

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1611
(02/2003)

**Métodos de predicción para la planificación
y explotación de sistemas adaptables
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.1611*,**

Métodos de predicción para la planificación y explotación de sistemas adaptables en ondas decamétricas

(2003)

Cometido

En la presente Recomendación se dan directrices sobre la planificación y explotación de sistemas adaptables en ondas decamétricas utilizando métodos de predicción. Se aborda la planificación de frecuencias, el balance de potencia y el proceso de diseño y se incluyen numerosas referencias a otras Recomendaciones del UIT-R.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el número de sistemas adaptables en ondas decamétricas en funcionamiento está aumentando, en particular los de establecimiento automático de enlace (ALE);
- b) que la UIT ha elaborado un Manual para los sistemas adaptables en ondas decamétricas que describe su naturaleza y utilización;
- c) que los sistemas en ondas decamétricas adaptables en frecuencia están limitados a utilizar el mínimo número de canales de frecuencia activos para minimizar la posible interferencia causada a otros usuarios;
- d) que la planificación de frecuencias con un modelo apropiado de predicción del comportamiento de los sistemas en ondas decamétricas reducirá los márgenes a los cuales se deben adaptar los diseños de estos sistemas, con lo cual los procedimientos de explotación pueden reducir la posible interferencia y los costos globales;
- e) que en la Recomendación UIT-R P.533 (y su programa informático ITUHFPROP) se especifica el método establecido por el UIT-R para predecir el comportamiento de los sistemas en ondas decamétricas, y que este método cubre también otros métodos relacionados de predicción, algunos de los cuales se utilizan actualmente en el control de diversos sistemas cuasiadaptables en ondas decamétricas y en el diseño de sistemas que emplean formas de ALE;
- f) que hay otros métodos de predicción relacionados, como los del grupo de programas IONCAP, disponibles, junto con el de la Recomendación UIT-R P.533, en la dirección web del ITS (*Institute for Telecommunication Sciences*);
- g) que todos los métodos que se copien de la dirección web del ITS (incluidos el de la Recomendación UIT-R P.533, VOACAP e ICEPAC) tienen procedimientos de entrada/salida que pueden adaptarse sin demasiado esfuerzo,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones.

** 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.

observando

a) que la Recomendación UIT-R F.1110 especifica las características generales de los sistemas adaptables en ondas decamétricas y, especialmente, reconoce que éstos permiten lograr lo siguiente:

- una mejor calidad de servicio, gracias a la capacidad de combinar la tecnología moderna de radiofrecuencia y el soporte lógico avanzado de control en tiempo real;
- reducir los tiempos de transmisión, asegurando así el uso más eficaz del espectro, una interferencia reducida entre usuarios y la capacidad de aumentar la densidad de tráfico;

b) que la Recomendación UIT-R F.1337 recomienda que se utilicen esquemas de gestión automática y adaptable en las redes adaptables en ondas decamétricas,

recomienda

1 que las administraciones que se propongan adquirir y poner en funcionamiento sistemas adaptables en ondas decamétricas y de ALE, basándose en la información presentada en el Anexo 1, consideren el uso de los modelos de predicción del comportamiento de sistemas en ondas decamétricas indicados en la Recomendación UIT-R P.533 y otros modelos relacionados, antes de la instalación del sistema, con el fin de fijar los límites de adaptabilidad;

2 que los modelos especificados en la Recomendación UIT-R P.533, más otros tales como los del grupo de programas IONCAP (de forma facultativa), sean los métodos preferidos para el diseño de sistemas adaptables en ondas decamétricas y la posible incorporación en los módulos de soporte lógico para adaptación en tiempo real, mediante tecnologías reconocidas de evaluación de canal en tiempo real (RTCE) (es decir, sondas dentro de banda, sondas de canal de tecnología punta y sondeo fuera de banda con modulación de frecuencia y onda continua (FM-CW)).

Anexo 1

Planificación y explotación de sistemas adaptables en ondas decamétricas utilizando métodos de predicción

1 Introducción

El canal ionosférico proporciona la conectividad para los enlaces en los circuitos o las redes de radiocomunicaciones adaptables en ondas decamétricas. Para utilizar adecuadamente este recurso, el sistema debe funcionar en la frecuencia ideal o tan cerca de ella como sea posible. La frecuencia de funcionamiento puede ser la ideal en el caso de un circuito símplex, o una diferente de ella, pero estrechamente relacionada, para uno dúplex completo. Los cambios de frecuencia se deben a los ciclos naturales de la propagación ionosférica (variaciones diurnas, estacionales y de las manchas solares). La interferencia radioeléctrica natural o artificial puede provocar cambios imprevistos en la frecuencia de funcionamiento. Asimismo, las erupciones solares y las tormentas geomagnéticas pueden causar interrupciones de las comunicaciones que también requerirán cambios en la frecuencia de funcionamiento.

En general, el sistema de radiocomunicaciones adaptable en ondas decamétricas detectará el fallo del enlace, encontrará otra frecuencia utilizable, restablecerá el enlace en la nueva frecuencia y restablecerá asimismo las comunicaciones sin la intervención de los operadores. Ahora bien, aún el

sistema de radiocomunicaciones adaptable en ondas decamétricas más sofisticado puede sufrir interrupciones intolerables causadas por diversos factores, entre los que se cuentan los fallos de equipos (algo inevitable durante la vida útil del sistema). Estas interrupciones pueden reducirse teniendo en cuenta en el diseño del sistema procedimientos de detección de averías, disponibilidad de fuentes de potencia de reserva y redundancia de equipos. No obstante, aunque la mayoría de las interrupciones se atribuyan indebidamente a fallos de propagación, éstos sólo tienen lugar en condiciones ionosféricas bastante improbables, y si no se puede utilizar la potencia de la señal de alguna frecuencia en la banda seguramente se deberá a un diseño inadecuado del sistema. En los puntos siguientes se discutirán los temas que se deben tener en cuenta en el diseño de estos sistemas, entre los que cabe citar:

- la cantidad inadecuada de frecuencias en la lista de autorizaciones;
- la subestimación del entorno de ruido radioeléctrico en los emplazamientos de recepción;
- los diagramas de radiación de antena que no coinciden con los ángulos de despege y llegada del canal ionosférico; y
- las pérdidas excesivas en las líneas de transmisión entre el transmisor y la antena de transmisión o entre el receptor y su antena.

2 Planificación de frecuencias

La planificación de frecuencias es una de las primeras etapas en el diseño de sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas. En sistemas adaptables en frecuencia, es esencial que se incluya en el modelo de la ionosfera utilizado para las predicciones de frecuencia tanta información como sea posible acerca de la variación esperada de la frecuencia máxima utilizable (MUF) horaria respecto al valor mediano mensual, para cada uno de los modos previstos en cada enlace en el sistema de radiocomunicaciones propuesto. La precisión que se impone al modelo de predicción depende directamente de las relaciones S/N bastante bajas requeridas por las técnicas complejas de adaptabilidad empleadas en los equipos modernos de radiocomunicaciones y en sus módems asociados.

A continuación se esboza un procedimiento que permite usar métodos de predicción para diseñar y explotar sistemas adaptables en ondas decamétricas. Este Anexo se basa en el procedimiento VOACAP, utilizado por el Gobierno de los Estados Unidos de América, que tiene alguna experiencia en su aplicación a dichos sistemas. Es probable que se puedan desarrollar procedimientos similares para otros métodos, como el de la Recomendación UIT-R P.533, preferido por la UIT. Actualmente, los programas más utilizados del grupo IONCAP son VOACAP e ICEPAC, los cuales, junto con la citada Recomendación UIT-R 533, están a disposición sin coste alguno, y con mantenimiento incluido, en la dirección del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América. (<http://elbert.its.blrdoc.gov/pc-hf/hfwin32.html>). El programa informático de la Recomendación UIT-R P.533 permite predecir el valor mediano mensual de la MUF, aunque aún no proporciona explícitamente la distribución esperada de valores diarios de MUF durante los días del mes, a una hora determinada, para los modos factibles.

Al evaluar un sistema adaptable en ondas decamétricas, debe considerarse cada enlace en la red de radiocomunicaciones utilizando un programa de predicción recomendado (VOACAP, por ejemplo, que pertenece al grupo IONCAP). Estos métodos de predicción se desarrollaron originalmente para sistemas no adaptables. No obstante, se les puede utilizar para la planificación de sistemas adaptables.

La frecuencia óptima de trabajo (FOT) de los radioenlaces convencionales en ondas decamétricas se puede calcular encontrando la frecuencia más fiable en cada hora y estación del año y para los periodos de alta y baja actividad de las manchas solares. En sistemas adaptables, sin embargo, es necesario conocer la frecuencia probable más elevada (HPF, *highest probable frequency*) que es

aquella que no se rebasará durante más del 10% de los días del mes, para una determinada hora y un determinado número de manchas solares; mientras que la OWF es la que se superará aproximadamente el 90% de los días del mes. Un sistema adaptable en frecuencia que utilice ALE debe poder funcionar la mitad de los días del mes en frecuencias por encima del valor mediano mensual de la MUF. La lista de autorizaciones de frecuencias de uno de estos sistemas debe incluir frecuencias superiores a la MUF pero inferiores a la HPF. Esta adaptabilidad de frecuencia exige el uso de programas de predicción precisos para el diseño de sistemas de circuitos de radiocomunicaciones o de redes.

Es esencial en la planificación de un sistema de radiocomunicaciones adaptable en ondas decamétricas que los equipos se diseñen para funcionar en toda la gama de frecuencias utilizables, incluidas las inferiores a la MUF pero superiores a la frecuencia mínima utilizable (LUF). Cuando sea posible, el sistema debe funcionar a la frecuencia utilizable más alta que permite la conectividad sin error. Las frecuencias mayores experimentarán menos ruido atmosférico y artificial, y proporcionarán valores más elevados de la relación S/N con menores potencia del transmisor y ganancia de antena. Si se diseña el sistema adaptable de tal manera que aproveche la mayor frecuencia de utilización posible, se pueden disminuir algunos costes relacionados con la potencia del transmisor y el tamaño de las antenas transmisoras y receptoras. Al mismo tiempo, puede ocurrir que algunos enlaces deban funcionar en frecuencias menores que las óptimas, a fin de evitar autointerferencia o interferencia perjudicial a otros usuarios en un entorno compartido. Gracias a las predicciones de frecuencias, se tiene una capacidad a priori para evaluar grupos de canales subóptimos que proporcionen la mejor fiabilidad posible del sistema en determinadas condiciones de funcionamiento. Es necesario también, al diseñar estos sistemas, garantizar que la potencia de señal más ruido entregada al receptor cumple los requisitos de sensibilidad del receptor escogido.

Otro aspecto relacionado con la frecuencia a tener en cuenta en el funcionamiento del sistema adaptable, es que se deben asignar frecuencias varias veces al día y según los cambios estacionales y el número de manchas solares. Lo ideal sería que el muestreo de frecuencias no rebasase más de media docena de éstas en un periodo de tiempo determinado. Siendo así, el sistema adaptable podría establecer los enlaces más rápidamente y se reduciría la interferencia causada al probar frecuencias inutilizables. Se debe también fijar un orden en el muestreo de frecuencias, para que durante un periodo determinado de tiempo se pruebe primero la frecuencia más fiable al establecer los enlaces. Si hay una frecuencia que es 90% fiable, el sistema debe fijarse durante 27 días del mes, a esa hora, en esa frecuencia y al primer ensayo. Las técnicas de previsión a corto plazo, e incluso en tiempo real, incrementan la posibilidad de encontrar la mejor frecuencia de funcionamiento en el menor tiempo posible. La ventaja de usar frecuencias previstas es que éstas tienen mayor probabilidad de permanecer estables durante toda la hora que una frecuencia encontrada mediante el muestreo aleatorio del espectro.

En resumen, hay dos niveles en el control de frecuencias en un sistema adaptable en ondas decamétricas. En primer lugar, se pueden utilizar predicciones para reducir la gama de frecuencias que deben muestrearse o sondearse en una situación real. El segundo nivel de control viene definido por las propiedades de canal que se derivan de los sondeos o de los esquemas de RTCE equivalentes, complementadas por el conocimiento de las tendencias esperadas en la disponibilidad de frecuencia obtenida a partir de un procedimiento de predicción apropiado. Se pueden utilizar sondeos de canal en banda (sondeo ALE, por ejemplo), sondeo con modulación de frecuencia y onda continua de banda completa (es decir, sondeos mediante ondas continuas moduladas en frecuencia), o parámetros obtenidos de la modulación utilizada. (Véase el Capítulo 6 del Manual sobre Sistemas y redes de comunicación adaptativos en frecuencia en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas, para más detalles sobre las técnicas de sondeo y análisis de canal en tiempo real.) Así y todo, el uso de predicciones de frecuencia es esencial para la elaboración de las listas de frecuencias más probables que deben emplearse durante las condiciones de trayecto diurnas y nocturnas, en un sistema de radiocomunicaciones adaptable en ondas decamétricas.

3 Balance de potencia

La fase siguiente en el diseño de un sistema de radiocomunicaciones adaptable en ondas decamétricas es el establecimiento del balance de potencia para cada uno de los enlaces ionosféricos en el circuito o la red. Gracias a él, se puede lograr un diseño rentable que permita obtener un servicio adecuado durante la vida útil del sistema. Para el diseño de dicho sistema también son necesarios los modelos de predicción del comportamiento con el mayor grado de precisión posible para simular las variaciones de la señal y el ruido. Los programas deben emplear todas las estadísticas de la variación esperada en las pérdidas de transmisión según el modo y la variación en el tiempo del ruido radioeléctrico atmosférico y artificial.

Tanta complejidad en el modelo de predicción se debe a que los sistemas de radiocomunicaciones adaptables en ondas decamétricas funcionan con relaciones S/N muy bajas. Para garantizar que la potencia y antenas de transmisión seleccionadas para cada enlace son adecuadas, se deben calcular cuidadosamente las potencias de la señal y del ruido (que varían con tiempo y la frecuencia) entregadas al receptor. De no ser así, se incurrirá en costes innecesarios debidos al sobredimensionamiento del sistema de comunicaciones o a fallos en el mismo cuando la potencia de la señal sea inferior al umbral de detección del receptor.

4 Proceso de diseño

El primer paso consiste en evaluar la ganancia de potencia necesaria (RPWRG) prevista en cada enlace del circuito o la red radioeléctricos. Se define como la potencia adicional o en exceso, expresada en dB, necesaria para obtener la relación S/N requerida, con una fiabilidad determinada. Un valor de 0 dB con fiabilidad del 90%, significará que la relación S/N necesaria se obtendrá o superará el 90% de los días del mes a esa hora del circuito.

En general, se inicializa el programa de predicción con una potencia supuesta del transmisor de 1 kW y con antenas isotropas (0 dBi). Para impedir que se consideren algunos modos con ángulos de despegue o llegada demasiado bajos, se fija un ángulo de despegue mínimo de 3° por encima del horizonte.

Actualmente, es necesario establecer, en esta etapa del proceso de diseño, una lista de frecuencias revisada (se pueden especificar hasta 11 bandas de frecuencia entre 2 y 30 MHz en una ejecución de un programa del tipo de los de la Recomendación UIT-R P.533 y VOACAP). El objetivo es seleccionar frecuencias comprendidas entre la LUF y la frecuencia probable más elevada, que se necesiten durante las horas, las estaciones y los números de manchas solares esperados en la vida útil del sistema. En otras palabras, sólo se justifica hacer predicciones del comportamiento para frecuencias que puedan usarse en la ionosfera. Los programas del tipo IONCAP o la Recomendación UIT-R P.533 no predicen, como tal, la LUF. En cambio, predicen la fiabilidad esperada a diversas frecuencias, que puede compararse con el requisito de servicio. (La LUF se define, a efectos de diseño, como la frecuencia menor para la que existirá una fiabilidad del 90% de que se satisfaga la relación S/N requerida o como aproximadamente el 90% de la MUF.) El paso siguiente en el diseño consiste en elegir la mínima relación de densidad S/N requerida para permitir que el sistema adaptable proporcione como mínimo un grado de servicio aceptable. Aún no se ha fijado claramente cuál puede ser el valor de la relación S/N necesaria para equipos de radiocomunicaciones adaptables en ondas decamétricas. Sin embargo, hay varias directrices que se pueden seguir a fin de seleccionar el equipo de radiocomunicaciones para el servicio deseado.

Las comunicaciones vocales analógicas se pueden mejorar ostensiblemente, usando técnicas de compresión y expansión para aumentar la potencia utilizada en la transmisión de la señal vocal. Normalmente, una relación S/N de 50 dB en una anchura de banda de potencia de ruido de 1 Hz proporcionará recepción vocal de calidad comercial, usando un equipo moderno de compresión/expansión.

Los sistemas digitales empleados para la transmisión de voz o datos tienen una gama considerable de relaciones de densidad S/N requeridas. Esto se debe a que pueden incluir diversidad temporal, espacial (de trayecto) y de frecuencias. En general, el coste de los módems aumenta con el grado de diversidad empleada en el diseño. Otro factor puede ser la tolerancia del usuario a las bajas velocidades de transmisión de datos durante los periodos de propagación deficiente. Se puede suponer, casi siempre, que el establecimiento de enlaces se obtiene a 40 dB en una anchura de banda de potencia de ruido de 1 Hz. No obstante, a esta velocidad no se puede transmitir prácticamente ningún tráfico digital. Si las relaciones de densidad S/N están entre 55 y 65 dB es posible una transmisión digital a velocidad baja o moderada. Para obtener velocidades de datos elevadas se requieren generalmente entre 65 y 75 dB en una anchura de banda de potencia de ruido de 1 Hz.

Las relaciones S/N requeridas son muy similares a las de la Recomendación UIT-R F.339. En los programas del tipo IONCAP se debe tener la precaución de no olvidar incluir la protección contra el desvanecimiento de corta duración al expresar la relación de densidad S/N necesaria en una anchura de banda de potencia de ruido de 1 Hz (generalmente 8 dB para el desvanecimiento de Rayleigh). Los valores son los requeridos en la etapa de RF del receptor.

Basándose en la experiencia de la Administración de Estados Unidos de América, se deben hacer las predicciones de comportamiento de los sistemas mediante un programa del tipo IONCAP o equivalente. Sería muy conveniente tener en cuenta los aspectos pertinentes de este grupo de programas y de la Recomendación UIT-R P.533 al establecer un conjunto óptimo de procedimientos a seguir. Independientemente de la aplicación, la comunidad de usuarios podrá, entonces, efectuar una selección más clara. Una vez elegido el modelo, se debe efectuar el análisis para todos los enlaces críticos, y este análisis debe cubrir la vida útil esperada del sistema. Si el sistema debe funcionar más de cinco años, el análisis tiene que hacerse para las horas de funcionamiento, las cuatro estaciones y los años que tengan un número de manchas solares de 10 y de 130. Los enlaces críticos pueden ser todos los de la red o aquellos que se sabe que son inferiores. En redes de radiocomunicaciones compuestas por una estación de base fija y estaciones móviles en el terreno, el enlace crítico será, probablemente, la estación móvil con menos potencia y con la antena más pequeña que se comunica con la estación de base. Podría ocurrir lo contrario si el entorno de la estación remota es sumamente ruidoso, como el caso de las aeronaves y otros.

Se debe estudiar el resultado del análisis de predicción, a fin de determinar la mínima ganancia de potencia requerida para cada una de las frecuencias candidatas especificadas como dato de entrada del programa. Por otra parte, es necesario también realizar un examen del requisito de ángulo de despegue/llegada asociado con la mínima ganancia de potencia requerida. A partir del cuadro de comparación de las mínimas ganancias de potencia requeridas y sus ángulos de despegue/llegada, se puede establecer el balance de potencia para la vida útil del sistema y la relación S/N necesaria para lograr el mínimo grado de servicio aceptable.

El paso siguiente es calcular los ángulos de despegue/llegada y seleccionar las antenas necesarias para cumplir con el requisito del ángulo en cada enlace crítico y para todas las frecuencias en cuestión. Se aconseja elaborar un gráfico de la ganancia de potencia requerida en función del ángulo de despegue, y luego representar gráficamente los diversos diagramas de antena, según los requisitos, teniendo en cuenta tanto el diagrama del transmisor como el del receptor. La pérdida de ganancia a diversos ángulos debe compensarse incrementando la potencia del transmisor, la cantidad necesaria de dB respecto al valor supuesto de 1 kW. Si las ganancias de potencia requeridas son negativas después de aplicar las ganancias de antena, se puede entonces reducir la potencia del transmisor en la cantidad necesaria de dB en relación con 1 kW.

Cuando las ganancias de potencia requeridas son tan elevadas que tanto la potencia de las antenas como la del transmisor son inaceptables, se reducirá la relación S/N requerida, pero no por debajo de 40 dB en una anchura de banda de potencia de ruido de 1 Hz. Esto puede hacerse de dos maneras: rebajando el tipo y grado de servicio o mejorando la adaptabilidad del equipo.

El paso final es calcular los diagramas de ganancia de potencia para las posibles antenas transmisora y receptora, teniendo en cuenta si el haz principal del diagrama está fuera o no del acimut de la ruta real de círculo máximo para cada enlace. En muchos casos, se puede calcular el diagrama de ganancia de potencia requerida usando un programa de cálculo de diagramas de antena, HFANT, inherente a los programas del tipo IONCAP. Los diagramas de antena se especifican entonces para uso en el programa de predicción del comportamiento, la potencia del transmisor se ajusta al valor determinado anteriormente y, si ha lugar, se ajusta también la relación S/N requerida. De este análisis debe obtenerse la capacidad de funcionamiento esperada del diseño propuesto.

Lo primero que se debe buscar son los valores de fiabilidad horaria en cada una de las combinaciones de frecuencias, horas, meses y número de manchas solares posibles. El objetivo es tener al menos una frecuencia para cada hora, con la que se satisfaga o supere la mínima relación S/N requerida, con una fiabilidad del 90%. Cuando se haya utilizado una mínima relación S/N requerida que sea representativa de la capacidad de establecer conectividad del enlace, el sistema debe entonces poder completar el enlace durante 27 días al mes durante toda su vida útil. Esto supone que se proporciona una frecuencia cercana a la del análisis de predicción en la atribución de frecuencias y que las condiciones ionosféricas no están fuertemente perturbadas.

A continuación, se deben analizar los valores medianos de las relaciones S/N resultantes de la predicción. Es necesario que haya, al menos, entre tres y cinco frecuencias, en cada hora a lo largo de la vida útil del sistema, para las que se hayan previsto valores medianos de las relaciones S/N iguales o superiores a la relación S/N requerida deseada. Ello permitirá al sistema hacer un uso óptimo de las características del ALE. Por ejemplo, si hay cuatro frecuencias con relaciones S/N adecuadas durante el 50% de los días del mes (es decir, la mediana), la probabilidad combinada de que una de ellas esté disponible a ese nivel o por encima de él es del 93%, suponiendo que las distribuciones son independientes entre sí. Esto puede producir una sobreestimación del valor, especialmente en los días en que la MUF es menor y la LUF es mayor, como ocurre durante los fenómenos de perturbaciones geomagnéticas intensas. Sin embargo, es una estimulación razonable de la robustez del diseño puesto que hay anchura de banda suficiente a cada hora como para que el ALE pueda encontrar una frecuencia utilizable en un tiempo de búsqueda tan reducido como sea necesario.

Para terminar, se debe examinar la potencia prevista de la señal, para las tres a cinco mejores frecuencias por cada hora en el análisis de predicción. Aunque la relación S/N y la fiabilidad predicha parezcan reunir los requisitos del sistema, no se garantiza que la potencia de la señal cumpla con el requisito de sensibilidad del receptor. En las futuras actualizaciones de los modelos de predicción sería útil incluir el ruido térmico del receptor en el cálculo de las potencias de ruido. De esta manera, se evitaría este paso final en el proceso de diseño propuesto.

5 Conclusiones

Se presentan algunas directrices para la evaluación de los sistemas cuasiadaptables en ondas decamétricas. No están destinadas a aplicarse en todo el mundo. Es probable que un sistema adaptable determinado requiera un enfoque modificado. Se puede mejorar el comportamiento de los sistemas adaptables en ondas decamétricas si se siguen estas directrices, que se han probado mediante el programa VOACAP, en este ejemplo. El modelo de la versión actual de la Recomendación UIT-R P.533 (es decir, el modelo REC533) podría sin duda examinarse de la misma manera.

6 Lista de acrónimos y abreviaturas

ALE	Establecimiento automático de enlace (<i>automatic link establishment</i>)
FM-CW	Modulación de frecuencia y onda continua
FOT	Frecuencia óptima de trabajo (<i>optimum working frequency</i>)
HFANT	Programa de cálculo de diagramas de antena (<i>antenna pattern calculation program</i>)
HPF	Frecuencia probable más elevada (<i>highest probable frequency</i>)
ICEPAC	Análisis del perfil mejorado de las comunicaciones ionosféricas y predicción del circuito (<i>ionospheric communications enhanced profile analysis and circuit prediction</i>)
IONCAP	Análisis y predicción de comunicaciones ionosféricas (<i>ionospheric communications analysis and prediction</i>)
ITS	<i>Institute for Telecommunication Sciences National Telecommunication and Information Administration (NTIA)</i> de Estados Unidos de América
LUF	Frecuencia mínima utilizable
MUF	Frecuencia máxima utilizable
RPWRG	Ganancia de potencia necesaria (<i>required power gain</i>)
RTCE	Evaluación de canal en tiempo real (<i>real time channel evaluation</i>)
VOACAP	Análisis y predicción de comunicaciones de la «Voice of América» (<i>Voice of America communication analysis prediction</i>)
