

INFORME 902-1

SISTEMAS DE ALIMENTADOR CON FUGAS EN
EL SERVICIO MOVIL TERRESTRE

(Cuestión 36/8)

(1982-1990)

1. Introducción

Los alimentadores con fugas también reciben a veces el nombre de "cables radiantes" pero este término no es exacto y debería evitarse su utilización. El término alternativo "cable con fugas" debería aplicarse específicamente a las propias líneas de alimentación y no al sistema, en la gran mayoría de casos en que esas líneas tienen de hecho la forma de un cable en vez de la de una línea de transmisión de hilo desnudo.

Un alimentador con fugas es una especie de línea de transmisión que permite el establecimiento de comunicación radioeléctrica con elementos móviles o entre éstos en sus cercanías gracias a sus campos de fuga; proporciona, además, el margen lineal del sistema mediante sus propiedades de propagación internas [DELOGNE, 1982; MARTIN, 1982].

Tales sistemas se utilizan en espacios confinados, como túneles, minas o grandes edificios, en los que no es adecuada la propagación natural. Pueden ser completamente autocontenidos o extensiones de sistemas de superficie convencionales que, de otra manera, emplearían radiación libre; en este último caso, la alimentación para la cobertura subterránea puede tomarse del exterior o compartir directamente una estación de base con antena en la superficie. De forma alternativa, puede conectarse un sistema primario bajo tierra a una antena en la superficie para proporcionar cobertura local, por ejemplo entre compartimentos de una mina.

Los alimentadores con fuga también pueden utilizarse en la superficie para confinar la cobertura radioeléctrica y mejorar, de esta forma, la eficacia del espectro.

El término "alimentador con fuga" puede aplicarse también a los cables sin fugas con radiadores discretos periódicos o convertidores de modo [DELOGNE y LIEGEOIS, 1971].

2. Clasificación de los alimentadores con fuga

Normalmente se utilizan _____ los siguientes tipos de alimentadores con fuga:

- a) líneas bifilares;
- b) cables coaxiales con fuga continua;
- c) cables coaxiales con aberturas regulares;
- d) cables con convertidores de modo.

Los tipos a) y b) _____ son intrínsecamente no radiantes, en el sentido de que un cable de longitud infinita tendido en el espacio libre sólo puede transportar las ondas guiadas por la estructura. Sin embargo, toda discontinuidad a lo largo del cable da lugar a una conversión de modo, así como a radiación.

En los cables del tipo c), las aberturas periódicas son discontinuidades radiantes y actúan como los elementos de un sistema de antena. La radiación máxima se obtiene en direcciones oblicuas, que vienen determinadas básicamente por la relación entre el intervalo espacial y la longitud de onda.

En el _____ tipo d) _____ los convertidores de modo o elementos radiantes consisten en discontinuidades separadas que actúan aisladamente.

2.1 *Parámetros básicos de calidad de funcionamiento*

La calidad de funcionamiento de un sistema de alimentador con fuga viene caracterizada por dos parámetros:

- la atenuación longitudinal,
- la pérdida de acoplamiento.

La atenuación longitudinal se rige principalmente por los factores que se aplican a las líneas normales de transmisión, como la construcción y el dieléctrico. También hay un pequeño componente de pérdida imputable a las fugas (o a los convertidores de modo).

La pérdida de acoplamiento es, en términos generales, la pérdida de potencia entre el alimentador y la antena móvil en sus proximidades. En los tipos coaxiales comúnmente utilizados como cable de fuga, depende del grado de apantallamiento en la construcción del alimentador, de la configuración de la pantalla o de los conductores y de la constante dieléctrica. Con referencia a un cable dado se debe advertir que la pérdida de acoplamiento depende también de los siguientes factores:

- el medio en que el cable está montado,
- la posición de montaje del cable,
- las características, disposición y orientación de la antena móvil,
- la frecuencia de explotación.

La atenuación longitudinal de cables diseñados para una baja pérdida por acoplamiento puede aumentar de manera importante si el cable está montado cerca de una pared, en función de la estructura de otros cables o de la contaminación de la superficie, salvo en los cables específicamente diseñados para minimizar este efecto, tales como los cables triaxiales (tricoaxiales) y los cables inherentemente sin fugas que utilizan convertidores de modo. En el mismo proceso, la pérdida de acoplamiento suele disminuir (es decir, la señal recibida aumenta localmente) a medida que aumenta la atenuación.

Para una pérdida de acoplamiento dada, los diversos tipos de cable no están sujetos necesariamente al mismo aumento de atenuación causada por estos efectos de proximidad y contaminación. Las líneas bifilares son, con mucho, las más sensibles, las sigue el cable de ranura longitudinal y, en último término, los diversos tipos de cables con numerosas aberturas pequeñas. Algunos tipos de cables trenzados son tan insensibles a los efectos de proximidad que pueden montarse en soportes normales junto con cables de potencia, líneas telefónicas y otros conductores similares sin que por ello sufran degradación sus características de funcionamiento en la banda de ondas métricas.

2.2 *Líneas bifilares*

Las líneas bifilares (nominalmente simétricas) tienen en general una pérdida de acoplamiento baja, o una menor atenuación longitudinal para un tamaño de conductor determinado, comparados con los cables coaxiales. Por estas razones su costo generalmente es el más bajo de todos los cables con fuga. Sin embargo, pueden ser sensibles a la posición de instalación y a la contaminación de la superficie en la banda de ondas métricas y, particularmente, en ondas decimétricas.

Si a un cable bifilar se le somete a un fuerte retorcido (por ejemplo varias vueltas por longitud de onda) mejora normalmente la simetría frente a los efectos de proximidad, por consiguiente se favorece la propagación longitudinal, pero en ese mismo proceso pueden incrementarse las pérdidas de acoplamiento en hasta 15 dB [MARTIN, 1975].



2.3 Cables coaxiales

2.3.1 Cables coaxiales con fuga continua

Esta categoría (tanto con dos como con tres conductores coaxiales) comprende los cables con trenzado flojo, los cables con ranuras continuas y los cables con aberturas discretas o ranuras separadas por distancias mucho más pequeñas que la longitud de onda.

Como estos cables coaxiales tienen un conductor exterior imperfecto, parte de la energía de la línea de transmisión se propaga fuera del cable, a modo de un campo de fuga [DELOGNE y SAFAK, 1975; FERNANDES, 1979].

Las propiedades básicas del cable (juntamente con los factores del medio) que determinan las pérdidas de acoplamiento son a) la velocidad de propagación interior y b) la impedancia de transferencia de superficie del conductor exterior. Conviene caracterizar los cables haciendo referencia a estos parámetros, que pueden medirse en laboratorios, en vez de hacer uso de la definición arbitraria y artificial de "pérdidas de acoplamiento". La velocidad de propagación viene determinada por la constante dieléctrica interna mientras que la impedancia de transferencia de superficie depende de la estructura del conductor exterior y aumenta, por ejemplo, al incrementar el tamaño y número de las aberturas.

El aumento de la impedancia de transferencia de superficie provoca un incremento proporcional de la señal acoplada y viene acompañado por un aumento de la atenuación longitudinal dependiendo de la estructura precisa del cable. También se hace más acusada la sensibilidad de la atenuación longitudinal a la posición de montaje, pero hay evidencia de que depende más del "tamaño de los huecos" que de la propia impedancia de transferencia de superficie y por consiguiente, es más conveniente, al respecto, un elevado número de huecos pequeños que un número reducido de huecos grandes.

El aumento de velocidad interna del cable (por ejemplo mediante la constante dieléctrica interna), incrementa la energía total en el campo de fuga, aunque esta relación no es lineal y están implicados otros parámetros. En realidad, el campo en las proximidades del cable es reducido pero la dispersión del mismo aumenta. El radio de obstaculización dentro del cual se encuentra la mayor parte de la potencia de los campos de fuga de modo coaxial es del orden de 60 cm a 100 MHz y varía en relación inversa a la constante dieléctrica de aislamiento del cable interior. Además es directamente proporcional a la longitud de onda.

El mecanismo por el cual una antena móvil fuera del radio de obstaculización se acopla al modo coaxial es la difracción de los campos de fuga de éste por las inhomogeneidades situadas en el interior del radio de obstaculización; éstas son inhomogeneidades e irregularidades del medio ambiente, de la construcción y dispositivos de suspensión del cable así como de los obstáculos de todo género. Esta disposición es un proceso aleatorio; además, en los túneles la pérdida de acoplamiento consiguiente depende de manera casi insignificante de la distancia de la antena al cable; esto se debe al hecho de que los campos difractados son transmitidos por numerosos modos de guíaondas.

2.3.2 *Cables coaxiales con aberturas periódicas*

Los cables coaxiales con aberturas discretas de dimensiones y periodicidad comparables con la longitud de onda, son una fuente de energía radiante.

Se puede considerar el cable coaxial ranurado en zigzag como un sistema de antena [Nakahara y Kurouchi, 1968] y la radiación de las ranuras afectan muy poco a la transmisión de energía por el cable. El campo de radiación se propaga en forma de una onda cilíndrica.

Los cables coaxiales con ranuras en zigzag situadas adecuadamente mejoran la radiación en sentido transversal, y es posible fabricar cables con diferentes pérdidas por acoplamiento graduables (véase el punto 3.2.1).

2.4 Cables con convertidores de modo, dispositivos radiantes o antenas

Se trata de líneas simétricas o coaxiales ordinarias en las cuales se inserta, con un espaciado regular o no, en emplazamientos determinados por las condiciones de propagación predominantes en el medio exterior, dispositivos que convierten una parte de la energía transportada por la línea, en modos guiados que se propagan por el exterior de ésta o en ondas esféricas radiadas [Deryck, 1972; Delogne, 1973 y 1976].

Un dispositivo radiante para cable coaxial puede tomar la forma de una ranura anular que constituye una interrupción completa del conductor exterior y a la cual se añaden elementos de circuito, de manera que sólo se radie una fracción de la potencia transportada por el cable [DELOGNE y LIEGEOIS, 1971].

La separación de los convertidores de modo o radiadores puede variar de 100 m a 1 km, según la potencia de entrada del sistema, la disposición del cable en el túnel y la atenuación en modo túnel o modo hilo sencillo (la predominante según las condiciones). El grado de conversión del convertidor de modo puede ajustarse mediante una elección adecuada de los componentes del circuito. Un grado de conversión corriente es aproximadamente del 10%, que produce una pérdida de inserción de unos 0,5 dB por convertidor [DELOGNE, 1982].

Se han fabricado sistemas de convertidores de modo utilizando una sección corta de cable con fuga continua insertado en un cable convencional «sin fugas». Dicha sección actúa como una red continua de ranuras circulares.

3. Aspectos de los sistemas

3.1 Sistema básico

Un sistema básico de radiación guiada para comunicaciones bidireccionales comprende un transmisor y un receptor en la estación de base conectados a un cable radiante que proporciona comunicaciones con estaciones móviles convencionales como se muestra en la fig. 1. Si se coloca _____ de la estación de base en el centro del cable, la cobertura longitudinal _____ puede doblarse _____ con respecto al cable con alimentación en el extremo.

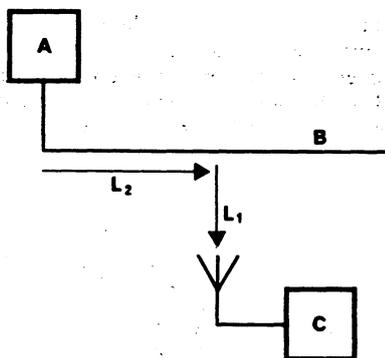


FIGURA 1 - Sistema de alimentador con fugas básico

A: estación de base	L_1 : pérdida por acoplamiento
B: cable con fugas	L_2 : atenuación de inserción del cable
C: unidad móvil	

3.1.1 Alcance de la comunicación

La ecuación fundamental que relaciona los parámetros (en dB) de un sistema de alimentador con fuga es:

$$L_s = L_1 + L_2 \quad \text{dB}$$

donde:

L_s : PERDIDA DEL SISTEMA es la relación entre la potencia de salida del transmisor y la potencia en el terminal de entrada del receptor;

L_1 : PERDIDA DE ACOPLAMIENTO es la relación entre la potencia en la línea en el punto más próximo al móvil y la potencia en el terminal de antena del propio móvil.

L_2 : PERDIDA EN LA LINEA es la atenuación longitudinal de la línea entre la estación de base y el punto de la línea más próximo al móvil;

En el caso de sistemas con alimentación en el centro hay que sustraer unas pérdidas de inserción de 3 dB de la pérdida del sistema.

Esta relación permite prever el margen aproximado de un sistema sencillo de alimentador con fuga, siempre que se conozcan los parámetros básicos del cable y de los equipos radioeléctricos, así como el medio entorno particular. Normalmente pueden lograrse alcances entre 1 y 2 km.

En condiciones favorables se han registrado pérdidas de acoplamiento tan bajas como 30 dB (por ejemplo, con líneas bifilares en malas condiciones de simetría), pero las cifras normales oscilan entre 60 y 90 dB. En túneles y minas y debido a los efectos de trayecto múltiple, son normales variaciones a corta distancia de 20 dB, para una distribución de tipo Rayleigh. Para tener esto en cuenta conviene considerar un valor de pérdida por acoplamiento de al menos 90 dB en el caso de sistemas que emplean un cable relativamente insensible a la disposición del montaje.

En el caso de radiadores discretos o antenas ampliamente separados es preciso considerar entre los radiadores, la propagación natural del túnel en vez del cable con fuga continua. Por debajo de la frecuencia de corte del túnel aparece un mecanismo diferente y hay que tener en cuenta, entonces, el modo de propagación de conductor monofilar del alimentador.

3.2 Sistemas más complejos

3.2.1 Cable con acoplamiento gradual

El alcance básico de una estación de base sencilla puede aumentarse graduando convenientemente las pérdidas del cable a lo largo de su trayecto, de tal forma que la pérdida de acoplamiento disminuya (a expensas de la atenuación longitudinal o efectos de proximidad) con la distancia a la estación de base; esta técnica se ha utilizado ampliamente en el Japón [Okada y otros, 1975].

3.2.2 Múltiples estaciones de base

Puede aumentarse lo necesario el alcance de los sistemas básicos estableciendo estaciones de base adicionales que pueden controlarse por separado o mediante un control común. La falta de sincronismo entre transmisiones de bases sucesivas da lugar a efectos indeseables de "superposición" que pueden minimizarse dejando una separación entre los extremos del alimentador en las zonas afectadas. Para reducir el efecto de superposición, pueden sincronizarse los transmisores modulando una frecuencia de cristal común y cursando la señal resultante por el alimentador, con destino a la estación de base.

Si las estaciones de base van a transportar información diferente, el dejar una separación adecuada entre los extremos de su alimentador contribuirá, junto con el efecto captura normal de los receptores, a minimizar la interferencia entre las secciones a unas pocas decenas de metros.

3.2.3 Utilización de repetidores

Pueden insertarse amplificadores de línea o repetidores a intervalos frecuentes para compensar las pérdidas en el cable con fuga, conforme se muestra en la fig. 2. Pueden eliminarse algunos de los

problemas y complicaciones que aparecen en el diseño de repetidores para comunicaciones bidireccionales separando el transmisor de base y el receptor como se indica en la Figura 3. Utilizando estas técnicas, la potencia radiada por la estación móvil o suministrada a cable puede ser inferior a 100 mW por canal [MARTIN y HAINING, 1979].

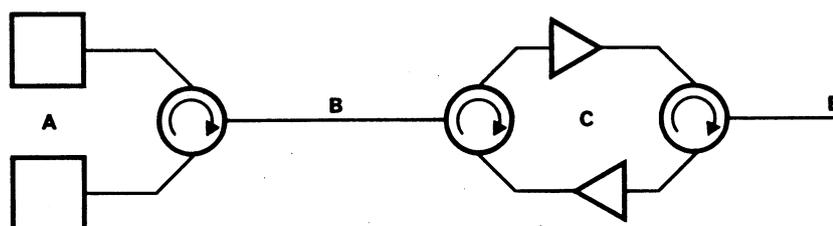


FIGURA 2 – Sistema ampliado que utiliza repetidores bidireccionales

A: transmisor y receptor de la estación de base
B: cable con fugas
C: repetidores bidireccionales

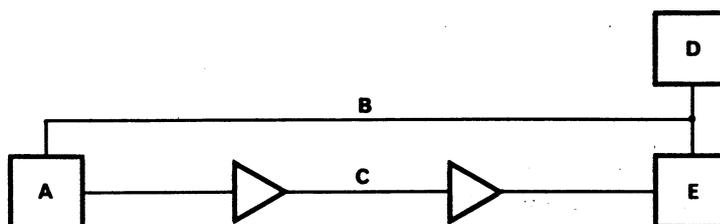


FIGURA 3 – Sistema en cadena con repetidores unidireccionales

A: transmisor de la estación de base
B: conexión de línea de audiofrecuencia
C: cable con fugas con repetidores unidireccionales
D: punto de control
E: receptor de la estación de base

La sencilla disposición en cadena indicada en la Figura 3, que utiliza repetidores unidireccionales, comparte una desventaja con los sistemas sencillos de múltiples estaciones de base: la de requerir una línea telefónica de enlace separada; este inconveniente también aparece en las disposiciones con múltiples ramas. Ambos problemas pueden superarse incorporando pequeños convertidores de frecuencia alimentados por línea en los extremos del sistema, junto con una señal de enlace a frecuencia inferior transportada por el mismo cable y que permite a la propia estación de base emplazarse en un solo lugar [MARTIN, 1982].

Existen diversas variaciones posibles en la utilización de los repetidores [MARTIN, 1982]. En general los sistemas se caracterizan por una notable consistencia del nivel y calidad de la señal a lo largo de los mismos. En los sistemas más grandes es preciso tener en cuenta el ruido generado por los repetidores al considerar la transmisión de una estación móvil a la base.

Los sistemas con repetidores son particularmente económicos en funcionamiento multicanal puesto que los mismos repetidores pueden ocuparse de todos los canales siempre que se tomen las adecuadas precauciones contra los efectos de la intermodulación. Cuando el número de canales es superior a seis normalmente conviene duplicar el alimentador y utilizar cadenas de repetidores separadas para ambas direcciones de comunicación. Tal disposición proporciona la redundancia necesaria y en el caso de avería de una cadena de repetidores el sistema puede pasar a funcionar con una cadena sencilla con menos canales o en funcionamiento restringido.

3.3 *Aplicaciones en minas y túneles*

3.3.1 *Enlaces por conductor monofilar*

Un tipo muy rudimentario de alimentador con fuga consiste en un conductor monofilar aislado o separado de las paredes del túnel. Su existencia en un túnel modifica profundamente la propagación pues da lugar a un modo de propagación cuasi-TEM. En este modo no hay frecuencia de corte por lo que puede utilizarse en bajas frecuencias.

La atenuación del modo monofilar depende de una manera compleja de la forma y de las dimensiones del túnel, de los parámetros eléctricos de la pared, y sobre todo de la distancia del cable a la pared y de la frecuencia. Se obtiene una atenuación aceptable por debajo de unos 30 MHz; tales sistemas se utilizan exclusivamente bajo tierra. [Delogne, 1982].

3.3.2 Línea bifilar

Este tipo de alimentador ha sido utilizado durante mucho tiempo en sistemas bajo tierra pero su empleo exige un gran cuidado, especialmente en relación con la posición del montaje y la posibilidad de contaminación de la superficie por suciedad o humedad. Normalmente, sus características con respecto a la atenuación longitudinal y a la pérdida de acoplamiento son bastante inestables. Sin embargo, estos alimentadores pueden ser particularmente útiles en aplicaciones temporales o de emergencia.

3.3.3 *Cables coaxiales*

Todos los tipos de cables coaxiales con fuga continua dan resultados satisfactorios bajo tierra, pero en condiciones de humedad abundante o de instalación difícil los cables de trenza floja han dado los mejores resultados.

Los cables coaxiales con aberturas periódicas se han utilizado satisfactoriamente en túneles ferroviarios y de carreteras [Suzuki y otros, 1980].

3.3.4 Cables con convertidores de modo o radiadores

Se han instalado muchos sistemas que utilizan cables subterráneos y convertidores de modo o radiadores. No se requiere un tendido especial del cable salvo hasta algunos metros a ambos lados de los dispositivos radiantes o convertidores de modo. Para el resto puede tenderse el cable de cualquier forma conveniente.

3.3.5 *Variación transversal de la intensidad de campo en un túnel*

Como en un túnel hay varios modos presentes, cuando se utilizan cables con fuga por encima de las frecuencias de corte del túnel se produce una situación de propagación por trayectos múltiples. El valor medio del campo es aproximadamente constante a través del túnel. _____ y la variación estadística de la intensidad de campo sigue la ley de Rayleigh. Con la línea bifilar retorcida o el sistema de conversión de modo se reduce esta variación de la intensidad de campo.

3.4 *Aplicaciones en vías férreas y carreteras*

Se utilizan sistemas radioeléctricos ferroviarios a 400 MHz que emplean cables coaxiales con aberturas periódicas instalados a lo largo de la vía férrea [Okada y otros, 1975].

Las mediciones laterales de la intensidad de campo radiada en una zona abierta a lo largo de una vía férrea han demostrado que la pérdida por acoplamiento es aproximadamente 3 dB por cada vez que se duplica la distancia. _____ Para otros tipos de cables con fuga en situaciones similares, la pérdida por acoplamiento medida es de unos 6 dB cada vez que se duplica la distancia [CREE y GILES, 1975].

3.5 Aplicaciones en edificios

Los cables con fuga se han utilizado para establecer propagación radioeléctrica en el interior de los edificios. En algunos casos la estación de base que trabaja con el alimentador con fuga se conecta también a una antena radiante normal para proporcionar igualmente cobertura exterior. En otros casos la propia estación de base local se sustituye por una antena elevada que enlaza el sistema de alimentador con fugas a una estación de base remota emitiendo señales.

Los principios descritos para los túneles son aplicables a cualquier espacio confinado tal como pasillos, cajas de escalera y de ascensor y zonas de aparcamiento. Sin embargo, la gran variedad en las formas de estos espacios exige cierta prudencia en el diseño de los sistemas y la necesidad de soluciones empíricas es más común que en el caso de simples túneles.

4. Bandas de frecuencias preferidas

Los sistemas de alimentador con fuga se han utilizado satisfactoriamente en una amplia gama de frecuencias, tan bajas como 3 MHz [DELOGNE, 1982] y tan altas como 800 MHz [SUZUKI y otros, 1980].

En general, los factores económicos favorecen la utilización de la parte más baja de la banda de ondas métricas, aunque hay otros factores que pueden influir en la elección _____, tales como:

- la disponibilidad de canales para una configuración determinada (en especial si aparece implicada alguna cubierta de superficie);
- el tamaño y configuración del túnel o edificio;
- si el sistema pretende ser una aplicación de un sistema convencional de radio móvil;
- el alcance lineal (de extremo a extremo) requerido;
- cualquier alcance lateral requerido desde el alimentador hasta un túnel secundario no equipado con alimentador;
- la disponibilidad de los equipos radioeléctricos adecuados;
- el tamaño de la antena de los equipos individuales.

Los cables con fuga tienden a ser más sensibles a la posición de la instalación y a la contaminación de la superficie a mayores frecuencias, siendo los cables bifilares los más afectados por estos factores.

Un hecho a favor de las frecuencias más elevadas es la posibilidad de utilizar la propagación del túnel en los lugares adecuados a fin de incrementar o ampliar la cobertura del alimentador. Sin embargo, este aumento del alcance dependerá normalmente de que el túnel no se halle obstruido por los vehículos.

En algunas situaciones puede evitarse completamente el uso de alimentadores con fuga confiando en esa propagación natural a frecuencias por encima de la de corte del túnel [EMSLIE y otros, 1975; DELOGNE 1982]. No obstante, también aquí el bloqueo del túnel por los vehículos entre la antena de la estación de base y la antena móvil puede interferir la comunicación hasta un grado que depende del tamaño del túnel y del vehículo.

5. Compartición con otros servicios

Los sistemas de cables con fugas utilizados en su totalidad bajo tierra pueden operar en bandas de frecuencias atribuidas a otros servicios sin interferencia mutua ya que el medio proporciona una elevada protección.

Los sistemas que se instalen en la superficie se diseñarán de forma que la pérdida general en el trayecto sea reducida, como sucede con los repetidores en línea a poca distancia _____ [Martin y Haining, 1979]. Esto permite reducir al mínimo _____ la potencia de transmisión y disminuir la sensibilidad de los receptores, reduciendo así las posibilidades de interferencia en el mismo canal y facilitando la compartición con otros servicios.

Al evaluar el riesgo de interferencia de un sistema de cables con fugas conviene advertir que las fuentes (y las posibilidades) de interferencia de tal sistema tienden a concentrarse en la estación de base y los repetidores _____ y en discontinuidades tales como los extremos del sistema y los cambios bruscos de dirección.

Si se utiliza un canal con dos frecuencias que esté dentro del alcance de una posible interferencia producida por un sistema convencional, puede ser adecuado efectuar una transposición de frecuencias, es decir, utilizar la frecuencia de la transmisión de la base para la transmisión de la estación móvil y viceversa. Ello debido a que en un sistema de alimentador con fuga generalmente es la estación móvil la más propensa y susceptible de causar interferencia frente a la estación de base de los sistemas convencionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CREE, D. J. y GILES, L. J. [mayo de 1975] Practical performance of radiating cables. *Radio and Electron. Engr.* Vol. 45, 5.
- DELOGNE, P. [abril, 1973] Les liaisons par radio dans les tunnels. *Rev. HF, Belgique*, Vol. IX, 2, 18-26.
- DELOGNE, P. [1982] Leaky Feeders and Subsurface Radio Communication, Peter Peregrinus (para IEE), 283 páginas.
- DELOGNE, P. y LIEGEOIS, R. [marzo-abril de 1971] Le rayonnement d'une interruption du conducteur extérieur d'un câble coaxial. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 26, 3-4, 85-100.
- DELOGNE, P. y SAFAK, M. [mayo, 1975] Electromagnetic theory of the leaky coaxial cable, *Radio and Electron, Engr.*, Vol. 49, 5, 233-240.
- DERYCK, L. [10 de febrero de 1972] Radiocommunication in tunnels. *Electron. and Lett.*, Vol. 8, 3, 71-72.
- EMSLIE, A. G., LAGACE, R. L. y STRONG, P. F. [marzo, 1975] Theory of the propagation of UHF radio waves in coal mine tunnels. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-23, 2, 192-205.
- MARTIN, D. J. R. [mayo de 1975] A general study of the leaky-feeder principle. *Radio and Electronic Engr.*, Vol. 45, 5.
- MARTIN, D. J. R. [junio y julio, 1982] Leaky feeder communication in tunnels, *Wireless World*, Vol. 88, 1557, 70-75, y Vol. 88, 1558, 33-37.
- MARTIN, D. J. R. y HAINING, R. W. [septiembre de 1979] Leaky-feeder radio techniques for mines and tunnels. IERE Conf. Proc. N.º 44.
- NAKAHARA, T. y KUROUCHI, N. [junio de 1968] Various types of open wave-guides for future train control. *ICC of IEEE*, 185.
- OKADA, S., KISHIMOTO, T., AKAGAWA, K., NAKAHARA, Y., MIKOSHIBA, K., HORIGUCHI, F. y OKAMOTO, K. [mayo de 1975] Leaky coaxial cable for communication in high speed railway transportation. *Radio and Electron. Engr.*, Vol. 45, 5, 224-228.
- SUZUKI, T., HANAZAWA, T. y KOZONO, S. [agosto de 1980] Design of tunnel relay system with leaky coaxial cable in an 800 MHz band land mobile telephone system. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. 29, 3.
-