



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.40

(10/96)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

**Protección contra los impulsos
electromagnéticos ocasionados por el rayo
en los centros de telecomunicaciones**

Recomendación UIT-T K.40

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K DEL UIT-T
PROTECCIÓN CONTRA LAS INTERFERENCIAS

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

PREFACIO

El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT (Helsinki, 1 al 12 de marzo de 1993).

La Recomendación UIT-T K.40 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 5 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por la CMNT (Ginebra, 9 al 18 de octubre de 1996).

NOTAS

1. 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.
2. Los términos anexo y apéndice a las Recomendaciones de la serie K deberán interpretarse como sigue:
 - el *anexo* a una Recomendación forma parte integrante de la misma;
 - el *apéndice* a una Recomendación no forma parte integrante de la misma y tiene solamente por objeto proporcionar explicaciones o informaciones complementarias específicas a dicha Recomendación.

© UIT 1997

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción 1
2	Alcance y objetivo..... 1
3	Referencias 1
4	Definiciones 2
5	Configuración de referencia 2
6	Necesidad de protección 2
7	Medidas de protección 3
7.1	Principios generales: zonas de protección contra el rayo (LPZ)..... 3
7.2	Puesta a tierra..... 5
7.3	Continuidad eléctrica: CBN mínima..... 5
7.4	Encaminamiento de los cables 7
8	Medidas de protección adicionales 7
8.1	Generalidades 7
8.2	Blindaje..... 7
	Apéndice I – Simulación de los efectos de los LEMP - Montaje para las pruebas 7
	Apéndice II – Gestión de la protección 10
	II.1 Centros de telecomunicaciones nuevos 10
	II.2 Centros de telecomunicaciones existentes 10
	Bibliografía..... 12

RESUMEN

Se proponen directrices sobre el diseño de un sistema de protección eficaz contra los impulsos electromagnéticos ocasionados por el rayo en los centros de telecomunicaciones para las estructuras de telecomunicaciones. Se introduce el concepto de zona de protección contra el rayo como un marco en el que se mezclan las distintas medidas de protección específicas: puesta a tierra, continuidad eléctrica, encaminamiento y blindaje de los cables. Se da también información sobre la simulación de los efectos de los LEMP, así como una lista de las medidas de protección en los edificios nuevos y en los ya existentes.

PROTECCIÓN CONTRA LOS IMPULSOS ELECTROMAGNÉTICOS OCASIONADOS POR EL RAYO EN LOS CENTROS DE TELECOMUNICACIONES

(Ginebra, 1996)

1 Introducción

Esta Recomendación tiene por objetivo establecer los principios de instalación y prueba necesarios para proteger las estructuras de telecomunicaciones contra los impulsos electromagnéticos ocasionados por el rayo (LEMP, *lightning electromagnetic pulse*). Se centra en el diseño de un sistema de protección eficaz para el entorno de las estructuras de telecomunicaciones.

Las directrices de diseño de la instalación consignadas en esta Recomendación se basan en las normas siguientes, elaboradas por el TC 81 de la CEI: «Protection of structures against lightning, Part 1 – General principles» (CEI 1024-1) and «Protection against lightning electromagnetic impulse, Part 1 – General principles» (CEI 1312-1).

Los principios básicos para proteger una estructura contra los LEMP: a saber, la puesta a tierra, el blindaje y la continuidad eléctrica, figuran en las Recomendaciones K.27 y K.35. Si, después de aplicar estos principios a una estructura, la evaluación de los riesgos estipulada en la Recomendación K.39 indica que se requieren medidas de protección adicionales, la presente Recomendación da asesoramiento al respecto. Dado que los emplazamientos de telecomunicaciones que poseen antenas en la parte superior o en las cercanías tienen más riesgos de ser dañados directamente por un rayo, se ha prestado especial atención a estas estructuras.

2 Alcance y objetivo

Esta Recomendación trata de las estructuras nuevas y de las ya existentes, tales como los centros de telecomunicaciones, las instalaciones importantes en los locales de los abonados y los emplazamientos distantes, y dan formación sobre el diseño y la instalación de medidas de protección contra los LEMP con el fin de reducir los daños causados a los equipos y al cableado en el interior de estas estructuras.

3 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.

- [1] CEI 1024-1-1:1993, *Protection of structures against lightning, Part 1: General principles – Section 1: Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems.*
- [2] CEI 1312-1:1995, *Protection against lightning electromagnetic impulse, Part 1: General principles.*
- [3] CEI 1312-4:1995, *Application guide for protection against LEMP.*
- [4] Recomendación UIT-T K.27 (1996), *Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra dentro de los edificios de telecomunicación.*
- [5] Recomendación UIT-T K.35 (1996), *Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra en instalaciones electrónicas distantes.*
- [6] Recomendación UIT-T K.39 (1996), *Evaluación del riesgo de daños en los emplazamientos de telecomunicaciones debido a las descargas del rayo.*
- [7] UIT-T (1978), *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación.*

4 Definiciones

Todos los términos y definiciones ya definidos en la Norma CEI 1024-1 se aplican también en esta Recomendación. Se aplican asimismo los siguientes términos y definiciones adicionales.

4.1 continuidad eléctrica: Medida adoptada para establecer un contacto directo o indirecto (a través de un SPD) entre las partes metálicas.

4.2 red de continuidad eléctrica común (CBN, *common bonding network*): es el principal medio para realizar la puesta a tierra y la continuidad eléctrica en el interior de un edificio de telecomunicaciones. Consiste en el conjunto de componentes metálicos interconectados intencional o casualmente para formar la red de continuidad eléctrica (BN) principal dentro de un edificio. Estos componentes incluyen: varillas de refuerzo o varillas de la estructura, tuberías metálicas, canalizaciones para cables de alimentación en corriente alterna, PE (conductor de protección), armarios para cables y conductores de conexión. La CBN tiene siempre topología de malla y está conectada a la red de puesta a tierra (para mayor información, véase la Recomendación K.27).

4.3 red de continuidad eléctrica común mínima (MCBN *minimum common bonding network against*): que se requiere para la protección contra los LEMP en un centro de telecomunicaciones. Puede instalarse continuidad eléctrica adicional para mejorar el comportamiento en relación con los LEMP a fin de reducir los riesgos de daños, tal como se estipula en distintas cláusulas de esta Recomendación; la eficacia de estas mejoras puede evaluarse utilizando la Recomendación K.39.

4.4 sistema de protección contra el rayo (LPS, *lightning protection system*).

4.5 zona de protección contra el rayo (LPZ, *lightning protection zone*).

4.6 dispositivo de protección contra las sobretensiones (SPD, *surge protection device*): dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y a desviar las sobrecorrientes. Contiene por lo menos un componente no lineal.

5 Configuración de referencia

Como configuración de referencia, es decir el tipo de entorno de telecomunicación al que se aplican las directrices de esta Recomendación, deberían tomarse las estructuras con torres de telecomunicación en el techo o adyacentes.

En esta configuración, una descarga directa del rayo en la torre de telecomunicación es la fuente de los fenómenos LEMP. Al circular en la torre, la corriente del rayo crea un fuerte campo electromagnético; este impulso se acopla con el cableado interno y externo de los equipos situados en el interior de la estructura de telecomunicación, induciendo sobretensiones y sobrecorrientes que pueden destruir componentes electrónicos de los equipos.

También produce un acoplamiento resistivo debido al aumento del potencial con respecto a tierra; una parte de la corriente del rayo circulará en los blindajes del cable, dando lugar a tensiones entre los conductores y el blindaje. El acoplamiento resistivo puede causar también el incendio de los SPD instalados a la entrada de los cables de telecomunicación, propagándose entonces la perturbación LEMP a través del núcleo del cable de telecomunicación, lo cual puede ocasionar daños al cable cuando se rebasa la tensión de ruptura del aislamiento entre el blindaje y el núcleo. Esto puede producirse no sólo en los cables de telecomunicación sino también, en gran medida, en los conductores de la red eléctrica, pudiendo causar problemas a los equipos conectados a dicha red si su grado de inmunidad es inferior a la protección que ofrece el SPD de la red eléctrica. Véase la figura 1.

6 Necesidad de protección

Con el fin de evaluar la necesidad de protección de una estructura dada contra los LEMP, debe utilizarse la Recomendación K.39 para estimar el riesgo debido a las descargas directas sobre la propia estructura (R_d) y sobre una estructura adyacente (R_a). Si el resultado del cálculo indica que el riesgo R es mayor que el riesgo aceptable R_{accept} ($R > R_{\text{accept}}$), deben tenerse en cuenta las medidas de protección aquí sugeridas para obtener un nivel de riesgo aceptable.

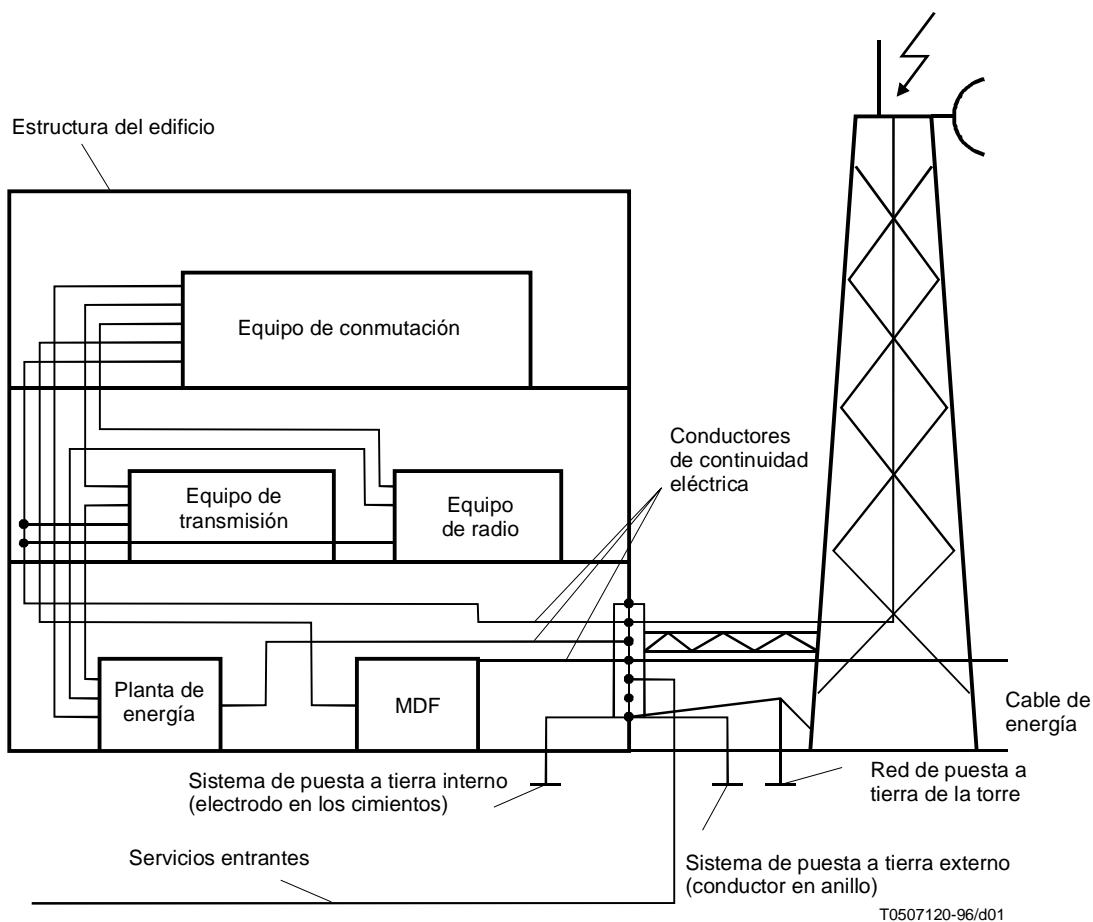


Figura 1/K.40 – Ejemplo de configuración de referencia

7 Medidas de protección

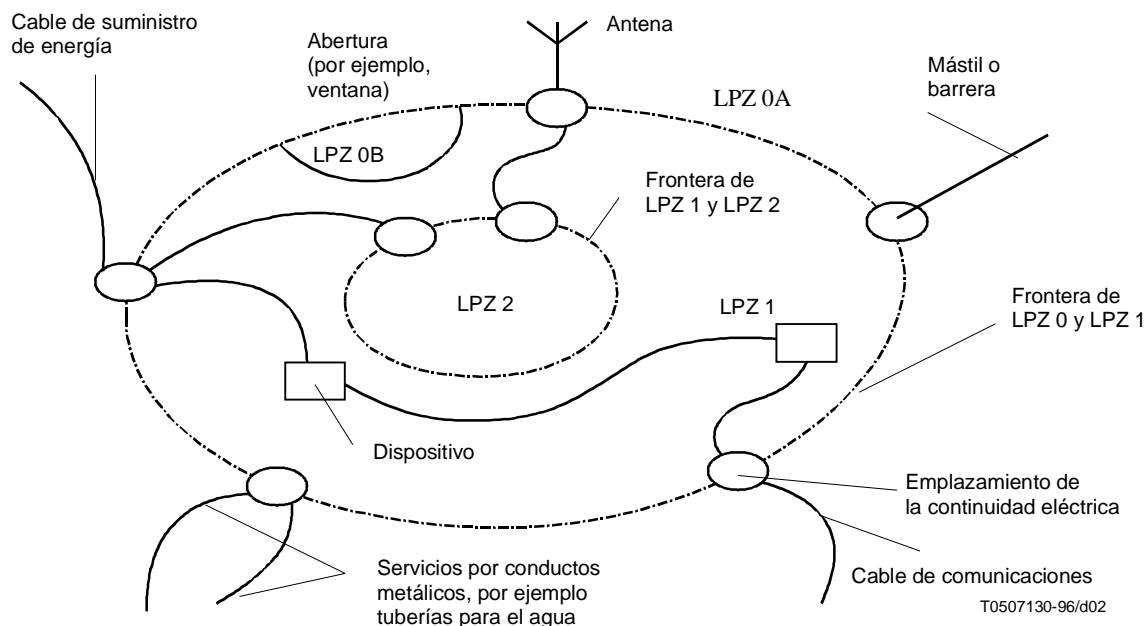
En las subcláusulas siguientes se proponen medidas de protección destinadas a lograr la protección contra los LEMP, habida cuenta de la inmunidad de las interfaces de los equipos con cableado interno.

7.1 Principios generales: zonas de protección contra el rayo (LPZ)

Resulta ventajoso dividir el emplazamiento de telecomunicaciones que ha de protegerse en zonas de protección contra el rayo (LPZ, *lightning protection zone*) con el fin de definir volúmenes de diferente gravedad de los LEMP y designar los emplazamientos de los puntos de continuidad eléctrica en los límites de las zonas. Véase la figura 2.

Los límites de las zonas se caracterizan por cambios importantes de las condiciones electromagnéticas.

En las fronteras entre las distintas zonas debe haber continuidad eléctrica para todas las penetraciones metálicas y deben instalarse medidas de blindaje. La continuidad eléctrica entre la frontera entre LPZ 0 y LPZ 1 se define como continuidad eléctrica equipotencial. Debe observarse que las aberturas (por ejemplo, las ventanas), las corrientes que circulan por los conductores metálicos (por ejemplo, barras de continuidad eléctrica, blindajes de los cables y tubos) y el encaminamiento de los cables influyen sobre los campos electromagnéticos en el interior de una estructura.



- LPZ 0:** Los elementos situados en esta zona están expuestos a condiciones electromagnéticas no atenuadas causadas por el rayo. Conviene separar LPZ 0 en LPZ 0A y LPZ 0B.
- LPZ 0A:** Los elementos situados en esta zona están expuestos a las descargas directas del rayo y, por consiguiente, pueden tener que transportar la totalidad de la corriente del rayo. El campo electromagnético no está atenuado.
- LPZ 0B:** Los elementos situados en esta zona no están expuestos a las descargas directas del rayo, pero sí al campo electromagnético no atenuado.
- LPZ 1:** Los elementos situados en esta zona no están expuestos a las descargas directas del rayo. La corriente que circula en todas las partes conductoras de esta zona será pequeña comparada con la zona 0. En esta zona, el campo electromagnético podría estar atenuado, dependiendo de las medidas de apantallamiento. En lo tocante a los edificios de telecomunicaciones, en la práctica existen instalaciones blindadas y no blindadas.
- Zonas subsiguientes (LPZ 2, etc.):** Pueden introducirse zonas subsiguientes si se requiere una reducción de las corrientes y/o del campo electromagnético. La necesidad de estas zonas debería determinarse de conformidad con los requisitos de protección del sistema que ha de protegerse.

Figura 2/K.40 – Diferentes LPZ de una estructura que ha de protegerse

En la figura 3 se muestra un ejemplo de las diferentes zonas en las que puede dividirse un centro de telecomunicaciones. Aquí, todas las líneas de energía eléctrica y de señales entran al volumen protegido (LPZ 1) en un solo punto y están conectadas eléctricamente a la barra de continuidad eléctrica 1 en la frontera entre LPZ 0 y LPZ 1. Además, las líneas están conectadas a la barra de continuidad eléctrica interna en la frontera entre LPZ 1 y LPZ 2. Por otra parte, el blindaje exterior 1 de la estructura está unido a la barra de continuidad eléctrica 1 y el blindaje interno a la barra de continuidad eléctrica 2. En los sitios en que pasan cables de una LPZ a otra, debe ejecutarse la continuidad eléctrica en cada frontera. LPZ 2 se construye de manera que las corrientes parciales ocasionadas por el rayo no se dirijan a este volumen y no puedan atravesarlo.

Con respecto al sistema de puesta a tierra interno, generalmente se utiliza un conductor en anillo (no representado en la figura) para acortar las conexiones de continuidad eléctrica entre las diferentes LPZ dentro del edificio, con el fin de mejorar la calidad de funcionamiento a altas frecuencias. En la mayoría de los centros de telecomunicación no será necesario construir una sala para el blindaje 2, y la frontera de LPZ 2 puede ser la estructura del equipo.

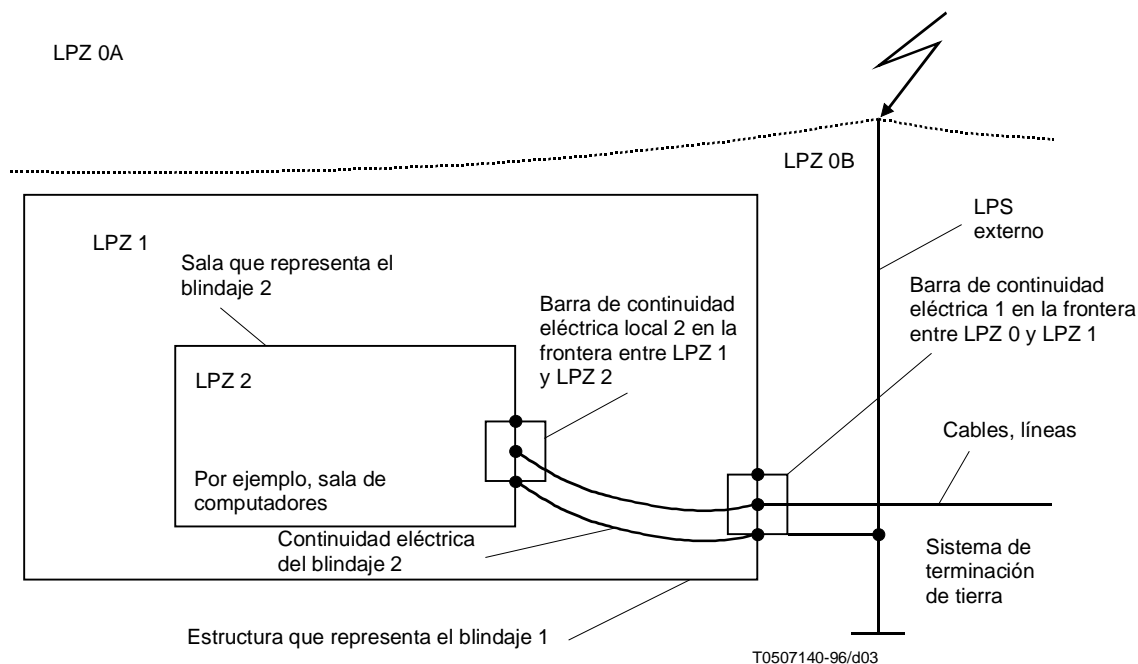


Figura 3/K.40 – Ejemplo de zonas de protección contra el rayo en un centro de telecomunicaciones

7.2 Puesta a tierra

En las Recomendaciones K.27 y K.35 se describe el electrodo de puesta a tierra en anillo general de un centro de telecomunicaciones.

Si existen estructuras adyacentes entre las que pasan cables de energía y comunicación, los sistemas de puesta a tierra deben estar interconectados, y conviene que haya muchos trayectos paralelos que formen una red de malla en el suelo, con el fin de reducir las corrientes en los cables. Los cables de transmisión y de suministro de energía deben estar blindados correctamente o dispuestos en canalizaciones metálicas conectadas en ambos extremos a la red de puesta a tierra, con el fin de reducir los efectos de las corrientes producidas por el rayo.

La figura 4 ilustra estos principios.

7.3 Continuidad eléctrica: CBN mínima

La continuidad eléctrica tiene por objeto reducir las diferencias de potencial entre las partes metálicas y los sistemas dentro del volumen que ha de protegerse durante las descargas del rayo. Para ello, se requiere una red de continuidad eléctrica común mínima (MCBN, *minimum common bonding network*).

Debe preverse e instalarse continuidad eléctrica en las fronteras de las LPZ para las partes metálicas y los sistemas que atraviesan las fronteras así como para las partes metálicas y los sistemas que están dentro de la LPZ. La continuidad eléctrica por barras de continuidad eléctrica se realiza mediante conductores y pinzas de continuidad eléctrica y, cuando es necesario, mediante dispositivos de protección contra descargas (SPD, *surge protection devices*).

La MCBN se define como sigue:

- en cada piso de un centro de telecomunicaciones, un conductor en anillo instalado a lo largo del perímetro interno del edificio. En las Recomendaciones K.27 y K.35 figuran detalles sobre lo que se recomienda en relación con el conductor en anillo;
- conexión entre el conductor en anillo de cada piso y los conductores de continuidad eléctrica verticales, semejando una jaula de Faraday; la distancia entre conductores verticales debería ser de cinco metros o menos;
- en la planta baja, conexión del conductor en anillo al electrodo de puesta a tierra.

La figura 5 ilustra la MCBN.

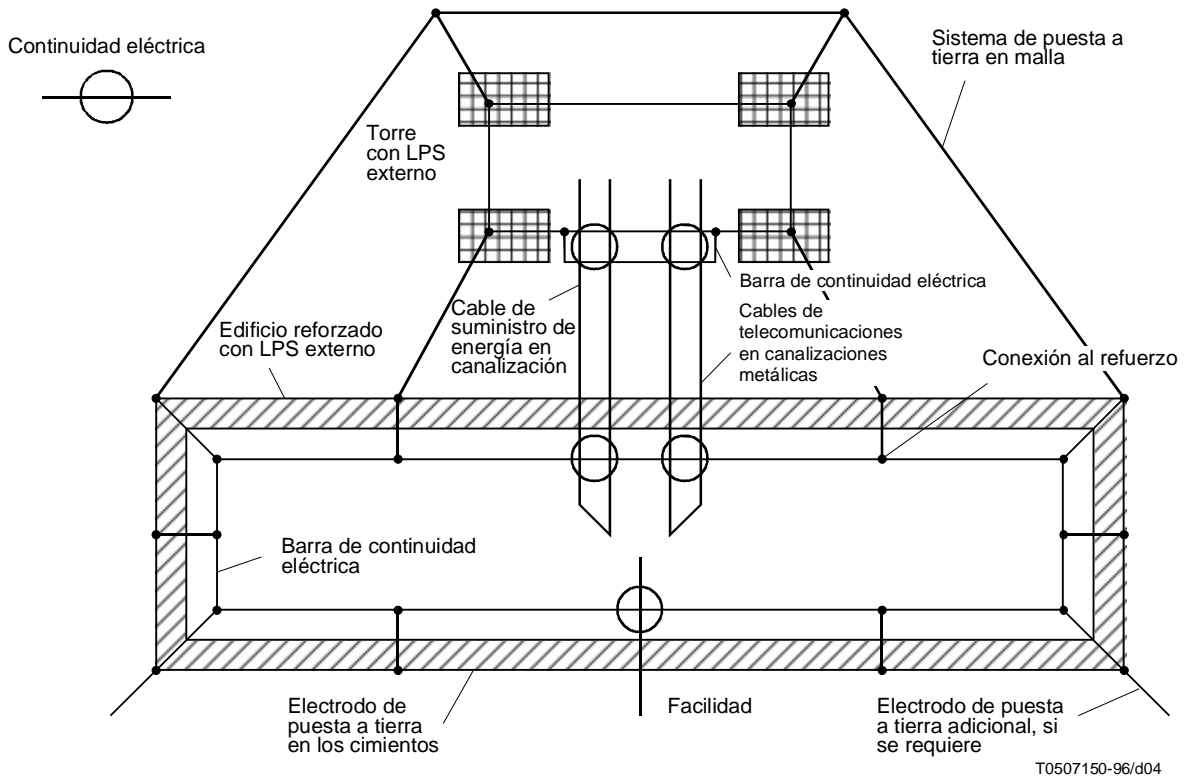


Figura 4/K.40 – Ejemplo de puesta a tierra en malla

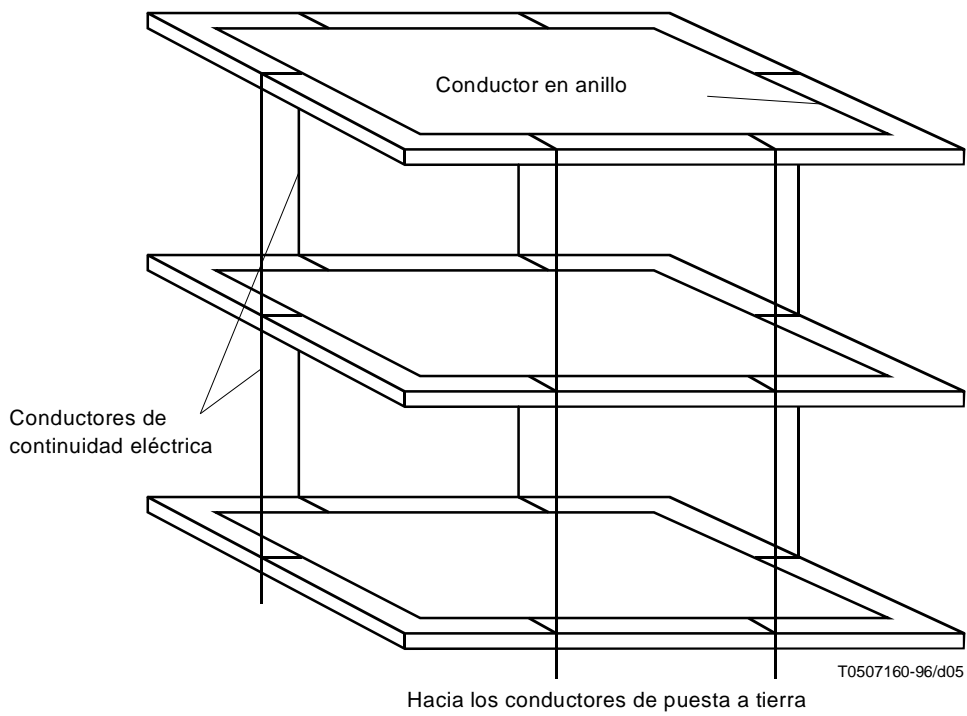


Figura 5/K.40 – Red de continuidad eléctrica común mínima (MCBN)

7.4 Encaminamiento de los cables

Para reducir las sobretensiones y las sobrecorrientes inducidas en los cables y los conductores de continuidad eléctrica, se recomienda reducir las dimensiones de los bucles gracias al diseño cuidadoso de los trayectos de los cables de señales y de energía, así como de los conductores de puesta a tierra. Deben tenerse en cuenta las limitaciones debidas a la estructura y a la ubicación de los equipos.

8 Medidas de protección adicionales

8.1 Generalidades

En las subcláusulas siguientes se proponen medidas de protección adicionales, además de las definidas en la cláusula 7, que se recomiendan cuando la inmunidad de las interfaces de los equipos no está definida.

8.2 Blindaje

El blindaje es la medida básica para reducir la interferencia electromagnética que incluye efectos de campos magnéticos.

8.2.1 Estructura

Para mejorar el entorno electromagnético, debe haber continuidad eléctrica entre todas las partes metálicas de dimensión importante asociadas a la estructura, y entre éstas y el LPS, por ejemplo los revestimientos metálicos de los techos y las fachadas, los refuerzos metálicos del hormigón y los marcos metálicos de las puertas y ventanas.

En la práctica, los edificios de telecomunicaciones pueden tener estructuras blindadas y no blindadas:

- Edificios no blindados, hechos por ejemplo de madera o de ladrillo; debe instalarse un sistema de continuidad eléctrica interno para distribuir las corrientes entre un gran número de objetos conductores, creándose así un plano de referencia para la totalidad de la instalación de telecomunicaciones.
- Edificios blindados, hechos de hormigón armado bien interconectado, con excelentes cualidades de blindaje; se utilizarán todas las partes metálicas como referencia para la instalación.

8.2.2 Cableado

Se recomienda utilizar cables blindados dentro del volumen que ha de protegerse. Deben conectarse eléctricamente por lo menos en ambos extremos, así como en las fronteras entre diferentes LPZ.

El blindaje de los cables mediante canalizaciones metálicas de baja impedancia conectadas en varios puntos a la MCBN reduce fuertemente (unas cien veces) las tensiones y corrientes inducidas, a niveles que pueden resistir los equipos. La canalización metálica debe dividirse en dos partes mediante una separación metálica: a un lado se colocan los conductores de señales y en el otro los cables de suministro de energía y los conductores de continuidad eléctrica. La canalización metálica debe conectarse al conductor en anillo de cada piso con el fin de incorporarlo a la MCBN.

Apéndice I

Simulación de los efectos de los LEMP - Montaje para las pruebas

Para la estimación analítica de la distribución de las corrientes en el LPS y la instalación con continuidad eléctrica, la fuente de corriente de las descargas producidas por el rayo puede considerarse como un generador de corriente constante que inyecta una corriente, consistente en varias descargas, en el conductor del LPS y la instalación con continuidad eléctrica. Esta corriente inducida, así como la corriente que circula en el canal de descarga, provoca interferencias electromagnéticas.

Con el fin de medir las tensiones inducidas por las descargas del rayo en un centro de telecomunicaciones, debe inyectarse en el edificio una sobrecorriente de prueba tal como se define en la publicación 1024-2 de la CEI. El generador de sobretensiones se conecta a un punto específico de la estructura metálica del edificio, a saber, las columnas centrales, de manera que la corriente pueda distribuirse y dirigirse a tierra a través de los trayectos paralelos que constituyen la estructura metálica del edificio. La corriente inducida por la descarga regresa al generador a través del anillo de puesta a tierra y de los conductores de retorno conectados al anillo.

En las figuras I.1 y I.2 se muestra que la tensión inducida en un anillo de medida situado en el interior del edificio depende de la geometría del circuito de inyección de corriente. De la distancia del conductor de retorno depende la distribución de la corriente en el edificio y, por consiguiente, depende también la tensión inducida (posición a). Para simular de manera aproximativa la distribución real de la corriente inducida por las descargas, hay que instalar el conductor de retorno a una distancia tal que su posición no influya de modo significativo sobre la tensión inducida (posición b, c o d). De la experiencia práctica se deduce que, para edificios planos, son condiciones razonables las siguientes: figura I.2 d: $\beta \geq 45^\circ$ y $d \geq 2/3a$. Para estructuras altas, puede obtenerse una distribución razonablemente homogénea de la corriente alejando el conductor de retorno de la estructura a una distancia ≥ 3 veces el diámetro de la estructura.

Una configuración de un solo conductor de retorno es deseable para simular una descarga producida por el rayo en un borde o una esquina de un edificio, que es en la realidad el peor caso. Si se utilizan varios conductores de retorno (configuración en malla), se instalarán también a una distancia del techo que sea por lo menos 10 veces mayor que el espaciamiento entre los hilos de intercepción del rayo situados en el tejado (por ejemplo, 2 metros por encima de la cubierta de hormigón reforzado, cuando las barras de refuerzo se utilizan para la distribución de la corriente de las descargas). De no ser así, la distribución de la corriente en la parte horizontal del edificio estaría gobernada por estos conductores de retorno, lo que produciría resultados no realistas.

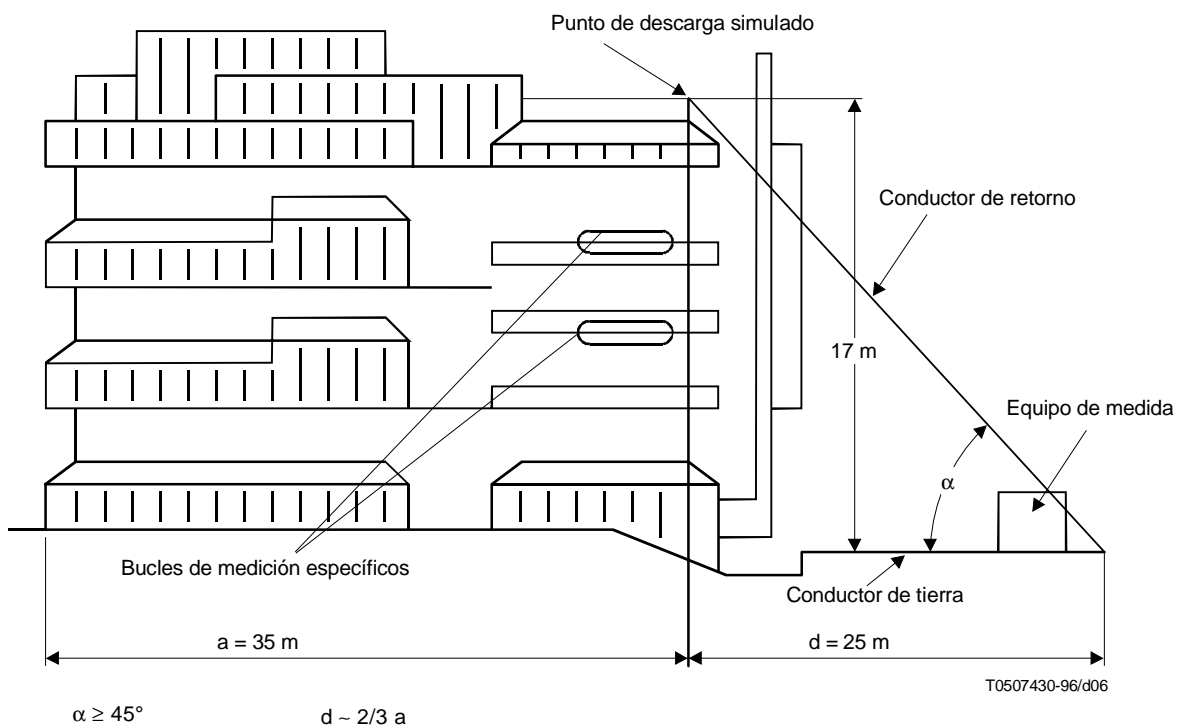


Figura I.1/K.40 – Montaje para las pruebas

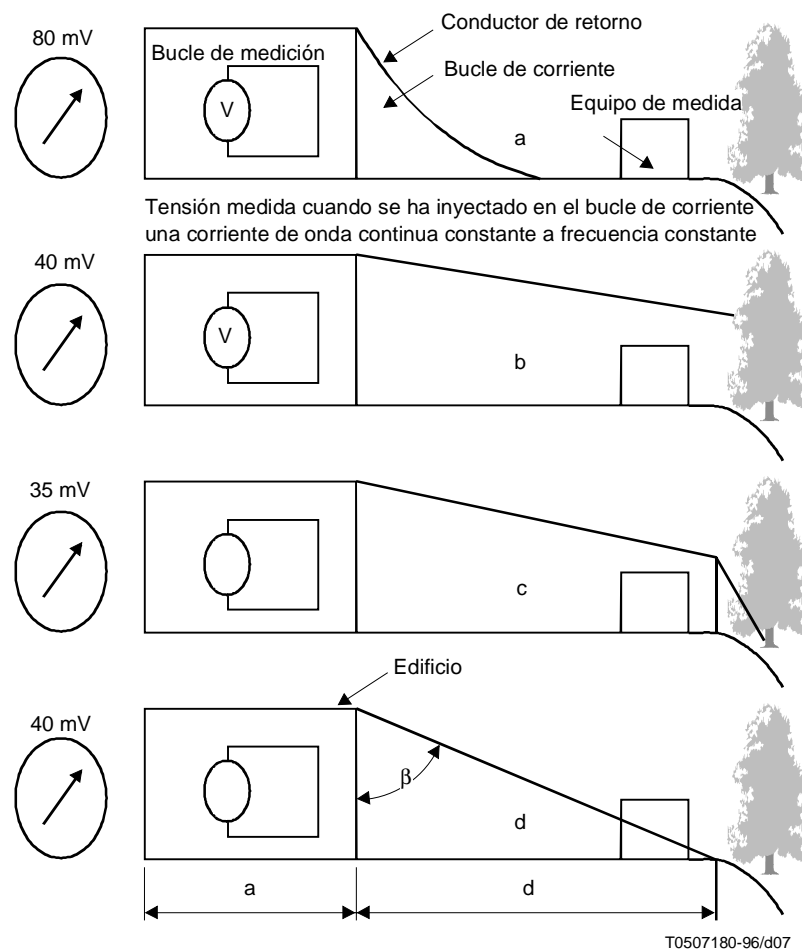


Figura I.2/K.40 – Influencia de la posición del conductor de retorno sobre la tensión medida

Para inyectar la corriente pueden utilizarse generadores de energía para las frecuencias de la gama comprendida entre algunos kHz y 250 kHz. Generalmente, la inductancia L del bucle de corriente debe ser compensada por capacitores en serie. La tensión inducida puede medirse entonces con voltímetros selectivos muy sensibles. Puede medirse la impedancia en función de la frecuencia. En la mayoría de los casos, es una línea recta que da una inductancia mutua constante entre el bucle de medición y la corriente producida por las descargas.

La utilización de generadores de sobretensiones requiere tensiones muy altas para el generador, dado que la pendiente de la corriente de las descargas es:

$\frac{di}{dt} = \frac{U}{L}$, donde U es la tensión máxima del generador y L es la autoinductancia del trayecto de la corriente (normalmente unos 100 μH para el bucle de gran tamaño que se requiere).

Por ejemplo, para obtener un valor di/dt de 50 kA/ μs , la tensión máxima del generador debe ser:

$$U = L \cdot \frac{di}{dt} = 100 \mu\text{H} \cdot 50 \text{kA} / \mu\text{s} = 5 \times 10^6 \text{V}$$

En algunos casos, especialmente en los edificios recientes, antes de que se hayan instalado los equipos de telecomunicaciones, puede aplicarse la ley de reciprocidad. El bucle de medición de la tensión se convierte en el bucle de inyección de corriente y viceversa. Esto reduce la autoinductancia del nuevo bucle de corriente a unos pocos μH , lo que permite utilizar generadores de unos 10 kV de tensión de carga.

Las sobrecorrientes en las columnas y los muros del edificio pueden medirse utilizando una bobina de Rogowski y un transmisor E/O-O/E (electroóptico, optoacopladores) (anchura de banda 10 MHz). Se utiliza la transformación de Fourier para convertir los datos medidos en el dominio temporal en datos del dominio de frecuencias. Después, los datos del dominio de frecuencias se revisan utilizando datos de amplitud y fase, y se convierten de nuevo en datos del dominio temporal.

Las tensiones inducidas pueden medirse utilizando una sonda de alta impedancia y un transmisor E/O-O/E. El campo magnético horizontal puede medirse utilizando una sonda inductiva fijada a una altura de, por ejemplo, 1 m del suelo.

Para la simulación por computador de los efectos de las descargas producidas por el rayo, puede utilizarse el método de los momentos (MOM, *method of moments*). Se trata básicamente de un procedimiento general para resolver los problemas de campos lineales, y se denomina también método matricial, ya que reduce la ecuación funcional original a una ecuación matricial. El método se utiliza para determinar las distribuciones de tensión y corriente en el LPS del centro de telecomunicaciones, así como el campo radiado dentro del edificio debido a la descarga producida por el rayo. Se utiliza ampliamente la aproximación a un hilo delgado para el análisis de las estructuras de hilo en lo tocante al comportamiento electromagnético. Bajo determinadas hipótesis, el LPS puede considerarse como una estructura de hilo delgado. El problema que ha de considerarse es el de resolver con relación al LPS la ecuación integral del campo eléctrico del hilo delgado, y un método para resolver estas ecuaciones es el MOM. El objetivo del análisis anterior consiste en estimar la eficacia del sistema de protección instalado en el centro de telecomunicaciones.

Se han llevado a cabo simulaciones numéricas y pruebas para estudiar el comportamiento de los centros de telecomunicaciones cuando son víctimas de los LEMP; a los efectos del análisis, la corriente puede definirse como (CEI 1024-2):

$$i = \frac{I}{\eta} \cdot \frac{(t / \tau_1)^{10}}{1 + (t / \tau_1)^{10}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

donde:

- I Corriente de cresta
- η Factor de corrección para la corriente de cresta
- t Tiempo
- τ_1 Constante de tiempo de subida
- τ_2 Constante de tiempo de bajada

Apéndice II

Gestión de la protección

II.1 Centros de telecomunicaciones nuevos

Para establecer y mantener un sistema de protección bien diseñado contra los LEMP destinado a un centro de telecomunicaciones, se seguirán las etapas indicadas en el Cuadro II.1.

II.2 Centros de telecomunicaciones existentes

Para las instalaciones existentes, una lista de control (véase el Cuadro II.2) debería ayudar a tratar los puntos específicos y a seleccionar las medidas más económicas para aumentar la resistencia del equipo con relación a los LEMP. Esta lista de control debería emplearse junto con la Recomendación K.39 «Evaluación del riesgo de daños en los emplazamientos de telecomunicaciones debido a las descargas del rayo».

Cuadro II.1/K.40

Etapa	Objetivo	Ejecutante
Planificación del sistema	Elaboración de un concepto de protección integral con la definición de: <ul style="list-style-type: none"> - niveles de protección - LPZ y sus fronteras - medidas de blindaje espacial - redes de continuidad eléctrica - medidas de continuidad eléctrica para los servicios y las líneas en las fronteras de las LPZ - encaminamiento y blindaje de los cables 	Experto en protección contra las descargas causadas por el rayo, en contacto con: <ul style="list-style-type: none"> - el propietario - el arquitecto - los planificadores de las instalaciones pertinentes - los subcontratistas - los fabricantes de los equipos
Diseño del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Dibujos y descripciones generales - Elaboración de listas de licitadores - Dibujos detallados y calendarios de instalación 	Por ejemplo, oficina de ingeniería en contacto con: <ul style="list-style-type: none"> - los fabricantes de los equipos
Instalación del sistema, incluida la supervisión	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de la instalación - Documentación - Posiblemente, revisión de los dibujos detallados 	Instalador de sistemas y experto en protección contra las descargas producidas por el rayo u oficina de ingeniería o institución de supervisión
Aprobación	Verificación y documentación del estado del sistema	Experto en protección contra las descargas producidas por el rayo o institución de supervisión
Inspección periódica	Garantizar la adecuación del sistema	Experto en protección contra las descargas causadas por el rayo o institución de supervisión

Cuadro II.2/K.40

Características de las estructuras y entorno	Características de la instalación	Características del equipo
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Estructuras de mampostería, ladrillos, madera, hormigón reforzado, marco de acero? - ¿Una sola estructura integrada o bloques interconectados con juntas de expansión? - ¿Estructuras planas y bajas, o estructuras altas? - ¿Están las barras de refuerzo conectadas eléctricamente, en toda la estructura? - ¿Fachadas metálicas conectadas eléctricamente, o no? - ¿Tamaños de las ventanas? - ¿Están los marcos de las ventanas unidos eléctricamente, o no? - ¿Es el material del techo metálico, o no? - ¿Está equipada la estructura de un LPS externo? - ¿Tipo y calidad de este LPS? - ¿Naturaleza del suelo (roca, tierra)? - ¿Terminación de tierra de las estructuras adyacentes (altura, distancia)? 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Servicios entrantes (subterráneos o aéreos)? - ¿Dispositivos aéreos (antenas u otros dispositivos externos)? - ¿Tipo de suministro de energía (alta tensión, baja tensión, aérea o subterránea)? - ¿Configuración TN, TT o IT? - ¿Ubicación de la electrónica? - ¿Encaminamiento de los cables (número y ubicación de las columnas ascendentes, las canalizaciones)? - ¿Utilización de bandejas metálicas? - ¿Está autocontenida la electrónica en la estructura? - ¿Hay conductores metálicos hacia otras estructuras? 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Interconexiones múltiples de tierra de seguridad con señal de tierra de la electrónica? - ¿Tipo de enlaces de los equipos de tecnología de la información (cables blindados o no blindados multinúcleo, cables coaxiales, líneas de datos analógicas y/o digitales, simétricas y/o asimétricas, de fibra óptica)? - ¿Se especifican los niveles de inmunidad del equipo?

Bibliografía

- [1] CCITT/CE V TD 5: Report on IEC TC 81 activity on protection against LEMP, mayo de 1989.
- [2] CCITT/CE V TD 25: Report on IEC TC 81 activity on protection against LEMP, marzo de 1992.
- [3] SÖDERLUND: Earthing of telecommunications lines and installations in subscriber's networks as a protective measure against lightning damages, *CENELEC BTTF 69-4*.
- [4] CCITT/CE V COM-V-26: Simulation of overvoltages in telecommunication building caused by lightning, enero de 1986.
- [5] MONTANDON: Lightning simulation technique on a building, *Reunión de los Grupos de Relator del GT 3/5*, septiembre de 1995.
- [6] MONTANDON, BEYELER: Lightning induced voltages on electrical installations on a Swiss PTT instrumented tower in St. Chrischona, Switzerland, *Proceedings 22nd ICLP, Report R 4-11*, Budapest 1994.
- [7] KURAMOTO, SATO, OHTA: Surge current and voltage distribution in a reinforced concrete building caused by direct lightning stroke, *IEEE Symp. on EMC*, páginas 84-89, 1991.
- [8] BATTINI, BESSI CHITI, POMPONI: LEMP effects on equipment in telecommunication centres.
- [9] ARZUR, BLECH, ZEDDAM, GABILLET: Protection for switching systems: lightning, power grid, EMC, LEMP and related phenomena, *Intelec 93*, páginas 193-199.
- [10] Computational Electromagnetics; Frequency-domain method of moments, *IEEE Press*, 1992.
- [11] Motorola: Grounding guideline for cellular Radio Installations.
- [12] COM 5-3: Protection against LEMP for equipment within existing structures. Origen: *Suiza*, diciembre de 1993

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 multimedios
- Serie I Red digital de servicios integrados
- Serie J Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
- Serie K Protección contra las interferencias**
- Serie L Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
- Serie M Mantenimiento: 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 Z Lenguajes de programación