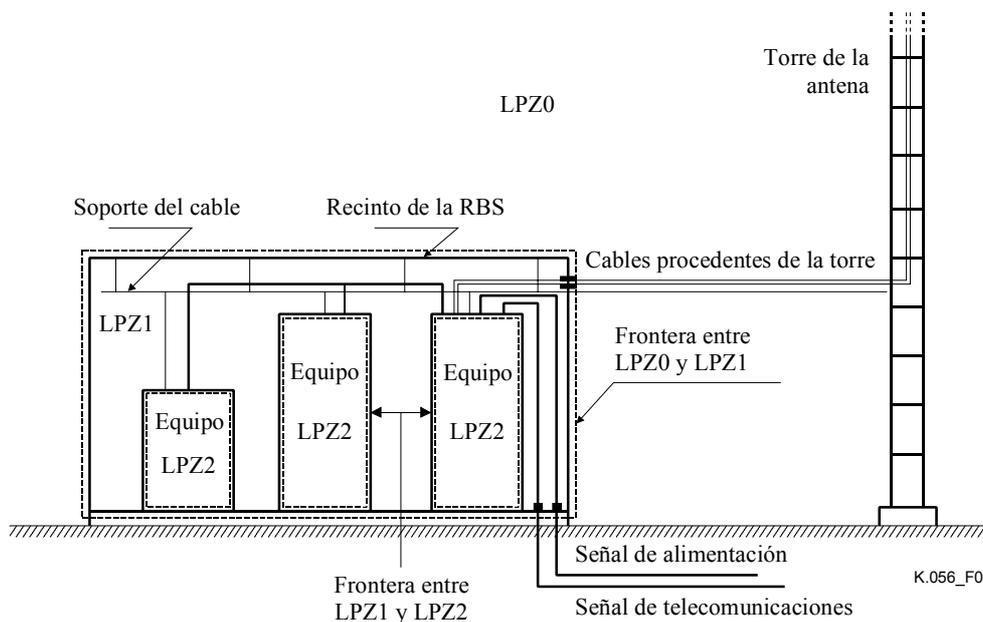


Figura 1/K.56 – Configuración de referencia de una RBS

6 Necesidad de protección

Para estimar la necesidad de protección de una RBS contra el rayo, el usuario deberá determinar la frecuencia tolerable de los daños (F_t) y calcular la frecuencia de descargas de rayo en la torre de la antena de una RBS (F_a) y en el recinto (F_d). Si $F_a + F_d$ es inferior a F_t , la descarga directa de los rayos no es un fenómeno de gran importancia para la RBS y puede considerarse como una instalación electrónica distante normal, que entra en el ámbito de la Rec. UIT-T K.35. Sin embargo, si $F_a + F_d$ es superior a F_t , la RBS necesitará ser protegida contra las descargas directas del rayo. La implementación de esta protección conforme con la presente Recomendación también protegerá a la RBS de las descargas de rayo cercanas, tanto si caen sobre el suelo como si afectan a los servicios entrantes.

El segundo paso consiste en comparar F_a con F_d . Si F_d no es despreciable frente a F_a , la instalación no queda contemplada por la presente Recomendación. En este caso, el usuario habrá de referirse a la norma CEI 61662 para proteger los sistemas eléctricos y electrónicos del recinto de la RBS.

Si F_d es despreciable en comparación con F_a , el usuario seguirá los pasos de la presente Recomendación para definir los parámetros de corriente del rayo de la que ha de protegerse a la RBS. Los procedimientos de protección se dividen en cuatro etapas:

- Protección contra la tensión que se genera dentro de los cables coaxiales procedentes de la torre.
- Protección contra las tensiones y corrientes inducidas dentro del recinto de la RBS debido al flujo de corriente del rayo por la torre y los conductores asociados (cable coaxial, soportes metálicos, etc.).
- Protección contra las tensiones y corrientes inducidas en los conductores de alimentación entrantes debido a la elevación del potencial de tierra de la RBS.

- Protección contra las tensiones y corrientes inducida en los conductores de telecomunicaciones entrantes (de haberlos) debido a la elevación del potencial de tierra de la RBS.

El organigrama de la figura 2 resume los pasos que se explican en esta Recomendación. Para cada uno de ellos, se hace referencia al punto pertinente de esta Recomendación. La cronología la marca las flechas en negrita y las referencias figuran en tipografía normal.

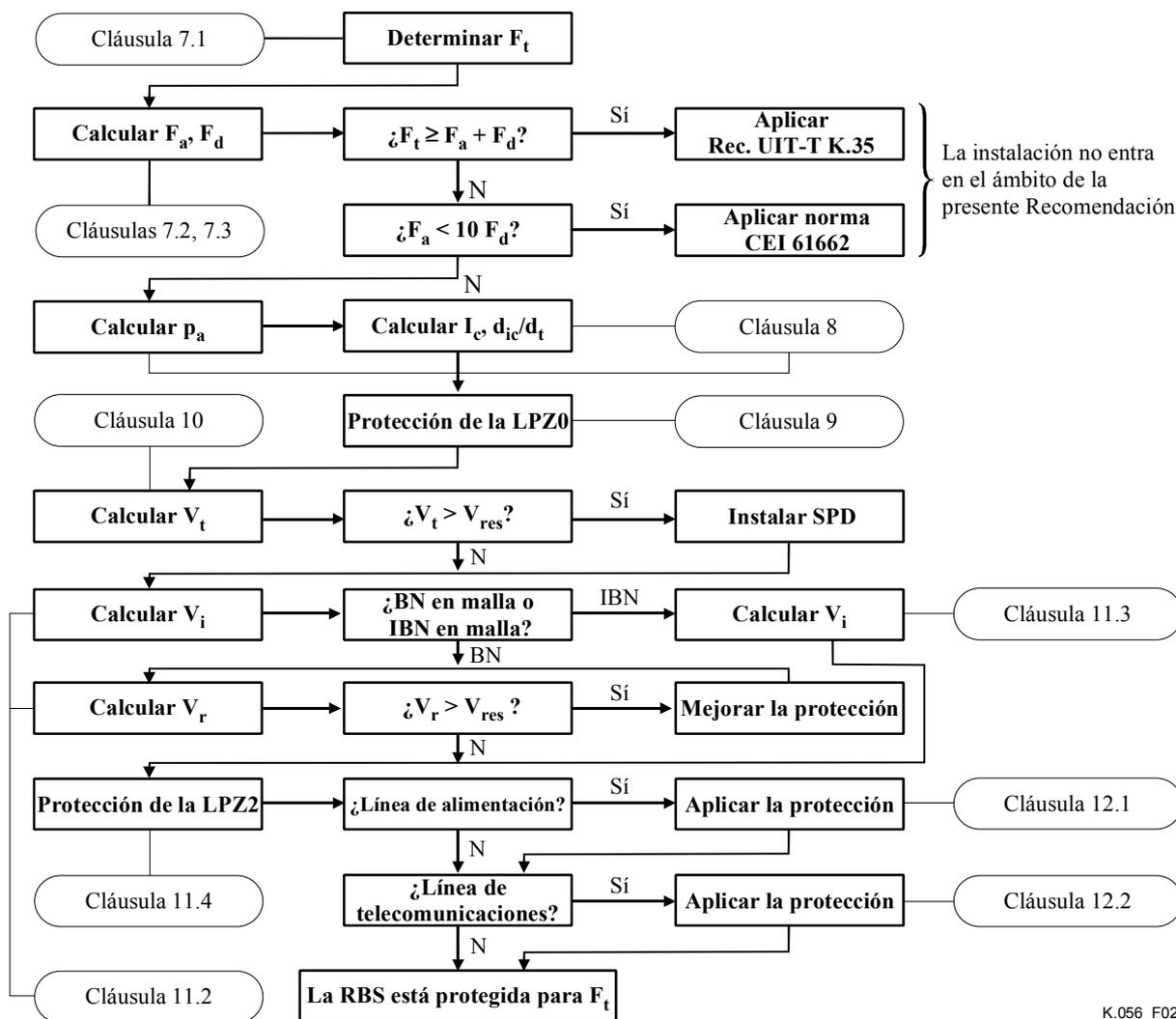


Figura 2/K.56 – Organigrama para la protección de una RBS contra el rayo

7 Análisis probabilístico

7.1 Frecuencia tolerable de los daños (F_t)

El objetivo de las medidas de protección que se describen en esta Recomendación es reducir las pérdidas económicas debidas a los daños a un nivel tolerable para el operador de telecomunicaciones. Los procedimientos de protección para la seguridad de las personas lo determinan las autoridades de seguridad pertinentes y quedan fuera del ámbito de esta Recomendación.

Teniendo en cuenta la naturaleza probabilística del rayo, el operador debe tolerar un determinado nivel de pérdidas económicas debidas a los rayos para elaborar un plan de protección basado en un compromiso técnico y económico.

La frecuencia tolerable de los daños (F_t) se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$F_t = L_t / L_d$$

donde:

L_t = pérdidas económicas tolerables por año debidas a los rayos en una RBS;

L_d = pérdidas económicas probables debidas a los daños causados por el rayo en una RBS.

El operador puede calcular el valor de L_d teniendo en cuenta las siguientes causas de pérdidas económicas, entre otras:

- pérdida de ingresos por interrupción del servicio;
- multas que pueden ser impuestas por una empresa contratante del servicio interrumpido o por el organismo regulador de telecomunicaciones;
- degradación de la imagen de la empresa ante el público;
- coste de sustitución del equipo dañado.

Por consiguiente, las pérdidas económicas causadas por los daños dependerán de las características de la RBS, tales como el tráfico, las multas contractuales, el tipo de equipos, la accesibilidad del personal de mantenimiento, etc.

El operador define el valor de L_t a partir de su plan empresarial, y debe tener en cuenta el coste de la implementación de los procedimientos de protección. Los valores típicos de F_t para una RBS deben oscilar entre 0,10 y 0,01.

7.2 Frecuencia de rayos en la torre (F_a)

La frecuencia de los rayos en la torre viene dada por:

$$F_a = 9 c \pi H_t^2 N_g \text{ [daños} \times \text{año}^{-1}] \quad (1)$$

donde:

N_g = densidad de descargas a tierra (rayos \times km⁻² \times año⁻¹)

H_t = altura de la torre (km)

c = factor de exposición ($c = 1$ en llano y $c = 2$ en montaña)

7.3 Frecuencia de rayos en el recinto de la RBS (F_d)

Suponiendo que el recinto de la RBS se encuentra en una zona circular alrededor de la torre definida por un radio s ($H_t - H_h$), donde H_h es la altura del recinto:

$$F_d = 0$$

Dicho de otro modo, la frecuencia de los rayos viene dada por:

$$F_d = \left(a b + 6 H_h a + 6 H_h b + 9 \pi H_h^2 \right) N_g \text{ [rayo} \times \text{año}^{-1}] \quad (2)$$

donde:

a = longitud del recinto (km)

b = anchura del recinto (km)

H_h = altura del recinto (km)

7.4 Análisis de la frecuencia de los rayos

A partir de los valores F_t , F_a y F_d obtenidos anteriormente, debe hacerse el siguiente análisis:

- Si $F_t \geq F_a + F_d$

las descargas directas de rayo no son un fenómeno de importancia para la RBS, que puede entonces considerarse como una instalación electrónica distante ordinaria, dentro del ámbito de la Rec. UIT-T K.35.

– Si $F_t < F_a + F_d$ y $F_a < 10 F_d$

la instalación no entra en el ámbito de la presente Recomendación. El usuario debe referirse a la norma CEI 62305-4 para proteger los sistemas eléctricos y electrónicos del recinto de la RBS.

– Si $F_t < F_a + F_d$ y $F_a \geq 10 F_d$

el usuario deberá seguir los pasos de esta Recomendación para definir los parámetros de la corriente del rayo contra la que ha de protegerse a la RBS.

8 Determinación de los parámetros de corriente de rayo

El número de descargas directas en la torre se determina a partir de la densidad de descargas a tierra de la región y la altura de la torre. Suponiendo que no sea posible disminuir la altura de la torre por motivos de transmisión, la frecuencia tolerable de los daños puede obtenerse aumentando la inmunidad de la RBS hasta un determinado nivel de corriente. Por consiguiente, las descargas directas con corrientes inferiores al nivel crítico no dañarán a la RBS. La corriente de cresta del rayo crítica se denomina I_c y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$I_c = (a - \ln(100 p_a)) / b \quad [\text{kA}] \quad (3)$$

donde:

$$p_a = F_t / F_a$$

$$a = 4,605 \quad \text{y} \quad b = 0,0117 \quad \text{para } p_a > 0,79$$

$$a = 5,063 \quad \text{y} \quad b = 0,0346 \quad \text{para } p_a \leq 0,79$$

La pendiente de subida de la corriente del rayo crítica (di_c/dt) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{I_c}{t_{eff}} [\text{kA} / \mu\text{s}]$$

donde:

$t_{eff} = 1 \mu\text{s}$ es el tiempo efectivo del flanco anterior, que se describe en el apéndice I

En las siguientes cláusulas se describen los procedimientos de protección de la RBS hasta el nivel de corriente crítica considerado.

NOTA – El valor de cresta de la corriente del rayo corresponde a la primera descarga, mientras que di/dt corresponde a la descarga posterior. La relación entre estos dos parámetros es conforme a la norma CEI 61662. Por ejemplo, una descarga del rayo con una corriente de cresta de 100 kA corresponde a una di/dt igual a 100 kA/ μs . En esta Recomendación algunos procedimientos de protección vienen determinados por la corriente, y otros por la pendiente de subida de la corriente (di/dt).

9 Procedimientos de protección en la LPZ0

9.1 Procedimientos aplicables a la torre

Puede determinarse la necesidad de instalar pararrayos para proteger a las antenas contra las descargas directas siguiendo los métodos descritos en CEI 61024-1-1 [5]. En el caso de una torre metálica, no es necesario instalar conductores de bajada para conducir la corriente de rayo hasta tierra, puesto que la misma estructura de la torre realizará esta función. Si la torre no es metálica, es

necesario instalar conductores de bajada, cuya especificación y normas de instalación deberán ser conforme a CEI 61024-1-2 [6].

El guiaoondas y el conductor externo de los cables coaxiales deberán estar unidos a la torre metálica mediante el equipo de antena. En el caso de las antenas no metálicas, éstos deberán ir unidos a los conductores de bajada del rayo.

9.2 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra de una RBS debe ser conforme con la Rec. UIT-T K.35 [4] con algunos requisitos adicionales. En esta cláusula se describe el sistema de puesta a tierra cuyo diagrama se muestra en la figura 3.

- La RBS debe disponer de un conductor exterior sin aislamiento enterrado que forme un anillo alrededor del recinto y la torre. Un electrodo anular rodeará el recinto y otro anillo rodeará la torre.
- La distancia entre el conductor enterrado y la estructura será de unos 0,65 m, siempre que sea posible. El conductor estará enterrado a una profundidad aproximada de 0,75 m.
- Los dos anillos deberán estar interconectados por al menos tres conductores separados (véase la figura 3).
- Los pies de la torre metálica, o los conductores de bajada de una torre no metálica, estarán unidos mediante conexiones cortas al anillo de tierra y a la estructura metálica de los cimientos.
- Si el recinto tiene cimientos de acero y un refuerzo de acero en el suelo, deberán estar unidos al circuito anular de tierra como mínimo en las cuatro esquinas. Si el recinto es metálico, sus pies deberán estar conectados al anillo de tierra (véase la figura 3).
- Un conductor de tierra deberá conectar el anillo de tierra del recinto con el terminal principal de puesta a tierra (MET, *main earthing terminal*) situado en el interior del recinto, al pie de la pared situada frente a la torre. Este conductor será lo más corto posible y deberá tener una sección transversal mínima de 50 mm².
- Todos los conductores en contacto con tierra serán preferiblemente de cobre y tendrán una sección transversal mínima de 50 mm².
- Es posible que las normas de seguridad nacionales, el control del gradiente de tensión de tierra y la limitación de la corriente inyectada en los servicios metálicos conectados a la RBS requieran electrodos de tierra adicionales. Estos electrodos adicionales serán de preferencia barras verticales situadas a lo largo de los anillos y conductores radiales horizontales procedentes de la torre.

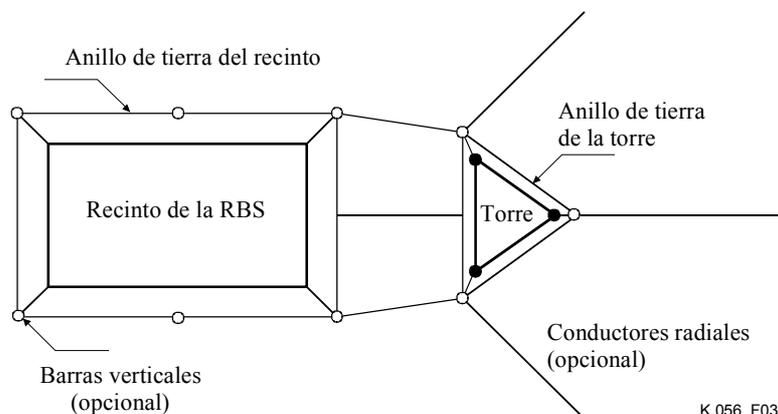


Figura 3/K.56 – Configuración de puesta a tierra de la RBS

10 Procedimientos de protección para los cables procedentes de la torre

Todos los cables que vayan desde la torre a la RBS deberán introducirse por la misma entrada y estar conectados a la barra de continuidad eléctrica instalada en dicho punto. Los guíasondas y el conductor exterior de los cables coaxiales deberán estar directamente conectados a la barra de continuidad eléctrica mediante conexiones cortas. Los cables no apantallados (por ejemplo, los cables de alimentación eléctrica de la torre) estarán conectados mediante un SPD. La barra de continuidad eléctrica estará unida al sistema de puesta a tierra mediante conductores verticales (se recomienda un mínimo de tres conductores espaciados). Si el recinto de la RBS es metálico, deberá además unirse eléctricamente la barra de continuidad eléctrica con la pared del recinto. Los conductores de tierra y los soportes de cables metálicos dentro del recinto de la RBS deberán estar conectados a la barra de continuidad eléctrica.

Se determina la necesidad de instalar un SPD entre los conductores interiores y exteriores de los cables coaxiales procedentes de la torre siguiendo los siguientes pasos:

- Se determina la fracción de corriente de rayo que fluye por el haz de cables a lo largo de la torre. Este parámetro se representa por el factor de torre " α ", que se calcula siguiendo los procedimientos descritos en el anexo A.
- Se divide la corriente resultante por los " n " conductores que conforman el haz. Para realizar este cálculo se considera que la proporción de corriente de un determinado cable coaxial es proporcional a su radio geométrico medio (GMR, *geometric mean radius*). Se tendrán en cuenta todos los conductores del haz, como guíasondas, cables coaxiales, cables de alimentación, conductores de bajada y barras de bastidores de cables (si son continuos a lo largo de la torre).
- Se calcula la tensión transversal de cresta (V_t) de los cables coaxiales multiplicando la corriente de cresta por la longitud del cable y su impedancia de transferencia por unidad de longitud. En el caso de cables tubulares y en la gama de frecuencia de las corrientes del rayo, puede considerarse que un valor conservador de la impedancia de transferencia es igual a la resistencia en corriente continua.
- Se compara la tensión transversal obtenida con la inmunidad de la interfaz del equipo conectado al cable. Si la tensión transversal es superior a la inmunidad, es necesario instalar un SPD. V_t puede obtenerse mediante la ecuación 4:

$$V_t = I_c \alpha L z_t r_x / r_{all} \quad [\text{kV}] \quad (4)$$

donde:

I_c : corriente crítica [kA]

z_t : impedancia de transferencia por unidad de longitud [Ω/m]

α : factor de torre del anexo A [sin dimensión]

L : longitud del cable coaxial [m]

r_c : GMR del cable coaxial [mm]

r_{all} : suma del GMR de todos los conductores del haz [mm]

NOTA – Los criterios utilizados para evaluar la proporción de corriente del cable coaxial son aproximados y darán lugar a resultados conservadores cuando el cable esté situado en la región central del haz.

11 Protección contra los efectos del rayo dentro del recinto

Los procedimientos de protección para atenuar los efectos inductivos de la corriente del rayo dentro del recinto de la RBS pueden basarse en configuraciones BN en malla o IBN en malla. Las características de estas configuraciones están descritas en la Rec. UIT-T K.27. En ambos casos, el campo electromagnético dentro del recinto puede atenuarse gracias al efecto de pantalla de los

elementos metálicos presentes en las paredes del recinto, o cerca de ellas. A efectos de esta Recomendación, dichos elementos metálicos constituyen la frontera entre la LPZ0 y la LPZ1.

11.1 Factor de apantallamiento (η)

La tensión inducida dentro del recinto de la RBS queda atenuada por el apantallamiento que proporcionan los conductores metálicos junto con el cableado de la RBS. Esta atenuación puede representarse por el factor de apantallamiento " η ". A continuación se resumen los factores de apantallamiento de las distintas pantallas.

- No apantallante: η (de la Rec. UIT-T K.39)

Se aplica a los muros de material no conductor, como la madera, el ladrillo, y el cemento armado sin refuerzo de acero.

- Contenedor metálico: $\eta = 0,01$ (de la Rec. UIT-T K.39)

El contenedor metálico deberá tener las cubiertas metálicas conectadas en distintos puntos de las juntas, formando una caja metálica cerrada (techo, suelo y paredes).

- Reja metálica: $\eta = w / 8,5$ (de CEI 61662)

Donde w es la anchura de la reja en metros. La reja metálica deberá formar una jaula alrededor del recinto.

- Conductores de tierra alrededor del recinto: véase el anexo B para conocer el valor de η

La instalación de conductores de tierra alrededor del recinto formando bucles cerrados unidos al cableado interno produce un efecto de pantalla para la RBS. En el anexo B se dan algunos valores de los factores de apantallamiento para las distintas configuraciones de los conductores de tierra.

11.2 Configuración BN en malla (Red de continuidad eléctrica en malla)

En la Rec. UIT-T K.27 [3] se describen las características generales de una configuración BN en malla. Por motivos prácticos se suele preferir la configuración BN en malla para un recinto de RBS. Su aplicación dentro del recinto de una RBS (LPZ1) requiere los siguientes procedimientos:

- Todos los conductores, como soportes, bastidores, bandejas y armarios de los equipos deberán estar unidos entre ellos y en distintos puntos a la red de continuidad eléctrica común (CBN, *common bonding network*).
- La CBN está compuesta por los conductores metálicos de la pared del recinto (acero de la estructura o pared metálica), los conductos metálicos, los conductores de tierra protectores, el equipo metálico del aire acondicionado, etc. La CBN deberá estar unida a la red de tierra en diversos puntos.

En la figura 4 se muestra esquemáticamente el cableado de una RBS siguiendo la configuración BN en malla. La tensión inducida V_i en el bucle más grande dentro del recinto de la RBS se obtiene mediante la siguiente ecuación de aproximación:

$$V_i = 0,2 \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f} \quad [\text{kV}] \quad (5)$$

donde:

h, f, e : son las dimensiones físicas (en metros) que se muestran en la figura 4;

di_c/dt : es la pendiente de subida de la corriente crítica [kA/ μ s];

η : es el factor de apantallamiento (véase 11.1);

k : es el factor que tiene en cuenta la conexión metálica entre la torre y el recinto de la RBS. Para una RBS típica puede considerarse que $k = 1,5$ es un valor conservador para este factor.

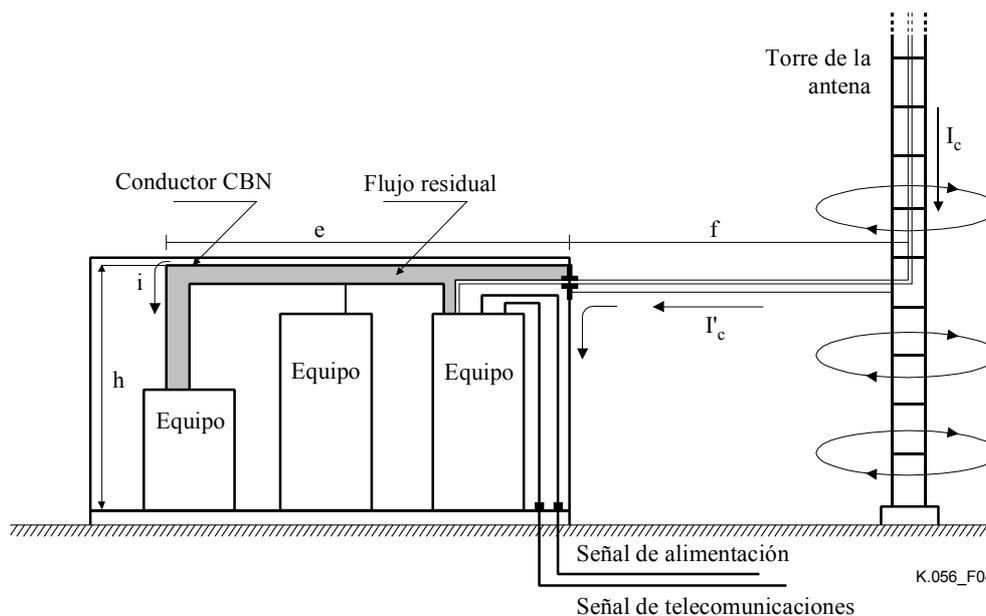


Figura 4/K.56 – RBS con configuración BN en malla

La tensión inducida V_i originará corrientes inducidas dentro de la RBS. El flujo de estas corrientes tiende a cancelar el flujo magnético en los bucles cerrados dentro de la BN malla. No obstante, se mantendrá un flujo residual en los bucles de circuitos abiertos formados por los cables de señalización y alimentación, lo que origina una tensión inducida residual, que se obtiene a partir de la ecuación 6:

$$V_r = \beta V_i \quad (6)$$

donde:

V_r : es la tensión inducida residual [kV];

V_i : es la tensión inducida [kV] obtenida en la ecuación 5 [kV];

β : es el factor de transferencia que se describe en el anexo C.

La tensión residual se aplica entre los conductores de señalización o alimentación no apantallados y los soportes de los equipos. Esta tensión debe compararse con la inmunidad del equipo. Si resulta superior al nivel de inmunidad, el factor de transferencia (β) deberá reducirse mediante conductores de apantallamiento (véase el anexo C) o se instalarán SPD en el puerto del equipo (interfaz LPZ1/LPZ2).

En el caso de los cables apantallados, la tensión residual se obtiene multiplicando la impedancia de transferencia de apantallamiento por la fracción de la corriente inducida que fluye por los cables. Teniendo en cuenta la reducida longitud de los cables de una RBS, normalmente las tensiones inducidas en un conductor apantallado son despreciables.

Por consiguiente, combinando la ecuación 5 y la ecuación 6, y sustituyendo la tensión residual por la inmunidad del equipo (V_{res}) se obtiene la ecuación 7, que determina la condición para la protección del equipo dentro del recinto de una RBS utilizando una configuración BN en malla:

$$V_{res} \geq 0,2 \beta \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f} \quad (7)$$

Para satisfacer la desigualdad de la ecuación 7, puede elegirse entre uno de los siguientes procedimientos:

- Reorganizar el equipo dentro de la RBS para reducir la exposición del bucle disminuyendo la longitud "e" o la altura "h" (véase la figura 4).
- Mejorar el factor de apantallamiento de la RBS (véase 11.1) para reducir η .
- Mejorar el acoplamiento entre los conductores de tierra y los cables (véase el anexo C) para reducir el factor de transferencia β .
- Mejorar la inmunidad del equipo (V_{res}) añadiendo SPD en los puertos.

11.3 Configuración IBN en malla (red de continuidad eléctrica aislada en malla)

Las características generales de la configuración IBN en malla se describen en la Rec. UIT-T K.27 [3]. Su aplicación en el recinto de una RBS (LPZ1) requiere los siguientes procedimientos:

- Todos los conductores deberán introducirse en el recinto de la RBS a través de una ventana de conexión monopunto (SPCW, *single point connection window*) que deberá ser lo más pequeña posible. De preferencia, todos los conductores (incluidos los cables procedentes de la torre, los de alimentación en corriente alterna y los cables de telecomunicaciones de la planta exterior) deberán entrar en la RBS por la misma entrada y estar conectados a la misma barra de continuidad eléctrica.
- El equipo y el cableado dentro de la RBS deberán estar aislados del suelo y las paredes. Este aislamiento deberá poder soportar la tensión inducida V_i obtenida de la ecuación 5.

En la figura 5 se muestra esquemáticamente el cableado de una RBS con configuración IBN en malla.

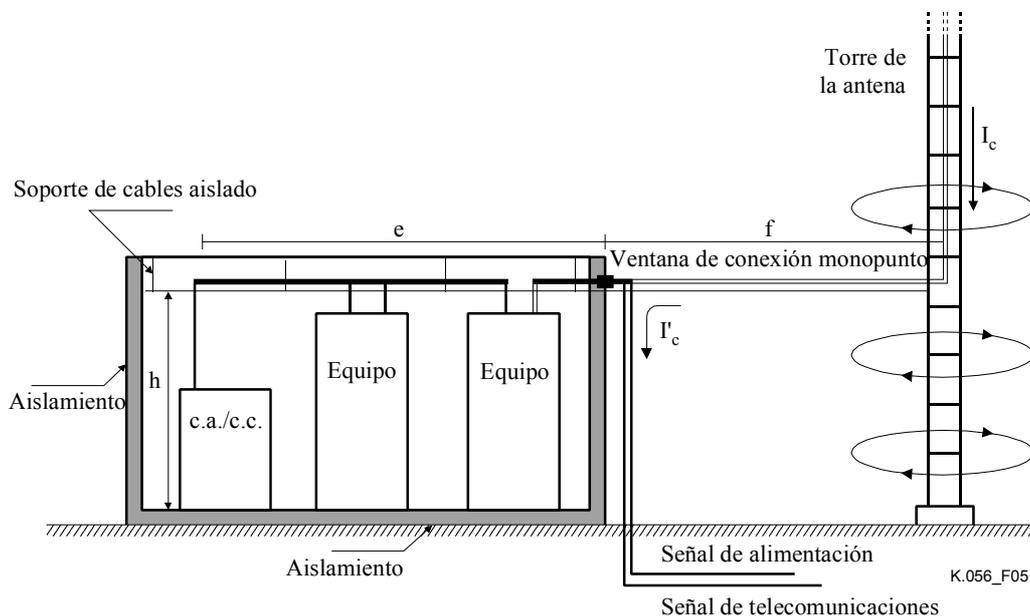


Figura 5/K.56 – RBS con configuración IBN en malla

11.4 Procedimiento de protección en la frontera entre LPZ1 y LPZ2

La frontera entre LPZ1 y LPZ2 son los armarios y bastidores de los equipos (véase la figura 1). Se recomiendan los siguientes procedimientos:

- Los cables apantallados deberán tener su apantallamiento conectado a los armarios de los equipos en ambos lados.

- Los conductores de tierra (PE) deberán estar unidos a los bastidores metálicos de los equipos.
- El soporte metálico de los cables (bandejas) deberá estar conectado a los bastidores metálicos de los equipos al menos en dos puntos separados.
- En caso de ser necesario para una configuración BN en malla, se instalarán SPD entre los conductores no apantallados y los soportes de los equipos (véase 11.2).

12 Protección contra los efectos del rayo en las entradas de servicio

Una RBS típica tiene conexiones metálicas con los servicios de alimentación y, en ocasiones, de telecomunicaciones. En esta cláusula se describen los procedimientos de protección aplicados a estos servicios en la interfaz entre LPZ0 y LPZ1.

12.1 Servicio de alimentación

Para proteger la interfaz de alimentación contra los rayos en la torre de la RBS, es necesario instalar SPD en el punto en que los conductores de alimentación entran al recinto de la RBS. Estos SPD también protegerán a la RBS contra las descargas inducidas del rayo guiadas por los conductores de alimentación hasta la RBS. Los SPD deberán ser conformes a las normas CEI 61643-1 y CEI 61643-12.

Para reducir la tensión residual en la entrada de alimentación, el conductor de alimentación deberá entrar al recinto de la RBS por las proximidades del terminal de puesta a tierra (MET). Las conexiones entre los conductores de alimentación, los SPD y el MET serán lo más cortas posibles y se harán mediante conductores de un diámetro razonable. De preferencia, se utilizará un único conductor para cada conexión al MET (véase la figura 6). Si el cable de alimentación está apantallado, la pantalla deberá estar conectada al MET. Para garantizar que la tensión residual no supera la inmunidad de la entrada de alimentación del equipo, se ajustarán los parámetros de la instalación para que cumplan la ecuación 8 (véase la figura 6):

$$V_{res} \geq 0,2 \frac{di_c}{dt} L_p \left[\frac{R_g}{R_g + Z_p} \right] \ln \left[\frac{b + r_p}{r_p} \right] - V_{spd} \quad (8)$$

donde:

- V_{res} : es la inmunidad del puerto de entrada de alimentación del equipo [kV];
- L_p : es la longitud de la conexión entre los conductores de alimentación y el MET [m];
- r_p : es el radio geométrico medio de la conexión entre los conductores de alimentación y el MET (directamente, o a través de los SPD) [m];
- b : es la distancia entre los SPD y el equipo que se protege [m];
- V_{spd} : es la tensión residual del SPD [kV];
- R_g : es la resistencia de tierra de la RBS [Ω];
- Z_p : es la impedancia de descarga de la línea de alimentación [Ω].

La impedancia de descarga de la línea de alimentación se obtiene mediante la ecuación 9:

$$Z_p = 60 \ln \left\{ \left[a + 648 (\rho / f_L)^{1/2} \right] / r_L \right\} \quad [\Omega] \quad (9)$$

donde:

- ρ : es la resistividad de tierra [$\Omega \cdot m$];
- f_L : es la frecuencia representativa de una descarga del rayo posterior [Hz];

- r_L : es el radio geométrico medio de la línea de alimentación [m];
 a : es la distancia de la línea de alimentación a tierra [m].

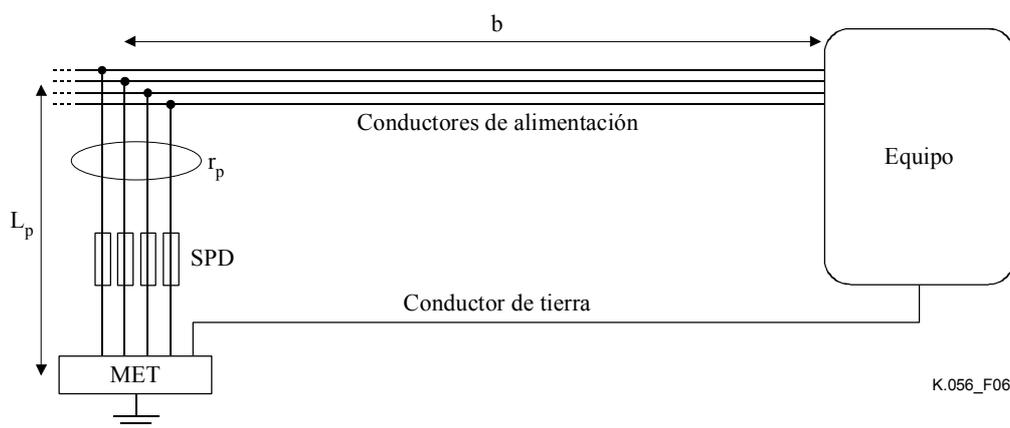


Figura 6/K.56 – Determinación de la máxima longitud entre los conductores de alimentación y el MET

El SPD deberá soportar una corriente de cresta impulsiva que cumpla con la ecuación 10:

$$I_{imp} \geq \frac{I_c}{2 n \times m} \text{ [kA]} \quad (10)$$

donde:

- I_c : es la corriente de cresta crítica (véase la cláusula 8) [kA];
 n : es el número de servicios metálicos conectados a la RBS;
 m : es el número de conductores de la línea de alimentación.

12.2 Servicio de telecomunicaciones

Para proteger las interfaces de telecomunicaciones (conectadas a líneas metálicas) de las descargas del rayo en la torre de la RBS, es necesario instalar SPD en el punto en que los conductores de telecomunicaciones se introducen en el recinto de la RBS. Estos SPD protegerán asimismo a la RBS contra las descargas inducidas del rayo que fluyen por las líneas metálicas de telecomunicaciones a la RBS. El SPD deberá ser conforme con la Rec. UIT-T K.12.

Para reducir la tensión residual en la entrada de telecomunicaciones, el cable de telecomunicaciones deberá introducirse en el recinto de la RBS a proximidad del terminal principal de puesta a tierra (MET). Las conexiones entre los conductores de comunicaciones, el SPD y el MET deberán ser lo más cortas posibles y se utilizarán conductores de un diámetro razonable. De preferencia, debe emplearse más de un conductor para la conexión con el MET. Si el cable de telecomunicaciones está apantallado, la pantalla deberá estar conectada al MET. Para garantizar que la tensión residual no supera la inmunidad de la entrada de telecomunicaciones del equipo, los parámetros de instalación se ajustarán para ser conformes con la ecuación 8, sustituyendo los datos relativos a la alimentación por los correspondientes datos de telecomunicaciones.

Los procedimientos de protección de las líneas de telecomunicaciones contra las descargas de rayos directas e indirectas pueden encontrarse en las Recomendaciones UIT-T K.47 y K.46, respectivamente.

Anexo A

Factor para la distribución de corriente en la torre (α)

Durante los estados transitorios que origina una descarga del rayo, la distribución de la corriente por los conductores de la torre queda determinada por la relación del flujo magnético entre los conductores. El factor de torre " α " se define como la fracción de la corriente del rayo total que fluye por el haz formado por los conductores de telecomunicaciones y otros conductores asociados. En este anexo se consideran las situaciones típicas. La evaluación del radio geométrico medio de los conductores puede realizarse siguiendo el procedimiento descrito en el anexo D.

A.1 Torre cilíndrica

Si los cables de telecomunicaciones están situados al interior de la torre, la corriente del rayo total fluye a través de la torre, de manera que $\alpha = 0$. Si los cables de telecomunicaciones están situados fuera de la torre, la distribución de la corriente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \ln(s / r_t) / \ln(s^2 / r_t r_c)$$

donde:

s : es la separación entre el eje de la torre y el eje del haz de conductores;

r_t : es el radio geométrico medio de la torre;

r_c : es el radio geométrico medio del haz de conductores.

En la figura A.1 se muestran las dimensiones consideradas.

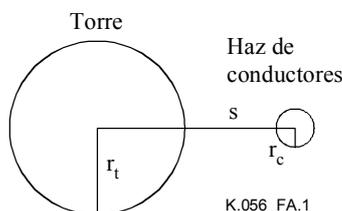


Figura A.1/K.56 – Distancias para una torre cilíndrica

A.2 Torre triangular

En el caso de una torre triangular, se pueden dar las siguientes situaciones típicas (véase la figura A.2):

a) El cable se encuentra a una distancia arbitraria " s " de uno de los pies (véase la figura A.2).

$$\alpha = \{1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln[s(3d^2 + s^2 - 3ds) / (3r_t d^2)]\}^{-1}$$

b) El cable se encuentra en el centro de la torre ($s = d$).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(d / r_c) / \ln(d / 3r_t)]^{-1}$$

c) El cable se encuentra en uno de los laterales ($s = 3d/2$).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(3d / 2r_c) / \ln(3d / 8r_t)]^{-1}$$

d) El cable está cerca de uno de los pies ($s \ll d$).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln(s / r_t)]^{-1}$$

" d " es la distancia desde uno de los pies al eje de la torre.

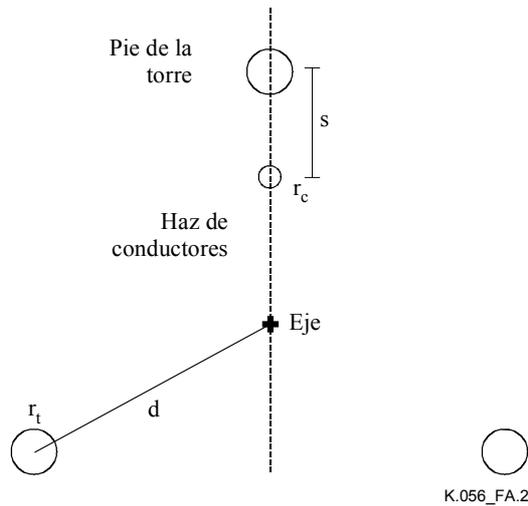


Figura A.2/K.56 – Distancias para una torre triangular

A.3 Torre cuadrangular

En el caso de una torre cuadrangular, pueden darse las siguientes situaciones típicas (véase la figura A.3):

- a) El cable se encuentra a una distancia arbitraria "s" de uno de los pies (véase la figura A.3).

$$\alpha = \{1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln [s (2d - s) / (2 r_t d)]\}^{-1}$$
- b) El cable se encuentra en el centro de la torre ($s = d$).

$$\alpha = [1 + 4 \ln (d / r_c) / \ln (d / 2 r_t)]^{-1}$$
- c) El cable se encuentra cerca de uno de los pies ($s \ll d$).

$$\alpha = [1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln (s / r_t)]^{-1}$$

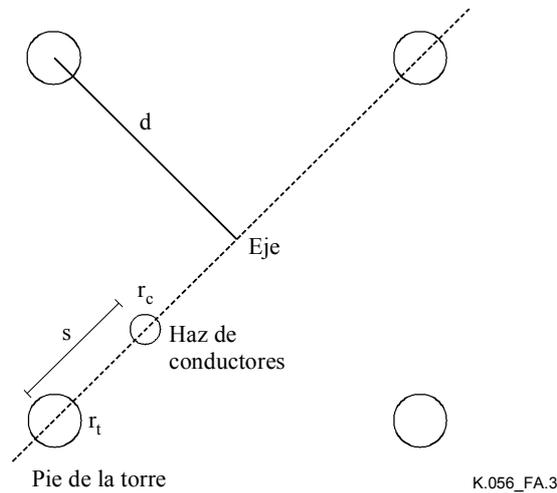


Figura A.3/K.56 – Distancias para una torre cuadrangular

Anexo B

Factor de apantallamiento (η) para los bucles de la CBN

En el cuadro B.1 se muestran los factores de apantallamiento (η) de los conductores de la CBN que forman bucles cerrados unidos con los conductores de telecomunicaciones para las configuraciones de conductores típicas representadas en la figura B.1. El bucle apantallado está formado por los cables de telecomunicaciones, los bastidores de los equipos y parte del circuito de la CBN (por ejemplo, el sistema de puesta a tierra).

Cuadro B.1/K.56 – Factores de apantallamiento para las distintas configuraciones de la CBN

Configuración	Ilustración	Factor de apantallamiento (η)		
		x = 0,15 m	x = 0,4 m	x = 0,8 m
Bucle único	Figura B.1a	0,37	0,48	0,59
Jaula	Figura B.1b	0,45	0,45	0,45
Jaula con 1 conductor suplementario	Figura B.1c	0,21	0,27	0,33
Jaula con 3 conductores suplementarios	Figura B.1d	0,16	0,19	0,23

NOTA – Estos valores se han obtenido de un modelo a escala que representa una RBS típica.

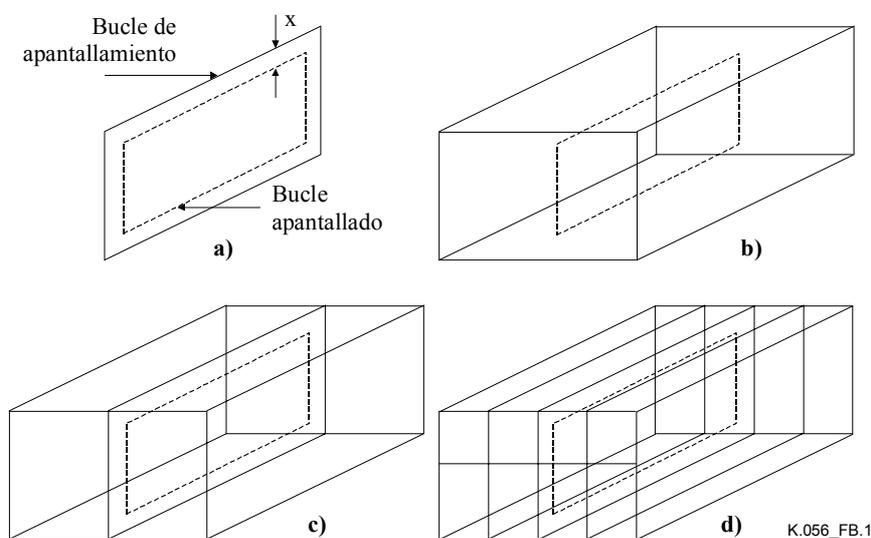


Figura B.1/K.56 – Configuración de apantallamiento típica para una RBS

Anexo C

Factor de la transferencia (β) para las bandejas de cables y conductores de tierra

C.1 Conductor de tierra único

La función de transferencia de un conductor de tierra único se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\beta = \ln [s / r_e] / \ln [2 h / r_e]$$

donde:

s : es el espacio entre el conductor de tierra y el conductor de telecomunicaciones (m);

r_e : es el radio del conductor de tierra (m);

h : es la altura del conductor de tierra (m).

NOTA – La ecuación es válida para $h \gg s$.

En la figura C.1 se muestra el diagrama de los conductores del cuadro C.1, que presenta los valores de β para parámetros típicos.

Cuadro C.1/K.56 – Función de transferencia para un conductor de tierra único ($h = 2$ m)

Espacio (s) en mm	Radio del conductor de tierra (r_e) en milímetros			
	1	2	3	4
10	0,28	0,21	0,17	0,13
25	0,39	0,33	0,29	0,27
50	0,47	0,42	0,39	0,37
100	0,56	0,51	0,49	0,47
200	0,64	0,61	0,58	0,57
500	0,75	0,73	0,71	0,70

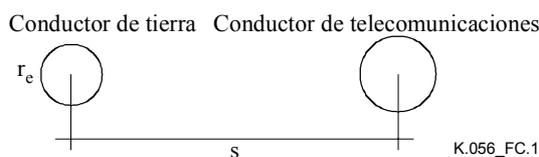


Figura C.1/K.56 – Diagrama del circuito para un conductor de tierra único

C.2 Conductor de tierra doble

La función de transferencia para un conductor de tierra doble se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\beta = 0,5 \ln [s(d - s) / d r_e] / \ln \left[2 h / (d r_e)^{1/2} \right]$$

donde:

s : es la separación entre el conductor de tierra y el conductor de telecomunicaciones (m);

r_e : es el radio del conductor de tierra (m);

h : es la altura del conductor de tierra (m);

d : es la distancia entre los conductores de tierra (m).

NOTA – La ecuación es válida para $h \gg s$.

En la figura C.2 se muestra el diagrama de conductores y en el cuadro C.2 se dan los valores de β para parámetros típicos.

Cuadro C.2/K.56 – Función de transferencia para un conductor de tierra doble ($h = 2$ m y $d = 0,4$ m)

Distancia (s) en mm	Radio del conductor de tierra (r_e) en mm			
	1	2	3	4
10	0,21	0,16	0,12	0,10
25	0,30	0,25	0,22	0,19
50	0,36	0,31	0,28	0,26
100	0,41	0,37	0,34	0,32
200	0,43	0,40	0,37	0,35

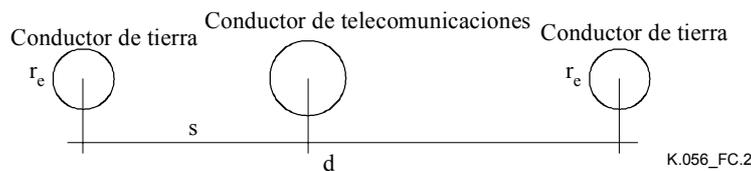


Figura C.2/K.56 – Diagrama del circuito para un conductor de tierra doble

C.3 Plancha de tierra

La función de transferencia para una plancha de tierra conductora se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\beta = (2s/a) \arctg(a/s) / \ln(2h\pi/a)$$

donde:

s : es la distancia entre la plancha y el conductor de telecomunicaciones (m);

a : es la anchura de la plancha de tierra (m);

h : es la altura de la plancha de tierra (m).

NOTA – La ecuación es válida para $a \gg s$, $h \gg a$ y una distancia entre el conductor de telecomunicaciones y el borde de la plancha superior a s .

La figura C.3 muestra el diagrama de conductores y el cuadro C.3 indica los valores de β para parámetros típicos.

Cuadro C.3/K.56 – Función de transferencia para una plancha de tierra ($h = 2 \text{ m}$)

Distancia (s) en mm	Anchura de la plancha de tierra (a) en m			
	0,1	0,2	0,3	0,4
5	0,031	0,019	0,014	0,011
10	0,061	0,037	0,027	0,022
25	0,14	0,087	0,066	0,055
50	0,23	0,16	0,13	0,10
100	0,32	0,27	0,22	0,19

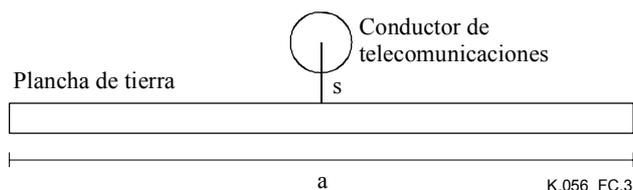


Figura C.3/K.56 – Diagrama del circuito para una plancha de tierra

Anexo D

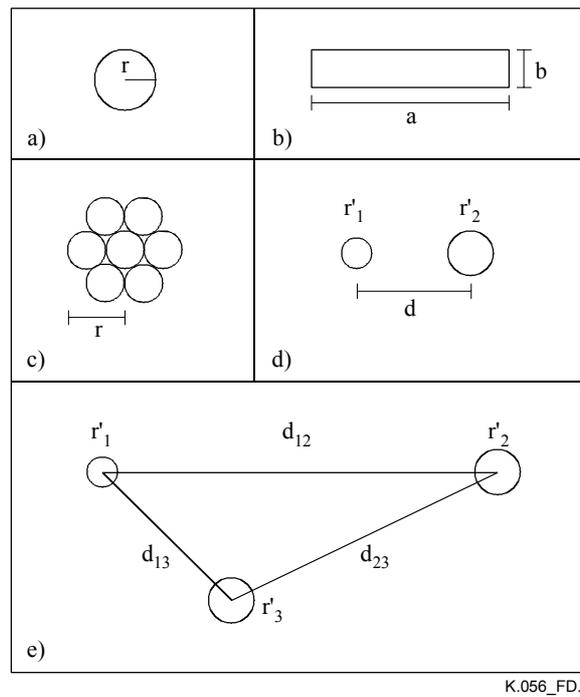
Radio geométrico medio

En el cuadro D.1 se dan los radios geométricos medios para las configuraciones de conductores típicas.

Cuadro D.1/K.56 – Radio geométrico medio de los conductores

Conductor (s)	Ilustración	Radio geométrico medio
Conductor macizo circular	Figura D.1a	r
Conductor macizo rectangular	Figura D.1b	$0,318 (a + b)$
Conductor trenzado de siete hebras	Figura D.1c	r
Dos conductores paralelos	Figura D.1d	$(d^2 r_1' r_2')^{1/4}$
Tres conductores paralelos	Figura D.1e	$(d_{12}^2 d_{13}^2 d_{23}^2 r_1' r_2' r_3')^{1/9}$
n conductores paralelos	–	$(d_{12}^2 d_{13}^2 \dots d_{1n}^2 d_{23}^2 \dots d_{(n-1)n}^2 r_1' r_2' r_3' \dots r_n')^{1/(n \cdot n)}$

NOTA – Teniendo en cuenta los efectos inductivos de la corriente del rayo (valor elevado de di/dt), no se ha tenido en cuenta el flujo magnético interno de los conductores (efecto pelicular perfecto). En el caso de un grupo de conductores, se ha tenido en cuenta la densidad de corriente simétrica en la periferia de los conductores (no se ha considerado el efecto de proximidad).



K.056_FD.1

Figura D.1/K.56 – Radio geométrico medio de los conductores típicos

Apéndice I

Fundamento del tiempo efectivo del flanco anterior

La tensión inducida ligada a una descarga del rayo es proporcional a la pendiente de subida de la corriente. El tiempo efectivo del flanco anterior (t_{eff}) es un valor arbitrario que se obtiene dividiendo la corriente de cresta por el máximo valor de la pendiente de subida de la corriente. En el cuadro I.1 se dan los valores de la máxima pendiente de subida y de la corriente de cresta para las medidas llevadas a cabo por Berger en Monte San Salvatore¹. Estos datos se refieren a la primera descarga de retorno de las descargas negativas en sentido descendente, que son las más probables en las torres de la RBS.

¹ ANDERSON (R.B.), ERIKSSON (A.J.), Lightning parameters for engineering application, CIGRE Electra 69, 1980.

Cuadro I.1/K.56 – Distribución de la pendiente de subida de la corriente y valor de cresta a partir de los resultados de Berger¹

Parámetro	Unidad	Porcentaje que supera el valor del cuadro		
		95%	50%	5%
Máxima pendiente de subida de la corriente (di/dt)	kA/ μ s	9,1	24,3	65,0
Primera cresta (I_1)	kA	12,9	27,7	59,5
Segunda cresta (I_2)	kA	14,1	31,1	68,5
$I_1 / (di/dt)$	μ s	1,42	1,14	0,92
$I_2 / (di/dt)$	μ s	1,55	1,28	1,05

La relación $I_1/(di/dt)$ es el tiempo efectivo del flanco anterior (t_{eff}). Puede observarse en el cuadro I.1 que fijar el valor de $t_{eff} = 1 \mu$ s permite una evaluación razonable de la pendiente de subida de la corriente a partir del valor de cresta.

Apéndice II

Ejemplo de aplicación

En la figura II.1 se muestra un ejemplo de configuración de una RBS. Los datos básicos son:

Torre de la antena:

- 40 m de altura, 4 m de distancia desde el recinto de la RBS ($f = 4$ m);
- tres pies metálicos con 2,6 m de separación;
- cada pie es cilíndrico y de 0,4 m de diámetro.

El haz de conductores está situado en el centro de la torre (véase la figura II.2):

- 3 cables coaxiales procedentes de las antenas móviles ($r = 12$ mm, impedancia de transferencia $z_t = 1 \Omega/\text{km}$);
- 1 cable coaxial procedente de la antena de microondas ($r = 8$ mm, impedancia de transferencia $z_t = 2 \Omega/\text{km}$);
- 2 barras para el soporte de los cables de 80 mm de anchura y 5 mm de grosor.

Recinto de la RBS: $5 \times 3 \times 3$ m, de cemento (se desconoce la continuidad del acero).

Altura del cableado: 2,4 m en el interior de la RBS ($h = 2,4$ m).

Longitud del cableado: 4 m en el interior de la RBS ($e = 4$ m).

Cable de alimentación: línea de BT aérea (6 m de altura).

Cable de telecomunicaciones: ninguno (conexión ascendente mediante enlace de microondas).

Suelo: en cima de montaña con una resistividad media de 500 Ω .m.

Densidad de rayos: 5 descargas al suelo por km^2 al año ($N_g = 5$).

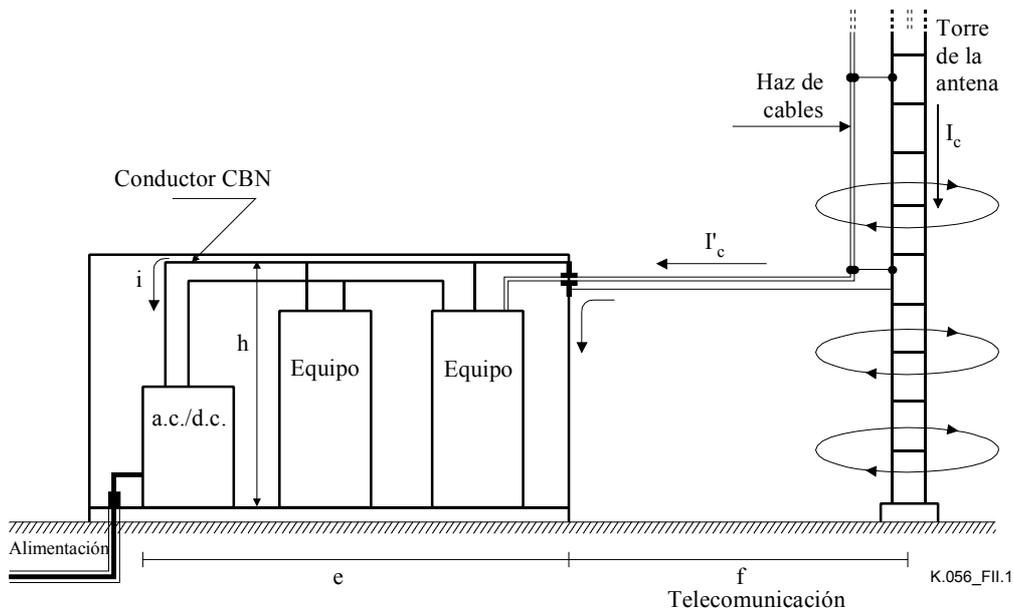


Figura II.1/K.56 – Ejemplo de una RBS

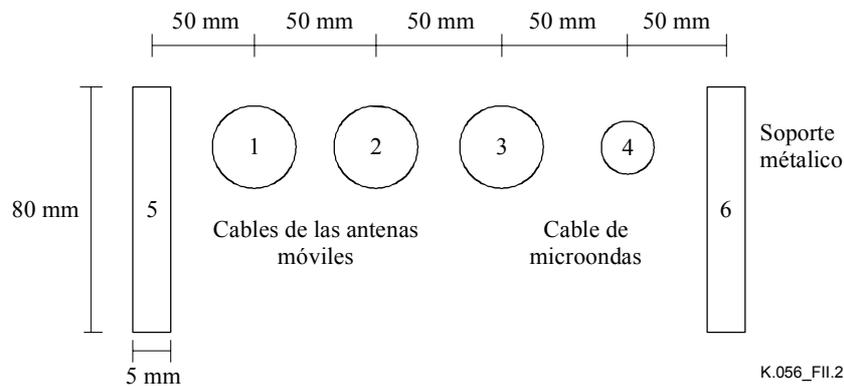


Figura II.2/K.56 – Haz de conductores a lo largo de la torre (sección)

Para seguir los pasos, véase el organigrama de la figura 2.

Paso 1: Determinación de la frecuencia tolerable de los daños.

Considerando el valor típico propuesto en 7.1:

$$F_t = 0,05$$

Paso 2: Cálculo de F_a y F_d .

Se utiliza la ecuación 1:

$$F_a = (9) (2) (\pi) (0.04)^2 (5) = 0,45 \text{ rayos / año}$$

$$F_a = 0,45$$

Siguiendo el procedimiento de 7.3, la zona alrededor de la torre se define por el radio:

$$R = (3) (40 - 3) = 111 \text{ m}$$

Puesto que el recinto de la RBS está cerca de la torre ($4 \text{ m} < 111 \text{ m}$) la probabilidad de una descarga directa en el recinto es despreciable. Por consiguiente:

$$F_d = 0$$

Paso 3: Análisis de probabilidades.

$$F_t \geq F_a + F_d \quad ? \quad \text{No}$$

$$F_a < 10 F_d \quad ? \quad \text{No}$$

NOTA 1 – Si la respuesta a ambas cuestiones es "No", la instalación entra en el ámbito de la presente Recomendación.

Paso 4: Cálculo de los parámetros del rayo.

Se siguen las ecuaciones de la cláusula 8:

$$p_a = R_t / R_a = 0,05 / 0,45 = 0,11$$

$$I_c = 77 \text{ kA}$$

$$di_c/dt = 77 \text{ kA} / \mu\text{s}$$

Paso 5: Puesta a tierra y continuidad eléctrica.

En la cláusula 9 se establecen algunas reglas para la puesta a tierra y la continuidad eléctrica fuera del recinto de la RBS.

Paso 6: Necesidad de SPD en los cables coaxiales procedente de la torre.

Basándose en la cláusula 10 y el anexo A:

$$d = (2,6) / (3)^{1/2} = 1.50 \text{ m (distancia entre el haz y uno de los pies)}$$

Radio geométrico medio (GMR):

$$\text{Pie de la torre: } r_t = (0,4) / (2) = 0,2 \text{ m}$$

Haz de conductores:

Si se toman los 6 conductores de la figura II.2, los radios geométricos medios son:

$$\text{Cables coaxiales de la antena móvil: } r_1 = r_2 = r_3 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Cable coaxial del enlace de microondas: } r_4 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Barras de soporte: } r_5 = r_6 = 27 \text{ mm}$$

Distancia entre los conductores:

$$d_{12} = d_{23} = d_{34} = d_{15} = d_{46} = 50 \text{ mm}$$

$$d_{25} = d_{24} = d_{13} = d_{36} = 100 \text{ mm}$$

$$d_{14} = d_{35} = d_{26} = 150 \text{ mm}$$

$$d_{45} = d_{16} = 200 \text{ mm}$$

$$d_{56} = 250 \text{ mm}$$

Utilizando la ecuación para "n" conductores del cuadro D.1:

$$r_c = [50^{10} \times 100^8 \times 150^6 \times 200^4 \times 250^2 \times 12^3 \times 27^2 \times 8]^{1/36}$$

$$r_c = 73 \text{ mm}$$

NOTA 2 – El haz tiene una relación de flujo equivalente al de un conductor cilíndrico de 73 mm de radio.

Si se considera que el haz está situado en el centro de la torre:

$$\alpha = [1 + 3 \ln (1500 / 73) / \ln (1500 / 600)]^{-1} = 0,092$$

Lo que significa que el 9,2% de la corriente del rayo fluye por el haz.

Volviendo a la cláusula 10:

Se determina la tensión transversal del cable coaxial de la antena móvil:

$$V_t = (77) (0,092) (40) (0,001) (12) / (36 + 8 + 54) = 0,035 \text{ kV}$$

Se determina la tensión transversal del cable coaxial de la antena de microondas:

$$V_t = (77) (0,092) (40) (0,002) (8) / (36 + 8 + 54) = 0,046 \text{ kV}$$

Estos valores probablemente estarán por debajo de la inmunidad del equipo radioeléctrico en cuestión y no será necesario instalar un SPD.

Paso 7: Tensión inducida dentro del recinto (V_i).

Puede calcularse la tensión inducida utilizando la ecuación 5:

$$V_i = (0,2) (77) (2,4) (1,5) (1) \ln [(4 + 4) / 4] = 38,4 \text{ kV}$$

Paso 8: Configuración de continuidad eléctrica.

Considerando que la tensión inducida dentro de la RBS es relativamente alta y las dificultades que conlleva la instalación y mantenimiento de un sistema IBN en malla, se opta por la configuración BN en malla.

Paso 9: Tensión residual en las interfaces del equipo.

Teniendo en cuenta que el único apantallamiento viene dado por un único cable a tierra (de 4 mm de diámetro) situado a 100 mm de los cables de telecomunicaciones, según el anexo C se obtiene un valor $\beta = 0,51$. Volviendo a la fórmula de 11.2, esto da:

$$V_r = (0,51) (38,4) = 19,6 \text{ kV}$$

Es probable que este valor sea superior al nivel de inmunidad del equipo. Suponiendo que el nivel de inmunidad es 1 kV, y que no conviene instalar un SPD (por ejemplo, porque hay muchos conductores no apantallados), es, por tanto, necesario mejorar el apantallamiento del recinto. Una de las opciones es:

- Instalar 3 conductores de tierra alrededor del recinto, situando el central a unos 40 cm de los principales conductores internos ($\eta = 0,27$).
- Situar una plancha de tierra de 30 cm de anchura por debajo de los conductores, de manera que todos los conductores estén como mínimo a 25 mm de la plancha (distancia desde el centro del conductor a la superficie de la plancha) y, al menos, a 25 mm del borde de la plancha. La plancha deberá estar conectada a los bastidores/armarios del equipo en ambos extremos. Esto da un valor $\beta = 0,066$.

Por consiguiente:

$$V_r = (38,4) (0,27) (0,066) = 0,68 \text{ kV}$$

Este valor está por debajo de la inmunidad del equipo considerado.

Paso 10: Continuidad eléctrica en los bastidores/armarios del equipo.

Los procedimientos de continuidad eléctrica que se describen en 11.4 están diseñados para proporcionar un apantallamiento adecuado de los elementos metálicos dentro del recinto.

Paso 11: Protección de la entrada de alimentación.

En la cláusula 12.1 se establece el procedimiento de control de la tensión residual alrededor de la conexión del SPD en la entrada de alimentación del recinto.

Se suponen los siguientes valores (véase la figura 6):

Inmunidad del puerto de entrada rectificador: $V_{res} = 2,0 \text{ kV}$

Radio geométrico medio de la conexión SPD: $r_p = 28 \text{ mm}$

(equivalente a 4 conductores de 6 mm^2 de sección, regularmente espaciados a 50 mm entre ellos)

Distancia entre el SPD y el rectificador: $b = 4 \text{ m}$

(el SPD está situado en un extremo del recinto y el rectificador en el otro)

Tensión residual del SPD: $V_{spd} = 1,0 \text{ kV}$ (SPD de fijación)

Resistencia de tierra de la RBS: $R_g = 5 \Omega$

Impedancia de descarga de la línea de alimentación: $Z_p = 458 \Omega$

(para $\rho = 500 \Omega \cdot \text{m}$, $f_L = 1 \text{ MHz}$, $r_L = 10 \text{ mm}$, altura = 6 m)

Para mantener la tensión residual por debajo del nivel de inmunidad del equipo, la máxima longitud del cable de la conexión SPD debe ser (véase 12.1):

$$L_p = (2,0 - 1,0) (458 + 5) / \{ (0,2) (77) (5) \ln [(4 + 0,028) / 0,028] \} = 1,2 \text{ m}$$

Ésta es la máxima distancia desde la conexión del SPD con los cables de alimentación hasta el terminal principal de tierra (MET), como se muestra en la figura 6.

Suponiendo que el único servicio metálico conectado a la RBS es la línea de alimentación, y que ésta tiene 4 conductores (3 fases y 1 neutro), la ecuación 10 da el valor de corriente de cresta de la SPD:

$$I_{imp} \geq 77 / [(2) (1) (4)]$$

$$I_{imp} \geq 9,6 \text{ kA}$$

Paso 12: Protección de la entrada de telecomunicaciones.

No hay línea metálica de telecomunicaciones que entre en el recinto de la RBS.

Paso 13: Finalización del proyecto.

La RBS está protegida para la frecuencia tolerable de los daños (F_t).

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
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	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
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 y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación