

INFORME UIT-R F.2061

Sistemas de radiocomunicaciones fijas en ondas decamétricas

(2006)

1 Introducción

Cabe dividir las emisiones de los sistemas en ondas decamétricas en adaptables y no adaptables. Los sistemas no adaptables están supeditados a que el operador cuente con el nivel de capacitación y las aptitudes profesionales suficientes para evaluar las variables de propagación y la interferencia, y que de este modo pueda encontrar un canal no ocupado fiable. Los sistemas adaptables automatizan este proceso. Aunque dichos sistemas brindan muchas ventajas, entre otras, una menor exigencia de formación del operador, en el futuro previsible se seguirá recurriendo a los sistemas no adaptables. Hay que señalar que puede producirse interferencia entre ambos tipos de sistema. Es preciso tener en cuenta que las características de emisión de los sistemas adaptables y no adaptables requieren distintos conjuntos de datos sobre tales características, si la idea es hacer un análisis exacto de la compatibilidad electromagnética en un entorno dado.

Las comunicaciones modernas en la banda de ondas decamétricas constan de atributos específicos que las convierten en una solución viable para responder a un gran número de necesidades de respuesta en situaciones de emergencia. Los sistemas y redes que funcionan en ondas decamétricas representan un medio muy versátil de comunicaciones en favor del gran número de usuarios que participan en los esfuerzos de protección pública y humanitarios. Dichos sistemas permiten, por otra parte, llevar equipo barato y fiable a zonas remotas escasamente pobladas.

Cuando por causa de catástrofes naturales (por ejemplo terremotos) y otras situaciones de emergencia, no es posible explotar normalmente las telecomunicaciones, cabe la posibilidad de establecer sistemas en ondas hectométricas/decamétricas durante muy breves periodos para proporcionar los enlaces de emergencia que se requieran en la primera fase de la alarma o durante la coordinación de las operaciones de socorro.

2 Sistemas no adaptables**2.1 Introducción**

En un procedimiento operacional manual no adaptable el operador debe ajustar los parámetros del sistema para obtener la máxima calidad de funcionamiento, supervisando para ello las condiciones ionosféricas, y las condiciones de propagación variable, así como seleccionando las condiciones de funcionamiento (esto es, ante todo la frecuencia), que permitirán que la señal se propague de la mejor forma posible.

El entorno de propagación se caracteriza por ser muy variable e impredecible. La propagación en esta banda se realiza básicamente por ondas ionosféricas, mediante refracción de las ondas radioeléctricas desde la ionosfera o, en ciertos casos, por ondas de superficie.

2.2 Propagación

La ionosfera y la propagación de las ondas radioeléctricas a través de la misma se describen en el Manual del UIT-R titulado «La ionosfera y sus efectos en la propagación de las ondas radioeléctricas», y en las correspondientes Recomendaciones UIT-R de la Serie P (UIT-R P.368, UIT-R P.369, UIT-R P.371, UIT-R P.434, UIT-R P.531, UIT-R P.532, UIT-R P.533, UIT-R P.534, UIT-R P.535). En los Manuales del UIT-R, titulados «Manual de diseño de sistemas de

radiodifusión en ondas decamétricas» y «Sistemas y redes de comunicación adaptativos en frecuencia en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas», se da más información sobre el particular.

En resumidas cuentas, la ionosfera ocupa la parte superior de la atmósfera terrestre a alturas por encima de 80 km aproximadamente y resulta de la radiación solar ionizante. La altura y densidad de la ionización depende de la radiación recibida, de los componentes atmosféricos y de su variación con la altura, etc., del campo magnético terrestre y de la circulación de la atmósfera superior. La radiación solar recibida suele depender del ciclo de actividad solar cuya variabilidad tiene un periodo de 11 años aproximadamente, como puede observarse, por ejemplo, por el número de manchas sobre la superficie solar.

La radiación recibida ioniza una parte de los gases de la atmósfera superior y los electrones libres resultantes forman la ionosfera que tiene la propiedad de refractar y reflejar las ondas radioeléctricas. En las partes inferiores de la ionosfera los electrones libres tienen una vida limitada antes de su recombinación y la densidad de ionización varía aproximadamente con el ángulo de elevación del Sol. Estas partes inferiores de la ionosfera se denominan regiones, o capas, D y E. En la parte superior de la ionosfera, en la región F, los electrones tienen una vida más larga y la densidad de ionización queda afectada intensamente por los vientos y por la presencia del campo magnético terrestre.

La máxima frecuencia que una capa ionosférica puede reflejar verticalmente depende de la densidad de ionización y se denomina frecuencia crítica. La densidad de ionización, y por lo tanto la frecuencia crítica, dependen de la ubicación geográfica y está sujeta a una variación horaria, diaria y estacional provocada por los cambios de la radiación solar, el entorno solar-terrestre, los vientos de la atmósfera superior y el campo magnético terrestre. Las partes inferiores de la ionosfera también atenúan las señales radioeléctricas y la interacción con el campo magnético terrestre provoca alteraciones en la polarización de la señal.

La propagación terrenal puede considerarse como una reflexión de incidencia oblicua de las capas ionosféricas y los modos de propagación adicionales pueden tener varias reflexiones en la ionosfera y en la superficie terrestre. La frecuencia máxima de propagación en cada modo depende de la frecuencia crítica y del ángulo de elevación en la capa reflectante. Por ello, la señal se suele recibir de diversos modos, con intensidades, instantes de llegada y polarizaciones distintas y variables.

Estas variaciones a largo plazo de las condiciones de propagación de carácter horario, diario, estacional y con el ciclo solar son estadísticamente predecibles. Se pueden utilizar los métodos de predicción de la Recomendación UIT-R P.533 u otros cualesquiera de los muchos existentes.

Estos métodos de predicción a largo plazo no permiten calcular con exactitud la mejor frecuencia a utilizar en una fecha y hora específicos para un trayecto radioeléctrico determinado. La práctica tradicional ha consistido en utilizar una frecuencia algo inferior a la máxima frecuencia utilizable (MUF) para garantizar la recepción de una señal satisfactoria la mayor parte de los días del mes y preparar un horario de cambios a efectuar durante los días de cada mes, de modo que se mantuvieran las condiciones de viabilidad de las comunicaciones. El operador de radiocomunicaciones que gestionaba el circuito utilizaba estos horarios de frecuencia, junto con su experiencia y las condiciones reales de cada día, y seleccionaba la mejor frecuencia del conjunto limitado al que tenía acceso, gestionando de este modo el funcionamiento del circuito minuto a minuto.

Las predicciones a largo plazo proporcionan asimismo información sobre los modos de propagación activos y los ángulos de elevación necesarios para las antenas.

El modo de propagación por ondas de superficie es estable y predecible. Se describe en la Recomendación UIT-R P.368 y, además, en el programa informático incluido en el sitio web del UIT-R figura un método de predicción. En ondas decamétricas este modo de propagación sólo

es importante a distancias de algunos cientos de kilómetros, como máximo, sobre el mar y a distancias bastante inferiores sobre tierra, en la porción inferior de la banda de frecuencias. No obstante, en determinadas circunstancias este modo puede cobrar importancia.

El funcionamiento del circuito está sujeto a los modos de propagación citados, a las variaciones ionosféricas a largo plazo, a la intensidad y al desvanecimiento de la polarización. No obstante, hay otros factores bastante impredecibles a corto plazo que resultan importantes.

En la parte inferior de la ionosfera, a una altura de 100 km aproximadamente puede presentarse una ionización adicional, imposible de predecir adecuadamente, motivada por factores meteorológicos y elementos residuales, y provocada por otros mecanismos en latitudes elevadas como en latitudes ecuatoriales. Esta ionización de la capa «E esporádica» puede tener una repercusión importante en la propagación de las ondas radioeléctricas y puede constituir asimismo un modo de propagación adicional.

Hay asimismo contribuciones importantes a la radiación procedentes de las erupciones de la superficie solar, que se ven a menudo como erupciones solares cromosféricas, que liberan rayos X y rayos ultravioleta, partículas de alta energía y un plasma de partículas de energía media que puede propagarse con el viento solar a través del entorno solar terrestre hasta alcanzar la Tierra. Cuando estas radiaciones alcanzan la proximidad de la Tierra provocan directamente una ionización adicional. También interactúan con el campo magnético terrestre, provocando la ionización de las regiones polares, modificando la temperatura de los gases neutrales de la atmósfera superior, alterando el sistema de vientos y la distribución de la ionización. Estos fenómenos se denominan tormentas geomagnéticas ionosféricas y pueden tener una gran repercusión en la propagación de las ondas decamétricas, no pueden ser previstos con mucha anticipación y sus efectos no pueden predecirse con exactitud ni siquiera con pocas horas de anticipación. Si el operador del circuito tiene la habilidad suficiente puede mantener el funcionamiento durante una tormenta, pero tendrá que trabajar en la modalidad de prueba y error debido a su limitada experiencia en estos fenómenos. Una técnica de gran ayuda en latitudes elevadas, donde los efectos de las tormentas son más acusados, es la de la diversidad de trayectos, es decir, la utilización de trayectos radioeléctricos alternativos para evitar las zonas más perturbadas, aunque para ello sea necesario disponer de información ágil en el plano de la red.

Actualmente se exige a las modernas comunicaciones en ondas decamétricas que sean capaces de soportar velocidades de datos superiores con sistemas de mayor anchura de banda. La calidad de funcionamiento de estos sistemas dependerá de la distribución de los retardos multitrayecto de los modos de propagación activos en cada instante, que obedecen a la propagación a través de las diversas capas, etc. La ionización es también variable debido a los vientos atmosféricos, por lo que cada modo tendrá un desplazamiento de frecuencia distinto como consecuencia del efecto Doppler. En las latitudes ecuatoriales, cerca del Ecuador magnético, las capas ionosféricas pueden descomponerse, tras el ocaso, en una región difusa en la que se dispersan las señales provocando grandes variaciones en el tiempo y en la frecuencia. A latitudes elevadas, las capas ionosféricas pueden descomponerse debido a las tormentas ionosféricas, lo que provoca una vez más la dispersión de la señal con grandes variaciones en el tiempo y en la frecuencia.

En los sistemas que utilicen la propagación por onda de superficie y no necesiten realizar comunicaciones a larga distancia a través de la ionosfera, deben seleccionarse frecuencias aprovechando las condiciones de propagación para limitar la propagación no deseada. Esto se puede conseguir seleccionando, durante las horas diurnas, frecuencias por debajo de la frecuencia mínima utilizable (LUF) de los modos de propagación disponibles, y seleccionando durante la noche las frecuencias por encima de la MUF para los trayectos largos, para la antena que se utilice. Obsérvese que la LUF depende del ciclo solar y es tanto mayor cuanto mayores son los índices del ciclo solar. Hay que tener precaución al utilizar frecuencias por encima de la MUF de noche en las regiones tropicales ya que se puede favorecer la propagación «cordal» o transecuatorial a larga distancia. Los

transmisores y receptores deben tener asimismo características de banda ancha y funcionalidades de sintonía rápida, en todo el intervalo de frecuencias del funcionamiento adaptativo.

3 Sistemas adaptables

3.1 Introducción

Un sistema adaptable de ondas hectométricas o decamétricas es aquel que realiza de forma automática (es decir, sin la intervención de un operador de radio) las funciones relativas al establecimiento de los enlaces de radiocomunicaciones y el intercambio de información, teniendo en cuenta las variaciones y la elevada probabilidad de interferencia inherente a las bandas de frecuencias de ondas hectométricas y decamétricas que se propagan por la ionosfera. Además, los sistemas adaptables pueden supervisar la ocupación del espectro de forma regular y seleccionar las frecuencias de funcionamiento para evitar causar interferencia a otros usuarios, de manera más eficaz que muchos sistemas no adaptables actualmente en funcionamiento.

3.2 Características principales

Las características más sobresalientes de los sistemas adaptativos en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas son las siguientes:

- *Facilidad de utilización:* Los sistemas adaptativos establecen, mantienen y desconectan los enlaces de ondas hectométricas y decamétricas sin necesidad de la intervención técnica de ningún operador. Esto reduce la necesidad de emplear personal con formación en radiocomunicaciones.
- *Mayor fiabilidad:* El porcentaje de tiempo que los sistemas adaptativos proporcionan una elevada calidad de servicio es muy superior al de los sistemas tradicionales de frecuencia fija, gracias a la utilización de la selección de frecuencia adaptativa, de la petición automática de repetición (ARQ) y de sistemas de modulación más potentes.
- *Flexibilidad:* Los sistemas adaptativos analizan y actualizan continuamente la información de evaluación de la calidad del enlace gracias a lo cual pueden seleccionar la frecuencia de tráfico más adecuada en cada momento. Este comportamiento adaptativo reduce al mínimo los periodos de incomunicación de las estaciones e incrementan la posibilidad de utilizar estaciones de baja potencia, tanto en el servicio fijo como en el móvil.

Las radiocomunicaciones en ondas hectométricas y decamétricas se han utilizado durante décadas para las comunicaciones a larga distancia. Las radiocomunicaciones en ondas hectométricas y decamétricas cuentan con algunas características positivas que podrían mejorarse -y con varios inconvenientes que sería posible reducir a un mínimo- utilizando técnicas automáticas y adaptativas. Entre las características positivas de las comunicaciones en la banda de ondas decamétricas se encuentra la transmisión económica a larga distancia. Entre los aspectos negativos cabe mencionar la gran necesidad de mano de obra, la variabilidad de la propagación, la escasa fiabilidad global y la limitada anchura de banda. La comunicación por ondas decamétricas requiere la optimización de todas las condiciones del sistema, si se desea que resulte razonablemente fiable. La fiabilidad de las transmisiones radioeléctricas en ondas decamétricas depende de un gran número de factores, entre los que cabe citar:

- la frecuencia de funcionamiento;
 - a) el grado y distribución de la ionización en la ionosfera;
 - b) la distancia entre las estaciones (número de saltos);
- la potencia de funcionamiento;
- la modulación;

- el valor necesario de la relación señal-ruido;
- los procedimientos suplementarios de señalización (esto es, la detección de errores, los protocolos de toma de contacto, etc.).

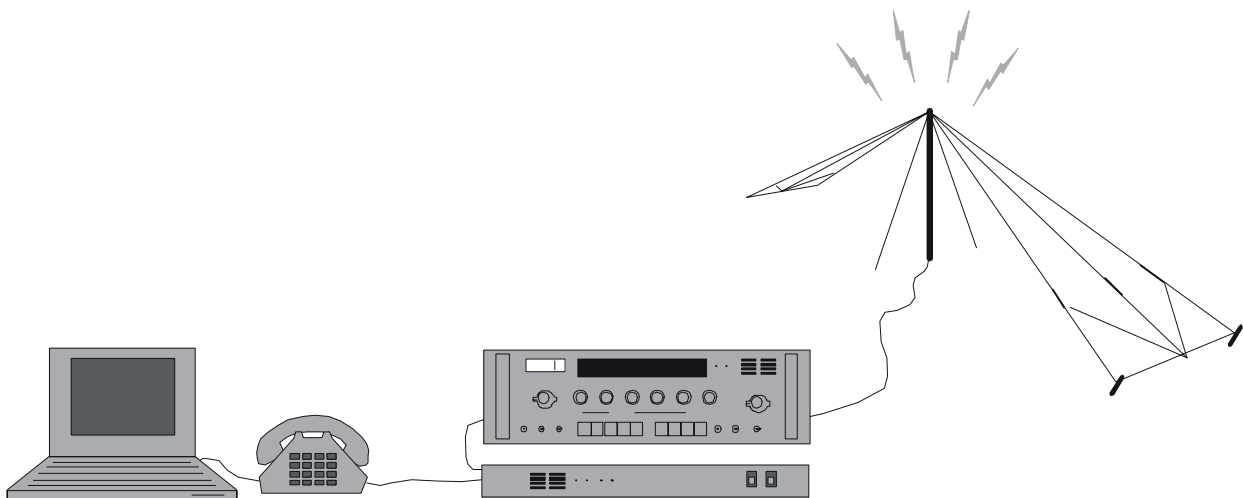
En el marco del procedimiento operacional manual que se ha utilizado hasta hace pocos años para optimizar las redes de telecomunicaciones que funcionan en ondas decamétricas, el operador debe ajustar los parámetros del sistema para obtener la máxima calidad de funcionamiento, supervisando las condiciones ionosféricas, efectuando un seguimiento de las condiciones de propagación, debido a su carácter variable, y seleccionando las condiciones de funcionamiento (principalmente, la frecuencia) con arreglo a las cuales la señal se propagará más adecuadamente. Debido a la gran cantidad de mano de obra, experiencia y formación requeridas, las radiocomunicaciones en ondas decamétricas justifican sobradamente la utilización de técnicas de automatización y adaptabilidad. Las técnicas de automatización actuales descargan de trabajo al operador mediante la incorporación de subsistemas de gestión de frecuencia, establecimiento del enlace, mantenimiento del enlace, etc. Estas técnicas permiten reducir el grado de experiencia necesario y los requisitos de presencia del operador de radiocomunicaciones de ondas decamétricas o del comunicador. La automatización se incorpora normalmente para que el sistema de radiocomunicaciones parezca funcionar como un equipo en el que hay que «pulsar para hablar en el mejor canal», aunque en realidad el sistema de radiocomunicaciones consiste en un dispositivo de comunicaciones multicanal que ejecuta muchas funciones subyacentes.

3.2.1 Descripción genérica

A continuación se describe un conjunto de funciones comunes que se encuentran en la mayor parte de los diversos tipos de sistemas desarrollados. La palabra «comunes» no significa necesariamente que su implementación sea idéntica para hacer posible así la comunicación entre ellos, y remite únicamente al hecho de que tienen el mismo tipo de funcionalidad. La Recomendación UIT-R F.1110 – Sistemas radioeléctricos adaptables para frecuencias inferiores a unos 30 MHz, contiene una descripción más completa de estos sistemas.

Una estación adaptable, capaz de ofrecer al operador un enlace de radiocomunicaciones, de acuerdo con lo expuesto, consta de los siguientes elementos.

FIGURA 1
Estación adaptativa típica



Las principales funciones de la unidad de control de un sistema adaptable son la gestión de la frecuencia y la evaluación de la calidad del enlace; la preparación y el establecimiento del enlace, su mantenimiento y desconexión.

3.2.2 Gestión de la frecuencia y evaluación de la calidad del enlace

Todas las frecuencias que pueden ser utilizadas por un enlace específico son almacenadas por el sistema en un grupo de frecuencias. Algunos sistemas adaptables pueden distinguir entre frecuencia transmisora y receptora mientras que otros utilizan la misma frecuencia tanto en transmisión como en recepción. Algunos sistemas adaptables recurren a la concentración de enlaces, lo que hace necesario agrupar un subconjunto de frecuencias disponibles con propósitos de llamada; la selección de frecuencias de tráfico para un enlace se coordina utilizando las frecuencias de llamada. En general, en el grupo de frecuencias se almacenan entre cinco y diez frecuencias, aunque algunos sistemas adaptables pueden almacenar y utilizar hasta unos cuantos cientos de frecuencias.

En ausencia de tráfico la estación explorará las frecuencias del grupo, y permanecerá en cada frecuencia el tiempo suficiente como para detectar la llegada de una llamada. Algunos sistemas ejecutan simultáneamente un análisis pasivo del canal para medir la interferencia o el nivel de ruido a cada frecuencia.

La información de la evaluación de la calidad del enlace se conserva tras la desconexión del mismo y se utiliza para seleccionar las frecuencias de tráfico idóneas entre las estaciones de una red. Si hay poco tráfico en la red, se puede activar una función de sondeo automático que permite evaluar la calidad del enlace. A intervalos periódicos la estación realizará una llamada especial de sondeo en cada frecuencia del grupo consecutivamente. Las demás estaciones de la red que detecten esta llamada de sondeo actualizarán sus respectivos cuadros de evaluación de calidad del enlace.

3.2.3 Sondeo

La señal de sondeo se transmite de manera unilateral y unidireccional durante intervalos periódicos en canales no ocupados. Se añade un temporizador en el controlador con el fin de iniciar periódicamente las señales de sondeo (siempre que el canal no esté ocupado). Aunque el sondeo no es una técnica bilateral interactiva, como lo es la interrogación secuencial, si se determina la existencia de conectividad a partir de una estación, escuchando su señal de sondeo, esto querrá decir que hay una gran probabilidad (pero no garantía) de conectividad bilateral, que podrá realizarse pasivamente en el receptor. El operador podrá visualizar como mínimo información sobre la señal (dirección) y, tratándose de estaciones dotadas de conectividad y memorias de análisis de la calidad de enlace (LQA), la información se almacena y utiliza ulteriormente para conectarse. Cuando una estación haya efectuado recientemente transmisiones en cualquier canal que deba sondearse, no será necesario volver a sondear estos canales mientras no haya transcurrido el intervalo de sondeo que se reinicializó después de estas últimas transmisiones. Asimismo, si se sondea una red (o grupo) de estaciones, sus respuestas podrán servir como señales de sondeo de la otra red (o grupos) de estaciones receptoras. Todas las estaciones pueden estar en condiciones de realizar sondeos periódicos en canales predispuestos no ocupados. Habrá la posibilidad de activar selectivamente la capacidad de sondeo y que el operador o el controlador ajuste el periodo comprendido entre los sondeos, con arreglo a los requisitos del sistema.

Siempre que estén disponibles y no asignadas o dirigidas de otro modo por el operador o el controlador, las estaciones desplegarán automática y temporalmente las direcciones de todas las estaciones sujetas a escucha, así como una alerta que puede seleccionar el operador.

La estructura de la sonda es similar a la de la célula básica; lo único que se requiere, empero, es enviar la identificación de la estación transmisora. Los sistemas de sondeo en modo asíncrono de segunda generación (2G) y tercera generación (3G) ALE (establecimiento automático de enlace) utilizan una transmisión ampliada para garantizar que los receptores de barrido permanezcan en el

canal activo al menos una vez durante la transmisión. El sondeo es opcional cuando se utilizan sistemas ALE 3G en modo síncrono y la duración de las transmisiones de sondeo puede ser inferior a un segundo, cuando así se estima necesario.

3.2.4 Preparación y establecimiento del enlace

El operador ordenará el inicio del enlace ya sea mediante un teléfono convencional o mediante el terminal de operador. Cuando una estación reciba la orden de establecer el enlace, seleccionará la frecuencia supuestamente más conveniente del grupo de frecuencias; el receptor se sintonizará a dicha frecuencia y la unidad de control medirá el nivel de interferencia en dicha frecuencia. Si el nivel de interferencia superase un cierto umbral se rechazaría la frecuencia y la unidad de control procedería a comprobar la segunda frecuencia más conveniente. Cuando no se pueda encontrar una frecuencia utilizable, se emitirá un informe de estado de «avería» para el operador. En caso contrario se iniciará la llamada.

Cuando una estación detecte una llamada, responderá automáticamente e informará al operador de la misma. La estación llamante confirmará la recepción de la respuesta pudiendo a continuación proceder a la transmisión de mensajes o, alternativamente, a transferir el enlace al operador para funcionar en modo vocal.

3.2.4.1 Sistemas ALE de segunda generación

Si existen estaciones múltiples y se escoge la mejor frecuencia en redes de múltiples estaciones de base, el sistema elegirá típicamente el mejor par de frecuencia/estación de base para cada enlace a un nodo móvil. En ese sentido, pueden aplicarse dos métodos: el que llama escoge o quien responde escoge.

En el primer caso, si el nodo móvil origina la llamada, consultará con su base de datos local sobre medidas y valorará los pares canal/estación. A continuación, se realizarán llamadas a determinadas estaciones en frecuencias específicas en orden descendente de valor hasta obtener respuesta. Cuando la llamada se origine a partir del lado fijo, se utilizará una base de datos unificada para encaminar llamadas al nodo móvil a través de la estación de base con los mejores canales de conexión con dicho nodo.

En el segundo caso, el nodo móvil dirigirá su llamada a la red considerada en su conjunto y las estaciones de base compararán la calidad de la señal recibida para decidir cuál de ellas deberá responder.

Cuando se trate del funcionamiento punto a punto, no habrá la posibilidad de escoger qué estación deberá realizar la llamada, y las frecuencias se valorarán simplemente siguiendo el orden de los intentos de establecimiento de enlace.

Nada garantiza que en todos los casos se utilice la mejor frecuencia. Las medidas recientemente efectuadas se utilizarán para establecer el orden en el que habrá que probar los canales, pero la propagación, la ocupación y la interferencia actuales determinarán qué canal se utilizará realmente. El sistema intentará establecer un enlace a la mejor frecuencia, pero aceptará el primer enlace que funcione.

Tratándose de la eficiencia de acceso a los canales, un sistema ALE 2G escucha antes de transmitir. Cuando una red ALE de segunda generación experimenta sobrecarga, su caudal se mantiene en el nivel de saturación en lugar de reducirse.

Los sistemas mencionados utilizan varios algoritmos para encaminar canales con el fin de realizar llamadas ALE. Típicamente, se desea contar con un buen canal, aunque hay que decir que un buen canal puede no ser el mejor canal.

3.2.4.2 Sistemas ALE de tercera generación

Estos sistemas se diseñaron concretamente para hacer frente a situaciones de intenso tráfico y son mejores que los sistemas ALE 2G en cuanto al uso eficiente del espectro. Los sistemas ALE 3G utilizan un protocolo de acceso síncrono en intervalos a los canales con canales de llamada y de tráfico separados. En este caso, los canales de tráfico pueden utilizarse con caudales que constituyen aproximadamente el 100% de la capacidad, siendo así que la utilización de los canales de llamada varía según sea la aplicación considerada, pero dicha utilización es típicamente inferior a la de los canales de tráfico. Como ocurre con los servicios celulares y los suministrados con sistemas de concentración de enlaces, se requiere un número menor de canales de establecimiento de llamada que el de canales de tráfico y la eficiencia en el modo con concentración de enlaces es mayor que cuando se combinan las llamadas y el tráfico en las mismas frecuencias.

Por lo que hace a la selección del mejor canal en el sistema ALE 3G, hay que indicar que el establecimiento de la llamada se concluirá en el primer canal de llamada que funcione dentro de los sujetos al conjunto de barridos síncronos. Acto seguido, el tráfico se cursará en la frecuencia que negocien los participantes durante el establecimiento de la llamada, pero no necesariamente en la banda que se utiliza para el canal de establecimiento de la llamada. Mientras se cursa el tráfico considerado, el mantenimiento del enlace del sistema ALE 3G puede reevaluarse periódicamente y es posible también modificar la frecuencia, con el fin de mantener la calidad de funcionamiento idónea.

3.2.4.3 Velocidad de barrido

3.2.4.3.1 Sistema ALE de segunda generación

Típicamente, las tasas de barrido son de dos a diez canales por segundo (siendo los tiempos de permanencia de 100 a 500 ms por canal). Es posible beneficiar de velocidades de barrido más elevadas. Los receptores que detectan la señalización de un sistema ALE 2G prolongarán el tiempo de permanencia hasta 784 ms por canal mientras intentan sincronizarse con la señal entrante.

3.2.4.3.2 Sistema ALE de tercera generación

La concentración de enlaces es una característica opcional de los sistemas ALE 3G. Cuando estos sistemas no se encuentran ocupados en ningún protocolo ALE 2G o 3G, barrerán continuamente los canales de llamada asignados, para escuchar llamadas ALE 2G y 3G. Los sistemas ALE 3G abandonan el estado de barrido cuando se les llama o llaman.

Los receptores ALE 3G en modo síncrono barren a una velocidad sincronizada de 1,35 ó 5,4 segundos por canal. El gestor de la red puede asignar las estaciones grupos de permanencia, Cada uno de estos grupos escucha un canal distinto durante cada periodo de permanencia, con arreglo a la siguiente fórmula:

$$D = ((T / 5,4) + G) \text{ mod } C$$

donde:

- D: número de canal de permanencia
- T: segundos transcurridos desde la medianoche (hora de la red)
- G: número de grupos de permanencia
- C: número de canales en la lista de barrido.

Hay que señalar que de esta forma se generan números de canal en la gama comprendida entre 0 y C-1.

Los sistemas ALE 3G que utilizan el modo asíncrono ALE 3G barren los canales de llamada asignados a una velocidad de al menos 1,5 canales por segundo. Para velocidades de barrido de 10 canales por segundo, el periodo de permanencia correspondiente (100 ms) puede prolongarse hasta 667 ms, si así se requiere para evaluar las señales recibidas. Si dentro del periodo de 667 ms no se detecta un preámbulo de ráfaga ALE 3G, el sistema podrá reanudar el barrido. Los sistemas ALE 3G contienen mecanismos que mantienen la sincronización entre las bases de tiempo de todas las estaciones de una red. Cuando un sistema ALE 3G funciona en modo síncrono, la diferencia entre las estaciones en cuanto al primer tiempo y el último no sobrepasa los 50 ms. En las redes asíncronas la gama permisible de tiempos de red viene determinada por el nivel de protección del establecimiento de enlace, si lo hubiere.

Se proporciona un medio de sincronización externo para fijar el tiempo local a partir de fuentes tales como un sistema de determinación de la posición (GPS) y un receptor del sistema GLONAS. La base de tiempo interna no puede diferir en más de 1 ms de la fuente externa, inmediatamente después de la actualización temporal precitada. La variación de la base de tiempo sobrepasa típicamente una parte por millón.

Cuando no se dispone de una fuente externa de sincronización, los sistemas ALE 3G pueden mantener la sincronización utilizando inalámbricamente protocolos de gestión de la sincronización.

Normalmente, el sondeo no resulta necesario en los sistemas ALE 3G. En las redes síncronas el conocimiento de los canales de propagación puede servir para retardar el establecimiento de la llamada y, por consiguiente, reducir la ocupación de los canales de llamada. Sin embargo, cuando se emplea un barrido síncrono, el conocimiento mencionado no afectará en gran medida la latencia del establecimiento de enlace, a menos que en la lista de barridos se eliminen los canales a través de los cuales la señal no se propaga. Cuando una red síncrona contiene múltiples estaciones de «servidor» para proporcionar diversidad geográfica a las estaciones «cliente» que llaman al conjunto de servidores, los servidores deberían proceder a un sondeo para proporcionar una base de datos sobre mediciones de propagación en las estaciones cliente, con miras a su utilización para seleccionar el mejor servidor que corresponda a una llamada. Un sondeo síncrono consiste en una sola unidad de datos sobre protocolos de notificación (PDU). En las redes asíncronas ALE 3G el sondeo puede resultar útil si resulta imposible obtener por otros medios datos sobre la propagación.

3.2.5 Mantenimiento y desconexión del enlace

Cuando el enlace se encuentra gobernado por la unidad de control, por ejemplo durante la transmisión de mensajes de textos o de datos, puede reaccionar de forma adaptativa a las variaciones de las condiciones del enlace. Si, por ejemplo, se degradara el enlace, podría iniciarse automáticamente el cambio a una nueva frecuencia.

El operador o la unidad de control pueden desconectar el enlace. Si esto sucediese la unidad de control emitiría las instrucciones oportunas para garantizar la desconexión de ambas estaciones del enlace ordenadamente. Acto seguido las estaciones reanudarán la exploración de frecuencias del grupo de frecuencias.

3.3 Características de la forma de la onda

3.3.1 Forma de onda ALE de segunda generación

3.3.1.1 Introducción

La forma de la onda ALE 2G se diseña para que pase a través de la banda de paso audio de los equipos radioeléctricos SRS normalizados. Esta forma de onda permite dotarse de una capacidad de módem digital, robusta y a baja velocidad, que se utiliza con varios propósitos, entre los que cabe

citar llamada selectiva y transmisión de datos. En esta sección se define la forma de onda y en este sentido se consideran los tonos, sus significados, la temporización y velocidades, y su exactitud.

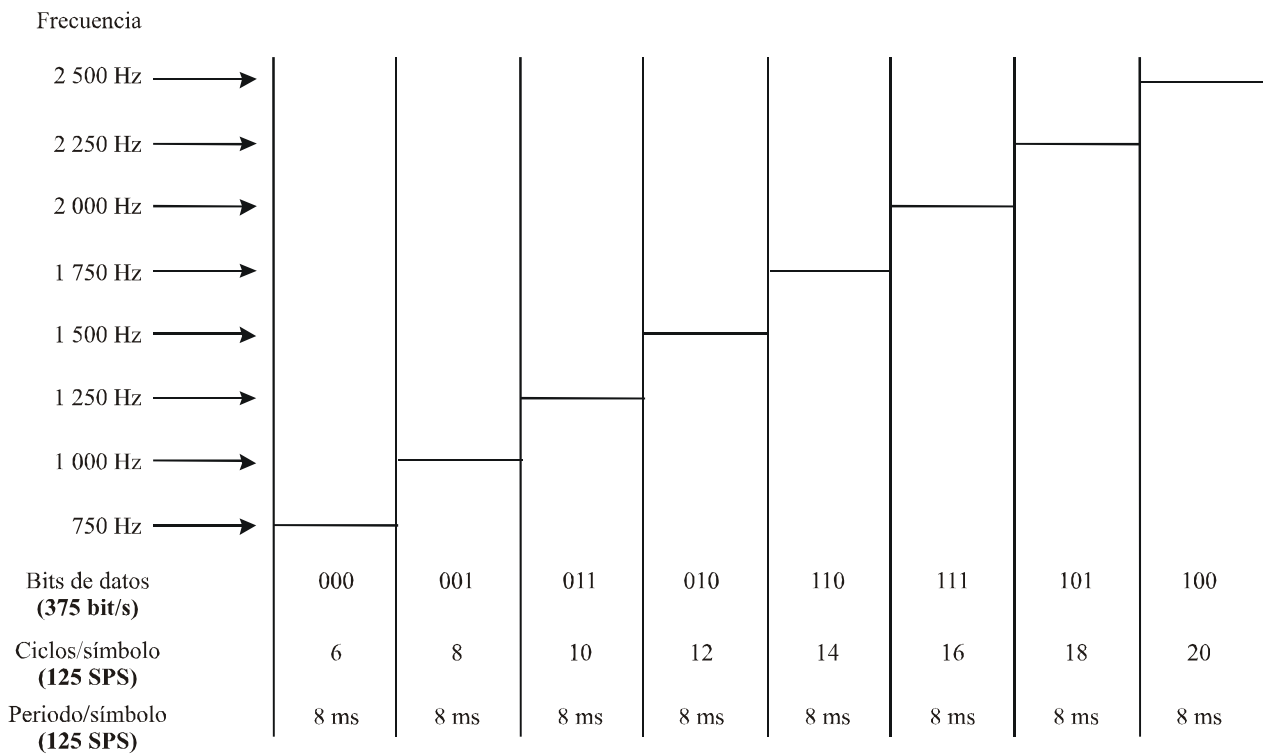
3.3.1.2 Tonos

La forma de la onda se obtiene típicamente mediante modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) con ocho tonos ortogonales y un tono (o símbolo) consecutivamente. Cada tono representa tres bits de datos, como sigue (el bit menos significativo (LSB) puede verse a la derecha):

750 Hz	000
1 000 Hz	001
1 250 Hz	011
1 500 Hz	010
1 750 Hz	110
2 000 Hz	111
2 250 Hz	101
2 500 Hz	100

En la Fig. 2 puede verse la disposición de los ocho tonos FSK en la banda de paso, sus duraciones en segundos y ciclos, y las asignaciones binarias para su utilización en la señalización ALE. Hay que indicar que las asignaciones de bits se disponen de tal modo que los errores de demodulación de un tono redundan únicamente en un solo error en los bits.

FIGURA 2
Modulación FSK 8ª para una forma de onda ALE 2G



Nota – Las transiciones de símbolo deberán ser continuas en cuanto a las fases.

3.3.1.3 Palabra ALE 2G

La unidad fundamental de las transmisiones ALE 2G es la Palabra ALE. Cada una de ellas contiene 24 bits de datos de protocolo, que incluyen normalmente un preámbulo de 3 bits, que identifica el tipo de Palabra ALE, seguido de 21 bits correspondientes al signo de la llamada y a otros datos de funcionamiento ALE. La codificación con corrección de errores sin canal de retorno (FEC) que se aplica a cada Palabra ALE para acrecentar su robustez incluye codificación Golay con una velocidad de 1/2 y triple redundancia. El tiempo de transmisión inalámbrica de cada Palabra ALE codificada es 392 ms. Las transmisiones ALE 2G más cortas contienen tres palabras y son frecuentes en las entradas en contacto (*handshakes*) ALE 2G. Las transmisiones más largas, que se utilizan para iniciar el establecimiento de enlace, incluyen una fase de llamada de barrido del orden de 10 s. La transmisión ALE 2G más larga posible dura 20 m, aunque se utiliza rara vez.

3.3.1.4 Formas de onda para datos ALE 2G

Para transmitir datos en canales de ondas decamétricas, se utiliza una gama de modulaciones de datos, entre otras, modulaciones de tono paralelo (OFDM) y de tono serial (PSK y QAM). Las modulaciones de tono serial son actualmente las que gozan de mayor popularidad, cuando se trata del funcionamiento en canales nominales de 3 kHz.

3.3.2 Serie de formas de onda ALE 3G

Una serie de formas de onda de ráfaga escalables se utiliza para integrar protocolos ALE 3G: ALE (también denominado establecimiento de enlace o LSU), gestión de tráfico (TM), mantenimiento automático de enlace (ALM), enlace de datos de baja latencia (LDL) y enlace de datos de elevado caudal (HDL).

3.3.2.1 Modulación

La forma de onda ALE 3G consiste en ráfagas cortas con modulación por desplazamiento de fase. Para la gestión de enlace y la transmisión de datos ALE 3G se utilizan variaciones de esta forma de onda de ráfaga. En el siguiente Cuadro se resume la familia de formas de onda ALE 3G.

CUADRO 1

Ejemplo de características de la forma de onda 3G típica

Forma de onda	Se utiliza para	Duración de ráfaga	Cabida útil	Codificación FEC	Entrelazado	Formato de datos	Velocidad efectiva de codificación ⁽¹⁾
BW0	PDU ALE 3G	613,33 ms 1 472 símbolos PSK	26 bits	Velocidad 1/2, k = 7 convolutiva (no se utilizan bits de evacuación)	4 × 13 bloque	Potencia 16 ortogonal Función de Walsh	1/96
BW1	PDU para gestión de tráfico; PDU para reconocimiento HDL	1,30667 s 3 136 símbolos PSK	48 bits	Velocidad 1/3, k = 9 convolutiva (no se utilizan bits de evacuación)	16 × 9 bloque	Potencia 16 ortogonal Función de Walsh	1/144
BW2	PDU para tráfico de datos HDL	640 + (n × 400) ms 1 536 + (n × 960) símbolos PSK n = 3, 6, 12, ó 24	n × 1 881 bits	Velocidad 1/4, k = 8 convolutiva (7 bits de evacuación)	Inexistente	32 desconocidos/ 16 conocidos	Variable: 1/1 a 1/4

CUADRO 1 (*Fin*)

Forma de onda	Se utiliza para	Duración de ráfaga	Cabida útil	Codificación FEC	Entrelazado	Formato de datos	Velocidad efectiva de codificación ⁽¹⁾
BW3	PDU para datos de tráfico LDL	373,33 + (n × 13,33) ms 32n + 896 símbolos PSK, n = 32 × m, m = 1, 2, ... , 16	8n + 25 bits	Velocidad 1/2, k = 7 convolutiva (7 bits de evacuación) ⁽²⁾	Bloque convolutivo	Potencia 16 ortogonal Función de Walsh	Variable: 1/12 a 1/24
BW4	PDU para reconocimiento LDL	640,00 ms 1 536 símbolos PSK	2 bits	Inexistente	Inexistente	Potencia 4 ortogonal Función de Walsh	1/1920

⁽¹⁾ Refleja la codificación con corrección de errores sin canal de retorno (FEC) y funciones de Walsh únicamente; no incluye datos conocidos o bits de evacuación en un codificador evolutivo.

⁽²⁾ En este caso, el número de bits de evacuación sobrepasa el número mínimo requerido para evacuar el codificador convolutivo, lo que hace que el número de bits codificados sea un múltiplo de cuatro, según requiere el formato de modulación con funciones de Walsh.

Otras formas de onda, por ejemplo, la forma de onda para módem de tono serial y la forma de onda para elevada velocidad de datos, pueden utilizarse con el fin de entregar datos y señalización de voz digitalizada en enlaces de circuito establecidos utilizando los protocolos ALE 3G y TM.

3.3.2.2 Combinación de códigos

Los protocolos de enlace de datos ALE 3G emplean una técnica adaptativa avanzada denominada «combinación de códigos» para acrecentar el valor de cada una de las ráfaga de energía enviadas a través del canal de ondas decamétricas. Cuando la trama de datos contiene errores no corregibles, las decisiones con información complementaria relativas a cada símbolo recibido se retienen en el receptor. Las retransmisiones de dicha trama transportan bits adicionales de corrección de errores, que se combina *de manera analógica* en el receptor con la energía de la señal previamente recibida, para dar más peso en la función de combinación a los símbolos que llegan con una relación señal-ruido mayor. Esto permite proceder a una reducción mensurable de la tasa de errores de trama para una determinada relación señal-ruido y aumenta la capacidad de los sistemas ALE 3G para entregar datos a través de canales con una relación señal-ruido baja e interferencia elevada.

3.4 Técnicas para acrecentar la velocidad de datos

En ese sentido, puede recurrirse a la técnica integración en banda de canales basada en la utilización de varios canales de 3 kHz.

3.4.1 Funcionamiento independiente en banda lateral

Hoy en día se ofrecen módems que transportan datos simultáneamente en múltiples bandas laterales independientes. Dichos módems contienen moduladores PSK/QAM independientes para cada canal audio, pero emplean un solo codificador de correcciones de errores sin canal de retorno, cuyo tren de bits de salida se distribuye entre los diferentes canales de transmisión. Cuando dichos canales cursan señales con frecuencias contiguas, la relación señal-ruido de cada canal tiende a ser similar a las de los demás, aunque los errores de canal no se encuentren perfectamente correlacionados. Esto significa que puede mejorarse en cierto modo la salida mediante combinación de diversidad.

Actualmente, los módems ISB ofrecen velocidades de datos de hasta 32 kbit/s en dos canales (nominales) de 3 kHz y hasta 64 kbit/s en cuatro canales.

3.4.2 Funcionamiento en canales no contiguos

Cuando no se dispone de los suficientes canales contiguos para soportar los datos necesarios, es preciso que el funcionamiento se realice en canales no continuos. En este caso, los valores de la relación señal-ruido de canal pueden variar significativamente, razón por la cual distribuir un solo tren de bits codificado entre el total de canales no es una práctica óptima. Resulta preferible, por tanto, que cada banda de canales genere trenes de bits codificados separados. El control de flujos se realiza independientemente para cada banda de canales, por lo que el canal de datos global se mantiene al nivel máximo posible para las frecuencias utilizadas.
