

Sistemas de emisión de televisión

10

1 Modulaciones utilizadas en televisión

2 Equipos de emisión de televisión analógica

3 El sistema DVB

4 Medidas de televisión digital

5 Difusión de las señales de televisión

6 Reemisores de televisión

7 Cálculo de reemisores

8 Radioenlaces

9 Ubicación del enlace

10 Cálculo de radioenlaces

11 Instalación del sistema

10. Sistemas de emisión de televisión

10.1 Modulaciones utilizadas en televisión



10.1 Modulaciones utilizadas en televisión

Aunque el estudio de los sistemas de modulación se desarrolló en la Unidad 4, a continuación se exponen brevemente las características principales de las modulaciones utilizadas dentro del medio televisivo.

A. Modulación en Amplitud (AM)

Se produce cuando se modifica el nivel de la señal portadora a partir de los cambios de la señal que transmite el mensaje. Como resultado de esta modulación surgen dos bandas laterales de anchura igual a la banda original del mensaje, una por encima y otra por debajo de la frecuencia portadora. La suma de estas tres componentes (portadora y dos bandas laterales) conforma la señal modulada. Sin embargo, para ahorrar energía y mejorar el rendimiento del sistema de transmisión, se puede eliminar alguna de estas componentes, creando las siguientes variantes de modulación en amplitud:

- **Modulación en Banda Lateral Vestigial (BLV).** Se utiliza para modular la información de imagen en los sistemas analógicos de televisión. Partiendo de un modulador de amplitud, se incorpora a la salida de éste un filtro que recortará parcialmente una de las dos bandas laterales (en este caso, la inferior), consiguiendo así una reducción notable del ancho de banda necesario para transmitir el canal de televisión. Se mantiene la banda lateral superior íntegra (conteniendo la información), además de la portadora, y una pequeña porción de la banda lateral inferior, para facilitar la demodulación. En el vestigio o residuo que se mantiene de la banda inferior, se recorta a partir de 0,75 MHz, presentando un nivel del 50 por 100 de la amplitud en una frecuen-

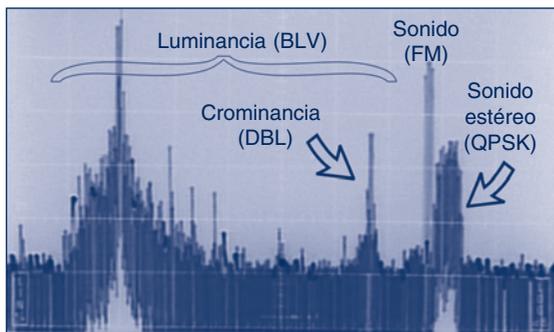


Figura 10.1. Modulaciones de un canal de televisión.

cia de 1 MHz. El espacio total reservado a esta porción de banda lateral es de 1,25 MHz.

- **Modulación en Doble Banda Lateral (DBL).** Con el fin de ahorrar energía durante la transmisión y no interferir con otras señales, se puede eliminar la señal portadora durante el proceso de modulación de amplitud. En este caso se transmitirán únicamente las dos bandas laterales. Este sistema se aplica a las señales diferencia de color *R-Y* y *B-Y* en los sistemas PAL y NTSC.
- **QAM (Quadrature Amplitude Modulation).** Esta técnica de la modulación de amplitud en cuadratura usa dos portadoras, cada una de la misma frecuencia pero separadas en fase 90° . Los técnicos de TV conocemos este tipo de modulación desde la inserción de la TV color ya que las señales diferencia de color modulan en amplitud a una misma portadora (la subportadora de color) desfasada 90° . Esto significa que una portadora sigue a la otra separada un cuarto de ciclo. En transmisiones digitales, cada una es modulada en fase y amplitud por una porción de la señal de la entrada digital. Las dos señales moduladas se combinan entonces y se transmiten como una sola forma de onda. El equipo receptor sólo necesita invertir el proceso para producir una salida digital que puede procesarse para producir luego imágenes

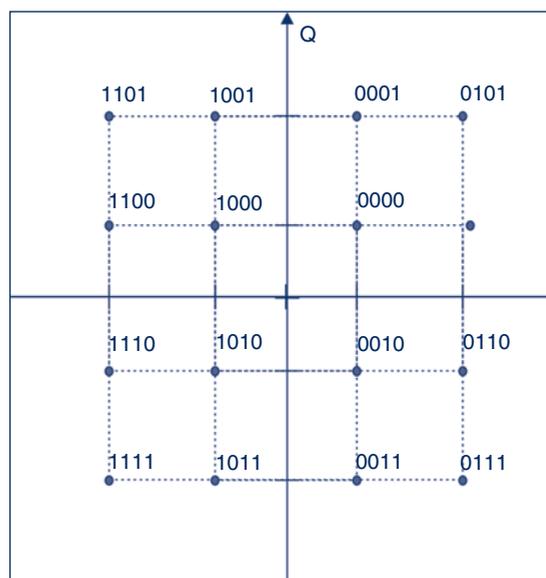


Figura 10.2. Constelación de una señal QAM 16.



10. Sistemas de emisión de televisión

10.1 Modulaciones utilizadas en televisión

u otra información útil. Estableciendo varios niveles de amplitud posibles para cada una de las dos portadoras aumentará el número de bits por segundo que puede transmitirse en un ancho de banda dado.

B. Modulación en Frecuencia (FM)

Las variaciones de amplitud de la señal moduladora que contiene el mensaje se convierten en desplazamientos de frecuencia de la señal portadora. Así, cuando la señal moduladora crece desde cero, la portadora aumentará su frecuencia respecto de la de reposo. Los desplazamientos de frecuencia de la señal portadora se limitan en función de la calidad requerida en la transmisión, definiendo así el ancho de banda del canal. La modulación en frecuencia se utiliza para transmitir el sonido convencional en los sistemas de televisión analógicos, así como para la portadora de audio añadida en el sistema estéreo/dual ZWEITON. También se modulan en frecuencia las componentes cromáticas en el sistema SECAM, así como las señales de televisión por satélite analógicas y la mayoría de los sistemas de enlaces vía radio.

C. Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)

El tercer parámetro que se puede modificar de una señal, además de su amplitud y su frecuencia, es la fase, por lo que también podemos encontrar modulaciones de este tipo. Sin embargo, como detectar pequeños cambios de fase es mucho más complejo que hacerlo sobre los otros parámetros, este método de modulación se emplea para señales moduladoras digitales. Esto supondrá que el número de posibles cambios de fase es muy limitado y, por lo tanto, fácil de identificar en el receptor.

Si transmitimos un mensaje binario, basta con detectar dos fases, correspondientes a los dos niveles que podría adoptar la señal original. Como los circuitos pueden detectar fácilmente un número de fases mayor, se utiliza la variante de desplazamiento de fase en cuadratura (*Quadrature Phase Shift Key*, QPSK), que toma los bits por parejas y genera, por tanto, cuatro fases diferentes en función de la combinación que se le aplica. En cualquier caso, aunque la

Moduladora		Fase modulada	Señal modulada
0	0	0°	
0	1	90°	
1	0	-90°	
1	1	180°	

Figura 10.3. Fases en una modulación QPSK.

señal moduladora sea digital, la portadora empleada es senoidal, con el fin de acortar al máximo el espectro de frecuencia necesario para su transmisión. Dentro del ámbito de la televisión, encontramos este método de modulación en el estándar DVB de televisión digital, así como en la transmisión de sonido estéreo/dual digital NICAM de los sistemas convencionales.

D. Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex

Este sistema no es un modo de modulación propiamente dicho, sino que estamos ante un método de gestión del modo de transmisión, que opera con las señales ya moduladas. En los sistemas de transmisión clásicos, cada canal utiliza una frecuencia de portadora, sobre la cual se transmite toda la información. Sin embargo, en este sistema de transmisión se utiliza un elevado número de portadoras distribuidas a lo largo del canal asignado de forma que no se interfieren entre sí. La información digital se va asignando secuencialmente a cada una de estas portadoras, por lo que se produce una transmisión multiplexada en frecuencia. Esta característica permite que transcurra un



Ejemplo 1

La señal de televisión es, en realidad, un cúmulo de informaciones que se transmiten conjuntamente. Para evitar interferencias entre sus diferentes componentes, se establecen tipos de modulación y frecuencias portadoras diferentes. Así encontramos que la portadora principal se modula en BLV, la información de color en DBL y el sonido principal en FM. Si se transmite sonido estéreo NICAM, podemos identificar además una señal codificada en QPSK. El receptor se encargará de desgranar las diferentes modulaciones, interpretando cada señal por separado.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.2 Equipos de emisión de televisión analógica



tiempo bastante largo entre la transmisión de dos bits por parte de una misma portadora, generándose así un periodo de transmisión (llamado «periodo de símbolo») muy grande. El resultado es un gran grupo de miles de portadoras modulando (en QAM o QPSK) al mismo tiempo señales digitales que, individualmente, utilizan una baja velocidad de flujo binario y, por lo tanto, resultan altamente inmunes a posibles desplazamientos de fase causados por rebotes de la señal durante la propagación.

Emplear este método de transmisión conlleva notables ventajas, entre las que cabe destacar:

- Puede soportar altos valores de multitrayecto (que se encuentran principalmente en grandes centros urbanos, mercado potencial de la televisión digital terrestre), con alta dispersión de retardos entre las señales recibidas.
- Tiene una notable inmunidad ante interferencias de canales adyacentes, lo que permite usar el espectro sin necesidad de mantener canales vacíos, como se hace en transmisiones analógicas para evitar intermodulaciones.
- Posibilita la utilización de sistemas de codificación y compresión de imágenes, permitiendo enviar en el espectro de un canal analógico (8 MHz) tres o cuatro programas de calidad similar, además de ofrecer servicios adicionales (pago por visión, acceso a Internet, etc.).

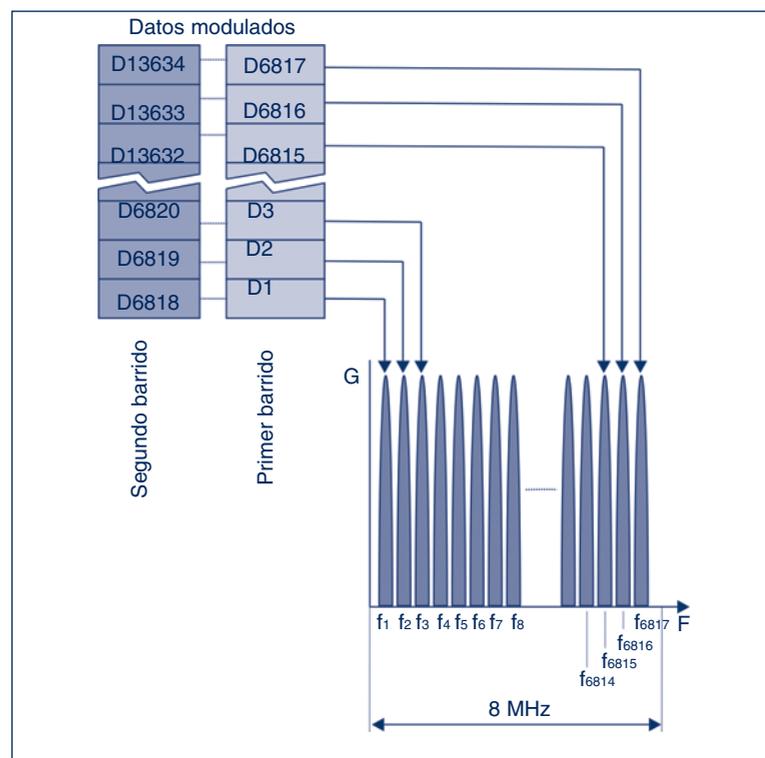


Figura 10.4. Principio de la transmisión COFDM.

Ejemplo 2



En España se ha adoptado el sistema COFDM 8K para difundir la Televisión Digital Terrestre (TDT), que utiliza 8.192 portadoras repartidas en los 8 MHz del canal estándar. Estas portadoras están separadas 1,17 kHz entre sí, puesto que las portadoras no producen armónicos en esta frecuencia cuando se transmiten datos con una velocidad binaria de 19,906 Mbps. Con esta velocidad de flujo se pueden alojar cuatro programas de televisión, más los datos adicionales propios de un sistema de televisión interactivo.

10.2 Equipos de emisión de televisión analógica

Según lo estudiado anteriormente, parece obvio que se precisa de una serie de equipos encargados de aplicar las modulaciones adecuadas a cada una de las señales del sistema de televisión, así como de dotarlas de potencia suficiente para poder atravesar el medio de propagación hasta los receptores. La práctica totalidad de estos equipos se presentan en formato *rack* de 19 pulgadas, con una estructura modular, lo que permite su

integración en sistemas multicanal y la ampliación posterior de potencias y canales.

En la Figura 10.5 aparece el esquema de bloques típico de sistema emisor para televisión, que utiliza el principio de modulación en frecuencia intermedia para audio y vídeo, y la conversión posterior de las dos señales hasta el canal de radiofrecuencia deseado. Sus

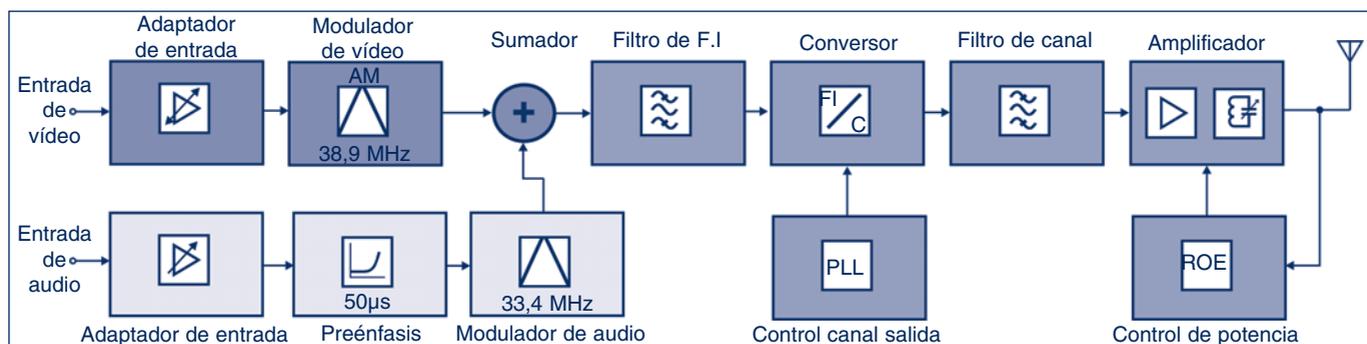


Figura 10.5. Esquema de bloques de un emisor de televisión.

características, funcionamiento y aplicaciones se describirán a continuación.

A. Adaptador de entrada

Este bloque recibirá las señales de audio en banda base y vídeo compuesto. El nivel de la señal de vídeo deberá ser 1 V pico a pico sobre una impedancia de 75 ohmios asimétrica, según valores normalizados. Respecto de las señales de audio, un valor frecuentemente utilizado es 0 dBm sobre una impedancia de 600 ohmios, aunque debido a que no existe una normalización tan extendida, suele incorporarse un control para ajustar el nivel dentro de un amplio margen de posibles valores de entrada. Asimismo, esta entrada podrá admitir líneas de entrada de audio balanceadas o no. La misión fundamental de este bloque será adaptar estos niveles e impedancias de entrada a las necesarias en el siguiente bloque, garantizando así la ausencia de distorsiones o pérdidas por desadaptaciones con los equipos que suministran las informaciones de vídeo y audio. De la correcta adaptación de los niveles dependerá, en el caso de la señal de imagen, la profundidad de modulación; y en el caso del sonido, se delimitará la desviación máxima que se obtendrá en el modulador posterior.

B. Preénfasis de audio

En el camino de la señal de sonido (y de forma previa a la modulación) se deberá aplicar un filtro paso alto, que elevará el nivel de las componentes de alta frecuencia de audio, con el fin de mejorar la relación señal/ruido de la transmisión. Esta característica, llamada «preénfasis», se aplica siempre que se emplea la

modulación de frecuencia, y se define con la constante de tiempo del filtro empleado. Así, para los sistemas utilizados en Europa se emplea mayoritariamente el preénfasis de 50 microsegundos, mientras que las normas FCC americanas eligen un valor de 75 microsegundos para dicha constante de tiempo. Este bloque tendrá en el receptor su complementario, el bloque de deénfasis, que devolverá a la señal de sonido su respuesta en la frecuencia original antes de ser escuchada por el usuario.

C. Modulador de audio

Una vez corregida la amplitud y el espectro de la señal de sonido, ésta se inyecta en un modulador de frecuencia. Este bloque incorpora un circuito de bucle enclavado en fase (*Phase Locked Loop*, PLL) como elemento oscilador de alta estabilidad, que trabaja a una frecuencia de 33,4 MHz. Como sabemos, este valor corresponde a la frecuencia intermedia de sonido en el sistema PAL-B y G. Para otros estándares se emplearían frecuencias intermedias diferentes. Si se aplica la señal de sonido en la tensión de control del PLL, se obtendrán cambios en la frecuencia del oscilador proporcionales a las variaciones de la información de audio.



Ejemplo 3

Los circuitos que procesan la señal de audio son, en realidad, los mismos que aparecerían en un emisor de radio, con la particularidad de que para adoptar su lugar en el canal de vídeo, trabajan con una portadora de 33,4 MHz.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.2 Equipos de emisión de televisión analógica



D. Modulador de vídeo

De forma paralela al canal de sonido, la señal de imagen procedente del adaptador de entrada sirve como señal moduladora en este bloque, donde se generará, a partir de un cristal de cuarzo, una portadora de frecuencia intermedia de vídeo, es decir, 38,9 MHz. Con estos dos componentes se producirá una modulación en amplitud, que dará como resultado una señal modulada de 38,9 MHz, con dos bandas laterales de unos 5 MHz cada una. El sistema utiliza el principio de la modulación negativa. Esto supone que en la zona exterior de la señal modulada se encuentran los sincronismos de la señal de vídeo, mientras que la información de la imagen se ubica en el interior de la señal modulada. Es frecuente encontrar, asociado a este bloque, un control de la profundidad de modulación que determinará la relación entre los niveles de portadora y moduladora en el proceso. También se suelen incorporar etapas de amplificación para dotar a la señal modulada de nivel suficiente para atacar a los bloques posteriores.

E. Sumador de frecuencia intermedia

Una vez realizadas las modulaciones independientes en los canales de vídeo y sonido, se debe crear con las señales resultantes otra única, acotando los niveles y frecuencias establecidas para la frecuencia intermedia estándar. Esto se hace a partir de un sumador (muchas veces compuesto únicamente por dos resistencias) que aportará la cantidad justa de cada señal. Según el estándar de televisión, la portadora de imagen debe ser diez veces mayor que la de sonido. Una vez realizada la suma de las dos informaciones, éstas atravesarán un filtro paso banda, encargado de delimitar el margen de frecuencias que formará el canal de televisión. Este elemento se implementa a menudo utilizando un filtro de ondas de superficie, lo que posibilita una elevada planicidad de su banda de paso, entre 33 y 40 MHz.

Con esta curva de respuesta se seleccionará la banda lateral inferior de la señal de imagen modulada en amplitud, creando la modulación BLV. Otra ventaja de este tipo de filtro es su fuerte atenuación a ambos lados de la zona útil, en un espacio mucho más reducido que con componentes convencionales, por lo que su utilización presenta notables ventajas. Para compensar las pérdidas introducidas por este componente

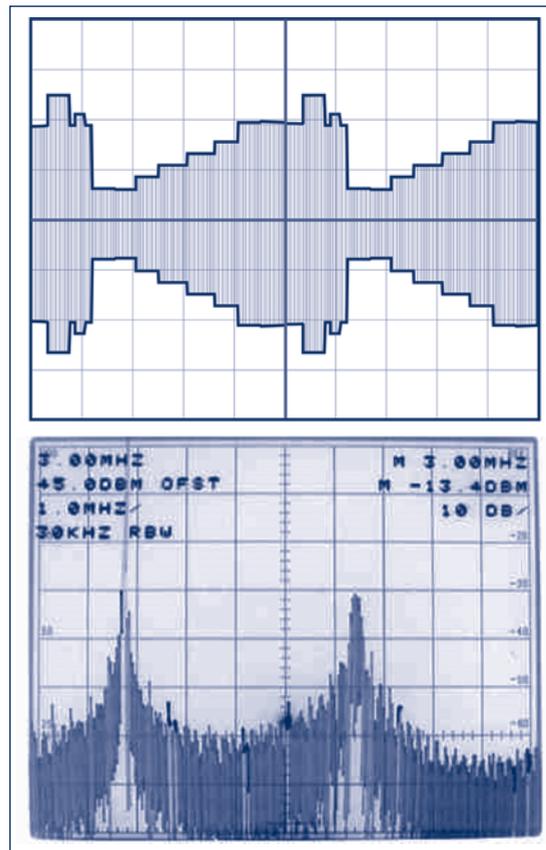


Figura 10.6. Oscilograma y espectrograma de la señal de vídeo modulada en amplitud (barras).

y adaptar las impedancias de entrada y salida, se dispondrán etapas de amplificación complementarias que, como veremos posteriormente, permitirán controlar la potencia de salida dentro de los límites de seguridad de funcionamiento.

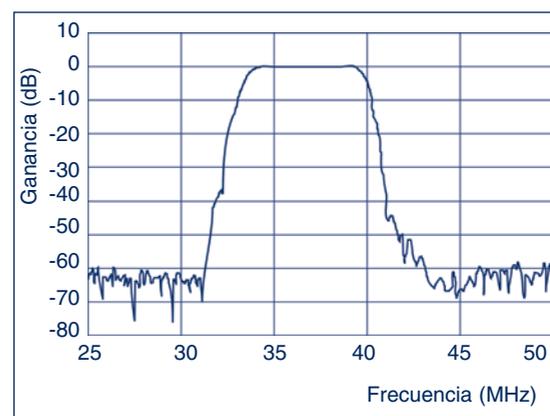


Figura 10.7. Curva de respuesta del filtro de F.I.



10. Sistemas de emisión de televisión

10.2 Equipos de emisión de televisión analógica

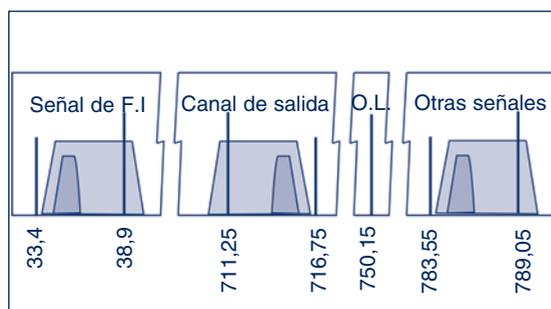


Figura 10.8. Espectro de la salida del mezclador.

F. Conversor de subida

Para colocar la señal en la frecuencia del canal de transmisión se utiliza un conversor de frecuencia, basado en el principio de heterodinación de dos señales. Así, se unirá, mediante mezcla, a la señal de frecuencia intermedia la de un oscilador local, que definirá el valor de la frecuencia de emisión. Como en este punto en la señal de F.I. la frecuencia de sonido es inferior a la de vídeo, para poder transmitir la información se debe invertir esta relación, enviando la banda lateral superior de vídeo y la portadora de sonido por encima de ésta. Por ello, la frecuencia del oscilador local deberá ser 38,9 MHz mayor que la del canal de radiofrecuencia que se desea utilizar, seleccionando mediante filtros posteriores la señal diferencia entre ambas. Al determinar el canal de transmisión, al oscilador local se le exige un alto grado de precisión y estabilidad.

G. Filtro de canal

A la salida del mezclador, además de la señal del canal de televisión que queremos transmitir, se presentan otros productos de la mezcla entre las dos señales, así como una gran cantidad de armónicos. Debemos evitar que estas señales salgan por la antena transmisora, por lo que antes de que se eleve su nivel quedarán bloqueadas mediante este filtro paso banda.

A diferencia del utilizado en frecuencia intermedia, no pueden usarse filtros de onda de superficie, puesto que la banda de paso, de

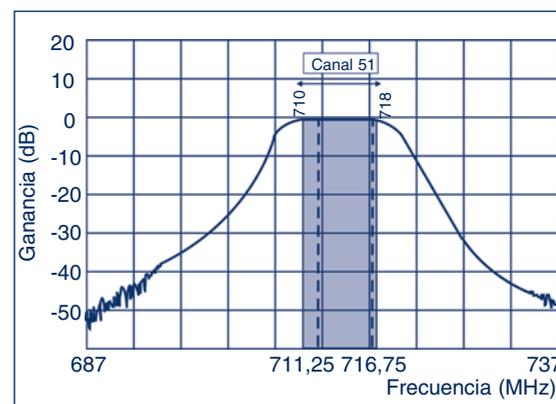


Figura 10.9. Respuesta en frecuencia del filtro de canal.

unos 8-10 MHz, debe sintonizarse para cada canal de transmisión. Sin embargo, es necesaria una banda de paso virtualmente plana en los 8 MHz, que ocupará el canal de televisión, así como una abrupta caída de la ganancia al salir de esta zona útil, para bloquear al máximo el resto de las componentes de la heterodinación. Esto nos obliga a utilizar varias etapas de filtrado convencional LC, ajustando para cada canal los condensadores que incorporan.

H. Etapas de amplificación

A la salida del filtro de canal, la señal presenta ya la estructura adecuada para poder ser transmitida, a falta únicamente de la potencia necesaria para poder radiarse adecuadamente. Para cubrir esta necesidad se incorporan varias etapas de amplificación en cascada, que irán incrementando progresivamente el nivel de potencia de la señal. Para conseguir un rendimiento



Ejemplo 4

Si deseamos transmitir en el canal 51, la frecuencia de portadora de vídeo deberá ser de $F_{pv} = 711,25$ MHz, mientras que el sonido estará en $F_{ps} = 716,75$ MHz. Para conseguir estos valores utilizaremos un oscilador local de valor:

$$OL = F_{pv} + 38,9 = 750,15 \text{ MHz}$$

Por su parte, el filtro de salida deberá estar ajustado para permitir el paso de señales cuya frecuencia esté comprendida entre 710 y 718 MHz, aproximadamente.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.3 El sistema DVB



mayor, estas etapas de amplificación son sintonizables con circuitos resonantes, intercalados entre los pasos amplificadores, que servirán de elemento de acoplamiento entre etapas y eliminarán las señales espúreas que pudieran generarse en el proceso de amplificación.

I. Control de potencia

Unido a la línea de salida del equipo, se incorpora un acoplador direccional, que medirá las señales directa y reflejada que se producen entre el emisor y la antena. Con esta información se detectarán posibles inadapta-ciones entre estos elementos, o con el cable que los une. Si se produce esta situación, el acoplador generará una señal de *control automático de ganancia*, que reducirá el nivel de señal en las primeras etapas de amplificación del emisor, cuando la señal es todavía pequeña. El control de la ganancia se realiza modificando la polarización de los transistores amplificadores, o bien mediante la inserción de un atenuador variable eléctricamente, utilizando diodos PIN. Habitualmente se aplicará la tensión de control de potencia sobre varias etapas, en función del grado de ajuste necesario en cada caso. La tensión entregada por el acoplador direccional puede utilizarse también para medir la potencia de salida del equipo transmisor.

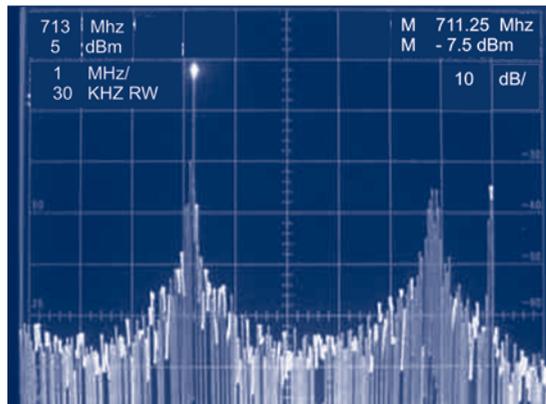


Figura 10.10. Espectro de salida de radiofrecuencia.

Ejemplo 5



De no utilizarse sistemas de control de ganancia, si se produjese una inadaptación de impedancias entre el emisor y la antena o el cable, la corriente reflejada por la inadaptación podría destruir los transistores de las etapas finales del amplificador de potencia de radiofrecuencia.

10.3 El sistema DVB

A principios de los años noventa, en plena expansión económica de los países desarrollados, el panorama de la televisión se encontraba en absoluta renovación, con diferentes grupos de trabajo elaborando nuevos sistemas de televisión que aumentaran las prestaciones de los clásicos NTSC, PAL y SECAM, creando un estándar único. En Europa apostaban por sistemas mejorados de televisión analógicos que pudieran servir de puente a la futura televisión de alta definición. Así se desarrolló el sistema MAC o de Componentes Analógicas Multiplexadas, en diferentes versiones de resolución, aspecto y tratamiento del sonido. Cuando todo estaba preparado para su implantación masiva, desde Estados Unidos se presentaron los primeros planteamientos de un sistema basado en la compresión digital de las imágenes. Así, en 1994 vio la luz el sistema **ATSC** (*Advanced Television System Comitee*), que se implantó en Estados Unidos como estándar de televisión digital terrestre. Transmite señales de 720 x 480 puntos en su versión estándar, aunque también permite el envío de

televisión en alta definición. Utiliza compresión MPEG-2 y modula su trama digital en QAM 64, con un ancho de banda de 6 MHz, el mismo que se empleaba en el sistema NTSC analógico.

Las expectativas europeas, puestas hasta entonces en el sistema HD-MAC, cambiaron radicalmente de rumbo, y se encaminaron a utilizar las enormes posibilidades que ofrece este nuevo sistema. Bajo la iniciativa de la televisión sueca, se crea el Grupo Europeo de Lanzamiento (*European Launching Group, ELG*), que integrará a la mayoría de las empresas de fabricación, explotación y difusión de televisión. Fruto del trabajo de este grupo surge el Proyecto de Difusión de Televisión Digital, que utilizando como base el sistema MPEG-2, crea el marco de aplicación para las diferentes necesidades de los televidentes del siglo XXI.

El sistema DVB ofrece un amplio abanico de prestaciones, entre las que cabe destacar:



10. Sistemas de emisión de televisión

10.3 El sistema DVB



Ejemplo 6

Con el sistema DVB se hace posible la visualización de señales de televisión en equipos móviles. De hecho, se han superado pruebas de recepción de televisión digital sobre un vehículo circulando a 220 km/h, y ya existen en el mercado receptores de televisión móvil.

- Posibilidad de transmitir un gran número de programas de televisión a través de un único canal con ancho de banda estándar.
- Capacidad de transmisión de programas de radio, así como información digital vía radio.
- Elección flexible de la calidad del vídeo y audio transmitidos.
- Contempla la transmisión de televisión de alta definición (HDTV).
- Sistemas de codificación de alta seguridad para los programas de acceso restringido y «pago por visión».
- Mejora notablemente la calidad de imagen respecto de las transmisiones analógicas, al utilizar sistemas más inmunes ante las interferencias.

Dentro de este proyecto, se pueden diferenciar varios sistemas, con funciones y características diferentes:

- **DVB-S:** diseñado para transmitir por satélite canales de 36 MHz de ancho de banda, con modulación digital de cuadratura de fase (QPSK) y un amplio número de códigos de corrección de errores y sistemas de entrelazado de los paquetes de información, para compensar las perturbaciones que sufre la señal durante la transmisión. En su versión más común utiliza un flujo de datos de 39 Mbps. Pensado para contener programas de pago, presenta un núcleo con los programas del paquete básico, a los que se le añaden diferentes capas de información de otros programas, cuya recepción puede ser habilitada a través de códigos transmitidos en los campos de datos adicionales.
- **DVB-C:** su campo de aplicación es la televisión por cable, por lo que sustituye el sistema de modulación por el QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura).

Asimismo, presenta un nivel de protección de los datos menor, como consecuencia de las menores pérdidas del sistema de transmisión por cable. Como el anterior, puede contener programas de pago y a la carta, siendo su bitrate similar a la versión por satélite.

- **DVB-T:** es la variante para transmisiones terrestres. Utiliza, como la versión de satélite, códigos de redundancia cíclica y entrelazados para minimizar los errores de transmisión. Puede utilizar tanto los sistemas de modulación QPSK y QAM, combinados con el sistema de modulación múltiple COFDM.



Ejemplo 7

La plataforma de televisión Digital + transmite bajo el estándar DVB-S. Por su parte, todos los teleoperadores nacionales utilizan ya el sistema DVB-T en las transmisiones de televisión digital terrestre.

El sistema DVB va más allá de la transmisión de la señal de televisión clásica, incorporando prestaciones añadidas a las de imagen, sonido y datos como el tele-texto. Además, prevé sistemas de encriptamiento de la señal (*Multicript*, *Simulcrip*) avanzados con las últimas innovaciones contra actos de piratería, y métodos de configuración automática de los receptores, con señales de control enviadas desde la emisora.

En 1997 el Proyecto DVB extendió su alcance, abriendo paso a la televisión interactiva, a través de la Plataforma Multimedia del Hogar (**DVB-MHP**). Con ella se ofrecen servicios de acceso a Internet, televotación, telecompra, juegos interactivos y un largo etcétera. En principio, esta interactividad necesitaba la red telefónica para el enlace usuario-emisora, pero en 2002 se normalizó el **canal de retorno**, por lo que los receptores de televisión digital terrestre se encargan de enviar, vía radio, los datos desde el terminal del usuario hasta la emisora.

El sistema, denominado DVB-RTC, funciona de modo similar a la red de telefonía móvil. De hecho, utiliza una red celular para que los receptores de usuario puedan transferir los datos hacia la emisora, con un nivel muy bajo de potencia. De esta forma, el sistema de comunicación consta de dos canales, uno descendente, que transmitirá los servicios de televisión y datos desde la emisora, y otro ascendente, por el cual el espectador

10. Sistemas de emisión de televisión

10.4 Medidas en televisión digital

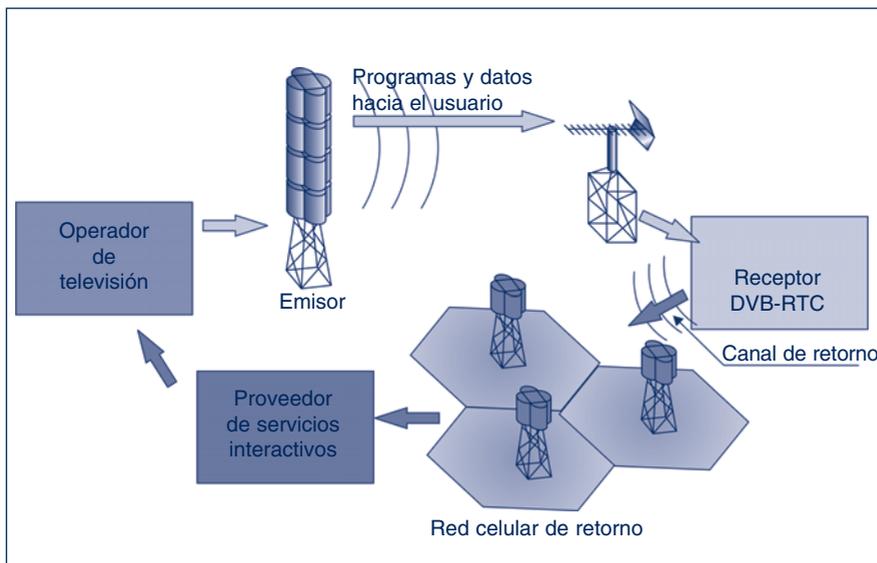


Figura 10.11. Estructura del canal de retorno del sistema DVB-RTC (NOVA).

podrá enviar la información que desee, desde una simple votación hasta solicitar una página de Internet.

El canal de retorno utiliza un ancho de banda de 1 MHz y modulación COFDM, igual que el canal principal. Sus portadoras pueden estar separadas 1, 2 o 4 kHz, según el tamaño de la célula de transmisión y, por lo tanto, de la robustez necesaria para garantizar una transmisión libre de errores. La potencia máxima del canal de retorno es de 500 mW.

Pese a que, como hemos visto, existe toda la normativa y el equipamiento necesarios para la codificación y

transmisión de señales de televisión en formato digital, su campo de aplicación es todavía limitado, implantándose poco a poco a partir de nuevas ofertas de televisión. Actualmente nos encontramos en una situación de coexistencia de los sistemas analógicos y digitales, y la sustitución de todos los receptores analógicos por sistemas digitales no se plantea a medio plazo. La forma más habitual de recibir la televisión digital es a través de sintonizadores externos,

que se conectan a los televisores convencionales con los que coexisten. La migración total hacia el estándar digital deberá producirse a más tardar en el año 2010, cuando se produzca el apagón analógico.

Ejemplo 8



Cataluña es la región pionera en el desarrollo de la televisión digital terrestre. Es en esta comunidad autónoma donde se ha implantado la primera red de televisión interactiva en España.

10.4 Medidas en televisión digital

Debido a la diferente naturaleza de las señales, la televisión digital precisa de medidas específicas para evaluar los parámetros de transmisión, que nos permitirán garantizar el adecuado ajuste de los sistemas para un funcionamiento correcto.

A continuación describiremos los parámetros fundamentales de las transmisiones de televisión digital, así como sus técnicas de medida.

- **Potencia de canal digital.** Conocer la potencia de un canal de transmisión resulta de vital importancia, y es el primer paso para evaluar la calidad de una

instalación. Los receptores de televisión digital, como cualquier otro equipo de radiofrecuencia, necesitan que la señal recibida se encuentre dentro de unos márgenes específicos, determinados por el fabricante en cada caso. Los valores de señal en la toma de usuario deben situarse entre los 45 y 70 dB μ V, sobre una impedancia de 75 Ω .

- **Relación portadora a ruido (C/N).** Cuando evaluamos la calidad de una transmisión, inicialmente tendemos a pensar que cuanto mayor sea la potencia recibida, tanto más fiable resultará la comunicación. Sin embargo, esto no siempre se cumple, por cuanto



10. Sistemas de emisión de televisión

10.4 Medidas en televisión digital

la facilidad para demodular la señal e interpretar su contenido depende mucho de la diferencia existente entre la potencia con la que recibimos la señal y la potencia del ruido que siempre la acompaña. Por lo tanto, una señal de poca potencia y alta relación C/N permitirá obtener una mejor calidad que otra en la que, incluso con potencias muy superiores, se reciban con una peor relación portadora-ruido.

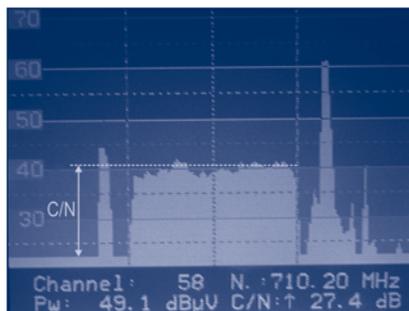


Figura 10.12. Relación portadora a ruido y valores proporcionados por un medidor.

C/N (Reference)

27.4 dB μ V

VIDEO CARRIER

Chanel = 58
Power = 49.1 dB μ V

NOISE:

Frecuency = 825.55 MHz
Power = \downarrow 21.7 δ B μ V
Channel BW= 8MHz

Esta realidad está presente en todas las comunicaciones, estableciéndose en transmisiones analógicas la relación señal-ruido para evaluarla. En transmisiones digitales, la distribución espectral resulta aparentemente caótica, por lo que utilizamos la potencia de las portadoras para establecer la relación con el ruido inherente al sistema.

Según el ETSI, cualquier medida de relación C/N debe estar en correspondencia con el ancho de banda del canal de transmisión, por lo que los medidores digitales tienen en cuenta este aspecto al indicarnos la lectura. Ésta es la razón por la cual es frecuente que el valor entregado por el medidor no coincida con el que se visualiza directamente sobre el espectro, que supone una medida puntual que no considera la anchura del canal utilizado.

Para determinar el valor del ruido, los instrumentos de medida suelen tomar como referencia una frecuencia en el límite exterior de la banda de trabajo. Esto puede suponer un error al efectuar la medición, si el nivel de ruido no se mantiene constante a lo largo de toda la banda. Para realizar una medida más exacta, podremos en algunos casos elegir la frecuencia exacta a la que se medirá el nivel de ruido, pudiendo tomar el valor más cerca del canal que se está midiendo.

- **Información de estado del canal (CSI).** Algunos medidores proporcionan un coeficiente de fiabilidad de la señal recibida, denominado **CSI (Channel State Information)**. Se trata de un parámetro porcentual que sirve como medida complementaria de la calidad del sistema. Factores superiores al 50 por 100 per-

miten decodificar la trama digital, posibilitando la visualización de los programas que contiene.

Sin embargo, determinados servicios derivados de la interactividad del sistema (descargas de ficheros, navegación por Internet, etc.) pueden verse afectados ante valores bajos de este factor.

- **Medidas de constelación.** Los medidores más avanzados permiten realizar comprobaciones de la precisión con que se reciben los símbolos de transmisión. Una vez sintonizados, se detectan las amplitudes y fases de las señales I y Q, representándolos sobre la pantalla del equipo de medida. Una rejilla sobre esta pantalla nos informará de los límites en los que se pueden mover los diferentes puntos, y podremos tener una indicación visual de la calidad de recepción, en función del grado de nitidez que presente el gráfico.

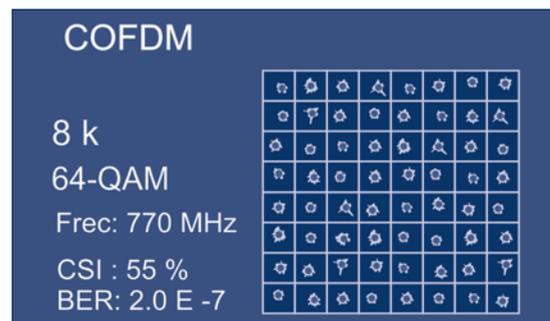


Figura 10.13. Medida de constelación de una señal QAM.

- **Tasa de errores de bit (BER).** Una vez demodulada, la señal se aplica a diversos procesos de corrección de errores, cuya misión es procurar que el *Transport Stream* pueda ser interpretado correctamente por el decodificador MPEG y, por lo tanto, se extraigan adecuadamente los servicios que contiene. Pero en todo proceso de comunicación existe el riesgo de que, incluso tras los sistemas de detección y corrección de

10. Sistemas de emisión de televisión

10.4 Medidas en televisión digital



errores, aún permanezcan algunos fallos irrecuperables por el sistema, que se convertirán en *artefactos*, pequeñas zonas de la imagen que permanecen congeladas durante un breve periodo de tiempo. El parámetro que se encarga de comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas de corrección y de la calidad de la señal del flujo de transporte es la tasa de errores de bit (BER). Analiza el número de fallos de la señal con relación a una hora de tiempo, asignando un valor proporcional a esta relación.

Naturalmente, la cantidad de errores y, por lo tanto, el BER correspondiente, dependerá del punto en el que se realice la medida. Si en un receptor digital de televisión por satélite DVB-S tomamos el valor de la tasa de error a la salida del demodulador QPSK, a la salida del corrector de Viterbi y, por último, a la salida del corrector Reed-Solomon, obtendremos tres medidas distintas, cuya comparación nos permitirá comprobar la eficacia de los sistemas de corrección de errores.

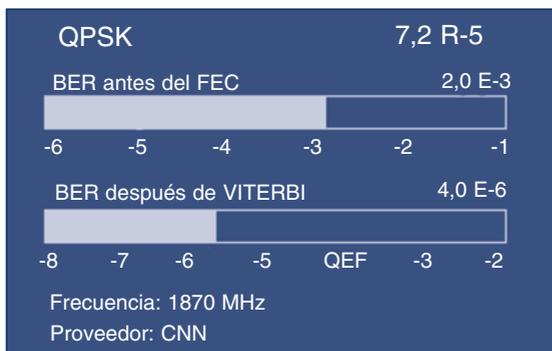


Figura 10.14. Medida de la tasa de errores de bit (BER).

Para definir cuándo una trama de transporte es válida, el ETSI define el concepto de señal casi libre de errores (*Quasi Error Free, QEF*). Según la norma DVB, podemos considerar que una trama cumple la norma cuando se detectan, después de los procesos de corrección, menos de un fallo por cada hora. Esto supone que, medido en la salida del decodificador Reed-Solomon, deberemos obtener un factor BER menor de 10^{-11} . En estas condiciones, y conociendo la capacidad del decodificador Reed-Solomon para corregir los fallos, tendremos en la entrada de este bloque (por lo tanto en la salida del decodificador Viterbi) una tasa de error de $2 \cdot 10^{-6}$.

Si bien resulta sencillo establecer esta relación, puesto que el corrector Reed-Solomon tiene una estructura fija, no resulta tan fácil definir la tasa de errores que encontraremos en la entrada del proce-

sador Viterbi (en aquellos modos en los que se utiliza). El rendimiento de este bloque depende en gran medida de la relación de codificación (*code rate*) que utiliza la trama y, como sabemos, este parámetro se asigna libremente por el operador.

- **Identificación de trama y servicios.** Además de las normas anteriores, los equipos de medida de televisión digital suelen implementar otros sistemas de control de la señal que, si bien no proporcionan datos cuantitativos del estado de la señal, sí nos informan de la identificación o la interpretación de determinados elementos del flujo de transporte. Aunque estos controles cambian de un fabricante a otro, los más frecuentes son los siguientes:

- **Identificación de portadora digital:** al seleccionar las medidas de televisión digital, la primera operación que realiza el equipo es la comprobación de la existencia de una portadora digital en la frecuencia que tenemos sintonizada. En caso de no existir, se informa al usuario con una indicación en la pantalla (generalmente: «no digital carrier detected») mientras que si existe la portadora digital, el equipo analizará el modo de modulación que contiene, configurándose adecuadamente para recibirla.

- **Identificación de trama MPEG:** cuando el medidor detecta una trama válida con estructura MPEG-2, lo representa con un mensaje sobre la pantalla.

- **Detección de paquetes erróneos:** en algunos equipos encontraremos un contador con las siglas W.P. (*wrong packets*), que se actualiza en tiempo real cada vez que encuentra un error en la trama bajo medida.

Para interpretar mejor esta medida, suele llevar la indicación del tiempo transcurrido desde el inicio de la cuenta.

- **Identificación de red y servicio:** una vez recibido el Transport Stream, se pueden interpretar los datos relativos al operador del servicio, e incluso el servicio seleccionado para la medida realizada entre los diferentes que puede contener.

Las comprobaciones aquí descritas suponen un análisis básico de la trama MPEG, suficiente para



10. Sistemas de emisión de televisión

10.5 Difusión de las señales de televisión

comprobar la integridad del sistema en la mayoría de las operaciones de instalación y servicio de mantenimiento de las redes de transmisión. Sin embargo, en algunas aplicaciones es necesario establecer medidas más exhaustivas de la trama. Para ello se han desarrollado instrumentos de medida específicos, de elevada especialización,

capaces de efectuar mediciones extensivas del bitrate, la temporización y la información contenida en las tablas de información del sistema, que se transmiten en las tramas elementales, de programa y de transporte de las señales MPEG, así como de todos los sistemas de transmisión de televisión digital.

10.5 Difusión de las señales de televisión

El sistema de emisión estudiado se completará con una línea de transmisión que nos comunicará con el sistema radiante. Este elemento, analizado en la Unidad dedicada a las antenas, deberá ubicarse en el lugar más idóneo para garantizar la correcta cobertura del área preestablecida. Esto supone que el sistema emisor se emplazará en un lugar predominante orográficamente y, normalmente, distinto de donde se ha producido el programa de televisión.

Para solucionar este inconveniente se utilizan los radioenlaces, unos sistemas de comunicación punto a punto encargados de trasladar las señales desde los estudios al centro emisor. También se emplearán radioenlaces para comunicar dos estaciones emisoras, así como para llevar un programa en directo desde una unidad móvil hasta los estudios. Estos equipos son, en principio, unidireccionales, si bien pueden asociarse para crear una vía de comunicación bidireccional entre estudios o estaciones emisoras.

Debido a la frecuencia utilizada en la transmisión de señales de televisión, se debe garantizar un contacto visual entre el emisor y el receptor de la transmisión. Por ello, en la mayoría de los casos, con la emisión desde un único punto no se podrá efectuar la cobertura adecuada, sobre todo si se trata de áreas extensas o países completos. Esto nos obligará a usar una red de reemisores que, estratégicamente ubicados, realicen la cobertura adecuada del área de difusión deseada.

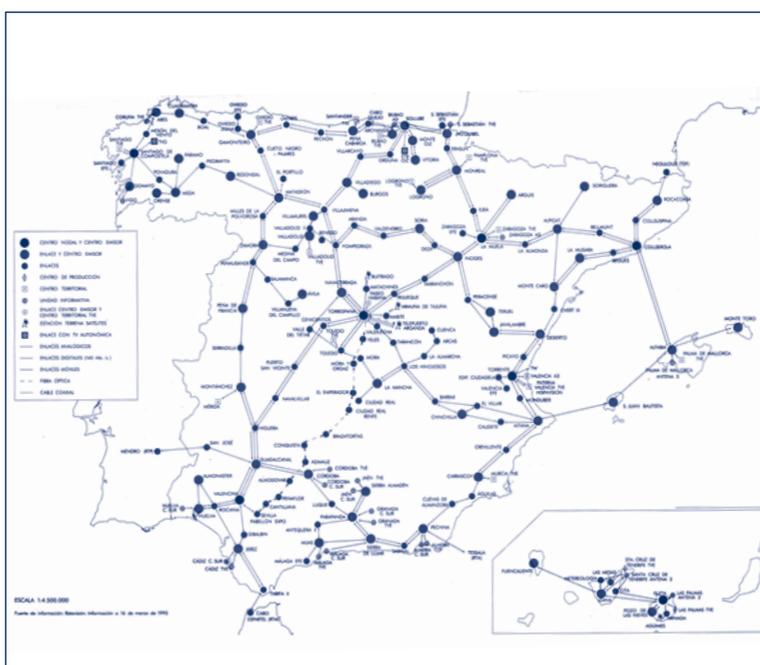


Figura 10.15. Red de difusión.

Un reemisor es un sistema que, ubicado en el límite de cobertura de un emisor de televisión, recibe la señal de televisión de éste y, una vez cambiada su frecuencia de portadora para evitar interferencias, la reenvía a una nueva zona de cobertura, a la que no se podía llegar con la señal original. Con el uso conjunto de radioenlaces, emisores y reemisores se crea la red de difusión de un país o área de aplicación, que garantizará el servicio de radiodifusión de programas de radio y televisión a todos sus usuarios.

La estructura de esta red de difusión deberá ser tal que garantice el servicio ante eventualidades técnicas, atmosféricas, etc. Por ello presenta una estructura de estrella múltiple, a semejanza de las redes de distribución de energía eléctrica o de agua. En esta red apare-

10. Sistemas de emisión de televisión

10.5 Difusión de las señales de televisión



Ejemplo 9



En España se dispone de centros nodales en Madrid (Torrespaña), Barcelona (Collserola), Santiago de Compostela, Zaragoza (La Muela), Valencia, Sevilla (Valencina) y Las Palmas de Gran Canaria (Isleta); existen centros regionales en cada comunidad autónoma y cientos de reemisores ubicados en función de la complejidad del terreno. Las potencias de transmisión utilizadas van desde apenas un vatio, en los reemisores locales para pequeños pueblos, hasta las decenas de kilovatios emitidos en los centros nodales para cada canal.

los elementos de máximo nivel en la estructura de la red.

Naturalmente, estas redes de difusión son utilizadas sólo por los grandes operadores de televisión; existen muchas otras emisoras de índole local cuyos programas se difunden a través de una red mucho más simple. Esta red puede estar formada a menudo por un único centro emisor y los enlaces correspondientes con los estudios de producción de programas y sus unidades móviles.

cerán centros nodales de emisión, que conformarán los núcleos de las estrellas y difundirán los programas a centros regionales dependientes de ellos. A su vez, estos centros regionales pueden configurarse como reemisores de las señales procedentes de los centros nodales, o bien emitir sus propios programas. En el escalón jerárquico más bajo se encuentran los reemisores locales, encargados de enviar el servicio a la zona de cobertura asignada.

Paralelamente a la red de reemisores se implementa la red de radioenlaces, que se encargan de realizar transmisiones internas entre los centros nodales y/o regionales, y asegurar el suministro de señal a toda la red de difusión. Podremos encontrar múltiples radioenlaces en los centros nodales, que crearán vías de comunicación entre los centros de producción de programas de su zona y el resto de centros nodales o regionales, así como con las estaciones de emisión vía satélite. Esta red se extenderá a través de los emplazamientos de algunos de los sistemas reemisores que, por su ubicación geográfica, resulten especialmente apropiados para crear estas vías con el menor número posible de elementos. Para garantizar el servicio, estas «autopistas» radioeléctricas se extienden de forma que se pueda cubrir cualquier comunicación posible por más de un camino, uniéndose cada centro regional con todos sus adyacentes, salvo excepciones justificadas por la complejidad orográfica. Esta redundancia de enlaces se hace más notable en el caso de unir los centros nodales, al ser

Una vez suministrada la información del programa a transmitir al centro emisor, se podrá optar, según la naturaleza del programa y el ámbito de la emisora, entre uno de estos sistemas de difusión:

- **Difusión en ámbito local.** El programa se recibirá únicamente en el área de cobertura del emisor que difunde la señal, limitada habitualmente a la localidad o a la región en la que se ubica la emisora. En esta configuración se emplearía únicamente un enlace entre el estudio y el centro emisor, si no están en el mismo edificio. La cobertura de la emisión quedaría definida por la potencia del emisor y las características geográficas que lo rodean, como montañas, bosques, lagos, etc., que limitan o modifican la propagación de la señal.

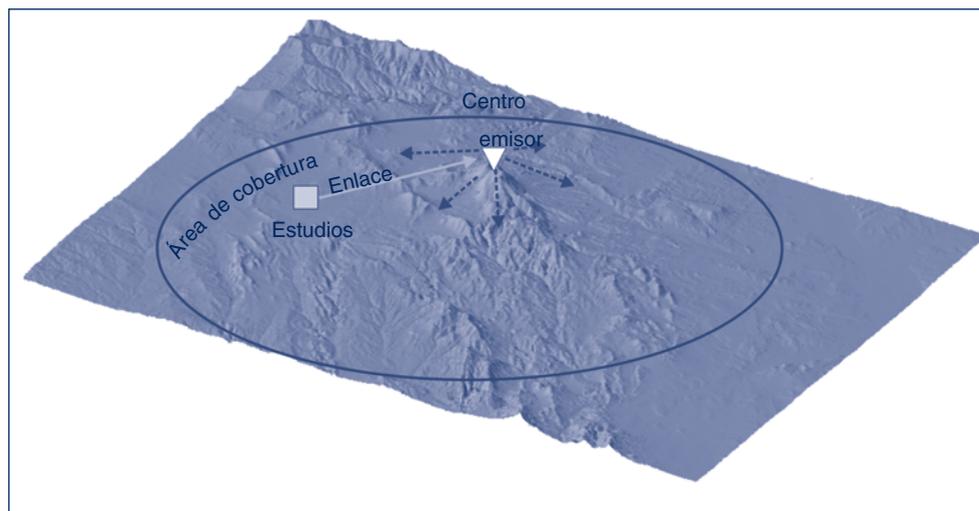


Figura 10.16. Difusión local.



10. Sistemas de emisión de televisión

10.5 Difusión de las señales de televisión

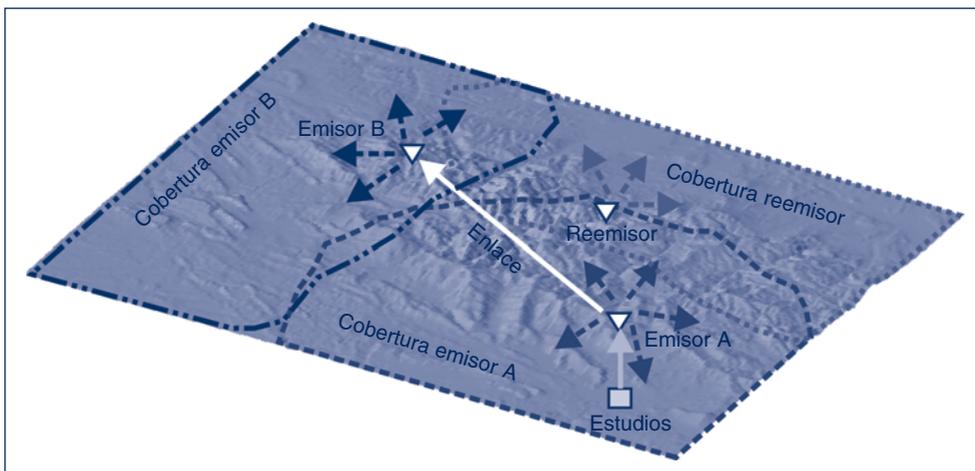


Figura 10.17. Difusión regional.

transmitir la señal de televisión, se disponen enlaces auxiliares de voz y datos, que facilitan la comunicación entre los centros de difusión de la red y proporcionan al centro de control información del estado de su equipamiento técnico. Esta utilidad facilita enormemente las labores de mantenimiento de los equipos, puesto que a través de las telemidas es posible prevenir averías, a la vez que se consigue un ahorro importante de visitas a los emplazamientos de los enlaces, ubicados a menudo en lugares de difícil acceso.

En estas otras misiones se engloban

- **Difusión regional.** Cuando se quiera cubrir una región más amplia, se podrá optar por utilizar enlaces para comunicar emisores cuyas coberturas no se solapan, o bien habilitar reemisores en las zonas elevadas que suponen un obstáculo a la propagación de la señal principal, dirigiendo nuevas señales electromagnéticas hacia la zona no cubierta por aquéllos.

los enlaces empleados en la comunicación con las unidades móviles, que llevan la señal hasta el centro emisor más próximo, para conducirlas desde allí a los estudios. Este paso intermedio se justifica por la ubicación

- **Difusión en cadena.** En el caso de que se desee llegar a más de una región, se utilizará el sistema de enlaces descrito anteriormente, distribuyendo a través de él el programa en cuestión hasta los diferentes centros regionales. Cada uno de estos centros regionales transmitirá a su vez la señal a los reemisores, como en el caso anterior. Según se trate de un programa nacional o multirregional, se podrá excluir de la cadena de difusión a alguno de los centros regionales, por motivos culturales o comerciales, que trabajaría en modo local o regional mientras se mantiene aislado del resto.

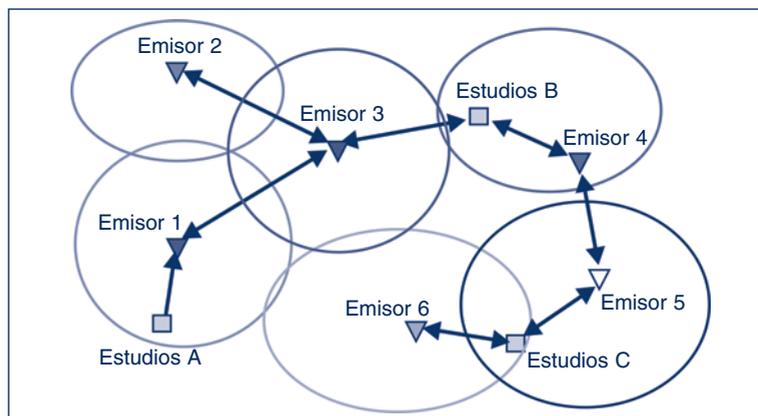


Figura 10.18. Difusión en cadena.

La red de enlaces tiene más aplicaciones que las de distribución de los programas de televisión, siendo un elemento fundamental en su proceso de producción. Además de



Ejemplo 10

Una aplicación de la red de enlaces es la producción de programas desde diferentes puntos alejados geográficamente, pudiendo establecer conexiones remotas entre el centro de producción y cualquier otro, en estudios fijos o móviles, siempre que estén en la cobertura de alguno de los radioenlaces de cualquier emisor de toda la red. Esto proporciona un gran número de posibilidades creativas y permite realizar conexiones múltiples y videoconferencias entre estaciones distantes, muy valoradas en programas informativos, deportivos o de entretenimiento.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.5 Difusión de las señales de televisión



privilegiada de los centros emisores, que permite establecer enlaces visuales desde prácticamente cualquier zona dentro del área de cobertura.

En las redes de difusión clásicas utilizadas en televisión analógica, la existencia de múltiples emisores y reemisores requería planificar cuidadosamente el canal de radiofrecuencia asignado a cada uno de estos elementos para evitar interferencias entre ellos. Este tipo de red se denomina **red de frecuencia múltiple (MFN)**. Sin embargo, la aparición de la televisión digital ha introducido un concepto nuevo, el de **red de frecuencia única (SFN)**. En este sistema, determinados canales de radiofrecuencia son utilizados en toda la geografía nacional para transmitir los mismos servicios de televisión. Como consecuencia, ya no es necesario resintonizar los receptores al cambiar de área geográfica, al trabajar todos los emisores de esta red a la misma frecuencia. El plan técnico nacional tiene establecidas redes de frecuencia única nacional y autonómicas, a las que se pueden sumar las redes de frecuencia múltiple nacional y las regionales diseñadas por algunas comunidades autónomas.

A. Emisión de televisión a través de redes de datos

El desarrollo de la tecnología de las comunicaciones ha ampliado notablemente el concepto de televisión original acuñado a mediados del siglo XX. Uno de los últimos avances ha sido la posibilidad de recibir televisión en medios diferentes del clásico televisor. Así, cada vez

es más común encontrar clientes que reciben vídeo y audio a través del ordenador, o directamente en su teléfono móvil de última generación. Al tratarse de un medio sensiblemente distinto al de la televisión convencional, se requiere introducir adaptaciones en la forma en que la señal se traslada al usuario, para entregar la mejor calidad posible en el servicio que se suministra a cada uno de los clientes.

El elemento clave en la transmisión de vídeo para consumo inmediato a través de redes de datos recibe el nombre de **video streaming**. Según este principio, la información audiovisual se descompone en pequeños paquetes que serán transmitidos de forma independiente. Cada uno de ellos tiene una pequeña porción de

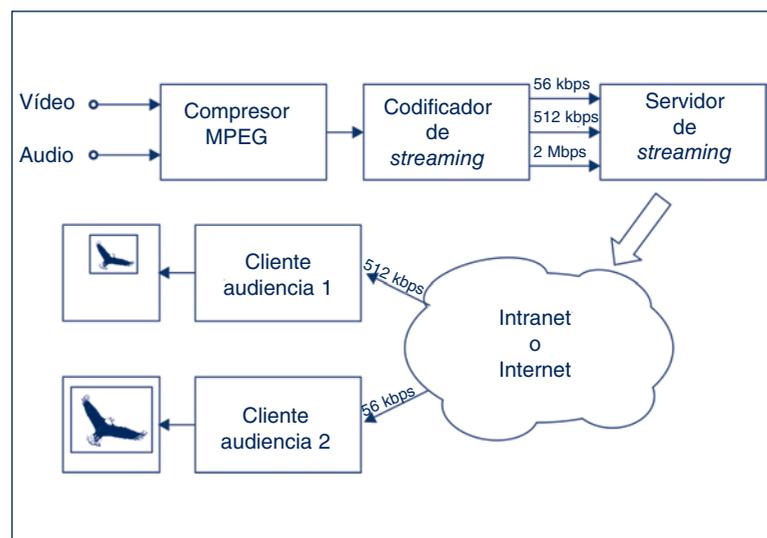


Fig. 10.19. Estructura de una transmisión de vídeo por streaming múltiple.

Ejemplo 11



La red nacional de frecuencia única utiliza los canales 66 a 69 para difundir los programas de las televisiones nacionales en formato digital. Además, cada comunidad autónoma tiene asignado un canal para difundir las emisiones autonómicas, utilizándose el canal 63 en Madrid y en el País Vasco o el 58 en la Comunidad Valenciana. Por su parte, en Cataluña disponen, además de la red de frecuencia única autonómica, distribuida por el canal 64, de una red de frecuencia múltiple provincial, que cubre Barcelona desde el canal 61, y de otra red de frecuencia múltiple regional, que divide la comunidad en seis comarcas, desde el Alto Pirineo hasta las Tierras del Ebro, con frecuencias diferentes para cada una de ellas.

vídeo y su audio correspondiente, y formarán pequeñas tramas que se adaptarán a la velocidad de transmisión de la red por la que se propague. Como la información de vídeo genera una gran cantidad de información, la transmisión de televisión vía red de datos pasa, necesariamente, por un proceso de compresión previo, utilizando las técnicas que estudiamos en la Unidad 8. Tras este paso, un codificador fraccionará la trama digital comprimida, creando los paquetes de información de tamaño adecuado para viajar por la red. El sistema se



10. Sistemas de emisión de televisión

10.6 Reemisores de televisión

completará con la utilización de un servidor de red, que gestionará la transmisión de los datos hacia los usuarios. Todo este sistema estará implementado, generalmente, en base a un sistema informático, puesto que las diferentes funciones se pueden realizar utilizando programas informáticos existentes en el mercado.

Según la aplicación a la que vaya destinada, podemos encontrar dos tipos de *streaming*:

- *Streaming* de bit rate simple: cuando queremos establecer un sistema de transmisión punto a punto, hacia un único receptor, lo más apropiado es evaluar las posibilidades de transmisión de la red y de decodificación del receptor, y establecer un nivel de compresión que permita difundir la información sin cortes, con la mejor calidad posible.
- *Streaming* de bit rate múltiple: si nuestro programa se va a difundir a un gran número de usuarios, como en el caso de un *streaming* a través de Internet, tendremos que tener en cuenta la diversidad de canales de transmisión con que nos encontramos. Por ello, desarrollaremos una estrategia de audiencia múltiple. En este caso, utilizaremos un codificador que entregará varias versiones del programa audiovisual, con niveles de compresión y resolución diferentes, para adaptarse a la capacidad de transmisión y procesamiento de cada uno de los posibles usuarios. Cada cliente, al establecer la petición del servicio, determinará la calidad más adecuada a su tipo de conexión, y el servidor se encargará de transmitir los paquetes correspondientes al nivel de calidad de su perfil de audiencia del servicio audiovisual requerido.

10.6 Reemisores de televisión

Si analizamos la estructura de un sistema reemisor, encontraremos un gran número de elementos comunes con los emisores estudiados. En realidad, prácticamente la mitad del sistema es idéntico, desde el filtro de frecuencia intermedia hasta los amplificadores de potencia. Esto se debe a que la diferencia principal entre ambos equipos está en el formato de la señal de entrada. Mientras en el emisor se procesan señales de vídeo compuesto y audio en banda base, recibidos por separado, en un sistema reemisor se recibe por una antena la señal modulada, de modo similar a un receptor de televisión convencional. Esta señal captada será procesada en los siguientes bloques:

- **Filtro de canal de entrada.** Es el encargado de acotar el margen de frecuencias que entrarán en el equipo, bloqueando la frecuencia imagen del canal a sintonizar, ya que la selección de canal se realizará por heterodinación. Estará formado por varias etapas paso banda *L-C*, lo que le confiere una adecuada selectividad.
- **Preamplificador de entrada.** Como el nivel recibido por la antena es habitualmente muy bajo, antes de realizar cualquier proceso es imprescindible amplificar las ondas seleccionadas por el filtro. Esto nos proporcionará una relación señal/ruido suficiente para mantener los parámetros de calidad adecuados.
- **Convertor de bajada.** La siguiente operación será la sintonización precisa del canal de televisión recibido y la traslación de la señal a la banda de frecuencia intermedia. Para ello se utilizará un **oscilador local**, cuya frecuencia se situará 38,9 MHz por encima de la frecuencia a recibir de la emisora, y se controlará con un sistema de bucle enclavado en fase (PLL), encargado de sintetizar la frecuencia por comparación con una referencia patrón, y un sistema de división programable, que seleccionará el técnico que realice el ajuste inicial del sistema. La señal del oscilador local confluirá con la de radiofrecuencia en el **mezclador**, donde se producirá el batido de las dos señales, obteniendo a la salida el resultado de la heterodinación.
- **Filtro de frecuencia intermedia.** Tras la mezcla, se utiliza un filtro paso banda para permitir el paso de la señal diferencia entre las dos que se aplicaron al mezclador. El resto de los componentes y armónicos de la mezcla quedarán bloqueados, ya que se trata de un filtro muy selectivo asociado a etapas amplificadoras que irán elevando el nivel de la señal principal.
- **Convertor de subida, filtro de canal y amplificadores de potencia.** A la salida del filtro de frecuencia intermedia la señal de televisión presentará características similares a su equivalente en los sis-

10. Sistemas de emisión de televisión

10.7 Cálculo de reemisores

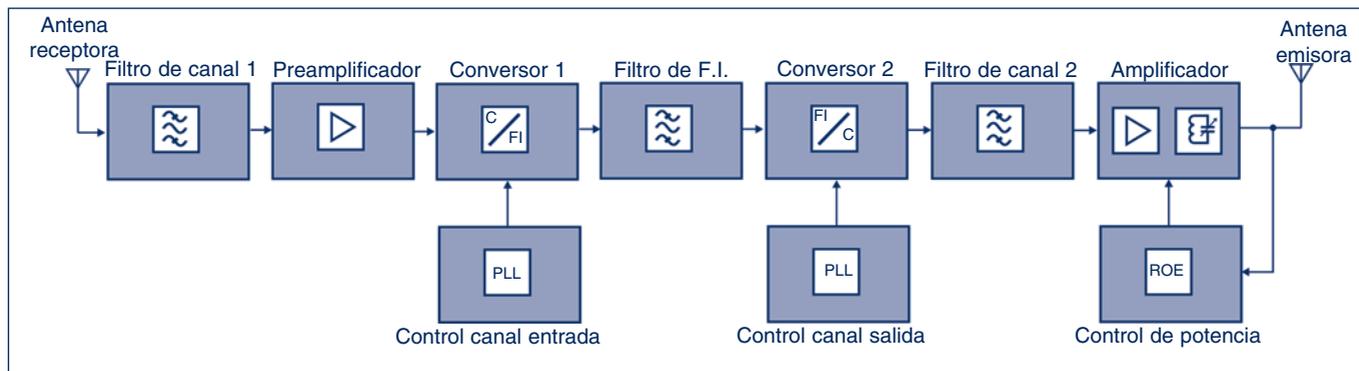


Figura 10.20. Diagrama de bloques de un reemisor.

temas emisores. El resto del proceso buscará la emisión de esta señal en un canal de televisión diferente del de recepción, con el fin de no producir interferencias entre la señal original y la reemitida. Para ello se utilizan los mismos bloques que ya encontramos en el estudio de los emisores.

cuya misión es, precisamente, rellenar los huecos de cobertura que se producen por la aparición de obstáculos en el camino de propagación de la señal. La característica que diferencia un *gap filler* de un reemisor convencional es su capacidad de operar en redes de frecuencia única (SFN) utilizando el mismo canal de entrada y de salida.

Con la llegada de la televisión digital terrestre ha surgido un nuevo tipo de reemisor denominado *gap filler*,

10.7 Cálculo de reemisores

Cuando se crea la necesidad de instalar un reemisor, se debe realizar un pequeño estudio previo de la zona a fin de elegir adecuadamente el emplazamiento del sistema. Para ello, se analizará el perfil de la zona a cubrir por el nuevo emisor, teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- El sistema reemisor se tendrá que instalar en un lugar elevado, para tener contacto visual con la mayor área de terreno posible. La zona visible desde el emplazamiento del sistema radiante delimitará el máximo margen de cobertura del reemisor.
- No deberán existir obstáculos entre el emisor que suministra la señal y el emplazamiento del reemisor para garantizar una recepción directa de la señal.
- El nivel de señal original en la ubicación de la antena receptora del reemisor estará dentro de las normas de contorno del servicio de televisión descritas en la Tabla 10.1, lo que garantizará una relación señal/ruido adecuada para mantener el nivel de calidad en la señal reemitida.

- El lugar elegido deberá ser accesible por camino o carretera para su instalación y mantenimiento.
- Aunque no es imprescindible, se valorará muy positivamente la disponibilidad de energía a través de la red eléctrica, sobre todo en reemisores de potencia elevada.

Intensidad de campo mínima (norma UNE 20-523)			
Bajo	Banda	Banda IV	Banda V
(750 μ V/m)	(750 μ V/m)	1.000 μ V/m	1.250 μ V/m
(57,5 dB μ V/m)	(57,5 dB μ V/m)	60 dB μ V/m	61,5 dB μ V/m

Tabla 10.1.

Una vez elegido el emplazamiento del sistema reemisor, procederemos a calcular la ganancia necesaria en la antena receptora para garantizar una señal adecuada en la entrada del reemisor. Para realizar el cálculo, a la señal que llegará al receptor se le añadirá la ganancia de la antena, y se le restarán las pérdidas del cable uti-



10. Sistemas de emisión de televisión

10.7 Cálculo de reemisores

lizado y otros elementos pasivos, si los hubiera. Este sistema quedará definido como:



$$Sr + Gr - Ac - Acc = Se$$

siendo:

Sr: señal recibida desde el emisor.

Gr: ganancia de la antena receptora.

Ac: atenuación del cable.

Acc: atenuación de los accesorios pasivos, si los hubiera.

Se: señal de entrada al receptor.

Como lo que nos interesa es saber la ganancia de la antena receptora, bastará con despejar la ecuación, quedando:



$$Gr = Se - Sr + Ac + Acc$$

Habrà que tener en cuenta que el valor de la señal de entrada (*Se*) deberá estar dentro de los márgenes de la tabla anterior, y habrá de ser tal que permita conseguir una relación señal/ruido (*S/N*) superior a 43 dB, lo que garantizará una calidad de recepción perfecta.

Para averiguar el nivel de señal de entrada necesario para conseguir esta óptima relación *S/N*, se comprobará el factor de ruido propio del reemisor, que se llevará sobre una gráfica como la del Anexo V que se incluye en el CD de recursos del profesor. En el punto de intersección entre el valor de figura de ruido y la recta de 43 dB, se obtendrá el valor mínimo de señal de entrada, lográndose también así la ganancia mínima necesaria de la antena receptora. Una vez calculada, elegiremos una antena comercial de ganancia mayor al valor obtenido, y comprobaremos que su ganancia real no provoca una señal de entrada que exceda del límite admisible. También deberemos tener en cuenta la atenuación del cable a la frecuencia de recepción, por lo que será imprescindible conocer sus características eléctricas. En el Anexo II, incluido en el CD de recursos del profesor, aparece una relación de cables coaxiales para televisión, con sus atenuaciones en función de la frecuencia. Por último, se considerará la posible atenuación de otros



Ejemplo 12

Queremos calcular la ganancia de la antena receptora necesaria si la intensidad de campo recibida por una antena isotrópica en el emplazamiento es de 61 dB μ V para el canal 24 de televisión; la antena estará colocada sobre una torreta de 10 metros de altura. El reemisor utilizado presenta una figura de ruido de 8 dB.

El primer paso consiste en realizar la elección del cable coaxial que se instalará entre la antena y el reemisor. La elección podría ser el tipo RG213, que presenta una impedancia de 50 ohmios, igual que la antena y el reemisor, por lo que no será necesario ningún elemento adaptador. Este cable tiene una atenuación de 0,14 dB por metro para una frecuencia de 500 MHz (canal 24), y utilizaremos unos 12 metros de cable, correspondientes a los 10 de la torreta más 2 en el interior de la caseta de equipos.

Esto supone que la atenuación del cable será:

$$Ac = 0,14 \cdot 12 = 1,68 \text{ dB}$$

Como no tenemos más elementos, no emplearemos el término correspondiente a la atenuación por accesorios. Para conocer el valor mínimo en la entrada del reemisor, sobre la gráfica de señal/ruido tomaremos el punto de intersección entre 8 dB (figura de ruido de nuestro reemisor) y la recta de 43 dB (calidad perfecta de imagen). Así, obtendremos un valor de unos 550 microvoltios como mínimo para poder lograr la calidad deseada, correspondiente a 55 dB μ V, según la expresión:

$$V_{(\text{dB}\mu\text{V})} = 20 \log \frac{V}{1\mu\text{V}} = 20 \log \frac{550}{1} = 54,8 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Ahora estamos en disposición de calcular la ganancia de la antena, a partir de la fórmula:

$$Gr_{\text{min}} = Se_{\text{min}} - Sr + Ac = 55 - 61 + 1,68 = -4,32 \text{ dB}_{\text{min}}$$

El hecho de obtener un resultado negativo supone que, incluso con una antena de ganancia unidad, teóricamente tendríamos señal suficiente para cubrir los mínimos exigidos.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.7 Cálculo de reemisores



Pero deberemos tomar un margen de seguridad para prevenir los descensos de señal producidos por las inclemencias meteorológicas, por lo que se adoptará un valor mayor.

Además, es aconsejable utilizar antenas receptoras con una buena direccionalidad, para evitar recibir señales que proce-

dan de puntos distintos al emisor, lo que degradaría la calidad de la recepción. Si tomamos una antena de unos 10 dB de ganancia, estaremos proporcionando al reemisor una señal de 69,3 dBμV, suficiente para mantener una calidad de recepción óptima incluso en malas condiciones atmosféricas.

elementos pasivos (distribuidores de señal, etc.), en el caso de que la instalación los incluya.

Una vez calculada la sección receptora, nos centraremos en los cálculos correspondientes a los equipos de emisión. Lo primero que deberemos decidir será por qué canal reemitiremos la señal de televisión. La elección deberá considerar los canales ya existentes en el área de cobertura, con el fin de no interferirlos con nuestra señal o sus armónicos. El siguiente parámetro a decidir será la potencia necesaria en el emisor para cubrir la distancia asignada a su zona de cobertura. Como se puede apreciar en la tabla anterior, la norma UNE 20-523 define los niveles mínimos de señal para cada banda de televisión, por lo que nuestro reemisor tendrá que garantizar que en toda la extensión se recibe un nivel de intensidad de campo superior.

Como habitualmente la zona a cubrir no es uniforme, debido a las irregularidades del terreno, para calcular la potencia necesaria en el emisor, tomaremos como referencia el punto más alejado al cual debe suministrar servicio de televisión. Nuestra señal, una vez emitida, sufrirá una atenuación hasta llegar a ese punto, que depende directamente de la frecuencia de la onda propagada. En el Anexo IV, incluido en el CD de recursos del profesor, podemos comprobar esta atenuación, tomada con antenas isotrópicas. Lamentablemente, estos valores de atenuación no contemplan las condiciones reales de la zona de cobertura, por lo que los valores obtenidos podrán sufrir variaciones, difiriendo si nos encontramos en una zona urbana o en campo abierto, por ejemplo. Esto nos obligará a tomar márgenes de seguridad para los valores obtenidos en los cálculos. Para conocer el valor de la cantidad de señal radiada necesaria, utilizaremos la siguiente expresión, en la que se establece el balance de ganancias y atenuaciones del sistema de transmisión:



$$Sr = Tx - Ac - Acc + Gt - Ad$$

donde:

Sr : señal recibida en un punto (dBm).

Tx : potencia de salida del emisor, expresada en dBm.

Ac : atenuación del cable (emisor-antena).

Acc : atenuación por complementos, si los hubiere (emisor-antena).

Gt : ganancia de la antena emisora.

Ad : atenuación en función de la distancia.

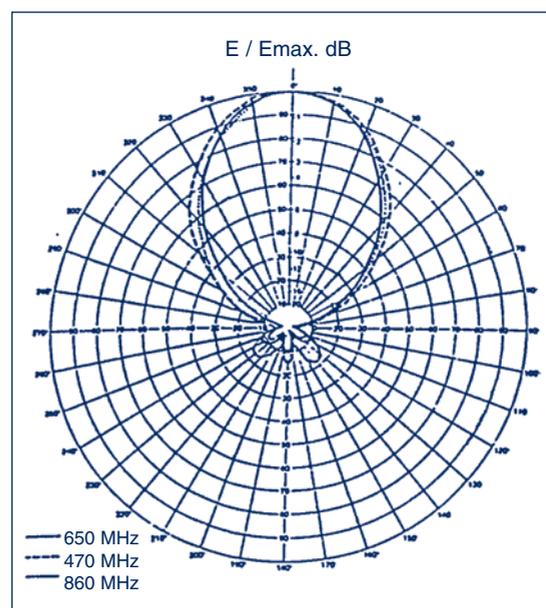


Figura 10.21. Características de un panel de emisión.

Para realizar el cálculo deberemos tener en cuenta el número de paneles radiantes utilizados, que dependerá del ángulo a cubrir por el reemisor, así como de la potencia máxima admisible en cada uno de ellos. Los sistemas radiantes empleados en emisión suelen estar formados por dipolos enfasados con reflector común, lo que les proporciona características directivas. Esto supone que el ángulo típico de cobertura de un panel radiante será de 90°, si bien a partir de unos 60° la ganancia sufrirá una caída importante respecto de



10. Sistemas de emisión de televisión

10.7 Cálculo de reemisores

la nominal, por lo que si se desea cubrir una zona más amplia deberemos utilizar una asociación de estos elementos.

La asociación de paneles radiantes puede efectuarse buscando dos fines bien diferenciados:

- **Ampliar el ángulo de cobertura.** Para ello se ubicarán los diferentes paneles radiantes en planos perpendiculares, por ejemplo, en las caras de una torreta de planta cuadrada. Con dos de estos paneles podremos dar servicio a un área de 180° , mientras que para 270° precisaremos tres paneles; y con las cuatro caras ocupadas radiaremos en 360° . En cualquiera de estos casos, como la ganancia de cada unidad no es constante con el ángulo, y los paneles interaccionan entre sí, las huellas de ganancia no serán uniformes, por lo que habrá que tener en cuenta esta contingencia para asegurarnos de que, incluso en las direcciones de mínima radiación, la cantidad de señal emitida es suficiente para garantizar el servicio. Asimismo, es importante reseñar que la potencia del transmisor se repartirá entre los diferentes paneles, por lo que la potencia efectiva en cada panel será el resultado de dividir la potencia del emisor entre la cantidad de éstos que se utilizan.
- **Ampliar la ganancia y/o potencia máxima.** En algunos casos, el nivel de potencia del transmisor puede ser superior al que soporta el panel radiante. Entonces se recurre a asociar paneles de emisión enfasados entre sí, todos ellos en la misma dirección. Como hemos comentado anteriormente, la potencia se distribuirá uniformemente entre las diferentes antenas, por lo que trabajarán dentro de los márgenes establecidos por el fabricante. En este caso, el número de paneles deberá ser 2^n , con el fin de mantener la simetría imprescindible para un correcto enfasamiento. Los enfasamientos más habituales son de dos o cuatro paneles radiantes en cada dirección de radiación. Con estas asociaciones se obtiene, además, un incremento de la ganancia del sistema radiante en su conjunto, de 3 dB por cada unidad del coeficiente n . Esto supone que si utilizamos paneles de ganancia 13 dB, un sistema de dos paneles presentará 16 dB de ganancia; mientras que si enfasamos cuatro antenas, su ganancia sería de 19 dB. Otro efecto del enfasamiento de antenas es la reducción del ángulo de apertura en la dirección de enfasamiento, por lo que habrá que tenerlo en cuenta cuando realizemos la instalación.

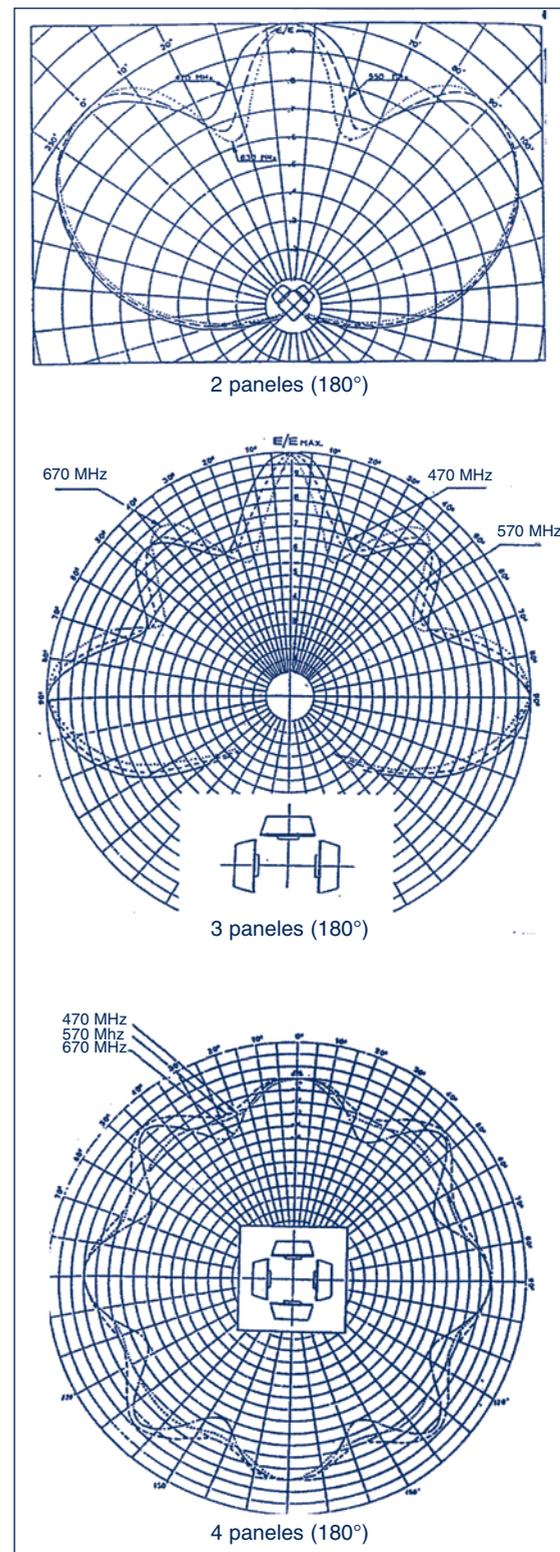


Figura 10.22. Diagrama de cobertura de dos, tres y cuatro paneles radiantes.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.7 Cálculo de reemisores

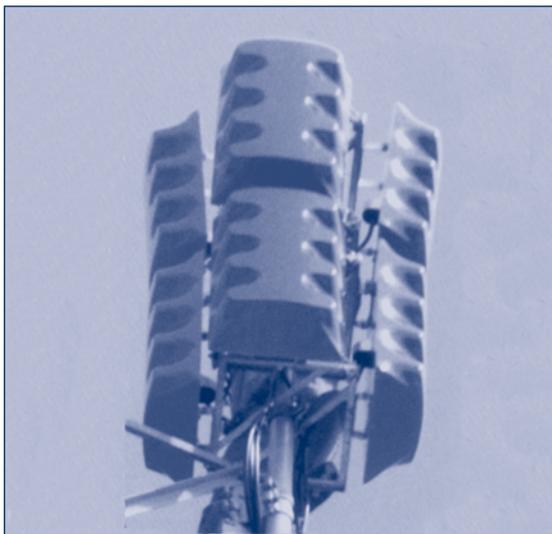


Figura 10.23. Enfasamiento de paneles radiantes.

Como el enfasamiento es habitualmente en vertical, el diagrama de radiación en este plano se estrechará, por lo que será muy útil colocarlos sobre un plano inclinado para orientarlos así sobre la zona de cobertura, sobre todo si el emisor se sitúa muy por encima del terreno a cubrir.

Naturalmente, estos dos efectos pueden emplearse de modo conjunto, por lo que podremos encontrar, sobre todo en sistemas de elevada potencia, grupos de paneles radiantes asociados en diferentes caras de la torre que los sustenta.

En cualquier sistema que utilice más de un panel radiante, deberemos considerar también las pérdidas de inserción de los elementos enfasadores o distribuidores de señal, introduciéndolas en la expresión anterior. Veamos algo más sobre el cálculo del sistema emisor en el Ejemplo 13.

Ejemplo 13



Queremos calcular la potencia de emisión y la antena necesarias en un reemisor: el ángulo de cobertura es de unos 220° y el punto más lejano a cubrir está a 20 kilómetros de distancia. El canal de salida asignado al reemisor es el canal 8, correspondiente a la banda III.

En principio, como el ángulo de apertura es superior a 180° , deberemos utilizar un sistema radiante formado por tres paneles radiantes, cuyas características aparecen en la Figura 10.22. Dicha asociación garantiza una ganancia de 10 dB en las direcciones de mínima radiación, llegando a un máximo de 13 dB. Ello supone que deberemos emplear un distribuidor para el suministro de energía a los paneles radiantes. Este elemento presenta una atenuación de inserción de 0,2 dB, que sumaremos al sistema. Como la potencia que se prevé no es demasiado elevada, el cable podría ser el mismo que se usó en el receptor; es decir, RG213, con una atenuación de 0,088 dB/m, para una frecuencia de 200 MHz (canal 8). Si consideramos unos 15 metros desde la salida del emisor hasta el panel de emisión, tendremos una atenuación por el cable de 1,32 dB.

Para calcular la atenuación debida a la distancia, se tomará una tabla como la que aparece en el Anexo IV, incluida en el CD de recursos del profesor, donde obtendremos un valor de 104 dB de atenuación respecto a la señal en la salida de la

antena emisora. Como la señal en el punto más alejado tendrá que ser de $60 \text{ dB}\mu\text{V}$, a tenor de la tabla de contornos para televisión, la señal recibida en este punto sería:

$$S_r = T_x - A_c - A_{cc} + G_t - A_d$$

Si despejamos la fórmula, podremos calcular la cantidad de señal necesaria en el transmisor, que será:

$$T_x = S_r + A_c + A_{cc} - G_t + A_d = 60 + 1,32 + 0,2 - 10 + 104 = 155,52 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

El valor obtenido es el necesario para garantizar que en toda la zona de cobertura se recibirán, al menos, $60 \text{ dB}\mu\text{V}$. Como hemos tomado el mínimo valor de ganancia de antena, en todas las direcciones, excepto en la de radiación mínima, se logrará un nivel mayor. La potencia necesaria para poder obtener estos $156 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ se puede conseguir mediante una tabla de conversión de potencias y tensiones en decibelios como la del Anexo III, incluido en el CD de recursos del profesor. Según esta tabla, serían necesarios unos 85 W de potencia en el emisor para poder proporcionar el servicio requerido. Por seguridad, la elección del equipo emisor deberá estar en torno a 100-120 W, lo que permitiría garantizar una adecuada cobertura incluso en las condiciones climáticas más exigentes.



10. Sistemas de emisión de televisión

10.8 Radioenlaces

A diferencia de un emisor o reemisor (en el que la señal radiada se propaga en un área amplia para que el usuario final la reciba), un radioenlace es un sistema de comunicación punto a punto que transmite informaciones de vídeo, audio y datos para uso interno. Las imágenes enviadas por un enlace sufren transformaciones antes de ser emitidas, ya sea porque su formato no es el estándar de transmisión PAL, ya sea porque su contenido es únicamente una parte del programa principal.

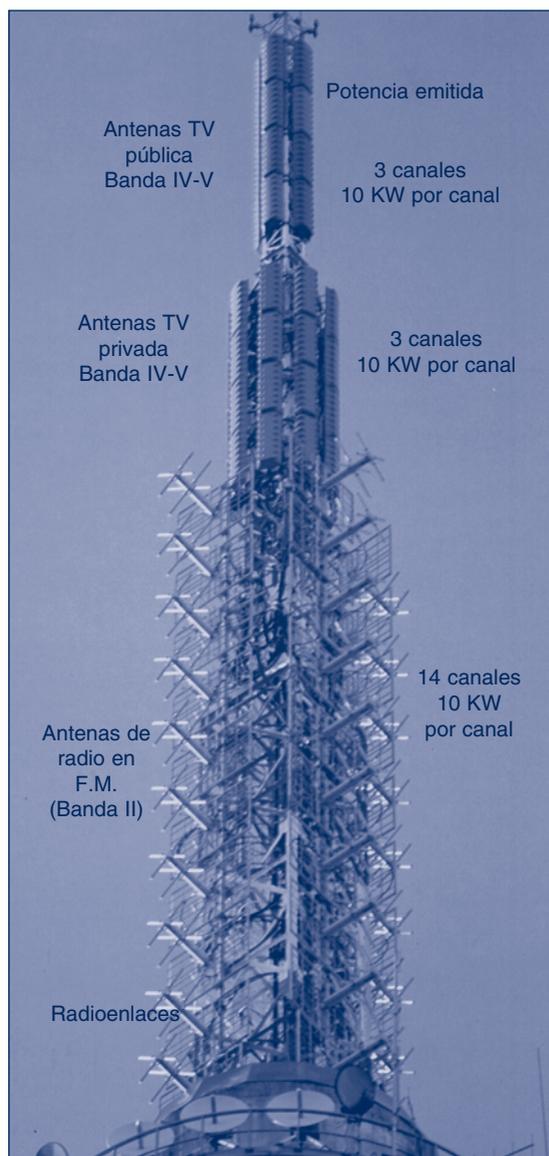


Figura 10.24. Sistemas radiantes en el centro emisor de Torrepalma.

10.8 Radioenlaces

Una de las características que identifica a un radioenlace es su privacidad, puesto que su transmisión se efectúa fuera de las bandas comerciales de televisión; podemos encontrarlos en las siguientes:

- **Enlaces fuera de banda.** Se transmiten en la zona inmediatamente por encima de la banda *V* de UHF, con frecuencias entre 870 MHz y 1 GHz. Utilizan modulación en frecuencia, y las antenas suelen ser de tipo *Yagui*, en polarización lineal, o helicoidales, si transmiten en polarización circular. En ambos casos, la alimentación será a través de cable coaxial.
- **Enlaces de microondas.** Cada vez es más común para estas comunicaciones migrar a frecuencias de microondas. Aquí podremos encontrar sistemas que operan desde unos 2,4 GHz, hasta los cada vez más frecuente de 10,3 a 10,7 GHz, justo por debajo de la banda *Ku* de comunicaciones vía satélite. Precisamente para este tipo de enlaces ascendentes hacia satélite se aplican las frecuencias más elevadas (en torno a los 14 GHz). En estas frecuencias las señales se transmiten a través de antenas parabólicas, suministrando la señal por medio de guías de ondas.



Figura 10.25. Radioenlace de microondas.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.9 Ubicación del enlace



Una característica interesante de los radioenlaces para televisión es su capacidad para transmitir, junto a la información de imagen, varios canales adicionales de sonido, lo que nos permitirá establecer comunicaciones de control de la explotación del sistema paralelos a la señal de televisión. Estos canales de audio se modularán en frecuencias diferentes, demodulándose por separado en el receptor. También, se pueden incluir canales de datos auxiliares en la misma transmisión, lo que facilita las labores de telemedida y control del sistema a distancia.

Al tratarse de un sistema cerrado (en el que se conocen las características del emisor y el único receptor), se puede establecer un mayor control sobre la transmisión, minimizando la potencia necesaria para cubrir grandes distancias.

Sin embargo, si queremos obtener el máximo rendimiento, deberemos tomar en consideración algunos factores importantes relativos a la ubicación de los sistemas emisor y receptor, y a la zona por la que se propagará la señal.

10.9 Ubicación del enlace

En el caso de un sistema punto a punto, no bastará con elegir un emplazamiento elevado para colocar las antenas del sistema, como sucedía en las instalaciones de emisión de gran público. Ahora, además de garantizar un correcto contacto visual entre el emisor y el receptor, deberemos efectuar un análisis pormenorizado del perfil del terreno en el que se propagará la señal, con el fin de evitar desvanecimientos de la señal por reflexiones sobre la superficie.

Aunque en estos sistemas se utilizarán siempre antenas directivas, es inevitable que el haz radiado, al recorrer el medio de propagación, vaya ampliando su radio de actuación. La señal principal se situará sobre la recta principal de propagación, pero, según nos alejemos de este eje, la señal emitida sufrirá un desfase progresivo respecto de la principal. De esta manera, cuanto mayor sea el alejamiento del punto central de la señal radiada, mayor será el desfase de la señal que recibiremos. Entonces surgirán las denominadas **zonas de Fresnel**, delimitadas según el cuadrante en el que se encuentra la señal recibida. Estas zonas tienen forma elíptica, con unos diámetros variables en función de la frecuencia de transmisión. El eje mayor de estas elipses es precisamente el de propagación, y el emisor y el receptor serán sus vértices.

La primera zona es la que transporta la señal útil, al tener fases entre 0° y 90° . Para garantizar una correcta transmisión, es de vital importancia recibir sin perturbaciones la mayor cantidad posible de esta zona de propagación. Para señales de UHF (menores de 3 GHz) se deberá garantizar, al menos, que se propagan directamente tres cuartas partes de la primera zona de Fresnel. Para frecuencias superiores, resultará imprescin-

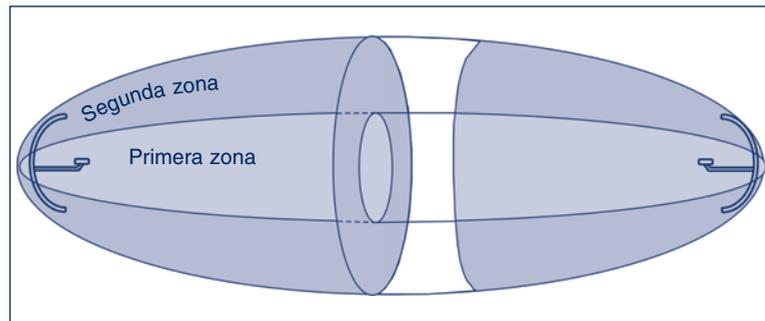


Figura 10.26. Zonas de Fresnel.

dible disponer de toda la señal contenida en esta zona.

Si la primera zona es la que transporta la señal útil, la segunda zona de Fresnel (cuya fase se sitúa entre 90° y 180°) resulta altamente perjudicial, puesto que si por alguna reflexión se mezcla con la señal principal, provocará un descenso del campo electromagnético recibido, al restarse con ella. Por esto deberemos intentar bloquear las posibles señales reflejadas en lagos, mares, terrenos llanos, arenales, etc., sobre todo si la señal reflejada por ellos se sitúa en la segunda zona de Fresnel.

Debido a la direccionalidad de las antenas, las señales de zonas superiores a la segunda no suelen presentar problemas, dado el bajo nivel de potencia que transportan, por lo que normalmente no se tendrán en cuenta. Como nuestro objetivo es mantener diáfano el camino de la primera zona de Fresnel, mientras se bloquea el paso de la segunda, será importante conocer la extensión de cada zona en los puntos críticos del medio de propagación, allí donde podrían generarse reflexiones. Esto será posible mediante la siguiente expresión:



10. Sistemas de emisión de televisión

10.10 Cálculo de radioenlaces



$$R_{(n)} = 31,6 \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}}$$

donde:

$R_{(n)}$: radio de la zona de orden n , en metros.

n : orden de la zona de Fresnel.

λ : longitud de onda de la señal propagada, en metros.

d_1 : distancia desde el emisor al punto de estudio, en kilómetros.

d_2 : distancia desde el receptor al punto de estudio, en kilómetros.

d : distancia entre el emisor y el receptor, en kilómetros.

Como habitualmente existen fuertes condicionantes para definir la posición de los elementos integrantes del enlace (creados por la necesidad de estar en el mismo lugar que el estudio de producción de televisión, del emisor, o del reemisor), la variable que podemos conjugar para minimizar las interferencias será la altura de las antenas emisora y receptora. Esta elección se hará a partir del estudio del perfil del terreno y la incidencia de las zonas de Fresnel sobre éste. Para realizar este estudio, el método más común es llevar las cotas de la zona de propagación sobre una grátícula especial denominada «4:3», que representa la curvatura de la superficie terrestre (magnificada en un 33 por 100) y su influencia sobre la propagación de las

señales electromagnéticas (esta grátícula se incluye como Anexo IV en el CD de recursos del profesor).

Una vez dibujado el perfil de la zona de propagación, se marcarán sobre el mapa las posibles zonas de reflexión y la naturaleza de éstas, así como aquellas que pudieran suponer obstáculos a la difusión de la señal radiada (como edificios, bosques, etc.), indicando la altura máxima que alcanzan. A continuación se representarán, sobre un papel transparente sobrepuesto, las elipses correspondientes a la primera y segunda zona de Fresnel, y se buscará la posición óptima para la ubicación del enlace. Esta operación se realizará modificando la altura de inicio y final del enlace, y la mejor ubicación se producirá cuando concurren las siguientes condiciones:

- La primera zona de Fresnel queda libre de obstáculos, garantizando un correcto enlace visual de la señal directa.
- Las posibles reflexiones de las señales correspondientes a la segunda zona quedan fuera de la visión de la antena receptora. De existir varias posiciones que garanticen el enlace, se optará por aquella en que la altura de las antenas sea menor, para evitar las pérdidas introducidas por las líneas de transmisión que alimentarán las antenas.

10.10 Cálculo de radioenlaces

Una vez que ha quedado definido el emplazamiento de las antenas, podremos hacer los cálculos necesarios para dimensionar adecuadamente la instalación del enlace. Nuestro objetivo será implementar un sistema que permita que en la entrada del receptor del enlace haya una cantidad de señal suficiente para una correcta recepción, con una adecuada relación señal/ruido. Como conocemos los equipos de emisión y recepción, podemos realizar el cálculo teniendo en cuenta los dos elementos (a diferencia del caso de un emisor, donde no conocemos las características de los receptores que se utilizarán).

El método más habitual para llevar a cabo este cálculo consiste en elegir un equipo emisor para el enlace, quedando definidas con ello su potencia y la frecuencia de trabajo. Estas características suelen venir condicionadas por elementos externos, como limitacio-

nes de los propios equipos y autorizaciones administrativas. A partir de dichos elementos deberemos elegir el resto del sistema, fundamentalmente la ganancia de las antenas y el cable de alimentación que se utilizará. La ecuación total del sistema quedará definida como:



$$Se = Tx - Ac_{tx} - Acc_{tx} + At - Ad + Gr - Ac_{rx} - Acc_{rx}$$

donde:

Se : señal de entrada al receptor del enlace (dBm).

Tx : potencia de salida del emisor del enlace (dBm).

Ac_{tx} : atenuación del cable desde el emisor a la antena (dB).

Acc_{tx} : atenuación de accesorios en el sistema emisor, si los hubiere (dB).

10. Sistemas de emisión de televisión

10.10 Cálculo de radioenlaces



G_t : ganancia de la antena emisora (dB).
 A_d : atenuación del medio de propagación (dB).
 G_r : ganancia de la antena receptora (dB).
 $A_{c_{tx}}$: atenuación del cable desde la antena al receptor (dB).
 Acc_{rx} : atenuación por accesorios en el sistema receptor, si los hubiere (dB).

La señal de entrada al receptor del enlace deberá ser tal que nos garantice una calidad de imagen perfecta. Esto supone que su relación señal/ruido tiene que ser, al menos, de 43 dB. Para poder conocer el valor de la señal necesaria para obtener esta relación, nos quedaremos con el valor del umbral de ruido del receptor, incluido en las características proporcionadas por el fabricante del equipo. A este valor de ruido del sistema le añadiremos los 43 dB, consiguiendo así el nivel de señal necesario. Algunos fabricantes indican, entre sus características, cuál es el valor adecuado para una correcta operación, por lo que asumen una correcta relación señal/ruido.

El cable a utilizar se definirá en función de la impedancia de los equipos y la frecuencia que se empleará. En los sistemas de radioenlaces en UHF, la señal del emisor se aplica directamente sobre la antena emisora, por lo que no suelen existir elementos accesorios en estos sistemas, ya que al tratarse de un sistema punto a punto la antena será única y unidireccional.

Sin embargo, si usamos equipos de microondas, lo más frecuente es que el emisor genere una señal de frecuencia inferior (de algunos cientos de megahercios). Esta señal se trasladará mediante cable coaxial hasta el emplazamiento de la antena, casi siempre dotada de

reflector parabólico. En la propia antena se emplazará un convertidor ascendente, que elevará la frecuencia hasta la de emisión, y se alimentará la antena a partir de una guía de ondas. El sistema receptor será complementario, con un convertidor hacia abajo de la frecuencia recibida, que podremos llevar por un cable hasta el receptor.

La atenuación debida al medio de propagación se puede obtener (como se hizo en el caso del emisor convencional) utilizando una tabla como la del Anexo IV incluido en el CD de recursos del profesor, a partir de los datos de distancia a cubrir y la frecuencia de la señal radiada. Los valores conseguidos serán válidos siempre que se den los condicionantes de ubicación de las antenas estudiados anteriormente, y serán siempre valores típicos que deberemos revisar al alza si la densidad de lluvias, nieblas, etc., es muy elevada, sobre todo ante enlaces de microondas.

Según lo analizado hasta ahora, observamos que el cálculo queda reducido a la ganancia de las antenas usadas. Para simplificar aún más el sistema, podemos utilizar, en el emisor y el receptor, antenas con igual ganancia, lo que nos permitirá calcularla si despejamos de la ecuación anterior:

$$G_t = G_r = \frac{Se - Tx + A_{c_{tx}} + Acc_{tx} + Ad + A_{c_{rx}} + Acc_{rx}}{2}$$

A continuación, desarrollaremos un ejemplo completo de diseño de un sistema de radioenlace, lo que permitirá aclarar las posibles dudas y servirá como repaso de los conceptos estudiados.

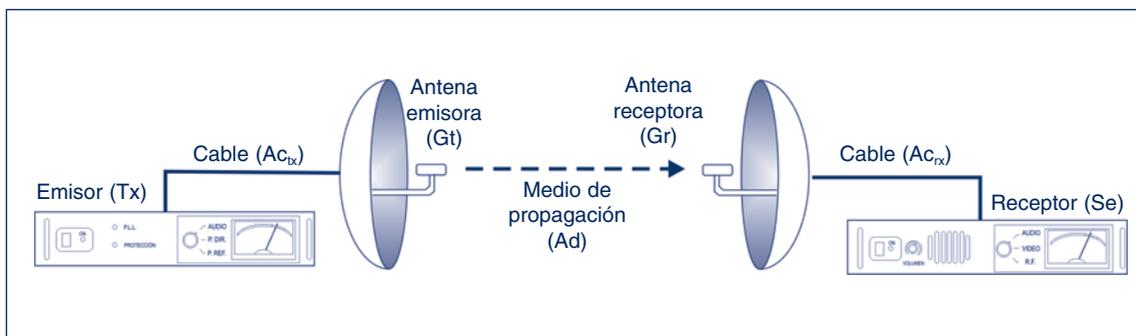


Figura 10.27. Esquema del radioenlace y elementos de cálculo.



10. Sistemas de emisión de televisión

10.10 Cálculo de radioenlaces



Ejemplo 14

Una emisora de televisión de la sierra de Madrid desea llevar la señal desde la localidad de Colmenar Viejo, donde se ubican los estudios de televisión, hasta el puerto de Navacerrada, emplazamiento de los equipos de emisión. Para ello se utilizará un radioenlace que unirá los puntos indicados en el mapa de la Figura 10.28, con el siguiente equipo:

- Frecuencia del enlace: 1,6 ÷ 2,3 GHz.
- Potencia de transmisión: 5 W.
- Nivel de entrada del receptor: -35 ÷ -80 dBm, recomendado -50 dBm (50 Ω)
- Antenas conectables: helicoidal G = 15 dB, parabólica Ø = 30 cm, parabólica Ø = 70 cm.

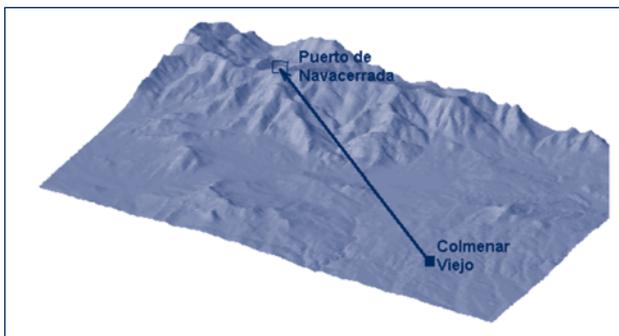


Figura 10.28. Mapa del emplazamiento del radioenlace.

1. Análisis del terreno. Sobre el mapa anterior, tomaremos las medidas correspondientes a la distancia a cubrir por el enlace, así como el perfil del terreno a partir de las líneas de cota representadas en el mapa. Con estos datos realizaremos el gráfico sobre el papel 4:3, que nos permitirá analizar los posibles emplazamientos de las antenas.

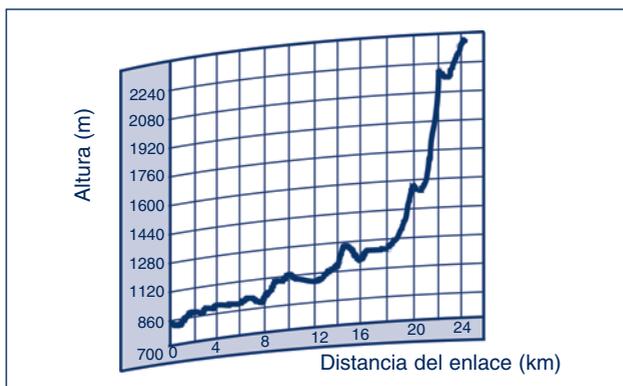


Figura 10.29. Perfil del enlace sobre papel 4:3.

2. Cálculo de las zonas de Fresnel. El siguiente punto será definir las zonas de Fresnel correspondientes a nuestro enlace, con el fin de asegurarnos de que la primera zona quede libre de obstáculos. A la vista del perfil del terreno, observamos que los puntos críticos del recorrido se producen a 1,2 y 21,2 km desde el emisor, donde encontramos los puntos del trazado en los que el terreno está más próximo a la línea de enlace visual. Por ello, nos conviene conocer el radio de la primera zona de Fresnel en estas cotas.

Para completar el trazado de la primera zona, calcularemos, además de los dos puntos mencionados, el radio máximo de la elipse, correspondiente al punto medio (11,6 km) de la distancia de separación entre el emisor y el receptor ($d = 23,2$ km). Como la frecuencia del enlace es de 2 GHz, la longitud de onda correspondiente será:

$$\lambda = \frac{c}{F} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2 \cdot 10^9} = 0,15 \text{ m}$$

- Radio de la primera zona de Fresnel para una distancia al emisor $d_1 = 1,2$ km y otra distancia al receptor $d_2 = 22$ km.

$$R_{(1)} = 31,6 \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = 31,6 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,15 \cdot 1,2 \cdot 22}{23,2}} = 13,05 \text{ m}$$

- Radio de la primera zona de Fresnel para una distancia al emisor $d_1 = 11,6$ km y otra distancia al receptor $d_2 = 11,6$ km.

$$R_{(1)} = 31,6 \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = 31,6 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,15 \cdot 11,6 \cdot 11,6}{23,2}} = 29,47 \text{ m}$$

- Radio de la primera zona de Fresnel para una distancia al emisor $d_1 = 21,2$ km, y otra distancia al receptor $d_2 = 2$ km.

$$R_{(1)} = 31,6 \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = 31,6 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,15 \cdot 21,2 \cdot 2}{23,2}} = 16,54 \text{ m}$$

10. Sistemas de emisión de televisión

10.10 Cálculo de radioenlaces



A partir de los cálculos anteriores, podemos trazar la elipse que define la primera zona de Fresnel para nuestro enlace.

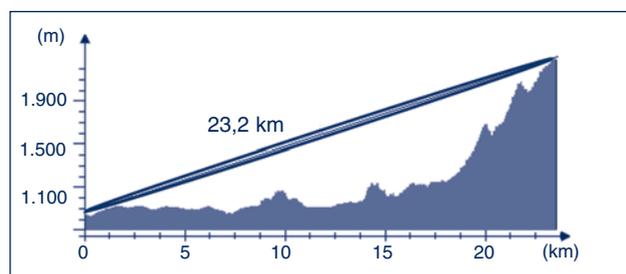


Figura 10.30. Primera zona de Fresnel.

3. Elección de la altura de las antenas. Como podemos observar en la Figura 10.30, el punto más crítico del recorrido de la señal se encuentra en la zona próxima al emisor, por lo que prestaremos mayor atención a los dos primeros kilómetros del recorrido. Una vez conocido el radio de la zona que se deberá dejar libre para la correcta propagación, calcularemos el de la segunda zona, con el fin de bloquear las ondas no deseadas

- Radio de la segunda zona de Fresnel para una distancia al emisor $d_1 = 1,2$ km, y otra distancia al receptor $d_2 = 22$ km.

$$R_{(2)} = 31,6 \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = 31,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,15 \cdot 1,2 \cdot 22}{23,2}} = 18,46 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura de la antena emisora deberá ser tal que transmita libremente en un radio de 13 metros alrededor del eje de emisión, bloqueando las señales que se propaguen dentro de la zona comprendida entre los 13 y 18 metros. Debido al ángulo del enlace respecto de la horizontal, observamos en el gráfico que bastará con ubicar la antena emisora por encima de los obstáculos cercanos, ya que la altura de la colina próxima no supone un problema para la propagación. En resumen, una antena emisora emplazada en una pequeña torreta sobre el tejado del edificio, a una altura tal que salve posibles edificios de altura superior, será la solución más adecuada.

En cuanto a la antena receptora, la zona se encuentra todavía más despejada, por lo que tampoco presentará problemas de ubicación.

4. Cálculo de las antenas necesarias. Una vez emplazados físicamente los equipos del radioenlace, procederemos a calcular la ganancia necesaria para las antenas del sistema. Debemos tomar en cuenta unas consideraciones previas:

- La potencia de salida del emisor es de 5 W, equivalentes a 37 dBm.
- La distancia entre el emisor y la antena es de 18 metros, mientras que en el receptor se utilizan 10 metros, ambos del tipo Cellflex $1/4$, que presenta una atenuación de 0,25 dB/m.
- Según indican las características del fabricante, tomaremos para los cálculos un valor de señal en la entrada del receptor de -50 dBm, que garantizará una cantidad de señal suficiente, teniendo un amplio margen de seguridad ante posibles fenómenos atmosféricos desfavorables.
- La distancia que recorrerá la señal es de 23,2 km, que para una frecuencia de 2 GHz presenta una atenuación, según el Anexo IV (incluido en el CD de recursos del profesor), de 125,8 dB.
- No existen otros accesorios adicionales en el sistema.

Con estos datos desarrollamos la expresión:

$$G_t = G_r = \frac{S_e - T_x + A_{c_{tx}} + Acc_{c_{tx}} + A_d + A_{c_{rx}} + Acc_{c_{rx}}}{2} = \frac{-50 - 37 + 4,5 + 128,8 + 2,5}{2} = 22,9 \text{ dB}$$

El valor obtenido corresponde a la ganancia que habremos de garantizar, como mínimo, en cada una de las dos antenas del enlace. Esto supone que no será aplicable la antena helicoidal, cuya ganancia es inferior a la necesaria en este caso. Si calculamos la ganancia de las parábolas de 30 y 70 cm, tendremos:

- Ganancia de una antena parabólica de foco primario con diámetro $\emptyset = 30$ cm y rendimiento $\eta = 0,5$.

$$G = 10 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot \eta}{\lambda^2} = 10 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,3^2 \cdot 0,5}{0,15^2} = 18,97 \text{ dB}$$



10. Sistemas de emisión de televisión

10.11 Instalación del sistema

- Ganancia de una antena parabólica de foco primario con diámetro $\emptyset = 70$ cm y rendimiento $\eta = 0,5$.

$$G = 10 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot \eta}{\lambda^2} = 10 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,7^2 \cdot 0,5}{0,15^2} = 26,3 \text{ dB}$$

De los cálculos anteriores se desprende que la elección adecuada será la utilización de antenas parabólicas de 70 centímetros de diámetro, lo que nos permite garantizar la ganancia adecuada para una correcta transmisión de la señal.

10.11 Instalación del sistema

Aunque nuestro interés fundamental se centra en el correcto dimensionado de los sistemas emisores, reemisores y radioenlaces, existen algunos datos sobre las instalaciones generales del local donde se ubicarán los equipos que se deben tener en cuenta si deseamos evitar problemas por falta de fiabilidad de nuestro sistema.

El local donde se ubicará el equipamiento deberá estar proyectado de modo que cumpla unos exigentes requisitos de acondicionamiento ambiental, así como de protección electrostática, lo que garantizará su correcto funcionamiento a largo plazo.

A. Acondicionamiento

Debido a que los equipos que se instalarán presentan un margen de temperatura de funcionamiento limitado, y considerando que los sistemas de emisión son potenciales generadores de calor, se deberá contemplar la temperatura máxima y mínima a la que serán sometidos los sistemas instalados. Aunque los fabricantes de emisores prevén esta contingencia y diseñan e instalan sistemas de refrigeración de los mismos, habremos de tener presente que, sobre todo si la potencia de emisión es elevada, se deberá disponer de un sistema de climatización (habitualmente bastará con refrigeración) en la caseta de equipos, que mantenga unas condiciones óptimas en el interior ante las posibles variaciones climáticas.

B. Protección electrostática

Como el emplazamiento de nuestros sistemas estará siempre en zonas elevadas y los sistemas radiantes y

las torretas que los soportan son estructuras metálicas con aristas vivas, la instalación puede sufrir descargas eléctricas si se producen tormentas, lo que, además de dificultar la prestación del servicio, implica que existe un alto riesgo de avería del equipamiento instalado.

Por ello resulta vital realizar una correcta instalación de toma de tierra de todo el sistema. Este método de protección se colocará en la caseta de equipos y en las torretas, así como en toda la zona del subsuelo colindante con ellos. En la caseta se ubicará una *jaula de Faraday*, formada por pletinas de cobre en la zona interior de los muros. A lo largo de todo el perímetro interior de la caseta, y con largueros intermedios en las paredes, techo y suelo, se instalarán estas pletinas soldadas entre sí que, a su vez, estarán unidas a la red del subsuelo y a las picas de toma de tierra de los cimientos. Esta red subterránea está formada por radiales difusores de cobre cuyo centro se sitúa en la torreta y en la caseta de equipos, y tendrá una cantidad y longitud suficiente para garantizar una correcta cobertura de toda la zona. En los centros de los sistemas de radiales se ubicarán las picas de tierra, que tendrán un metro de profundidad como mínimo y presentarán un drenaje conforme a la normativa para este tipo de instalación. Del mismo modo, todos los equipos, armarios, mástiles y antenas deberán estar conectados a la red de protección de tierra, con cables de sección suficiente y de longitud mínima imprescindible. El sistema de protección se completará con un pararrayos, que se emplazará, si es posible, en un mástil diferente a la torre de antenas. Este mástil se conectará a la red de tierra del sistema y estará convenientemente dotado de todos los radiales difusores subterráneos correspondientes.

10. Sistemas de emisión de televisión

10.11 Instalación del sistema

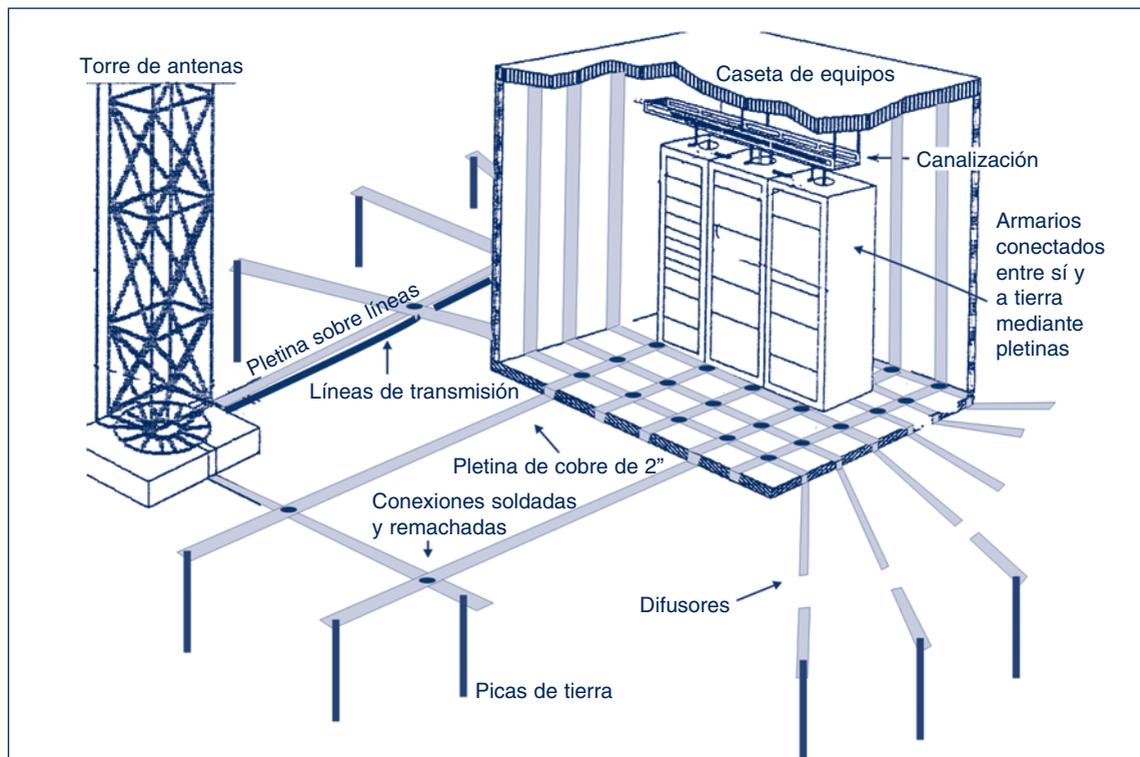


Figura 10.31. Sistema de tierra en un reemisor.

Ejercicios de aplicación



Nivel básico

- 1 Calcula la frecuencia del oscilador local de un transmisor si se desea emitir la señal por el canal 25 de UHF.
- 2 Establece una hipotética red de difusión que preste servicio a toda tu provincia. El centro de producción de programas estará ubicado en tu ciudad, y el emisor en sus proximidades. Deberá tener al menos dos áreas independientes de cobertura.

Nivel avanzado

- 3 Calcula el sistema radiante y la potencia necesaria para el centro emisor de una televisión local que desea cubrir un ángulo de 120° con una distancia máxima de 50 kilómetros, sabiendo que emitirá por el canal 25.

- 4 Para transmitir un evento de la Fira de Barcelona, se necesita establecer un radioenlace desde Montjuic hasta la torre de comunicaciones de Collserola. El equipo de que se dispone para tal efecto tiene una frecuencia de transmisión de 10 GHz, con una potencia de 2 W. Asimismo, el receptor del enlace acepta señales en un margen de entre -80 dBm y 40 dBm, siendo su valor típico de -60 dBm.

Con estos datos, se deberá calcular:

- a) Análisis del terreno por el que transcurrirá el enlace.
- b) Zonas de Fresnel en los puntos críticos del recorrido.
- c) La antena necesaria, sabiendo que será parabólica de foco primario.



10. Sistemas de emisión de televisión

Actividades prácticas

Actividades prácticas



1 ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN EN RADIOFRECUENCIA

Objetivos

- Asentar los conceptos tratados sobre la estructura y modulaciones que forman el canal de televisión.
- Adquirir destrezas en el manejo de la instrumentación de medida.

Material necesario

Analizador de espectros de radiofrecuencia.

- Generador de señales de televisión o una toma de antena.
- Cables y accesorios.

Proceso operativo

- a) Conecta el analizador de espectros a la señal de radiofrecuencia procedente del generador o la toma de antena. Enciéndelo y configúralo para visualizar un canal de televisión de los que se reciben en la zona. Si, por ejemplo, se recibe el canal 49, la frecuencia central adecuada será de 698 MHz. Para cualquier canal, resultará adecuado un factor de expansión de 1 MHz/div y un ancho de banda de resolución de unos 30 kHz. El nivel de referencia se ajustará en función de la cantidad de señal recibida.
- b) Con esta configuración, observa la imagen que representa el equipo de medida, identificando sus elementos principales:
 - Portadora de imagen.
 - Ancho de banda de luminancia.
 - Resto de la banda lateral inferior.
 - Subportadora de crominancia.
 - Ancho de banda de crominancia.
- c) Una vez identificada cada parte, realiza las siguientes medidas:
 - Portadora de sonido.
 - Si existen, portadoras de sonido adicional.
- d) Centra la pantalla sobre la subportadora de crominancia (en el caso del canal 49, selecciona una frecuencia central de 699,7 MHz). Ajusta el factor de expansión a unos 200 kHz/div.
- e) En estas condiciones, en la imagen se visualiza la señal de crominancia modulada en doble banda lateral. Observa la supresión de la señal portadora, y la aparición únicamente de las bandas laterales.
- f) Para visualizar con detalle la portadora de sonido, selecciona la frecuencia central coincidente con su valor para el canal en estudio. Si fuese el canal 49, seleccionaríamos 700,75 MHz. El factor de expansión de 50 kHz/div y un filtro de 3 kHz resultarán adecuados para el análisis.
- g) Observa la forma de la señal de sonido en radiofrecuencia. Sobre el paquete de información propio de una modulación de frecuencia que aparece, mide la desviación máxima que se produce.
- h) Si el canal emite sonido NICAM o ZWEITON, configura el equipo de medida para observarlo adecuadamente. Nota la diferencia de ancho de banda y amplitud del canal de sonido digital respecto del analógico.

10. Sistemas de emisión de televisión

Actividades prácticas



2 ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN DE EQUIPOS

Objetivos

- Familiarizarse con los equipos de emisión de televisión y su información técnica.

Material necesario

- Emisor de televisión.
- Manual de usuario.
- Manual de servicio técnico.

Proceso operativo

- a) Con el equipo de emisión y su manual de usuario, realiza las siguientes acciones:
 - Analiza las características del emisor, relacionándolas con las estudiadas.
 - Identifica los mandos y controles de operación, y la función que realizan.
 - Familiarízate con el funcionamiento general del equipo y su conectividad.
- b) Con la información técnica del equipo:
 - Identifica las diferentes partes que la componen (diagramas de bloques, esquemas eléctricos, planos de circuitos, ajustes, despieces, listas de componentes, etc.).

- Analiza el diagrama de bloques, reconociendo su composición y relacionándolo con el estudiado.
- Observa los sistemas de ajuste y comprobación de funcionamiento, localizando los puntos y métodos de medida.

3 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE INSTALACIONES

Elabora la documentación técnica que describa el proceso de cálculo, instalación, ajuste y puesta en servicio del sistema emisor. Esta documentación deberá incluir los siguientes apartados:

- Planos de instalación (ubicación física, canalizaciones, fases del montaje, etc.).
- Esquema eléctrico del sistema.
- Relación de pruebas y ajustes de puesta en marcha y mantenimiento periódico.
- Lista de materiales y presupuesto.

4 DOCUMENTACIÓN PARA EL CLIENTE

Elabora la documentación para un hipotético cliente, que se incorporará a la del resto de la instalación, manteniendo un formato uniforme. Esta documentación incluirá:

- Presupuesto para el cliente.
- Instrucciones de funcionamiento.
- Instrucciones de conservación.