

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1610
(02/2003)

**Planificación, diseño y realización
de sistemas de radiocomunicaciones
del servicio fijo en ondas decamétricas**

Serie F
Servicio fijo



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1610*

**Planificación, diseño y realización de sistemas
de radiocomunicaciones del servicio fijo
en ondas decamétricas**

(2003)

Cometido

En la presente Recomendación se dan orientaciones sobre la planificación, diseño y realización de sistemas de radiocomunicaciones del servicio fijo en ondas decamétricas. Se abordan los siguientes temas: equipos, análisis y diseño de sistemas, investigaciones del lugar y del terreno y pruebas del sistema.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) la necesidad de servicios de radiocomunicación en ondas decamétricas;
- b) que los recientes progresos tecnológicos en sistemas en ondas decamétricas permiten:
 - ofrecer una mejor calidad de servicio, combinando la capacidad de explotar las tecnologías modernas de procesamiento de señales y el soporte lógico perfeccionado de control en tiempo real;
 - reducir los tiempos de transmisión, lo que se traduce en una utilización más eficaz del espectro, una disminución de las interferencias entre distintos usuarios y la posibilidad de aumentar la densidad del tráfico;
- c) que el UIT-R ha elaborado un Manual sobre sistemas y redes de comunicaciones adaptativos en frecuencia en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas, que describe estos sistemas y su uso;
- d) que las prestaciones de los sistemas en ondas decamétricas dependen del diseño y planificación de las instalaciones de radiocomunicaciones,

recomienda

- 1 que los usuarios que tengan la intención de instalar sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas utilicen la información del Anexo 1 como guía para la planificación, el diseño y la realización de estos sistemas.

* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo cambios de edición en la presente Recomendación en diciembre de 2009, con arreglo a lo dispuesto en la Resolución UIT-R 1.

Anexo 1

Planificación, diseño y realización de sistemas de radiocomunicaciones del servicio fijo en ondas decamétricas

1 Introducción

Los sistemas que funcionan en las bandas de ondas decamétricas son muy útiles en el ámbito de las comunicaciones, gracias a su elevada flexibilidad operativa y a su fácil mantenimiento. Esto es aún más cierto en regiones muy extensas con baja densidad de tráfico telegráfico, telefónico y de datos.

Hoy en día, el desarrollo de medios de telecomunicación modernos y de alta capacidad, como satélites y cables, ha permitido que, aun satisfaciendo las necesidades de los servicios móviles, los sistemas de telecomunicaciones puedan utilizar una parte importante del espectro de radiofrecuencias comprendido, entre 3 y 30 MHz.

Cuando se prevea la necesidad de nuevas capacidades de comunicación entre dos o más puntos y se sugiera un sistema en ondas decamétricas como posible solución, será necesario elaborar un estudio de viabilidad para analizar y definir la totalidad del sistema. Este estudio verificará que las ondas decamétricas ofrecen los medios adecuados de comunicaciones teniendo en cuenta los requisitos basados en la comparación de las alternativas técnicas y operacionales, que debe satisfacer el sistema y que las ventajas económicas del nuevo sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas sean indiscutibles.

2 Definición y análisis de los requisitos

Un análisis riguroso de las expectativas que genera y los requisitos que demanda el nuevo sistema demostrará, en cada caso, si este medio de comunicación es o no el adecuado. Algunas de las ventajas de los sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas sobre otros medios de comunicación tienen que ver con diversos factores, a saber:

- distancia,
- fiabilidad,
- terreno,
- requisitos del tráfico de mensajes,
- requisitos de la prioridad de mensajes,
- presupuestos,
- ciclo solar y conjunto de frecuencias disponible,
- emplazamientos adecuados.

Tras un examen de estos elementos, se determinará si el uso del equipo de radiocomunicaciones en ondas decamétricas es el indicado para la aplicación propuesta.

2.1 Diseño preliminar del sistema y estudio de viabilidad

Una vez que se determina que un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas es una solución aceptable, se debe realizar un estudio de viabilidad y un diseño preliminar. El resto de este punto se dedica a estudiar los aspectos que debe tener en cuenta el diseñador de estos sistemas.

2.2 Planes de concentración de enlaces/encaminamiento

Los planes de concentración de enlaces y de encaminamiento proporcionan información sobre la cantidad y tipos de canales necesarios para interconectar a cada uno de los terminales en el sistema de ondas decamétricas. Si el sistema forma parte de una red de radiocomunicaciones más amplia, es necesaria la colaboración entre el diseñador y el administrador de la red, para determinar cuáles son las estaciones o nodos que se deben incluir en ella, así como sus ubicaciones geográficas. Los planes de encaminamiento deben tener en cuenta los siguientes factores:

- la ubicación de cada nodo y su relación con los demás nodos de la red,
- los obstáculos físicos entre los nodos (montañas, edificaciones, antenas, etc.),
- los equipos en cada nodo, especialmente la potencia y las características de antena,
- los trayectos de propagación entre estaciones,
- las interfaces de comunicación conectadas a cada nodo,
- las características, volumen y prioridad del tráfico de comunicaciones.

2.3 Plan de frecuencias

Se debe empezar la planificación al comienzo del proyecto para garantizar que se dispone de una lista adecuada de frecuencias, de tal manera que cada enlace del sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas funcione sin interrupción día y noche, en cualquier época del año y durante todo el ciclo solar de 11 años. Se puede utilizar un programa de predicción de frecuencias, como el de la Recomendación UIT-R P.533, para determinar cuáles son necesarias en cada posible situación.

2.4 Personal de explotación y mantenimiento

Para garantizar que cada estación funciona correctamente y recibe el mantenimiento adecuado, en las primeras etapas del proceso de planificación debe realizarse un análisis de la cantidad, formación y experiencia del personal necesario que hay que destacar en cada uno de los nodos de la red.

2.5 Instalaciones en el emplazamiento escogido

El diseñador del sistema debe seleccionar un emplazamiento que tenga vías de acceso adecuadas, suministro de agua y de energía eléctrica, disponibilidad de combustible para los generadores, servicio telefónico, oficina de correos, servicios médicos y viviendas y áreas comerciales apropiadas para el personal. En la mayoría de los casos, la estación de radiocomunicaciones estará ubicada cerca de una ciudad o de un pueblo grande, y se podrán satisfacer, normalmente, las necesidades mencionadas anteriormente. No obstante, algunas veces la obtención de estos servicios puede requerir un esfuerzo logístico especial.

2.6 Modos de comunicaciones exigidos (voz, datos e imagen)

En las especificaciones de los requisitos se estipulará qué tipos de tráfico podrán cursarse a través de la estación de radiocomunicaciones en ondas decamétricas. Por ejemplo, sólo voz, voz y datos, o, de ser necesario, otros tipos de información, como imágenes, telefax, o voz cifrada. El diseñador debe tener en cuenta el equipo adicional que se necesite en cada caso.

2.7 Relación S/N necesaria

La relación S/N depende de los modos de comunicaciones requeridos (voz, datos, etc.) Se puede utilizar la Recomendación UIT-R F.339 para determinar la relación S/N necesaria, conforme al grado de servicio esperado (de simple funcionamiento interno, grado comercial marginal o buen grado comercial), y al tipo de señal (analógica o digital).

2.8 Tipos de modulación y velocidades de transmisión de datos

En general, se dispondrá de esta información cuando se obtengan las especificaciones de los equipos. Se debe prestar especial atención a que los equipos interconectados funcionen con las mismas velocidades de transmisión de datos y utilicen los mismos tipos de modulación. En las Recomendaciones UIT-R F.763 y UIT-R F.436 se sugieren diversas técnicas de transmisión de datos en ondas decamétricas, para evitar degradaciones debidas al canal de radiocomunicaciones.

La solución adoptada por el UIT-R consiste en efectuar una conversión de serie a paralelo de la señal de alta velocidad (hasta 1200 bit/s), para 6 a 12 canales, con múltiplex con división en frecuencia. La baja velocidad de modulación (50-100 Bd) así obtenida para cada subcanal hace que la señal digital esté prácticamente exenta de distorsión multitrayecto. Un concentrador de datos restablece, en el receptor, las características de la señal original.

Para velocidades de señal superiores (hasta 4800 bit/s), se utilizan algunas veces sistemas basados en la modulación de fase diferencial con tonos desplazados de frecuencia, y la información se obtiene, en este caso, por la diferencia relativa de fase entre dos tonos transmitidos simultáneamente. Los efectos sobre los dos tonos debidos al multitrayecto son casi idénticos, al ser mínima la diferencia que existe entre ellos (unos 40 Hz). La otra posibilidad consiste en transmitir los datos en serie y utilizar un ecualizador adaptativo en el receptor para suprimir la distorsión multitrayecto. Se han desarrollado módems con estos formatos de señalización, para servicios en ondas decamétricas y velocidades de transmisión de datos de hasta 9600 bit/s.

La información se transmite en forma analógica o digital a través del canal de radiocomunicaciones. En el Cuadro 1 se definen los tipos de transmisión descritos en este punto.

CUADRO 1

Tipos de modulación

Denominación	Modulación	Definición
CW	Onda continua	Onda radioeléctrica cuya amplitud y frecuencia son constantes. Como forma de modulación, es una onda continua interrumpida que se activa/desactiva usando el código Morse
MA	Modulación de amplitud	Forma de modulación en la que se varía la amplitud de una onda portadora de conformidad con alguna característica de la señal moduladora
MF	Modulación de frecuencia	Forma de modulación en la que se utilizan los cambios de amplitud de la señal moduladora para hacer variar la frecuencia instantánea de la onda portadora con respecto a su valor no modulado
BLU	Banda lateral única	Forma de modulación de amplitud en la cual se suprimen la portadora y una banda lateral, y se transmite la otra banda lateral. Se la conoce también como banda lateral única superior (BLUS) y banda lateral única inferior (BLUI)
BLI	Banda lateral independiente	Método de transmisión de doble banda lateral en el que la información transmitida por cada banda lateral es diferente

CUADRO 1 (*Fin*)

Denominación	Modulación	Definición
RTTY	Radioteleimpresor	Teleimpresor usado en un sistema de comunicaciones formado por circuitos radioeléctricos. Las señales marca/espacio del teleimpresor se modulan en los sistemas de radiocomunicaciones bien por un desplazamiento de dos frecuencias de la onda portadora, modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF), o bien por una señal de audio de dos frecuencias denominada telégrafo de frecuencia de voz o modulación por desplazamiento de audiofrecuencia (MDAF)
Datos	Digital binaria	Información que se representa mediante un código que consta de una secuencia de elementos discretos. Los datos digitales son producidos por los teleimpresores, los equipos digitales de telefax y los terminales de ordenador, entre otras fuentes. En general, las señales se transmiten gracias a la conversión digital-analógica a la MDF o a la modulación por desplazamiento de fase (MDP)

2.9 Fiabilidad del circuito necesaria

Los circuitos de radiocomunicaciones en ondas decamétricas pueden proporcionar una fiabilidad del 80% (19,2 h/día) al 95% (22,8 h/día). Los equipos modernos y adaptables, como los de establecimiento automático de enlace (ALE), presentan las mejores fiabilidades, de espectro.

2.10 Terminales necesarios

Por terminales se entiende todo lo relacionado con la planta física, las fuentes de energía primaria y auxiliar, y los sistemas de control ambiental requeridos por el nuevo sistema de radio-comunicaciones en ondas decamétricas.

2.11 Duración esperada del servicio

El periodo de tiempo durante el cual, se espera que funcionará el nuevo sistema en ondas decamétricas tendrá repercusión en la selección de los equipos que se han de utilizar. Un periodo de servicio corto (de varios meses a algunos años) permitirá el funcionamiento con equipos transportables o tácticos. Una mayor duración implicará, generalmente, el empleo de equipos permanentes.

2.12 Tamaño del emplazamiento

Al tratarse de ondas decamétricas, las estaciones de radiocomunicaciones exigen superficies considerables. Una simple antena de dipolo requiere al menos 0,5 hectáreas, y una rómbica, entre 2 y 7 hectáreas. Si no se puede instalar el nuevo sistema en uno de los emplazamientos existentes, es necesario planificar desde el inicio del proyecto la búsqueda y adquisición de uno apropiado. Por otro lado, si se contempla el funcionamiento en varios circuitos o dúplex completo en un circuito, se deben separar las diversas antenas para prevenir interferencias. Esta separación de antenas acentúa la necesidad de espacio adicional.

2.13 Evaluación del efecto ambiental

Con frecuencia, es necesario realizar un estudio de efecto ambiental antes de construir una estación de radiocomunicaciones en ondas decamétricas, o renovar una existente. Si se prevé la construcción de torres de más de 50 m, o si el emplazamiento está ubicado, o se ha planificado para que esté ubicado, cerca de un aeropuerto o un helipuerto, se debe notificar dicha construcción a las autoridades aeronáuticas.

2.14 Fecha de inicio del funcionamiento

La fecha en que la estación o los equipos deben estar listos para funcionar se puede incluir en la declaración original de requisitos, o puede ser objeto de negociación con el organismo pertinente. Algunos de los principales componentes del sistema pueden tener retrasos en los plazos de entrega, lo que debe considerarse en la planificación.

3 Aspectos prácticos

El desarrollo de un nuevo sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas, o la ampliación de uno existente, requiere de algo más que una simple estimación de los equipos necesarios. A continuación se presentan los cálculos, directos e indirectos, que deben efectuarse en un proyecto, incluidos detalles acerca de:

- el inicio,
- los equipos,
- la instalación.

3.1 Inicio del proyecto

3.1.1 Cálculo de aspectos relativos a la gestión del proyecto

Se debe estimar el tiempo dedicado, directa e indirectamente, por el gerente del proyecto y demás personal administrativo, tanto a la supervisión como a la gestión de éste. Aparte de otros aspectos, como los viajes, por ejemplo.

3.1.2 Cálculo de aspectos relativos a la ingeniería del sistema

Se debe estimar el tiempo dedicado, directa o indirectamente, por los ingenieros del sistema y demás personal asociado, tanto al estudio de los requisitos que debe satisfacer el proyecto como al diseño del sistema. Por otra parte, también se pueden incluir otros aspectos directos como costes de los viajes, de la impresión y redacción de documentos, etc.

3.1.3 Estimación de bienes raíces y terrenos que deben adquirirse

Si el lugar en que va a instalarse la nueva estación en ondas decamétricas no pertenece a la entidad que la utilizará, se le debe adquirir o arrendar. Es necesario tener en cuenta no solamente los gastos de compra o alquiler, sino también los abogados e impuestos.

3.1.4 Adecuación del emplazamiento

Se debe estimar si es necesario efectuar trabajos de nivelación o igualación del terreno, si se deben construir cercas, excavar zanjas para cables de antena, o si se requieren pilares de hormigón para las torres de las antenas.

3.1.5 Construcción o modificaciones de los edificios de los equipos

Si el emplazamiento es nuevo, se deben construir instalaciones para albergar los equipos y los dispositivos de control, y para los operarios. Si el emplazamiento ya existe, puede ser necesario ampliarlo para alojar los nuevos equipos.

3.1.6 Construcción o modificaciones para el sistema de suministro primario y auxiliar de energía del emplazamiento

Un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas utiliza alimentación de corriente alterna, procedente de la empresa local de energía, para hacer funcionar sus equipos e instalaciones, así como para la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado. Aunque se trate de un emplazamiento existente, donde el suministro de energía eléctrica ya está asegurado, pueden requerirse en muchos casos mejoras en el sistema de distribución de energía eléctrica, como por ejemplo la instalación de transformadores más grandes o de más disyuntores. Asimismo, en el plan de ingeniería se puede incluir la instalación de fuentes de energía auxiliares tales como generadores de energía eléctrica alimentados por gasolina o diesel para casos de emergencia.

3.2 Equipos

3.2.1 Consideraciones generales sobre los equipos

Los equipos del sistema en ondas decamétricas pueden constituir o no el capítulo de costes más importante del proyecto dependiendo de cuántos circuitos se requieran, de qué niveles de potencia sean necesarios en los transmisores y de las distancias entre emplazamientos. En general, los equipos se compran a un mismo proveedor o fabricante, aunque en proyectos de gran envergadura no es extraño contratar con varios suministradores. Normalmente, el organismo de explotación emite una solicitud de propuesta para la compra de equipos o contratación de servicios, a la que responden todos los interesados, con sus ofertas. El cliente puede, entonces, estudiar las diversas soluciones que le ofrecen y escoger la más favorable. Con frecuencia, los vendedores presentan soluciones «llave en mano», es decir que no sólo incluyen el suministro de equipos sino también la subcontratación de los trabajos de instalación y acondicionamiento del lugar. A continuación se enumeran los componentes principales de un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas:

- transmisor/receptor o transceptor;
- componentes de la antena;
- conmutadores de antenas;
- líneas de transmisión;
- dispositivos de terminación;
- multiacopladores, filtros, preselectores, redes de cruce, dispositivos de adaptación;
- conexión de radiofrecuencia;
- equipo terminal;
- terminales de voz;
- equipo de conexión de audio;
- dispositivo de conexión para corriente continua;
- servicio de repuestos;
- equipos de pruebas; cargas de prueba; medidores de potencia de energía y de intensidad de campo de radiofrecuencia.

3.2.2 Transmisor/receptor o transeptores

Según el nivel de potencia requerido, se puede equipar la estación con transeptores o con transmisores y receptores separados. Normalmente, se utilizan transeptores (una combinación de transmisor y receptor en el mismo paquete) para la explotación en condiciones de baja a media potencia, es decir entre 100 W y 1 000 W. En el caso de alta potencia, más de 10 kW, se acostumbra a dividir el emplazamiento en dos partes, con los transmisores a un lado y los receptores a otro. Esta configuración permite el funcionamiento, en dúplex completo, si es necesario.

3.2.3 Componentes de la antena

Las antenas usadas en los sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas varían desde las más sencillas, de hilo delgado y del tipo dipolo de media onda, hasta las grandes, fijas o giratorias, log-periódicas o rómbicas, que cubren varias hectáreas de terreno. La selección de las antenas depende del número de frecuencias en cuestión, de los niveles de potencia de radiofrecuencia y de los requisitos de fiabilidad del circuito. El diagrama de radiación de antena, omnidireccional o directivo, depende del emplazamiento de las estaciones con las que debe establecerse comunicación. Por otro lado, puede ser necesario incluir algunos componentes adicionales del subsistema de antena, como línea de transmisión (equilibrada o coaxial), matriz de conmutación de antena, multiacopladores, dispositivos de terminación, redes de adaptación de impedancia y conexiones de radiofrecuencia de alto y bajo nivel.

3.2.4 Conmutadores de antenas

Estos conmutadores son necesarios cuando hay múltiples antenas o cuando se utilizan antenas diferentes en diversos trayectos del circuito. El conmutador permite al operador conmutar las antenas manualmente, desde un interruptor ubicado en el local, o eléctricamente, desde una consola de control.

3.2.5 Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión se utilizan para conectar los transmisores/receptores a la antena. Se seleccionan durante la fase de diseño detallada, basándose en la potencia del transmisor, la impedancia del sistema y la posibilidad de acoplamiento con líneas próximas, las pérdidas de línea, los aspectos económicos y las condiciones atmosféricas reinantes en el entorno. En general, para transmisores de baja a media potencia (100 W a 1 000 W) se utilizan cables coaxiales como líneas de transmisión. Para estaciones de alta potencia (más de 10 kW) lo usual son líneas de transmisión aéreas, equilibradas y de hilo desnudo.

3.2.6 Dispositivos de terminación

Los dispositivos de terminación se usan en antenas no resonantes, tales como antenas de hilos de gran longitud, antenas en V y rómbicas, para hacerlas unidireccionales. Hay dos tipos de dispositivos de terminación: el constante agrupado (sin resistencia reactiva) y el constante distribuido (línea de transmisión con pérdidas). Estos dispositivos de terminación forman parte de la impedancia característica de la antena en cuestión, y deben poder disipar (al menos) la potencia media del transmisor.

3.2.7 Multiacopladores

Los multiacopladores sirven para permitir a dos o más receptores o transmisores compartir la misma antena. En general, sólo los transmisores de baja potencia emplean multiacopladores, debido al grado de aislamiento requerido entre transmisores.

3.2.8 Conexiones de radiofrecuencia

Las conexiones de radiofrecuencia de bajo nivel se utilizan para interconectar los equipos, cuando se emplean sintetizadores o excitadores de frecuencia con amplificadores de potencia lineales. La salida de los sintetizadores o excitadores es, en general, de unos cuantos milivatios. Las conexiones de radio frecuencia de alto nivel se usan para interconectar transmisores de baja potencia (100 W a 500 W) a amplificadores de potencia lineales.

3.2.9 Equipo terminal

En esta Recomendación, se considera equipo terminal a todo equipo auxiliar, como por ejemplo terminales vocales, conmutadores y conexiones de audio, conexiones de corriente continua y terminales de telefax, multiplexores para telegrafía portadora de frecuencia, vocal, facsímil, módems de datos en ondas decamétricas y dispositivos de cifrado.

3.2.10 Terminales vocales

Los terminales vocales proporcionan la interfaz entre el equipo del cliente y el sistema de transmisión, la señalización de llamada, el aislamiento eléctrico entre los trayectos de transmisión y recepción y el condicionamiento de señal.

3.2.11 Equipo para conexiones de audio

Toda estación terminal de ondas decamétricas debe contar con algún tipo de conexión de audio, que puede consistir simplemente en una o varias regletas de enchufes, para que el personal de la estación pueda tener acceso a todos los circuitos de audio relacionados con:

- el encaminamiento del tráfico de emergencia;
- la conmutación o sustitución de equipos;
- la supervisión de la calidad de señal;
- la prueba y mantenimiento de circuitos.

Gracias a estos sistemas de conexión se puede acceder a todos los circuitos de audio entrantes y salientes, así como a la mayoría de los circuitos de audio internos de la estación. En las estaciones pequeñas, estos sistemas de conexión de audio se pueden ubicar junto con los demás equipos. No obstante, en estaciones más grandes, es posible que sea necesario instalarlos y hacerles el mantenimiento en otro sitio, e incluso que se deba contar con una edificación separada para ello. Se recomienda que los enchufes y las regletas de conexión de audio sean diferentes de los de conexión a la corriente continua, para evitar confusiones.

Dispositivos de conexión a corriente continua

Estos dispositivos son necesarios siempre que se utilicen telecopiadores u otros equipos que funcionen con corriente continua. Pueden constar de una o varias regletas de enchufes y, en general, se les instala junto con los demás equipos auxiliares.

Repuestos

Las características de los repuestos almacenados dependen de la misión encomendada a la estación. Si ésta funciona 24 h al día, es probable que además de los repuestos usuales (fusibles, cables coaxiales, etc.) se necesiten también piezas de repuesto para poder sustituir rápidamente a equipos averiados a fin de mantener a la estación en funcionamiento permanente. Por otra parte, puede ser necesario el almacenamiento de repuestos adicionales, conforme a las políticas del organismo que administra la estación o a la reglamentación en vigor.

3.2.12 Instalación

Otros aspectos a tener en cuenta en el presupuesto están relacionados con el proceso de instalación. Algunos de ellos son:

- a) una lista detallada de materiales necesarios para la instalación;
- b) los consultores e ingenieros externos;
- c) la mano de obra para la instalación;
- d) las pruebas de aceptación;
- e) la formación del personal;
- f) la vida útil.

a) Lista de materiales para la instalación

La lista de materiales para la instalación contiene todas las piezas y equipos necesarios para construir (o modernizar) la estación de radiocomunicaciones en ondas decamétricas. Además de los elementos más importantes, como antenas, transeptores, etc., en ella se incluyen elementos tales como cables, disyuntores, soportes de cables, tornillos, clavos, etc. Esta lista sólo estará completa tras finalizar el trabajo de diseño detallado de ingeniería. El estudio de reglas generales o de proyectos anteriores puede proporcionar datos útiles para las etapas iniciales de la planificación del sistema.

b) Consultores e ingenieros externos

Se les utiliza con frecuencia para tareas especializadas, como la búsqueda de emplazamientos apropiados o la medición de los niveles de ruido eléctrico locales (de origen natural o artificial).

c) Mano de obra para la instalación

A menos que el proveedor de equipos suministre este servicio mediante subcontratación, se le debe tener en cuenta en la planificación. El presupuesto de la instalación comprende todas las construcciones necesarias para hacer funcionar la estación (es decir, todas aquellas que no hayan sido finalizadas durante la etapa de adecuación del emplazamiento).

d) Prueba de aceptación de equipos

Es necesario efectuar pruebas a los nuevos equipos para que la estación sea plenamente operativa. El plan de pruebas puede exigir la comprobación formal de cada una de las características de los nuevos equipos, bien por el organismo que explota la estación, o bien por el fabricante bajo la supervisión de aquél. Las pruebas también pueden consistir en establecer un plazo de tiempo, de 30 días por ejemplo, durante el cual los operarios de la estación verificarán todas las características de los equipos. El presupuesto del proyecto debe incluir cálculos de la mano de obra directa e indirecta necesaria para estas labores. De no existir un plan de pruebas podría ser necesario elaborarlo y, de ser así, el esfuerzo necesario para ello debe también ser tenido en cuenta en el proyecto.

e) Formación del personal

Siempre que se instale un nuevo equipo, se debe capacitar al personal que se encargará de su explotación. La formación puede estar estipulada en el contrato de compra del equipo o, si el organismo es suficientemente grande como para tener su propio departamento de formación, el fabricante puede capacitar a algunos instructores de ese departamento, para que éstos a su vez formen a los operarios. En algunos casos, la formación puede simplemente provenir de otros operarios que ya han utilizado los equipos. Sea como sea, la formación se debe siempre incluir en la planificación del proyecto.

f) Vida útil

Finalmente, el diseñador debe considerar los cálculos de vida útil del sistema, que pueden incluir los costes recurrentes relacionados con la explotación y el mantenimiento de la nueva estación.

4 Análisis y diseño del sistema

El diseño de ingeniería de un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas constará de los siguientes niveles de planificación:

- análisis de los requisitos del sistema de comunicaciones, para determinar si es posible utilizar la banda decamétrica;
- establecimiento de previsiones y cálculos que sirvan para corroborar las solicitudes de financiamiento del proyecto y buscar su aprobación;
- análisis detallado de ingeniería del sistema.

4.1 Coordenadas geográficas aproximadas de cada estación

Tan pronto como se haya escogido una ubicación aproximada de la estación (o se haya decidido utilizar un emplazamiento existente), debe determinarse su longitud y latitud. En un emplazamiento existente, ya se dispondrá de las coordenadas geográficas correspondientes y se podrá verificar sus valores utilizando un simple receptor manual GPS. Si el emplazamiento todavía no se ha determinado con exactitud, se podrá utilizar un mapa topográfico reciente para establecer aproximadamente sus coordenadas.

4.2 Selección provisional de emplazamientos

La selección del emplazamiento de una estación de radiocomunicaciones en ondas decamétricas requiere un estudio detallado de las características físicas de sus alrededores. En particular, el emplazamiento elegido debe ser técnicamente apropiado.

El diseñador debe considerar, concretamente, el entorno de ruido, la conductividad del terreno, los obstáculos cercanos y los edificios o montañas próximos que puedan obstruir las señales recibidas o transmitidas. Aparte de eso, debe tener en cuenta aspectos tales como la facilidad de construcción y el acceso a los servicios (agua, energía eléctrica, etc.) y al emplazamiento. Pero, lo más importante es determinar si el emplazamiento es o no apropiado desde el punto de vista técnico.

4.3 Parámetros operativos del trayecto

La finalidad de una simulación previa de la propagación es calcular la frecuencia óptima que se debe emplear y predecir el comportamiento del sistema durante el ciclo solar de 11 años y a lo largo de todo el año. El ingeniero de diseño utiliza estas predicciones de propagación en la selección del equipo adecuado para el trayecto.

4.4 Predicción de propagación

La determinación de las condiciones atmosféricas, mediante el uso de las predicciones de propagación, forma parte integrante del diseño y análisis de los sistemas de radiocomunicación en ondas decamétricas. Para efectuar un análisis preciso de la propagación se debe tener en cuenta:

- el nivel de ruido en el emplazamiento,
- las características de la antena,
- la potencia de radiofrecuencia disponible,
- la ganancia del sistema.

Nivel de ruido en el emplazamiento

Debe medirse a lo largo del día el ruido natural y artificial que existe en el emplazamiento. En condiciones ideales, se escoge un emplazamiento alejado de zonas de alta concentración de ruido (es decir, lejos de zonas industriales y residenciales y de aeropuertos). Hay dos categorías generales de ruido radioeléctrico: ruido interno inherente al sistema de recepción y ruido externo inherente a la antena de recepción. Para los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan por encima de 300 MHz, el ruido radioeléctrico interno del sistema de recepción es generalmente el factor limitante. En cambio, en sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas dicho factor limitante es el ruido externo y de nada sirve utilizar receptores con especificaciones de ruido inferiores a los niveles de ruido externo. El ruido radioeléctrico externo se subdivide, a su vez, en ruido de origen natural y ruido artificial. El natural puede ser, por ejemplo, el ruido atmosférico, el ruido galáctico o el ruido solar. El ruido artificial puede proceder de sistemas de arranque de motores, equipos industriales, líneas de alta tensión y equipos eléctricos en general. Si no es posible medir el ruido atmosférico a lo largo de todo el año, pueden hacerse estimaciones al respecto utilizando la Recomendación UIT-R P.372, que proporciona información sobre el ruido atmosférico local en diferentes momentos del día y durante las cuatro estaciones del año.

La fuente dominante de ruido natural en la banda de ondas decamétricas es la atmósfera. El ruido atmosférico se propaga en general a partir de tres regiones, conocidas por la cantidad de tormentas que se genera en ellas, a saber, América del Sur, África y el Sudeste Asiático. El ruido atmosférico sigue las tendencias de propagación, que son más reducidas durante las mañanas y más intensas durante las noches.

Se recomienda efectuar una investigación in situ para determinar los niveles locales de ruido artificial. Las mediciones de ruidos se efectúan con una antena monopolo conectada a un medidor de ruido electromagnético, y durante un periodo de dos semanas entre las 08.00 y las 12.00 h y entre las 20.00 y las 24.00 h, hora local. Las mediciones realizadas por la mañana proporcionan los valores de ruido artificial y las nocturnas reflejan los niveles de ruido atmosférico. Las mediciones se hacen en 11 frecuencias nominales libres de interferencia (0,17; 0,3; 0,5; 1; 1,8; 2,5; 5; 7; 10; 20 y 25 MHz). Los datos medidos se promedian y representan gráficamente para su análisis. Una comparación entre los valores de los niveles de ruido artificial en zonas rurales tranquilas, rurales, residenciales y comerciales muestra una diferencia máxima de unos 25 dB. Una elección adecuada del emplazamiento de la antena para la estación de base puede mejorar el comportamiento del sistema hasta en 25 dB. Es imposible determinar con precisión la disponibilidad del sistema y su grado de servicio sin contar con información sobre el nivel de ruido.

4.5 Selección de los equipos

Un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas está compuesto; en general; por:

- transmisor/receptor o transceptor;
- subsistema de antena;
- interfaces voz-frecuencia;
- interfaces digitales;
- líneas de transmisión.

4.5.1 Configuraciones típicas de sistemas en ondas decamétricas

De onda continua

En los albores de las radiocomunicaciones, se utilizaba una tecla del telégrafo para enviar e interrumpir la portadora de radiofrecuencia según un código telegráfico. Al ser la de radio frecuencia una onda continua mientras estuviese activa, se llamó a este tipo de transmisión el de

onda continua interrumpida, o simplemente de onda continua. La mayoría de los equipos comerciales y militares tiene una capacidad de comunicaciones de onda continua de reserva. Se le puede utilizar como sistema de comunicaciones de urgencia cuando no pueden usarse otras formas de transmisión.

De banda lateral única (BLU)

Las estaciones radiofónicas con BLU son, en general, pequeñas, y frecuentemente se trata de simples transeceptores portátiles (de escritorio). Normalmente, la potencia de salida es de unos 100 W. Si se acopla un amplificador lineal, la salida variará generalmente entre 400 y 1 000 W. Hay muchos usos militares para los sistemas vocales BLU, tales como las redes de mando y control, las redes administrativas, las comunicaciones tierra-aire y aire-tierra, las redes de control de convoyes, otras aplicaciones móviles y los circuitos de ingeniería para los sistemas de comunicación portátiles. En general, se utilizan antenas de látigo para las aplicaciones móviles y portátiles, mientras que para las fijas se usa un simple dipolo, o una matriz direccional giratoria, como por ejemplo una antena log periódica o Yagi.

Estaciones de potencia media con sistemas de emplazamiento múltiple

A diferencia de las instalaciones pequeñas y de baja potencia, donde se pueden ubicar transmisores y receptores en el mismo sitio, los centros de radiocomunicaciones en ondas decamétricas multicanal de alta potencia (más de 1 000 W) requieren generalmente emplazamientos separados de transmisión y recepción con una separación normal de 8 km o más. Asimismo, puede ser necesaria una tercera instalación consistente en un centro de retransmisión de comunicaciones. El centro de retransmisión de comunicaciones realiza el control, la conmutación y las actividades de procesamiento de mensajes. Los emplazamientos se interconectan mediante un enlace telefónico de varios canales, ya sea por cable multipar o por microondas.

Subsistemas del transmisor

Los equipos de transmisión pueden adquirirse con varias configuraciones, de componentes separadas o como un todo completamente autónomo. Los transmisores grandes constan, en general, de diversas componentes funcionales, incluidos un sintetizador de frecuencia, un excitador y una sección de amplificadores de potencia. Hay excitadores de transmisor que ofrecen de una a cuatro entradas de canal independientes de 3 kHz. Los cuatro canales vocales se utilizan para proporcionar la entrada de cuatro canales al modo de BLI.

Subsistemas del receptor

La sintonización de la mayoría de los receptores actuales diseñados para los grandes sistemas en ondas decamétricas se puede realizar gracias a un sintetizador de frecuencia, que puede ser una componente independiente o formar parte integrante del receptor. Hoy en día, existen técnicas más complejas de control de frecuencias que utilizan mecanismos de sintonización controlados por microprocesador y permiten cambios de frecuencia rápidos y precisos. Los receptores BLI están diseñados para proporcionar los cuatro canales de frecuencia vocal de 3 kHz a la terminación de frecuencia vocal y al equipo múltiplex.

Sistemas del transeceptor

Un transeceptor es una combinación de transmisor, receptor e interfaz.

4.5.2 Subsistema de antena

Normalmente, un subsistema de antena en el emplazamiento de una estación de gran tamaño consta de todos los elementos relacionados con las antenas, incluidas las líneas de transmisión, las antenas de cortina, los soportes, las líneas de disipación (cuando sean necesarias), los dispositivos de

conmutación y de adaptación de impedancia y los dispositivos de entrada a los bastidores de los equipos o a los edificios del emplazamiento.

4.5.3 Equipo de interfaz de frecuencia vocal

El equipo de interfaz de frecuencia vocal proporciona la interconexión entre el abonado y el sistema de transmisión. Los equipos de interfaz proporcionan señalización dentro de la banda, ecualización, atenuación y amplificación, o cualquier otro condicionamiento de señal necesario para una interfaz entre el medio de transmisión y el equipo final de frecuencia vocal.

4.5.4 Líneas de transmisión

Existen dos tipos básicos de líneas de transmisión: equilibradas y desequilibradas. Las líneas de transmisión equilibradas tienen dos conductores o grupos de conductores idénticos que funcionan al mismo potencial (pero con polaridad opuesta) con respecto a tierra. Las líneas de transmisión desequilibradas, tienen un conductor a un potencial mayor que la referencia de tierra y otro igual a ésta. Ambos tipos de líneas pueden ir agrupadas en un conductor apantallado externo.

Línea coaxial

Una línea coaxial es una línea de transmisión desequilibrada y apantallada, constituida por un conductor en el centro y otro, un cilindro hueco, que le rodea. Si se le diseña adecuadamente, el conductor exterior proporciona un apantallamiento casi perfecto, ya que está normalmente al potencial de tierra, lo que minimiza la interferencia externa. Esta característica, más que ninguna otra, hace que las líneas de transmisión coaxial sean la mejor elección para su empleo en receptores. En aplicaciones de transmisión, las líneas coaxiales presentan bajas pérdidas de radiación y no resultan afectadas por objetos, conductores u otras líneas de transmisión próximas. Sin embargo, en comparación con las líneas de hilo desnudo las líneas coaxiales presentan en general pérdidas de línea significativamente mayores y, en aplicaciones de alta potencia, son más costosas. Las características de pérdida y las capacidades de potencia dependen en gran medida del material dieléctrico que separa los conductores. La capacidad de potencia está relacionada con la distancia entre los conductores interno y externo y con la facultad del dieléctrico para soportar el calor generado en el conductor interno. Las líneas coaxiales pueden ser rígidas, semirrígidas y flexibles.

- La línea coaxial rígida se usa normalmente para conectar la salida de un transmisor de alta potencia a la matriz de conmutación de antena, a un dispositivo de adaptación de impedancias (por ejemplo, un balún o un transformador), o a otro tipo de línea coaxial de 50 Ω ; o como entrada o salida de los edificios. La línea rígida tiene un conductor tubular en el centro, que se apoya en el conductor exterior concéntrico mediante discos o clavijas cruzadas fabricados de material dieléctrico. Las secciones de línea se conectan mediante bridas y se utilizan tubos acodados para cambiar la dirección. Los diámetros varían casi siempre entre 2,2 y 15,6 cm. La pérdida de atenuación es, en general, menor que en las líneas de hilo desnudo.
- La línea coaxial semirrígida se utiliza generalmente en sistemas de potencia media (hasta unos 20 kW). Tomando las precauciones necesarias, el cable semirrígido se puede doblar hasta un radio de 10 a 15 veces el diámetro de la línea. El conductor interior es tubular, salvo en las líneas más pequeñas donde es macizo. El conductor interior se apoya en el exterior mediante una hélice de poliestireno. El conductor exterior es habitualmente una envoltura espiral, blindada y semiflexible, y está cubierto normalmente con una capa protectora de polietileno o vinilo. Las pérdidas de atenuación son algo mayores que las de las líneas de hilo desnudo.
- El cable coaxial flexible es la línea de transmisión más popular para aplicaciones en estaciones de radiocomunicaciones en ondas decamétricas de tamaño pequeño y medio. Existen tipos de líneas coaxiales flexibles para prácticamente todas las necesidades. Su

tamaño varía entre 0,3 y 3,2 cm y su impedancia entre 50 y 150 Ω . Su pérdida de atenuación es muy alta comparada con la del hilo desnudo, especialmente en los cables más pequeños.

- Una línea coaxial flexible consta de un conductor interior de alambre macizo o enroscado, rodeado por un dieléctrico de polietileno. El conductor exterior consiste en un trenzado de cobre sobre el dieléctrico, y debe ser capaz de proporcionar un apantallamiento de al menos el 95%. No se debe utilizar el cable coaxial común, disponible en el comercio y más económico, que proporciona un apantallamiento de tan sólo el 60% al 80%. Debe colocarse una cubierta impermeable de vinilo o polivinilo sobre el trenzado. Esta cubierta aislante exterior se utiliza únicamente como protección contra el polvo, la humedad y los productos químicos si estas sustancias, llegasen a penetrar en dicha cubierta aislante, contaminarían el dieléctrico y causarían pérdidas en el cable.
- Las líneas de transmisión de antena es la aplicación más importante de las líneas coaxiales flexibles en los sistemas de recepción. Las antenas receptoras de alta impedancia, como las log periódicas, emplean comúnmente el cable coaxial y un transformador de adaptación en el extremo de antena. Aunque el cable coaxial logra una buena adaptación de impedancias en el centro de una antena equilibrada de media longitud de onda, sin un balún la naturaleza desequilibrada de la línea coaxial causará una desviación en el diagrama de radiación de la antena.
- Una ventaja de la línea coaxial flexible es que se puede instalar sin importar como sean los alrededores. No requiere aislamiento, puede estar enterrada, en el suelo, o dentro de un tubo; se puede doblar en las esquinas hasta un radio razonable, y puede serpentear en lugares tales, como el espacio entre paredes, donde sería imposible utilizar otros tipos de líneas. Fuera de las edificaciones, se deben enterrar todos los cables coaxiales permanentes, al menos 50 cm en los climas fríos, y la profundidad mínima de enterramiento se determina teniendo en cuenta la línea de heladas o la carga superficial. El cable debe tener un colchón de unos 8 cm de arena por debajo y por encima de él y se deben colocar tabloncillos sobre la capa superior de arena antes de llenar la zanja, protegiéndole así de posibles cortes en caso de excavación. Hay que poner marcadores de hormigón en todas las curvas de la zanja para ayudar a ubicar y proteger el cable. A fin de minimizar el ruido radioeléctrico captado por las líneas receptoras, debe instalarse un balún de adaptación en el extremo terminal de la antena. A continuación se tiende el cable coaxial, preferiblemente enterrado, hasta donde estén los receptores. Todos los cables del emplazamiento de la estación que transporten señales de radiofrecuencia deben tener la misma impedancia característica (normalmente 50 Ω). Se utilizan transformadores de adaptación de impedancias para adaptar los equipos que tengan otras impedancias características al sistema de la línea de radiofrecuencia de 50 Ω . En toda la estación deben agruparse todos los cables de radiofrecuencia que pertenezcan a un mismo servicio (los cables del excitador, del monitor, o de los cuadros de conexión, por ejemplo).

Líneas de hilo desnudo

Una línea de hilo desnudo consta de dos o más hilos paralelos del mismo tamaño, mantenidos a distancia constante por separadores aislados o espaciadores situados a distancias apropiadas. Estas líneas pueden ser equilibradas o desequilibradas.

– *Líneas de hilo desnudo desequilibradas*

Su impedancia característica varía de 20 a 200 Ω según el modelo. Se usan principalmente para adaptación de impedancias.

– *Líneas de hilo desnudo equilibradas*

Para la transmisión, se las prefiere con frecuencia a las coaxiales. Salvo en el caso de niveles de potencia muy bajos, las líneas de hilo desnudo son más económicas que las líneas coaxiales.

Tramos de líneas de transmisión

Cuando se trate de tramos largos de líneas de transmisión, las líneas de hilo desnudo equilibradas ofrecen una atenuación considerablemente menor que las líneas coaxiales, en condiciones comparables. La velocidad de propagación de las ondas es similar a la de propagación en el espacio libre. La máxima tensión depende de la separación entre hilos y del tipo, tamaño y condición de los aisladores.

Líneas alimentadoras

Las líneas de hilo desnudo son especialmente adecuadas para la alimentación de la mayoría de las antenas equilibradas de banda ancha, como la antena en V. La construcción de alimentadores de hilo desnudo es relativamente fácil. Son necesarios dos conductores de acero revestido de cobre o hilo de cobre fuertemente tensado, lo suficientemente largos como para unir la conexión de alimentación de la antena con el balún, junto con espaciadores y aisladores. Los separadores deben ser de material aislante de alta calidad, como el poliestireno o el material fenólico, y con la longitud suficiente para mantener a los conductores del alimentador a una separación constante de 15 cm. Deben estar instalados a intervalos lo bastante cortos como para mantener la separación y evitar que la línea se retuerza y se produzcan cortocircuitos. Los intervalos entre separadores varían de 1 a 2 m. El balún debe conectarse a los aisladores inferiores tan cerca como lo permita la seguridad y atendiendo a consideraciones prácticas. Hay que manipular estas líneas con sumo cuidado. Una potencia de salida del transmisor de 1 000 W, produce una tensión en los hilos de aproximadamente 775 V.

4.6 Especificaciones de antena

Para tener una comunicación continua, una red de comunicaciones en la banda de ondas decamétricas debe poder funcionar en diversas frecuencias en la gama de 3 a 30 MHz. El tamaño de una antena transmisora es inversamente proporcional a la frecuencia de funcionamiento y puede tener entre 50-5 m de longitud. Se requiere una red de adaptación de antena (sistema de sintonización de antena) para hacer que ésta aparezca como una carga resistiva a la salida del transmisor. Se debe efectuar una sintonización de antena siempre que el transmisor cambie de frecuencia de funcionamiento. En los sistemas de comunicaciones en ondas decamétricas es habitual emplear la misma antena para transmisión y recepción, a pesar de que generalmente las potencias de radiofrecuencia en las antenas de recepción son varios órdenes de magnitud inferior a las de las antenas de transmisión. En consecuencia, los problemas de aislamiento de alta tensión que se deben tener en cuenta en las antenas transmisoras no existen en las receptoras. Normalmente, una antena de ondas decamétricas con un diagrama de radiación determinado puede ser más pequeña cuando se trate de aplicaciones de recepción, puesto que dichas aplicaciones pueden tolerar la menor eficacia (mayores pérdidas de potencia) inherente a las antenas de menor tamaño. Puede tolerarse una antena con más pérdidas porque el nivel de ruido ambiental exterior es, normalmente, mayor que el nivel de ruido térmico en un receptor; es decir, la pérdida de potencia en la antena receptora reduce tanto el nivel de la señal como el nivel de ruido atmosférico a la entrada de recepción, pero no cambia de una manera importante la relación S/N atmosférico y del receptor, siempre que la pérdida no sea excesiva. Como ejemplo de antena de pequeño tamaño y un solo elemento puede citarse un bucle sin enrollar cuyo diámetro es reducido en comparación con la longitud de onda. Se pueden utilizar agrupaciones de estos elementos con el fin de obtener la ganancia y directividad deseadas.

Para obtener una potencia radiada máxima, la antena transmisora debe presentar a su fuente de excitación una impedancia que se encuentre dentro de ciertos límites, por ejemplo, 50, 70, 300 y 600 Ω son valores típicos de la impedancia. Si la antena no está perfectamente adaptada a la impedancia de salida de potencia, se produce una reflexión hacia el transmisor de una parte de la señal de salida. La señal reflejada puede sufrir un cambio de fase y sumarse a la señal de salida del transmisor, lo que podría producir problemas al transmisor. La desadaptación de impedancias y la señal reflejada correspondiente procedente de la antena se especifica como la relación de onda estacionaria (ROE) admisible. El máximo valor de ROE para los transmisores comerciales es 3:1. Si la impedancia de la antena no está adaptada a la impedancia de salida del transmisor, la potencia de radiofrecuencia radiada efectiva disminuye un valor igual al de la potencia reflejada. La medición de la potencia emitida y reflejada por un sistema de antenas, mediante un vatímetro de radio-frecuencia, forma parte del mantenimiento periódico del sistema de radiocomunicaciones, necesario para garantizar el mayor rendimiento de los equipos de comunicaciones. El sistema debe presentar una impedancia de carga aceptable (ROE < 2:1) al transmisor de ondas decamétricas, para lograr una eficacia de transmisión razonable. También es conveniente concentrar la radiación de la antena hacia el acimut y el ángulo de elevación cuando puede producirse propagación ionosférica hacia otras estaciones de recepción.

Los factores principales a tener en cuenta, a la hora de seleccionar una antena para una aplicación concreta son los siguientes:

- gama de frecuencias;
- ganancia;
- directividad, ángulo de despegue, diagrama de radiación vertical y horizontal;
- potencia radiada total;
- tamaño y complejidad, requisitos de la zona de terreno;
- ancho del haz;
- ancho de banda de la antena, impedancia de entrada.

4.6.1 Antenas y equipo auxiliar

Las típicas antenas que se utilizan para las comunicaciones en la banda de ondas decamétricas son las rómbicas, las log periódicas y los dipolos de media onda. Los dos primeros tipos de antena se emplean en los servicios punto a punto en ondas decamétricas, mientras que el tercero, que se describe a continuación, se usa generalmente en zonas rurales debido a su bajo coste y facilidad de instalación y mantenimiento.

4.6.1.1 Antenas de dipolo de media onda

Son la base de las antenas resonantes y a partir de ellas se construyen otras formas más complejas de antenas. En su diseño se han de tener en cuenta, las siguientes consideraciones:

- Se puede calcular la longitud de la antena de media onda mediante la fórmula:

$$\text{Longitud} = k(150/f) \quad \text{m} \quad (1)$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

$150/f$: longitud de media onda en el vacío

k : factor de corrección que debe tenerse en cuenta para incluir el efecto de la relación longitud diámetro del conductor utilizado.

La ecuación (1) es suficientemente precisa para antenas de hilo en frecuencias de hasta 30 MHz.

- La resistencia de la antena de media onda es lo suficientemente pequeña, si se compara con la resistencia de radiación, como para despreciarla a efectos prácticos.
- Se considera en general que la resistencia de radiación de una antena de media onda es de 60 a 70 Ω . La impedancia de la antena depende también de la relación entre el diámetro del conductor y la longitud de onda.
- La radiación de una antena de dipolo no es uniforme en todas las direcciones, pues varía según el ángulo con respecto al eje del hilo.
- Normalmente estas antenas se utilizan para distancias cortas.

Generalmente, una antena de dipolo tiene el tamaño de media longitud de onda, presenta polarización horizontal, posee un ancho de banda estrecho y es fácil de instalar. Estas antenas tienen muy poca directividad en acimut para ángulos de radiación elevados, que son los necesarios en comunicaciones de corto alcance.

El ángulo de elevación de la radiación depende de la altura de la antena (en longitudes de onda) respecto al suelo. El ángulo óptimo es función de la altura efectiva de la ionosfera y de la distancia a la otra estación. En el Cuadro 2 se indican algunos valores recomendados de ángulos de despegue y alturas para la capa 1F2:

CUADRO 2

Distancia (km)	Ángulo de despegue (grados)	Altura respecto al suelo (en longitudes de onda)
200	60-75	0,28
400	45-65	0,33
800	30-45	0,42
1 200	20-35	0,55
1 600	15-25	0,72

Asimismo, no es posible instalar la antena a una altura óptima para todas las frecuencias. La antena de dipolo de banda ancha requiere una línea de alimentación para todas las frecuencias y no es necesario sintonizarla de nuevo cuando se cambia una frecuencia, aunque a fin de presentar una impedancia de carga aceptable al transmisor en toda la gama de frecuencias, la antena contiene elementos resistivos que reducen su eficacia. Estas antenas se utilizan para alcances cortos y medios con ángulos de radiación elevados.

4.6.2 Especificaciones de antena

Al tratarse de antenas para sistemas en las bandas de ondas decamétricas, las frecuencias a considerar se encuentran en la gama de 2 a 30 MHz. La ganancia es la relación entre la densidad de potencia radiada por la antena en una dirección determinada y la radiada por una antena de referencia (normalmente una fuente isótropa), ambas con la misma potencia de entrada. La directividad es la relación entre la máxima potencia radiada por una antena y la potencia media radiada. Un incremento de la ganancia implica una mayor directividad, puesto que la potencia total radiada es constante. Por lo tanto, un aumento de la potencia en una dirección determinada produce una disminución de la potencia en otras direcciones. Normalmente, la directividad se define en los diagramas angulares vertical (ángulo de despegue) y horizontal (anchura de haz acimutal). Los diversos tipos de antenas utilizadas normalmente en las radiocomunicaciones en ondas decamétricas

proporcionan diferentes combinaciones de las características esenciales, que permiten satisfacer los requisitos específicos de los radioenlaces.

En el Cuadro 3 se presentan las principales características de las antenas en ondas decamétricas. La directividad horizontal es importante puesto que la antena puede ubicarse o girarse hacia la dirección de interés.

CUADRO 3

Especificaciones de las antenas en las bandas de ondas decamétricas

Tipo de antena	Gama de frecuencias ⁽¹⁾ (MHz)	Anchura de banda ⁽²⁾	Ángulo de despegue (grados)	Ángulo de haz horizontal (grados)	Ganancia (dBi)	Superficie (hectáreas)	Alcance ⁽³⁾	Utilización ⁽⁴⁾
De dipolo	2-30	Estrecha	10-90	2-80	2	0,4	C-M	T-R
V invertida	2-30	Estrecha	40-90	OMNI	2	0,4	C	T-R
L invertida	2-30	Estrecha	20-90	80-180	3	0,4	C-M	T-R
De látigo en vehículo	2-30	Estrecha	20-50	OMNI	3	En vehículo	M	M
Vertical, de cuarto longitud de onda	2-30	Estrecha	5-40	OMNI	3-5	0,4	M-L	T-R
De bucle de cuadrete	5-30	Estrecha	10-90	80-120	3	0,4	M	T-R
De hilo largo	3-30	Ancha	10-30	10-30	4-10	1,2	M-L	P
Antena en V	3-30	Ancha	5-30	5-30	4-16	1,6	M-L	P
Yagi	7-30	Ancha	10-35	30-60	7-12	0,4	M-L	T-R
Rómbica media	3-30	Ancha	10-40	5-30	5-12	1,2	M-L	P
LPA vertical	4-30	Ancha	5-40	100	6-12	1,2-2	M-L	P
LPA horizontal	2-30	Ancha	10-45	40-75	8-16	0,4-2,4	M-L	P
LPA giratoria	4-30	Ancha	5-50	60-70	8-12	0,4	M-L	T-R-P

LPA: Antena Log periódica

⁽¹⁾ La gama de frecuencias es característica del tipo de antena (y no de una antena en particular).

⁽²⁾ Los ángulos de radiación se presentan a efectos de comparación. Los valores son promedios en la gama. Los valores reales dependen de la conductividad del suelo, la altura de la antena y la frecuencia de funcionamiento.

⁽³⁾ C-Corto, 0-400 km; M-Medio 400-4 000 km; L-Largo, más de 4 000 km.

⁽⁴⁾ T-Tierra-aire; M-Móvil; R-Estación de red, fija; P-Punto a punto.

4.6.2.1 Gama de frecuencias de funcionamiento

La anchura de banda requerida de la antena depende de la gama de frecuencias de funcionamiento. Esta gama se determina basándose en un programa informático de análisis de la propagación que permite encontrar las frecuencias óptimas de tráfico para el trayecto en cuestión. Se utiliza entonces una frecuencia asignada cercana o inferior a la frecuencia óptima de tráfico.

4.6.2.2 Anchura de banda

Banda a partir de la cual se puede utilizar el sistema de comunicaciones sin necesidad de modificar la antena o su sintonización. Las antenas pueden ser de banda estrecha (por ejemplo, las antenas de dipolo o las Yagi) o de banda ancha (log periódicas o verticales semirrómicas).

4.6.2.3 Gama horizontal

La gama horizontal de ángulos de radiación (anchura del haz) que se requiere para una antena depende de la zona que deba cubrirse. El funcionamiento multipunto o en red puede hacer necesario un diagrama de radiación amplio u omnidireccional, mientras que los circuitos punto a punto pueden utilizar haces más restringidos, mayor ganancia y antenas directivas.

4.6.2.4 Selección de antena

El tamaño necesario del emplazamiento en el que se va a instalar una antena es un factor fundamental en la selección de antenas para sistemas en ondas decamétricas. Un emplazamiento de antena debe ser plano y despejado, sin árboles, edificios, cercas, líneas eléctricas u obstrucciones naturales del terreno. Se requieren superficies muy amplias para instalar las grandes redes de antenas en ondas decamétricas. Puede ocurrir que se deba escoger antenas de menor tamaño y con menor ganancia debido a las limitaciones de espacio disponible.

El proceso de selección de antena puede constar de los siguientes pasos:

Paso 1: Determinar la gama de frecuencias de funcionamiento y escoger el ancho de banda necesario. Si se necesita una antena de banda ancha pero no se dispone de ella, se pueden seleccionar dos o más antenas de banda estrecha construidas con el complemento de frecuencias disponibles.

Paso 2: Calcular el ángulo de despegue requerido para la distancia del trayecto en cuestión.

Paso 3: Determinar la zona de cobertura necesaria: cobertura omnidireccional, bidireccional, o punto a punto.

Paso 4: Establecer qué antena tiene las propiedades deseadas y produce la máxima ganancia en la dirección escogida. Verificar si puede instalarse en el espacio disponible. Si debe construirse la antena in situ, comprobar si se dispone de los materiales necesarios. Si no se cuenta con el espacio y los materiales necesarios, debe seleccionarse una antena de menores prestaciones.

4.7 Requisitos de calidad de funcionamiento de los equipos

4.7.1 Subsistema de transmisión

Transmisores típicos en ondas decamétricas

Existen transmisores para las bandas de ondas decamétricas de diversos tamaños y potencias. Se han escogido dos gamas de potencias, potencia baja (inferior a 1 000 W) y potencia media (1 000 a 10 000 W), como representativas de los equipos disponibles. La potencia de transmisión está estrechamente relacionada con los factores a tener en cuenta cuando se efectúen previsiones de propagación. Normalmente, los transmisores de potencia media poseen las mismas características eléctricas generales que los transmisores menores. Se diferencian de éstos, especialmente, por su tamaño, peso y requisitos de potencia de entrada.

Características típicas de los transmisores de baja potencia en ondas decamétricas:

Gama de frecuencias: 1,6-30 MHz

Potencia de salida: 400 W

Modos de funcionamiento: Onda continua, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF

Impedancia de salida:	50 Ω , no equilibrada
Control de frecuencia:	Generador de frecuencia sintetizada con control integral o a distancia, disponibilidad de frecuencia prefijada, sintonización automática con anulación manual
Refrigeración:	Aire a presión, filtrado
Condiciones de refrigeración:	0° a 50° C, 90% de humedad relativa
Potencia de entrada:	115/230 V de corriente alterna, 50/60 Hz monofásica, 1 200 W.

Instalación:

Los transmisores que funcionan en esta gama de potencias se pueden instalar en bastidores normalizados para equipos. Un transmisor completo, como el que se acaba de describir, se puede instalar en un espacio de aproximadamente 0,3 m y pesará alrededor de 160 kg. Dos de estos transmisores se pueden ubicar fácilmente en un bastidor de equipos normalizado de 183 cm de altura, dejando espacio suficiente entre las unidades para la refrigeración.

Funcionamiento:

Los transmisores de baja potencia típicos se pueden utilizar en estaciones fijas o en estaciones portátiles. La frecuencia se fija mediante un excitador sintetizado que puede extraerse de su ubicación normal en el bastidor del transmisor y situarse en cualquier parte de la estación. También tiene la capacidad de presintonía de un cierto número de canales.

4.7.2 Subsistema de recepción

Los receptores en ondas decamétricas con cobertura general se pueden clasificar en dos categorías principales. Los receptores de frecuencia fija tienen discos o interruptores para fijar la frecuencia y se les utiliza cuando sea necesario el funcionamiento con una misma frecuencia durante horas o días. Los receptores variables o sintonizables se utilizan cuando es preciso cambiar rápidamente de frecuencia, y son más adecuados para operaciones de búsqueda de señal. Puede existir un mecanismo de fijación de frecuencia a fin de evitar cambios accidentales de ésta. Existen también algunos receptores que, como parte de su característica de cobertura general, incluyen tanto el espectro de ondas decamétricas como el de ondas métricas. Normalmente, un receptor genérico de alta calidad tiene las siguientes características:

Receptor de un solo canal o multicanal

Gama de frecuencias:	1,6-30 MHz
Estabilidad de frecuencia:	1 parte en 10 ⁶
Modos de funcionamiento:	Onda continua, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF
Sensibilidad:	0,5 μ V para 10 dB (S+N)/N
Anchura de banda:	Seleccionable entre 2,1; 3 y 6 kHz
Impedancia de entrada:	50 Ω no equilibrada
Gama de temperaturas:	-30° C a +50° C, 95% de humedad relativa
Potencia de entrada:	115/230 V de corriente alterna, 50/60 Hz, monofásica, 125 W
Tamaño:	13 cm de altura, 48 cm de anchura, 48 cm de profundidad
Peso:	45 kg.

4.7.3 Transceptores en la banda de ondas decamétricas

Transceptores típicos en ondas decamétricas

Hay muchos tipos de transceptores disponibles en el mercado que, en general, tienen potencias de salida comprendidas entre 100 y 200 W y son ideales para pequeñas instalaciones de comunicaciones. Un transceptor típico tendrá todos sus componentes de estado sólido, incluido el amplificador final. En él se puede cambiar la frecuencia rápidamente y no se requiere corrección o sintonización. Además presenta una excelente estabilidad que hace prácticamente innecesarios los ajustes entre cambios de frecuencias. Los transceptores son ligeros y compactos, y necesitan solamente un micrófono o interruptor conectado a la entrada y una antena adecuada conectada a la salida. Las características principales de un transceptor de ondas decamétricas son las siguientes:

Gama de frecuencias:	1,6-30 MHz
Fijación de la frecuencia:	Conmutador de década o sintonización continua mediante marcador con bloqueo de frecuencia
Modos de funcionamiento:	Onda continua, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF
Salida de potencia:	150 W de potencia en la cresta de la envolvente o 100 W de potencia media
Impedancia de salida:	50 Ω , no equilibrada
Anchos de banda:	2,7-3,0 kHz para BLU, 375 Hz para onda continua
Sensibilidad del receptor:	0,5 μ V por 10 dB $(S + N)/N$
Gama de temperaturas:	-30° C a +50° C, 95% de humedad relativa
Potencia de entrada:	115/230 V de corriente alterna, 50/60 Hz, monofásica, 400 W
Tamaño:	18 cm de altura, 43 cm de anchura, 43 cm de profundidad
Peso:	50 kg.

4.7.3.1 Componentes auxiliares para dispositivos que funcionan en ondas decamétricas

Componentes auxiliares para dispositivos que funcionan en ondas decamétricas

Un transmisor o un receptor requiere normalmente de algunos componentes periféricos para formar un sistema operativo completo. A continuación se enumeran algunos de ellos:

Filtros paso bajo: Con frecuencia se utilizan filtros paso bajo a la salida de los transmisores en ondas decamétricas. Como el espectro de frecuencias superiores a 30 MHz es utilizado por muchos servicios de baja potencia que pueden sufrir interferencia procedente de los armónicos de los transmisores de alta potencia, se deben tomar las medidas necesarias para suprimir en la mayor medida posible estas emisiones no esenciales. Existen filtros paso bajo con atenuaciones de hasta 60 dB para frecuencias superiores a 32 MHz y para potencias de transmisor de hasta 40 000 W. Se incluyen los filtros adecuados como parte integrante de los transmisores de alta potencia.

Preselectores: Sirven para minimizar la sobrecarga en el receptor causada por transmisores cercanos y la interferencia procedente de canales de radiofrecuencia adyacentes. Ha de utilizarse un preselector cuando el receptor va a funcionar en un entorno de radiofrecuencia con niveles elevados de señales no deseadas que pueden provocar intermodulación y problemas de sobrecarga en la entrada. Hay preselectores que protegen al receptor de señales de hasta 200 V en frecuencias que se apartan un 10% o más de la deseada.

5 Estudios de emplazamientos

El principal objetivo técnico de un buen emplazamiento de radiocomunicaciones en las bandas de ondas decamétricas es obtener la máxima relación S/N en el receptor y la máxima potencia radiada aparente del transmisor en la dirección deseada. La topografía del lugar afecta la señal radiada por el transmisor y la llegada de señal a receptor. La presencia de ruido natural y artificial disminuye la posibilidad de obtener una buena relación S/N en los receptores. Si las constantes del suelo son adecuadas se puede mejorar el funcionamiento tanto de la antena transmisora como de la receptora. Con frecuencia, es necesario sopesar la rentabilidad, la disponibilidad y la conveniencia de éstos y de otros factores que intervienen en la selección de los emplazamientos de sistemas de ondas decamétricas. En este punto se identifican aspectos a tener en cuenta, relacionados con la topografía, y que tienen que ver con las características del terreno y los requisitos de superficie. Se definen niveles de ruido de radiofrecuencia artificial para zonas diferentes. Se indican las mínimas distancias de separación entre el emplazamiento y las fuentes de ruido. Se discuten las constantes del terreno relacionadas con la resistividad y la conductividad. Se evalúan los requisitos generales de disponibilidad, idoneidad, accesibilidad y seguridad del emplazamiento así como sus repercusiones en el presupuesto y la viabilidad.

5.1 Topografía

El emplazamiento ideal de un sistema de radiocomunicaciones en las bandas de ondas decamétricas es aquel que presenta una amplia extensión de terreno llano, sin árboles y alejado de obstáculos naturales y artificiales. Como se ha dicho, el terreno debe ser llano para facilitar la reflexión uniforme en el suelo de la radiación de antena. Los obstáculos pueden interrumpir partes del trayecto de la señal radiada en los emplazamientos de transmisión y recepción.

Características del terreno del emplazamiento

La naturaleza del terreno frente a la antena tiene una influencia importante en el diagrama de radiación vertical de la misma. Un buen emplazamiento de antena tendrá una zona de reflexión lisa y sin obstáculos que puedan bloquear el trayecto de radiación.

- *Zona de reflexión:* Es la superficie que se encuentra directamente frente a la antena y que es necesaria para que se refleje la componente de reflexión en el suelo de la señal ionosférica. La superficie de esta zona no debe tener cambios abruptos en elevación mayores del 10% de la altura de la antena ni una pendiente superior al 10% en ninguna dirección. La altura de las irregularidades del terreno en la zona debe limitarse a 0,1 veces la longitud de onda de la mayor frecuencia de funcionamiento. Siempre que sea posible, se deben cortar todos los árboles y maleza en la zona de reflexión de los emplazamientos fijos. A fin de controlar la erosión, es recomendable mantener una fina capa de hierba u hojas.
- *Obstáculos:* En el sentido de propagación no debe aparecer ninguna obstrucción importante (por ejemplo, promontorios, estructuras artificiales, y árboles) que subtienda un ángulo vertical superior al semiángulo que forman la horizontal y el punto inferior de 3 dB del ángulo de despegue requerido. Se deben elaborar manualmente perfiles de acimut-elevación en aquellos emplazamientos de sistemas de ondas decamétricas donde puedan encontrarse obstrucciones. Los registros de los perfiles de elevación también son útiles para futuras planificaciones en caso de ampliación del sistema. Dichos perfiles pueden trazarse utilizando un teodolito y un compás con lecturas de acimut corregidas para tener en cuenta la variación magnética local. Normalmente, será suficiente elaborar el gráfico con incrementos de acimut de 10°.

Requisitos de la superficie del terreno

La superficie necesaria para un emplazamiento de un sistema de ondas decamétricas depende del tamaño de las antenas, de su número, de la distancia entre ellas, y de la distancia libre de obstáculos necesaria para la reflexión de tierra y para evitar acoplamiento mutuo. Además de tener en cuenta los planes iniciales, se debe destinar espacio para futuras expansiones del campo de antenas no especificadas. La extensión puede variar desde unas pocas hectáreas, en el caso de emplazamientos pequeños, hasta 25 hectáreas (en inglés: 60 acres), para emplazamientos de tamaño medio.

5.2 Selección del emplazamiento de una estación transmisora de radiocomunicaciones

Dos factores técnicos fundamentales pueden influir en la selección del emplazamiento de una estación transmisora de radiocomunicaciones:

- la disponibilidad de un terreno extenso y llano para la instalación de la antena, libre de obstáculos naturales y artificiales en sus alrededores;
- la posibilidad de utilizar fácilmente las redes principales existentes para el suministro de energía del transmisor.

5.3 Selección del emplazamiento de una estación receptora de radiocomunicaciones

Se puede obtener una recepción de buena calidad y fácil de utilizar con un emplazamiento que tenga:

- una gran superficie, posiblemente cuadrada, para permitir la instalación óptima de antenas directivas a distancias adecuadas (200-300 m en caso de recepción por diversidad) y para obtener un mínimo haz que garantice la protección contra obstáculos mecánicos e interferencias eléctricas próximas.
- un terreno nivelado, de forma que se pueda instalar una red de antenas cuyo comportamiento eléctrico sea regular;
- una vista despejada y sin obstáculos del horizonte alrededor de la antena, para ángulos de elevación menores de 40°;
- ruido artificial despreciable con respecto al ruido atmosférico;
- ausencia de edificios, líneas de alta tensión u otras fuentes de interferencia radioeléctrica en las proximidades;
- posibilidad de utilizar fácilmente las redes principales existentes para el suministro de energía eléctrica.

5.3.1 Ruido ambiental de radiofrecuencia en el emplazamiento de la estación receptora

Para lograr una recepción fiable de las señales débiles procedentes de estaciones distantes, las antenas de recepción deben ubicarse en zonas silenciosas desde el punto de vista electromagnético relativamente libres de ruido artificial. Existen tres fuentes principales de ruido de radiofrecuencia en las bandas de ondas decamétricas, a saber: galáctico, atmosférico y artificial. Este último es el principal motivo de preocupación puesto que es el único sobre el que puede ejercerse algún tipo de control. En la mayoría de los emplazamientos, el ruido procedente de las líneas de energía eléctrica es el que predomina en la parte inferior de la banda de ondas decamétricas. En la parte superior de dicha banda, el ruido originado por el encendido de motores de los vehículos tiende a ser más importante que el ruido provocado por las citadas líneas de energía eléctrica. Cualquier fuente cercana y suficientemente fuerte, puede constituir la componente dominante en el ruido ambiental.

Separación del emplazamiento

Los transmisores de radiocomunicaciones ubicados a pocos kilómetros de una estación receptora pueden causar una elevada interferencia debido a los armónicos o al funcionamiento cocanal. Además, se pueden generar productos de intermodulación en los receptores provocados por los campos electromagnéticos intensos procedentes de transmisores cercanos, aún cuando funcionen con frecuencias ampliamente separadas. Se deben aislar entre sí los emplazamientos de recepción y transmisión, así como de otras instalaciones de radiocomunicaciones y de autopistas de tráfico intenso, ciudades y zonas industriales. Algunas veces se hace una excepción en el caso de emplazamientos de pequeño tamaño, cuyas antenas pueden estar tan próximas entre sí como 300 m. Los transmisores con potencias de transmisión inferiores a 1 kW pueden ubicarse en el mismo sitio que los receptores, siempre y cuando se preste la debida atención a la selección de frecuencias. En estos emplazamientos, tal vez se necesiten filtros de radiofrecuencia.

5.3.2 Constantes del suelo

En la selección del emplazamiento de un sistema en ondas decamétricas, se deben tener en cuenta la resistividad y la conductividad del suelo, así como la constante dieléctrica relativa. La resistibilidad del suelo influye en la calidad del sistema de conexión a tierra. Una buena conductividad del terreno incrementa el alcance de la propagación por ondas de superficie, y disminuye el ángulo de despegue de las señales ionosféricas, aumentando así su alcance. Es difícil medir con precisión la conductividad del suelo. No obstante, puede estimarse su valor teniendo en cuenta la naturaleza del terreno.

5.3.3 Requisitos generales del emplazamiento

Además de los aspectos técnicos, se deben tener en cuenta otras características importantes de carácter general cuando se seleccionan los emplazamientos de sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas, a saber:

Disponibilidad

Los terrenos suficientemente llanos como para poder albergar un emplazamiento de radiocomunicaciones en ondas decamétricas son, en general, edificables o agrícolas. La adquisición de la superficie necesaria, aun para emplazamientos pequeños, puede ser muy costosa. De hecho, éste puede ser el principal capítulo de gastos en el proyecto. Por lo tanto, el responsable de seleccionar el emplazamiento debe tener en cuenta la posibilidad de utilizar instalaciones existentes. El emplazamiento menos costoso de una instalación en ondas decamétricas es aquel que consiste en utilizar y ampliar uno ya existente.

Idoneidad

La idoneidad general de un posible emplazamiento depende del número de construcciones requeridas para establecer el emplazamiento, su realización y el mantenimiento de las instalaciones. Un factor importante en la selección del emplazamiento es la existencia y la capacidad de empresas de servicio cercanas, como por ejemplo de energía eléctrica, agua, gas y alcantarillado. Se debe recopilar y estudiar la información relacionada con las condiciones geológicas, tal como los datos sobre las características del suelo y el drenaje, sobre los vientos y el clima (incluidas las condiciones de heladas) y sobre la actividad sísmica. El ingeniero encargado de soporte de las instalaciones debe suministrar los datos sobre el suelo y el drenaje. La información sobre los vientos y el clima la proporcionan las estaciones de meteorología de la zona, mientras que la actividad sísmica suele estar registrada en el departamento de geofísica de las universidades o en algún instituto de geología cercano.

Accesibilidad

Es necesario que existan carreteras y autopistas adyacentes que conduzcan hacia el emplazamiento del sistema de comunicaciones en ondas decamétricas. Aspectos tales como las pendientes, tramos estrechos, curvas, amplitud lateral y frontal, tipo de superficie, desvíos, y limitaciones de carga en puentes y en conductos subterráneos deben ser tales que permitan el transporte de equipos durante la instalación, así como durante el funcionamiento y mantenimiento. Se debe consultar al ingeniero responsable de la instalación sobre las condiciones de las carreteras existentes o la posibilidad de construcción de nuevas vías.

Seguridad

Al seleccionar el emplazamiento se ha de considerar la construcción de cercas, la iluminación, los sistemas de guardia y alarma y la proximidad a otras instalaciones.

5.3.4 Procedimientos de reconocimiento del emplazamiento

Los reconocimientos se efectúan para determinar la idoneidad técnica y general del terreno destinado a ubicar las instalaciones de transmisión o recepción de un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas. Todo procedimiento de reconocimiento de terreno se basará en requisitos acerca del número y tamaño de los transmisores, número de receptores y necesidades de terreno y topográficas para las antenas. El proceso de selección del emplazamiento de un sistema de radiocomunicaciones de transmisión o recepción consta de tres pasos, a saber:

Paso 1: Estudiar los mapas, de las propiedades, logísticos y de planificación a largo plazo a fin de seleccionar varias zonas posibles.

Paso 2: Enviar equipos que efectúen reconocimientos preliminares de los emplazamientos y recojan información general sobre ellos, a partir de la cual se reduce la lista a unos pocos.

Paso 3: Los equipos de reconocimiento visitan los lugares escogidos, recogen información que será analizada para decidir si son adecuadas y a partir de esta información se escoge el emplazamiento definitivo para las instalaciones.

En el Manual del UIT-R sobre Comprobación técnica del espectro se puede encontrar más información al respecto.

5.3.5 Planes de construcción

No existe una configuración normalizada para esquemas de emplazamientos de sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas. Esto se debe a la gran variedad de estaciones de radiocomunicaciones en esta banda. En este punto se indican algunos factores y consideraciones a tener en cuenta para el diseño y construcción de dichos emplazamientos. Normalmente, en el diseño de sistemas fijos pequeños y medios en las bandas de ondas decamétricas, la selección de edificios, terreno y planta física relacionada se circunscribe a la modificación de las instalaciones existentes y, por lo tanto, constituye una tarea de adaptación del nuevo sistema a las facilidades disponibles. Las especificaciones para la construcción del campo de antenas dependen de la superficie disponible para proporcionar zonas de reflexión y del área libre de obstáculos requerida para evitar acoplamiento mutuo entre las antenas. Se debe también considerar la separación entre antenas, para la recepción por diversidad, y las interconexiones entre éstas y los equipos. En este punto se presentan conceptos característicos del emplazamiento que pueden servir como punto de partida al diseñador del mismo. Para desarrollar ordenadamente un sistema de comunicaciones en ondas decamétricas transportables la clave consiste en establecer con la mayor antelación posible su secuencia de instalación.

5.3.6 Disposición de las antenas en ondas decamétricas

Uno de los factores más importantes para el funcionamiento correcto de los sistemas de radiocomunicaciones en las bandas de ondas decamétricas es la ubicación correcta de las antenas a fin de aprovechar al máximo sus características. La disposición de las antenas requiere un equilibrio práctico entre la selección de un buen sitio, aprovechando las ventajas de las características naturales del terreno, alejándose de las fuentes de ruido y teniendo en cuenta los requisitos de soporte logístico y accesibilidad. Para ello es necesario establecer los requisitos relativos a la superficie de la zona de reflexión, las distancias de separación mutua y la distribución física de las instalaciones correspondientes.

Superficies de las zonas de reflexión

La zona de reflexión es la superficie necesaria frente a una antena para la formación de los lóbulos de reflexión en el suelo. El lóbulo principal de una antena de transmisión o recepción en ondas decamétricas se forma por la interacción de la radiación directa y la reflexión en el plano del suelo. La zona de reflexión ideal debe tener las siguientes características:

- terreno perfectamente llano y sin obstáculos o agua;
- tamaño suficiente para cumplir con los requisitos de frecuencia de funcionamiento y ángulo de despegue; y
- forma elíptica con el eje principal en la dirección del diagrama de radiación de la antena.

Acoplamiento mutuo

Es el efecto de una antena en otra cuando ambas se encuentran ubicadas en la misma zona general. Ocurre cuando:

- el diagrama de radiación de una antena pasa a través de la otra;
- las antenas interactúan debido a su proximidad; o
- una antena se acopla a un objeto o estructura metálico.

El acoplamiento mutuo puede alterar el diagrama de radiación de la antena, provocar grandes pérdidas por reflexión, cambiar la frecuencia resonante o producir interferencia en otros sistemas. Dicho acoplamiento mutuo se le calcula en función de la distancia de separación, la frecuencia de funcionamiento y la ganancia de antena.

Otros aspectos relacionados con el emplazamiento de la antena

Además de la separación necesaria para evitar el acoplamiento mutuo, las antenas con diversidad espacial deben distanciarse lo suficiente a fin de que funcionen correctamente. Las antenas receptoras que funcionan con diversidad espacial deben estar separadas entre sí al menos 300 m y, siempre que sea posible, por una distancia equivalente a cinco longitudes de onda de su frecuencia de funcionamiento más baja. Se debe tener en cuenta tanto la separación lateral como frontal de las antenas con diversidad espacial. También hay que considerar lo siguiente:

- requisitos para una antena de repuesto;
- espacio para ampliaciones futuras;
- tendidos cortos y directos de las líneas de transmisión;
- disposición ordenada de las líneas de transmisión;
- entrada al edificio;
- ubicación del equipo en el edificio;
- separación entre las líneas de transmisión;
- despeje de las vías de servicio y supresión de las obstrucciones frente a las antenas.

5.3.7 Diseño característico de un emplazamiento fijo

El tamaño y distribución de la instalación de un sistema de radiocomunicaciones en las bandas de ondas decamétricas dependen del tráfico de telecomunicaciones que deberá cursar. Normalmente, las antenas sencillas en ondas decamétricas requieren menos de media hectárea de superficie, mientras que una gran antena fija en ondas decamétricas de gran tamaño puede necesitar hasta 6 hectáreas (en inglés: 15 acres). Una pequeña instalación de transmisión puede estar formada, por ejemplo, por un transmisor único que utiliza una antena giratoria log periódica o una antena Yagi para la transmisión en los diversos acimuts. Un emplazamiento de receptor similar, situado a una cierta distancia a efectos de aislamiento, puede también incluir dispositivos de control remoto para el transmisor. Una instalación de circuito único puede contener un transmisor y un receptor en el mismo sitio y utilizar la misma antena en modo símplex. Una instalación de tamaño medio puede estar formada por un conjunto de sistemas de antena fija utilizados por el mismo número de transmisores y receptores distanciados hasta 16 km.

Se pueden instalar generadores de potencia de 100 kW de salida o menos en el propio complejo de edificios del sistema, pero lo ideal es hacerlo en edificios separados cerca de aquél. El edificio que aloje el sistema de alimentación debe ser de construcción metálica y disponer de medios de almacenamiento del combustible. Dicho almacenamiento puede realizarse en depósitos elevados situados cerca del edificio, pero lo ideal es que se encuentren enterrados y ubicados en una zanja distante al menos 10 m del edificio.

5.3.8 Planes de prueba y evaluación del sistema

Una parte fundamental de toda instalación es la prueba del sistema y la evaluación de la instalación en un entorno de funcionamiento. A medida que progresa el análisis del sistema y la fase de diseño, se debe pensar en cómo probarlo y evaluarlo tras su instalación. El ingeniero responsable debe formular un plan de prueba y evaluación del sistema que pueda aplicarse tan pronto como se inicie la instalación y dé comienzo el funcionamiento. Cuando se trate de redes, el administrador de la red debe implicarse en el proceso y el plan de diseño de la red debe considerarse como parte integrante de la prueba final del sistema. Un plan de prueba del sistema debe incluir lo siguiente:

- calidad de funcionamiento del sistema;
- calidad de funcionamiento de la red;
- caudal de datos y mensajes;
- consideraciones de potencia;
- seguridad física y de red.

6 Prueba del sistema

La tercera fase de la instalación de un sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas es la realización del plan de prueba y evaluación del sistema. Las áreas que deben examinarse incluyen:

Calidad de funcionamiento del sistema:

- hacer funcionar todos los equipos, incluido el ajuste de la potencia de transmisor, la lectura de los instrumentos de medición, la rotación de las antenas, etc.;
- equipos que funcionan adecuadamente;
- transmisores y receptores que funcionan dentro de las especificaciones;
- funcionamiento de la antena;
- ¿se llega a todas las estaciones deseadas?;

- ¿se obtienen los diagramas de radiación esperados?;
- ¿es el ruido ambiental esperado?;

Calidad de funcionamiento de la red:

- conectividades de red adecuadas;
- congestión razonable;
- capacidades de red adecuadas;
- número razonable de fallos de sistema;
- instalación del soporte lógico adecuada;
- ¿se rellenan los cuadros de encaminamiento de red adecuadamente?;
- funcionamiento adecuado de los aleatorizadores de protección de los enlaces.

Flujo de datos y mensajes:

- establecimiento correcto de los enlaces con todas las estaciones;
- gestión adecuada de la prioridad de mensajes;
- caudal de mensajes y de datos adecuado.

Consideraciones relativas a la potencia:

- suministro adecuado de energía eléctrica para todas las operaciones, incluidas las condiciones de emergencia;
- suministro de potencia con poco ruido y fluctuaciones.

Examen del plan de seguridad del emplazamiento:

- seguridad física adecuada;
- no se han dejado condiciones peligrosas tras la construcción y puesta en servicio;
- funciona la seguridad de la red.

7 Conclusiones

El diseño de sistemas de radiocomunicación en ondas decamétricas no es un proceso difícil si se efectúa la planificación previa adecuada y si el ingeniero responsable del proyecto conoce exactamente lo que debe hacerse. A continuación se resumen los pasos principales:

7.1 En un estudio previo de viabilidad y diseño del sistema se debe especificar con detalle la definición y el análisis de los requisitos. Este plan describe los requisitos en cuanto a frecuencias, plantilla, soporte, aspectos locales, tipo de comunicación, fiabilidad, propiedades, efecto ambiental, fechas clave, etc. Se debe incluir también un presupuesto detallado de todos los aspectos conocidos en el diseño. En el Cuadro 4 se enumeran los pasos de diseño del sistema.

CUADRO 4

Procedimientos del diseño del sistema paso a paso

Paso N.º	Tarea a realizar
1	Elaborar un diagrama de bloques del sistema
2	Seleccionar provisionalmente los emplazamientos para los equipos en ondas decamétricas
3	Determinar la ubicación definitiva del emplazamiento a partir de datos obtenidos del reconocimiento de campo
4	Fijar la ganancia total requerida del sistema
5	Elaborar un diagrama de bloques detallado para cada instalación
6	Hacer una prospección de todas las posibles fuentes de obtención de los equipos; inventario de equipos militares y equipos comerciales
7	Redactar las especificaciones para los equipos que no se encuentran en el inventario
8	Diseñar los esquemas de aplicación de los subsistemas de equipos para cada instalación
9	Finalizar el paquete de instalación (especificaciones y diagramas)
10	Preparar los procedimientos de prueba de aceptación para cada uno de los equipos y subsistemas y para el sistema en su totalidad

7.2 A continuación se efectúa un análisis y diseño del sistema, con el fin de identificar los detalles de la topología de red, los parámetros de funcionamiento, las previsiones de propagación, la selección de equipos, los aspectos de funcionamiento, los estudios de emplazamiento y los planes de construcción. Asimismo, en la etapa de diseño se debe redactar un plan de prueba y evaluación del sistema.

7.3 La tercera fase consiste en la prueba y evaluación del sistema, donde se verifican los detalles del mismo para lograr funcionamiento adecuado.

El analista responsable del sistema y el gestor de la red deben cooperar estrechamente para garantizar que todos los detalles de diseño del sistema y la red se coordinan y completan adecuadamente.

Realizando una gestión adecuada, el sistema de radiocomunicaciones en ondas decamétricas puede ser un instrumento de gran valor para satisfacer las necesidades de comunicación de un usuario normal. La propagación en ondas decamétricas posee muchas propiedades interesantes y unas pocas debilidades, que pueden evitarse mediante una planificación adecuada.