

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1079*

**REQUISITOS RELATIVOS A LA CALIDAD DE LAS SEÑALES VOCALES Y DATOS
EN BANDA VOCAL EN LAS TELECOMUNICACIONES MÓVILES
INTERNACIONALES-2000 (IMT-2000)**

(Cuestión UIT-R 39/8)

(1994)

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1. Introducción	2
2. Ámbito de aplicación	2
3. Estructura de la Recomendación	3
4. Documentación conexas	3
5. Definiciones	3
5.1 Calidad de las señales vocales	3
5.2 Calidad de las conexiones	3
5.3 Retenibilidad del servicio	4
5.4 Fiabilidad	4
5.5 Directrices para el diseño	5
5.6 Directrices para la gestión	5
5.7 Velocidad binaria bruta de las señales vocales	5
6. Consideraciones	6
7. Recomendaciones	6
7.1 Principales requisitos de calidad de las señales vocales	6
7.1.1 Calidad subjetiva	6
7.1.2 Calidad de voz natural y reconocimiento del hablante	6
7.1.3 Facilidad de conversación	6
7.1.4 Pérdida de interactividad debida al retardo en el trayecto de conversación	6
7.1.5 Protección contra el eco	6
7.1.6 Uniformidad en entornos diferentes	6
7.1.7 Efectos de la transcodificación	6
7.1.8 Calidad de las conexiones de extremo a extremo	7
7.1.9 Acústica del microteléfono	7
7.1.10 Tonos de progresión de la llamada, anuncios y música	7
7.1.11 Reconocimiento de la voz	7
7.1.12 Traspaso	7
7.1.13 Velocidad binaria bruta de las señales vocales	7
7.1.14 Resistencia	7
7.1.15 Ruido acústico de fondo	7
7.1.16 Coste y consumo de potencia	7
7.1.17 Interconexión entre usuarios de las IMT-2000 de redes diferentes	7
7.1.18 Objetivos de los códecs de señales vocales	7
7.1.19 Prueba de la calidad de las señales vocales	8
7.2 Principales requisitos de los datos en banda vocal	8
7.2.1 Requisitos de señalización de la DTMF	8
7.2.2 Requisitos de los datos en banda vocal	8
7.3 Requisitos del funcionamiento radioeléctrico	8
7.3.1 Requisitos de calidad de las señales vocales	8
7.3.2 Requisitos de calidad de las conexiones	8
Anexo 1 – Objetivos de los códecs de señales vocales de las IMT-2000	9
Anexo 2 – Generación de modelos en materia de errores para interfaces «aire» de las IMT-2000	11
Anexo 3 – Modelo en materia de errores provisional de las IMT-2000 – Bellcore	16

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención del Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT.

1. Introducción

Las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000) son sistemas móviles de tercera generación cuya entrada en servicio está prevista hacia el año 2000, a reserva de factores dependientes del mercado. Por medio de uno o varios radioenlaces, las IMT-2000 facilitarán el acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicación admitidos por las redes de telecomunicación fijas (por ejemplo, red telefónica pública con conmutación (RTPC), red digital de servicios integrados (RDSI)) y a otros servicios específicos de los usuarios móviles.

Se dispone de diferentes tipos de terminales móviles, que enlazan con redes terrenales o por satélite, y los terminales pueden diseñarse para utilización móvil o fija.

Las características principales de las IMT-2000 son las siguientes:

- alto grado de uniformidad de diseño a escala mundial,
- compatibilidad de los servicios de las IMT-2000 entre sí y con las redes fijas,
- alto nivel de calidad,
- utilización de un terminal de bolsillo a escala mundial.

Las IMT-2000 vienen definidos en una serie de Recomendaciones interdependientes, una de las cuales es la presente.

Esta Recomendación forma parte del proceso de especificación de las interfaces radioeléctricas de las IMT-2000. Dichos sistemas funcionarán a escala mundial según identificó la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) (1 885-2 025 y 2 110-2 200 MHz, limitándose el segmento de satélite a las frecuencias 1 980-2 010 y 2 170-2 200 MHz).

El tema de las IMT-2000 es complejo y su representación en forma de Recomendaciones está evolucionando. Para mantener el ritmo de avance en esta materia, es necesario elaborar una secuencia de Recomendaciones sobre diversos aspectos. Las Recomendaciones tendrán que evitar la aparición de conflictos entre sí. No obstante, se utilizarán Recomendaciones futuras o nuevas revisiones para resolver todas las discrepancias.

La presente Recomendación sobre requisitos de calidad de funcionamiento define las necesidades respecto a las señales vocales y los datos en banda vocal, la calidad de las conexiones y la calidad de funcionamiento de las interfaces radioeléctricas que ha de conseguirse en las IMT-2000.

En sus anexos se analizan los objetivos de los códecs de señales vocales y los modelos en materia de errores de la interfaz radioeléctrica que han de utilizarse en los códecs de pruebas.

En la Recomendación UIT-T G.174 figuran otros objetivos de calidad de la transmisión.

2. Ámbito de aplicación

La presente Recomendación define los requisitos relativos a la calidad de las señales vocales y funcionamiento de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000), incluyendo aspectos de satélite.

En esta Recomendación figura la lista de Recomendaciones básicas que son esenciales para el logro de una calidad de las señales vocales comparable a la de la red fija, especificando voz natural (libre, por ejemplo, de retardos excesivos y ecos), que permita a los usuarios conversar fácilmente utilizando la red de las IMT-2000, teniendo en cuenta la gama completa de degradaciones, tales como el ruido de transcodificación y el ruido ambiental, que cabe esperar.

También se define en esta Recomendación la calidad de las conexiones, en relación con aspectos tales como el tiempo de establecimiento de la comunicación y la probabilidad de traspasos, que debe obtenerse en la red de las IMT-2000, y que el usuario esperará que, en una red IMT-2000, sea comparable a la de la red fija.

La presente Recomendación trata también de los datos en banda vocal, además de las señales vocales.

En el anexo 1 a la Recomendación se indican los parámetros de los códecs de señales vocales para las aplicaciones de las IMT-2000 y los anexos 2 y 3 se refieren a la definición del modelo de errores que ha de emplearse en la prueba y selección de códecs de señales vocales que se proponga utilizar en la red de las IMT-2000.

3. Estructura de la Recomendación

El texto presente contiene Recomendaciones relativas a la calidad de las señales vocales, la calidad de las conexiones, los datos en banda local, los requisitos para otros servicios y los requisitos de funcionamiento radioeléctrico. Hay además importantes anexos que tratan de los objetivos de los códecs de señales vocales para las IMT-2000 y de modelos de errores para la prueba y selección de códecs de señales vocales.

4. Documentación conexas

Los textos indicados a continuación contienen información aplicable conexas:

- Recomendación UIT-T G.114: Tiempo medio de propagación en un sentido
- Recomendación UIT-T G.131: Estabilidad y ecos
- Recomendación UIT-T G.173: Aspectos del servicio vocal en las redes móviles terrestres públicas digitales relacionados con la planificación de la transmisión
- Recomendación UIT-T G.726: Modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) a 40, 32, 24, 16 kbit/s
- Recomendación UIT-R M.1034: Requisitos de las interfaces radioeléctricas para las IMT-2000
- Recomendación UIT-T E.800: Vocabulario de calidad de servicio y seguridad de funcionamiento
- Recomendación UIT-T E.770: Concepto de grado de servicio de tráfico en la interconexión de redes móviles terrestres y fijas
- Recomendación UIT-T E.771: Parámetros de grado de servicio de red y valores objetivo para los servicios móviles terrestres con conmutación de circuitos
- Recomendación UIT-R M.816: Marco para los servicios que prestarán las IMT-2000
- Recomendación UIT-R M.818: Funcionamiento por satélite en las IMT-2000
- Proyecto de Recomendación UIT-T G.174: Calidad de transmisión de los sistemas de comunicación personal inalámbrica terrenal
- Recomendación UIT-T P.79: Cálculo de índices de sonoridad

5. Definiciones

5.1 Calidad de las señales vocales

La calidad de las señales vocales expresa el grado de satisfacción del cliente con la transmisión de la conversación. La calidad de las señales vocales depende de la del trayecto de conversación en su conjunto, desde el hablante en un extremo de la conexión al oyente en el otro, y pueden establecerse dos categorías de calidad de las señales: la que depende sobre todo de la acústica del microteléfono y la que depende principalmente del medio de transmisión. Los servicios de telecomunicación en los que tenga que prestarse una atención especial a la calidad de las señales vocales, tales como la teleconferencia audio y el correo vocal, deberán también tenerse en cuenta.

5.2 Calidad de las conexiones

La calidad de las conexiones se expresa en la Recomendación UIT-T E.770 como un grado de servicio (GOS – grade of service). Los parámetros de GOS son el tiempo de señalización en el establecimiento de la comunicación y la demora de liberación de la llamada, así como la probabilidad de bloqueo de extremo a extremo, la probabilidad de que se produzca un traspaso infructuoso, etc.

5.3 Retenibilidad del servicio

En la Recomendación UIT-T E.800 se define la retenibilidad del servicio como «la probabilidad de que un servicio, una vez obtenido, continúe siendo prestado durante una comunicación en condiciones determinadas», por ejemplo en condiciones de desvanecimiento, ensombrecimiento e interferencia cocanal.

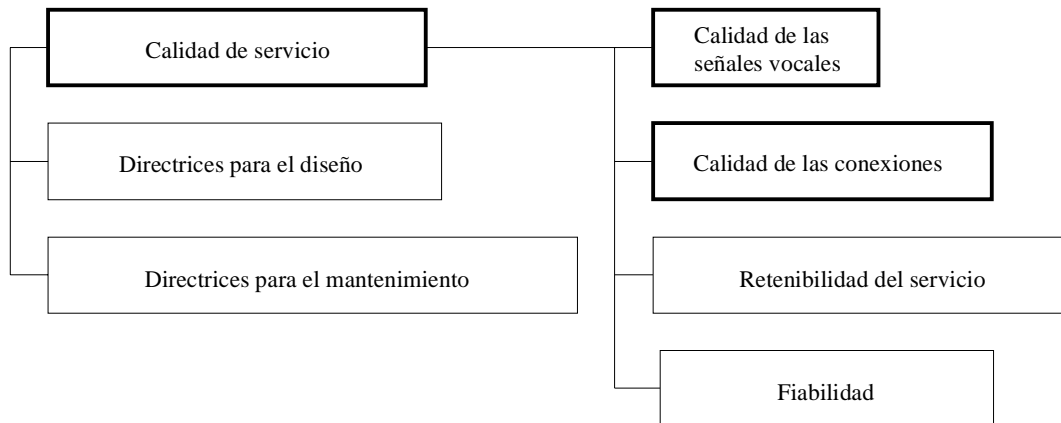
5.4 Fiabilidad

En la Recomendación UIT-T E.800 se define la fiabilidad como «la probabilidad de que un elemento pueda realizar una función requerida en condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo determinado». Las averías de una red telefónica se pueden clasificar en dos tipos. El primero de ellos se refiere a los casos en que el usuario se encuentra con una avería menor en el segmento de red que no es su propio segmento, pudiéndose restablecer el servicio si el usuario llama de nuevo una vez. El segundo tipo corresponde a aquellas averías que se producen en el segmento de usuario o bien se trata de averías importantes en el segmento de red, en cuyo caso no se puede prestar el servicio, incluso aunque el usuario llame varias veces. Una medida de la fiabilidad del segmento de usuario es la tasa de fallos y una medida, para el segmento de red, es la indisponibilidad.

5.5 Directrices para el diseño

Para prestar servicios de telecomunicación que cumplan los criterios especificados en cuanto a calidad de los mismos es preciso dar directrices relativas al diseño de la red. Cabe esperar que, la calidad de los sistemas diseñados de acuerdo con dichas directrices, satisfagan las recomendaciones que se hacen a continuación (véase la fig. 1).

FIGURA 1
Ejemplo de estructura funcional de la calidad
para servicios de telecomunicación



: Ampliación de la Recomendación UIT-R M.1079

D01

5.6 Directrices para la gestión

Son necesarias directrices para el mantenimiento y la explotación de las facilidades. En base a dichas directrices, el proveedor de un servicio o el operador de una red mantienen el servicio, evalúan su calidad para mejorarlo y toman medidas correctoras.

5.7 Velocidad binaria bruta de las señales vocales

La velocidad binaria bruta de las señales vocales es aquella velocidad binaria que se requiere para que el códec de señales vocales satisfaga los requisitos de calidad de las mismas, incluyendo los bits redundantes para el control de errores en los bits de las señales vocales codificadas y los bits de sincronización interna, si se necesitan, pero excluyendo la palabra de sincronización para la transmisión radioeléctrica, el canal de control asociado para el control de la llamada y el mantenimiento de las características del canal radioeléctrico.

6. Consideraciones

En la elaboración de esta Recomendación se consideraron los siguientes factores:

- a) que el UIT-R ha estado estudiando las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000) y ha publicado las Recomendaciones UIT-R M.687, UIT-R M.816, UIT-R M.817, UIT-R M.818, UIT-R M.819, UIT-R M.1034, UIT-R M.1035, UIT-R M.1036 y UIT-R M.1078 relacionadas con estos sistemas;
- b) que los estudios del UIT-R siguen su curso y están siendo dirigidos por el Grupo de Tareas Especiales 8/1, de acuerdo con la Decisión UIT-R 116;
- c) que las IMT-2000 comprenden varios sistemas diferentes;
- d) que los usuarios esperarán que la calidad de las señales vocales, la calidad de la transmisión de la información, la fiabilidad de la conexión y el grado de bloqueo sean comparables a los de los mismos servicios prestados por las redes fijas, aun reconociendo las limitaciones impuestas por el entorno radioeléctrico;
- e) que la disponibilidad de los servicios dependerá de factores, tales como el tipo de terminal móvil y la velocidad de desplazamiento, así como de factores geográficos; por ejemplo, que los terminales sean de un tamaño que permita transportarlos a mano o bien se hallen montados en vehículos, que estén ubicados en interiores o en exteriores, en zonas residenciales o comerciales, en zonas urbanas, suburbanas o rurales, etc.;
- f) las Recomendaciones UIT-T pertinentes y los estudios en curso;
- g) que es necesario que los terminales móviles transiten entre redes públicas de telecomunicaciones móviles terrestres de diferentes países y entre las redes de un mismo país;
- h) que las IMT-2000 ofrecerán servicios vocales y no vocales que interconectan con la RTPC, la RDSI, la RDSI-BA y otras redes públicas;
- j) que las aplicaciones de datos en banda vocal serán una parte inicial importante de las IMT-2000 y de la aplicación de las IMT-2000 en beneficio de los países en desarrollo;
- k) que la elección del códec de señales vocales y la calidad de las señales vocales conseguida en la red móvil repercutirá de manera importante en la penetración del mercado telefónico. Si la calidad es baja y el retardo en el trayecto de conversación es demasiado grande, la adopción de las IMT-2000 por el público en general quizá no alcance el nivel esperado;
- l) que este tema no se ha expuesto por completo en los sistemas de primera y segunda generación, porque dichos sistemas se utilizan para dar servicio a las personas para las que la movilidad es imperativa. En un mercado a gran escala, con muchos usuarios en un entorno estático o semimóvil, la movilidad puede no ser razón suficiente como para justificar la baja calidad y el retardo excesivo, en competición con una red fija que ofrece calidad de alto nivel;
- m) que en un mercado competitivo a gran escala, un número importante de llamadas será de móvil a móvil, o hará uso de las conexiones en cascada, y que, en tales circunstancias, la calidad debe ser mantenida adecuadamente;
- n) que los usuarios esperarán que la calidad de las señales vocales se mantenga en las conexiones a través de la RTPC en las que intervengan transcodificación a 64 kbit/s MIC, equipo digital de multiplicación de circuitos, MICDA y circuitos analógicos;
- o) que en el UIT-T y en otros organismos continúan los estudios sobre la calidad de las señales vocales y la repercusión del retardo en el trayecto de audio.

7. Recomendaciones

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT *recomienda* que se cumplan los siguientes requisitos.

7.1 Principales requisitos de calidad de las señales vocales

7.1.1 Calidad subjetiva

La calidad de las señales vocales deberá ser comparable a la de la red fija, para usuarios de diferente edad, sexo e idioma, de conformidad con los requisitos descritos más adelante (véase el proyecto de Recomendación UIT-T G.174).

7.1.2 Calidad de voz natural y reconocimiento del hablante

Las señales vocales deberán sonar como voz humana natural. Es fundamental que el usuario sea capaz de reconocer la voz de personas llamantes cuya voz le sea familiar.

7.1.3 Facilidad de conversación

Deberá resultarles fácil a los abonados utilizar el sistema cuando se requiera intercambiar información en conversaciones mantenidas por la conexión, incluido el caso de habla simultánea en que ambos participantes hablan a la vez.

7.1.4 Pérdida de interactividad debida al retardo en el trayecto de conversación

Las conversaciones entre usuarios no deberán sufrir una pérdida de la interactividad apropiada por un retardo excesivo en la conexión. El retardo puede interferir en aplicaciones de usuario, por ejemplo en la facilidad con que pueden mantenerse conversaciones interactivas. Resulta fundamental, por consiguiente, controlar el retardo introducido por las IMT-2000.

En la Recomendación UIT-T G.173 se indica que, en una red pública digital de telecomunicaciones móviles terrestres con suficiente control del eco, el objetivo de retardo medio en un sentido debe ser de 20 ms y que el retardo en un sentido no debe exceder de 40 ms. Se admite que, en el segmento de satélite, el retardo en un sentido puede exceder de 40 ms debido al retardo de propagación (véase la Recomendación UIT-T G.114).

Incluso aunque pueda producirse un retardo mayor en una conexión por satélite, el retardo se reducirá al mínimo en el acceso inalámbrico a la red de la mayoría de las llamadas, que utilizan conexiones terrenales.

Se necesita un estudio ulterior sobre cómo distribuir el retardo permitido entre el códec de señales vocales y la capa física radioeléctrica.

7.1.5 Protección contra el eco

El control del eco en el entorno de las IMT-2000 es un tema complejo. La experiencia de otros sistemas debe tratarse con cautela. Los retardos que pueden ser considerados como tolerables en sistemas independientes quizás no sean aceptables en las IMT-2000. Habrá que referirse al proyecto de Recomendación UIT-T G.174.

Manteniendo el retardo de acceso suficientemente bajo, puede evitarse la necesidad de controlar el eco y conseguir un notable ahorro en los costes.

7.1.6 Uniformidad en entornos diferentes

Cuando se utilicen interfaces aire diferentes para el acceso en entornos distintos (por ejemplo, picocélulas, células grandes, etc.) se aplicarán los mismos requisitos en cuanto a calidad de las señales vocales. El abonado deberá encontrar que la calidad de las señales vocales es uniforme en todo el sistema.

Se reconoce que quizás se requieran códecs más complejos, con un consumo de potencia mayor, para alcanzar la calidad requerida de las señales vocales de las IMT-2000 en células grandes, en donde se necesitan velocidades binarias inferiores para lograr la eficacia espectral.

7.1.7 Efectos de la transcodificación

Las conexiones de extremo a extremo en las IMT-2000 comienzan, habitualmente, en un tipo de célula, siguen a través de la red fija y terminan en un tipo de célula distinto, pasando posiblemente a través de un segmento de satélite, en las IMT-2000 o en la red fija. Si se eligen diferentes códecs de señales vocales en estos entornos de acceso inalámbrico distintos y en la red fija, se producirá la concatenación de una diversidad de códecs de señales vocales con la consiguiente pérdida de calidad de las mismas, como resultado de la necesaria transcodificación.

Deberán estudiarse técnicas que reduzcan al mínimo la necesidad de la transcodificación y la repercusión de la misma.

Para cumplir los requisitos de calidad de las señales vocales que figuran en la presente Recomendación deberán tenerse muy en cuenta los efectos de la transcodificación.

7.1.8 Calidad de las conexiones de extremo a extremo

Los requisitos de calidad de las señales vocales se cumplirán en conexiones completas de extremo a extremo, que incluyen las degradaciones debidas a las interfaces aire (con condiciones de propagación e interferencia típicas), la transcodificación, el retardo y los ecos en la conexión, etc.

7.1.9 Acústica del microteléfono

La acústica del microteléfono resulta de gran importancia cuando se determina la calidad audio global de los sistemas inalámbricos. Una primera consideración consiste en asegurarse de que los niveles de señal de emisión, recepción y efecto local son compatibles con la telefonía de línea alámbrica convencional. Dichos niveles se especifican normalmente en términos de índices de sonoridad (véase la Recomendación UIT-T P.79) y en el proyecto de Recomendación UIT-T G.174 se dan valores adecuados. Sin embargo, consideraciones de otro tipo, como por ejemplo la forma del microteléfono (posición del micrófono con respecto a la boca del usuario y hermeticidad del auricular aplicado a la oreja del usuario) también son importantes, sobre todo en condiciones de funcionamiento ruidosas.

7.1.10 Tonos de progresión de la llamada, anuncios y música

No deberá haber ningún efecto molesto en los tonos de progresión de la llamada, en los anuncios de red o en la música cuando se esté en retención.

7.1.11 Reconocimiento de la voz

Deberá tomarse en consideración la necesidad de mantener aquellos aspectos de las señales vocales que se utilizan en sistemas de reconocimiento de la voz ya probados con señales vocales procedentes de sistemas alámbricos y en los previsibles sistemas de reconocimiento de la voz del futuro.

7.1.12 Traspaso

El usuario no deberá percibir los efectos del traspaso en la calidad de las señales vocales o de los datos en banda vocal.

7.1.13 Velocidad binaria bruta de las señales vocales

Al seleccionar el códec de señales vocales deberá tenerse en cuenta no tanto la velocidad binaria del códec como la velocidad binaria bruta de las señales vocales requerida en la interfaz radioeléctrica para sustentar tanto las señales vocales digitales como la necesaria codificación para el control de errores (véase el § 5.7).

De manera alternativa, el factor de calidad para la selección de un códec de señales vocales podría ser la capacidad resultante del sistema.

7.1.14 Resistencia

Es importante la capacidad de soportar errores aleatorios, errores en ráfaga y altas proporciones de bits erróneos en toda la zona de servicio. La clasificación de las posibles combinaciones de códec de señales vocales/canal puede ser diferente en condiciones buenas y en condiciones marginales.

7.1.15 Ruido acústico de fondo

Se prevé en que los entornos de las IMT-2000 se genere un mayor nivel de ruido acústico de fondo que en los sistemas alámbricos, debido a las contribuciones al ruido procedentes, por ejemplo, del tráfico rodado, los ferrocarriles, las estaciones de autobuses, etc. El códec de señales vocales y los transductores asociados deben ser resistentes, por consiguiente, frente a ese ruido acústico de fondo.

El códec de señales vocales deberá resistir también la presencia de otros hablantes en el entorno.

7.1.16 Coste y consumo de potencia

Las propuestas relativas a la codificación de las señales vocales y los canales deberán evaluarse en función de su coste esperado, su consumo de potencia y su complejidad.

7.1.17 Interconexión entre usuarios de las IMT-2000 de redes diferentes

Cualquier degradación de la calidad de las señales vocales resultante de la transcodificación entre dos usuarios de las IMT-2000 deberá reducirse al mínimo.

7.1.18 Objetivos de los códecs de señales vocales

El anexo 1 contiene un cuadro de parámetros de códecs de señales vocales para la aplicación de las IMT-2000. Se dan los valores necesarios de los parámetros junto con los valores que han de utilizarse como objetivos.

7.1.19 Prueba de la calidad de las señales vocales

La aptitud de las IMT-2000 para satisfacer los requisitos de calidad de las señales vocales que se dan más arriba deberá juzgarse con un método de selección realista, que tenga en cuenta las degradaciones del canal radioeléctrico móvil.

Las pruebas deben incluir conversaciones bidireccionales en las que los hablantes actúan en condiciones reales que imponen demandas a la utilización del canal.

Deberá estar representada la gama de escenarios de conexión, incluyendo los de móvil a fijo, móvil a móvil, la inclusión de enlaces por satélite en la interfaz móvil, de enlaces por satélite en la red, etc. Degradaciones tales como los ecos y retardos de traspasos y red deberán estar incluidas.

Durante la prueba, se forzará la conexión vocal con un esquema de errores generado por un modelo de errores relacionado con la interfaz aire. Todavía no se ha seleccionado la tecnología de las interfaces aire por lo que deberá utilizarse un modelo de errores provisional.

El modelo de errores provisional es el modelo Bellcore descrito en el anexo 3, que es representativo de los errores en ráfaga a los que tienen que hacer frente los usuarios de los sistemas móviles que se desplazan lentamente o permanecen estacionarios. El Grupo de Tareas Especiales 8/1 espera generar nuevos modelos de errores, apropiados a las tecnologías de las interfaces aire elaboradas para las IMT-2000 y a la gama de entornos y velocidades de vehículos que cabe esperar en los sistemas. En el anexo B se da una explicación de la generación de modelos de errores para interfaces de las IMT-2000.

7.2 Principales requisitos de los datos en banda vocal

7.2.1 Requisitos de señalización de la DTMF

La transmisión de información mediante multifrecuencia bitono (DTMF – dual tone multiple frequency) deberá ser sustentada por las IMT-2000 con una calidad comparable a la de la red fija (véase el proyecto de Recomendación UIT-T G.174).

Los tonos DTMF pueden originarse en el teclado numérico del microteléfono o en un dispositivo independiente, acoplado acústicamente.

Sería conveniente poder transmitir los tonos DTMF cursándolos transparentemente a través del códec de señales vocales, para hacer mínimo el coste del microteléfono y de la infraestructura de la red. Existe el peligro, no obstante, de que no se logre una característica en materia de errores adecuada debido a las degradaciones en la interfaz radioeléctrica. También se puede producir una carga innecesaria en el códec de señales vocales. En consecuencia, los tonos DTMF que entren en el microteléfono por acoplamiento acústico serán reconocidos como tales y transportados en las IMT-2000 como señales de datos, a menos que pueda garantizarse una característica en materia de errores adecuada con transmisión transparente.

7.2.2 Requisitos de los datos en banda vocal

Las señales de datos en banda vocal sustentadas por las IMT-2000 se transmitirán con una calidad comparable a la de la red fija (véase el proyecto de Recomendación UIT-T G.174). Un ejemplo importante de datos en banda vocal es el facsímil del tipo «Grupo 3».

7.3 Requisitos del funcionamiento radioeléctrico

7.3.1 Requisitos de calidad de las señales vocales

La calidad de las señales vocales en una conexión de las IMT-2000 en la que intervengan dos interfaces radioeléctricas, en las condiciones de errores definidas por el modelo actual de errores de las IMT-2000, junto con cualquier transcodificación necesaria, no deberá degradarse en más de 0,5 puntos de la nota media de opinión (MOS – mean opinion score) en comparación con la calidad de las señales vocales sin errores del tipo de Recomendación UIT-T G.726 a 32 kbit/s.

7.3.2 Requisitos de calidad de las conexiones

Los telecomunicaciones móviles internacionales-2000 deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en el cuadro 1, para los que todavía no se han especificado valores (véase también el proyecto de Recomendación UIT-T G.174).

CUADRO 1

Requisitos de calidad de las conexiones

Probabilidad de bloqueo en el radioenlace	En estudio
Probabilidad de bloqueo entre las IMT-2000 y la red fija	En estudio
Demora después de seleccionar	En estudio
Demora de la señal de respuesta	En estudio
Demora de liberación de la llamada	En estudio
Probabilidad de desconexión imprevista	En estudio
Probabilidad de traspaso infructuoso	En estudio

ANEXO 1

Objetivos de los códecs de señales vocales de las IMT-2000**1. Introducción**

La Recomendación UIT-R M.1034 identifica varios entornos terrenales y por satélite que impondrán diferentes requisitos a los códecs de señales vocales utilizados en dichos entornos. Por ejemplo, en un extremo habrá usuarios que accedan al sistema en células urbanas muy pequeñas utilizando pequeños microteléfonos, en cuyo caso cualquier disminución de la calidad contrastará fuertemente con el acceso alámbrico convencional, que a menudo estará disponible de manera inmediata. Los códecs de señales vocales tendrán que satisfacer los requisitos de calidad de las IMT-2000 con un bajo consumo de potencia y sufrir además una mínima degradación de la calidad debida a la transcodificación en la red. En esta situación, quizás sea conveniente utilizar un códec de señales vocales con una velocidad binaria elevada y un consumo de potencia más bajo y menos complejo, por consiguiente. Este códec podría considerarse como un tipo de códec de señales vocales de clase A (véase más abajo).

En las células en las que, por consideraciones relativas al espectro, se requiera una velocidad binaria más baja, será conveniente utilizar un códec de señales vocales con una velocidad binaria inferior, lo que dará como resultado una mayor complejidad y un mayor consumo de potencia en el códec para satisfacer los requisitos de calidad de las IMT-2000. Un códec de señales vocales de esas características podría considerarse un códec de clase B.

Cuando se estudien las conexiones por satélite, la consideración del espectro puede dar lugar, de nuevo, a la adopción de una velocidad binaria incluso inferior, con el consiguiente aumento de la complejidad y el consumo de potencia para satisfacer los requisitos de calidad de las IMT-2000. Esta progresión, desde códecs de forma de onda poco compleja y velocidad binaria elevada a códecs con un algoritmo de mayor complejidad y velocidad binaria baja para satisfacer la necesidad de una eficacia creciente en la utilización del espectro, es la que se sigue en los objetivos de códecs de señales vocales que se identifican más adelante.

Si las IMT-2000 adoptaran más de un códec de señales vocales, deberían estudiarse las maneras de minimizar la repercusión de la consiguiente transcodificación, por ejemplo, adoptando estructuras de tramas comunes o métodos de sincronización.

Es preciso insistir en que todos los códecs de señales vocales deben cumplir los mismos requisitos de calidad de las IMT-2000, si bien es probable que tengan diferentes parámetros, especialmente en su velocidad binaria y su consumo de potencia. Para satisfacer el requisito de las IMT-2000 en cuanto a número mínimo de códecs de señales vocales, y conseguir al mismo tiempo una utilización eficaz del espectro y una amplia aceptación de los sistemas por parte del mercado, es preciso relacionar los parámetros necesarios de los códecs de señales vocales de las IMT-2000 con los entornos previsibles. El cuadro 2 indica la lista de entornos que se da en la Recomendación UIT-R M.1034 y los relaciona con clases de códecs de señales vocales. A continuación dichas clases de códecs se definen enumerando sus parámetros para establecer los objetivos del desarrollo de códecs de señales vocales, requeridos por la Comisión de Estudio 15 de Normalización de las Telecomunicaciones.

2. Entornos radioeléctricos

Los entornos radioeléctricos siguientes se han tomado de la Recomendación UIT-R M.1034:

CUADRO 2

Entorno	Clase
En interiores comercial	A
De vecindad en interiores/exteriores	A y B
De domicilio	A
En exteriores urbano de vehículo	B
En exteriores urbano peatonal	A y B
En exteriores rural	B
En exteriores fijo	B
Terrenal aeronáutico	B
Local de gran velocidad binaria	A
Urbano por satélite	B y C
Rural por satélite	C
De satélite con montaje fijo	C
En interiores por satélite	C

Las clases A, B y C identifican la uniformidad de requisitos en los diferentes entornos radioeléctricos, en el sentido de que un códec de señales vocales que satisfaga, por ejemplo, el entorno comercial, probablemente también satisfará el entorno de domicilio. Hay que tener en cuenta que las IMT-2000 exigen un número mínimo de códecs, por lo que un códec que cumpliera los requisitos de más de una clase podría ser una elección conveniente, pero plantearía la cuestión del compromiso entre tener menos códecs o tener códecs que se ajusten más a la necesidad.

3. Parámetros de los códecs de señales vocales

CUADRO 3

Parámetro	Clase					
	A		B		C	
	Valor requerido	Objetivo	Valor requerido	Objetivo	Valor requerido	Objetivo
Calidad de señales vocales sin errores	G.726		G.726		G.726	
Retardo en el códec (un sentido) (ms)	10	2	20	10	40	20
Consumo de potencia (mW)	2	1	20	5	300	200
Velocidad binaria del códec de señales vocales (kbit/s)	32	16	16	4	4	2-3
Capacidad de velocidad binaria adaptable (kbit/s)	no	sí	sí	sí	sí	sí
Capacidad de detección de actividad vocal	no	no	sí	sí	sí	sí
Transparente a la DTMF	no	sí	no	sí	no	sí

Nota 1 – Las cifras de consumo de potencia se basan en la tecnología que se prevé para el año 2000.

4. Métodos de prueba

Las pruebas deberán tener en cuenta los errores en el canal radioeléctrico móvil y también la utilización paraconversacional de la conexión telefónica.

Todavía no se han definido las tecnologías de transmisión inalámbrica en las IMT-2000; pueden ser de acceso múltiple por división de tiempo (AMDT) o de acceso múltiple por división de código (AMDC) de banda estrecha o banda ancha o una combinación de éstas, lo que alteraría la configuración de errores a que está sometida la señal vocal digital. El modelo Bellcore existente es una buena indicación de la característica en materia de ráfagas erróneas pero quizás se necesite mejorarla para dar un resultado satisfactorio para tecnología de transmisión que no están directamente orientadas al bloque. El Grupo de Tareas Especiales 8/1 se encargará de elaborar un modelo mejorado, relacionado con el canal de acceso inalámbrico elegido.

Si bien la utilización conversacional de la conexión indica que son necesarias pruebas de conversación, se admite que las pruebas subjetivas utilizando conversaciones serían difíciles. No obstante, se considera que en las IMT-2000 en los que haya una concatenación de segmentos en la conexión, la acumulación de deterioros quizás induzca erróneamente a agregar simplemente sus degradaciones. Deberá estudiarse por lo menos la calibración del método de prueba con algunas pruebas de conversación de casos clave, para asegurar la validez de los resultados.

ANEXO 2

Generación de modelos en materia de errores para interfaces «aire» de las IMT-2000

1. Introducción

Se necesitan plantillas de errores para evaluar y seleccionar códigos de señales vocales para la aplicación de las IMT-2000, que representen de manera realista los errores que cabe esperar se produzcan en las interfaces «aire» de las IMT-2000, cuando las utilicen abonados en movimiento a velocidades típicas en el entorno móvil. Todavía no se ha seleccionado la tecnología de las interfaces aire de las IMT-2000 y la elección de, por ejemplo, AMDC o AMDT o una combinación de ambos, alterará notablemente la configuración de errores que habrá de producirse.

Una sola plantilla de errores no puede representar adecuadamente la amplia gama de técnicas de acceso candidatas o la gama de velocidades de los usuarios. No obstante, el desarrollo de códecs de señales vocales sigue su curso y se necesita algún tipo de plantilla de errores a efectos de evaluación provisional y selección. Esa posición provisional se da en el anexo 3, en el que se describe el modelo de errores Bellcore, que genera ráfagas de errores típicas de usuarios que se desplazan lentamente en un entorno móvil.

Los modelos se basan en la simulación de la interfaz «aire» para generar las estadísticas de los errores debidos a las degradaciones de los canales, tales como el desvanecimiento y el ruido y la interferencia causada por otros usuarios. Las estadísticas pueden introducirse a continuación en el modelo, que se utiliza seguidamente para generar plantillas de errores. De manera alternativa, puede tomarse una plantilla de errores directamente de la simulación.

En los puntos que siguen se describe la simulación de interfaces «aire» de AMDT y AMDC típicos y se dan las estadísticas de errores resultantes, que, según se ve, abarcan una amplia gama, lo que haría necesario varias plantillas de errores para representarlas adecuadamente. Se muestra además que las ráfagas de tramas erróneas (FEB – frame error bursts) se producen cuando varias tramas consecutivas tienen errores en periodos de hasta 150 ms, que quizás sean demasiado largos como para que los toleren códecs previstos para señales vocales de calidad de transmisión interurbana.

El problema de las FEB largas lleva a un punto de vista alternativo respecto a la prueba de códecs de señales vocales y la especificación de la interfaz «aire», en el que la duración máxima en situación de FEB se limita a unos 50 ms, con una tasa de ocurrencia inferior de aproximadamente el 1%, lo que quizás represente las condiciones más desfavorables que los códecs de señales vocales pueden admitir y, por consiguiente, la calidad de funcionamiento mínima que debe conseguirse con la tecnología de los interfaces «aire».

Otro problema consiste en que, en algunos sistemas, el códec de señales vocales puede especificar diferentes clases de bits para diferentes grados de protección del canal. Por ejemplo, la norma «North American AMDT Digital Cellular» (IS-54) especifica tres clases de bits, cada uno de ellos protegido de manera distinta. En otras palabras, con las mismas condiciones de canal y estructura de transceptor, las diferentes clases de bits pueden ser objeto de distintas estadísticas de errores. El modelo Bellcore no tiene en cuenta esta situación. Cuando se seleccione la tecnología de acceso de interfaz «aire», deberá tomarse en consideración la utilización de las plantillas efectivas de errores para bits y tramas, obtenidas a partir de simulaciones del transceptor.

En el texto que sigue se indica el tipo de simulaciones de interfaces «aire» de las IMT-2000 que pueden efectuarse para generar estadísticas de modelos de errores. Serán necesarias simulaciones de este tipo cuando se seleccionen las interfaces «aire» de las IMT-2000, de modo que puedan definirse el modelo o los modelos de errores definitivos para las IMT-2000.

2. Simulación de acceso AMDT y AMDC inalámbrico

En este punto se da una breve descripción de los transceptores y de los modelos de canales simulados para obtener estadísticas de FEB típicas. El canal radioeléctrico se modela mediante un solo trayecto de desvanecimiento Rayleigh, modelo de banda estrecha. La interferencia se supone que es AWGN. El canal de desvanecimiento Rayleigh se simuló utilizando el modelo Jakes.

Se simula un sistema de AMDT/AMFD (acceso múltiple por distribución de frecuencias) típico, con separación entre portadoras de 350 kHz y tramas de AMDT de 8 ms de longitud. Cada trama se divide en 40 intervalos de tiempo, cada uno de los cuales lleva 8 kbit/s de datos de señales vocales. Se considera modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente (MDP-4) de $\pi/4$ con recepción coherente. Se emplea una diversidad de selección de dos antenas.

En un sistema de AMDC típico, se simulan los transceptores de enlace ascendente (móvil a base) y de enlace descendente (base a móvil). La velocidad de datos de usuario es de 9,6 kbit/s y la longitud de trama es de 20 ms. El enlace ascendente del sistema de AMDC expande en primer lugar los datos de usuario utilizando un código convolucional de tasa 1/3. Los símbolos codificados resultantes se entrelazan y, a continuación, cada seis símbolos se proyectan en señales ortogonales de sexagesimocuarta orden. El receptor emplea diversidad de dos antenas con un combinador no coherente cuadrático en el enlace ascendente. Se utiliza una estrategia de control de potencia en bucle cerrado. La base estima la potencia de la señal recibida. Se genera un bit de instrucción de control de potencia cada 1,25 ms comparando la potencia estimada con un determinado umbral. Teniendo en cuenta los bits de instrucción de control de potencia recibidos de la base, el terminal portátil ajusta su potencia transmitida cada 1,25 ms con variaciones de magnitud fija. El canal de enlace ascendente por antena se modela como un trayecto de desvanecimiento Rayleigh único.

En el enlace descendente del sistema AMDC se utiliza un código convolucional de tasa 1/2 para los datos de usuario, a lo que sigue la expansión mediante MDP-4 con códigos de seudoruido (PN – pseudo-random noise). Se consideran la modulación por desplazamiento de fase bivalente (MDP-2) con recepción coherente y la diversidad en trayectos múltiples. El canal del enlace descendente se modela con dos trayectos de desvanecimiento Rayleigh independientes de potencias medias iguales. Se supone que los dos trayectos se generan artificialmente utilizando dos antenas de transmisión en la base.

3. Estadísticas de ráfagas de tramas erróneas (FEB) para AMDT y AMDC

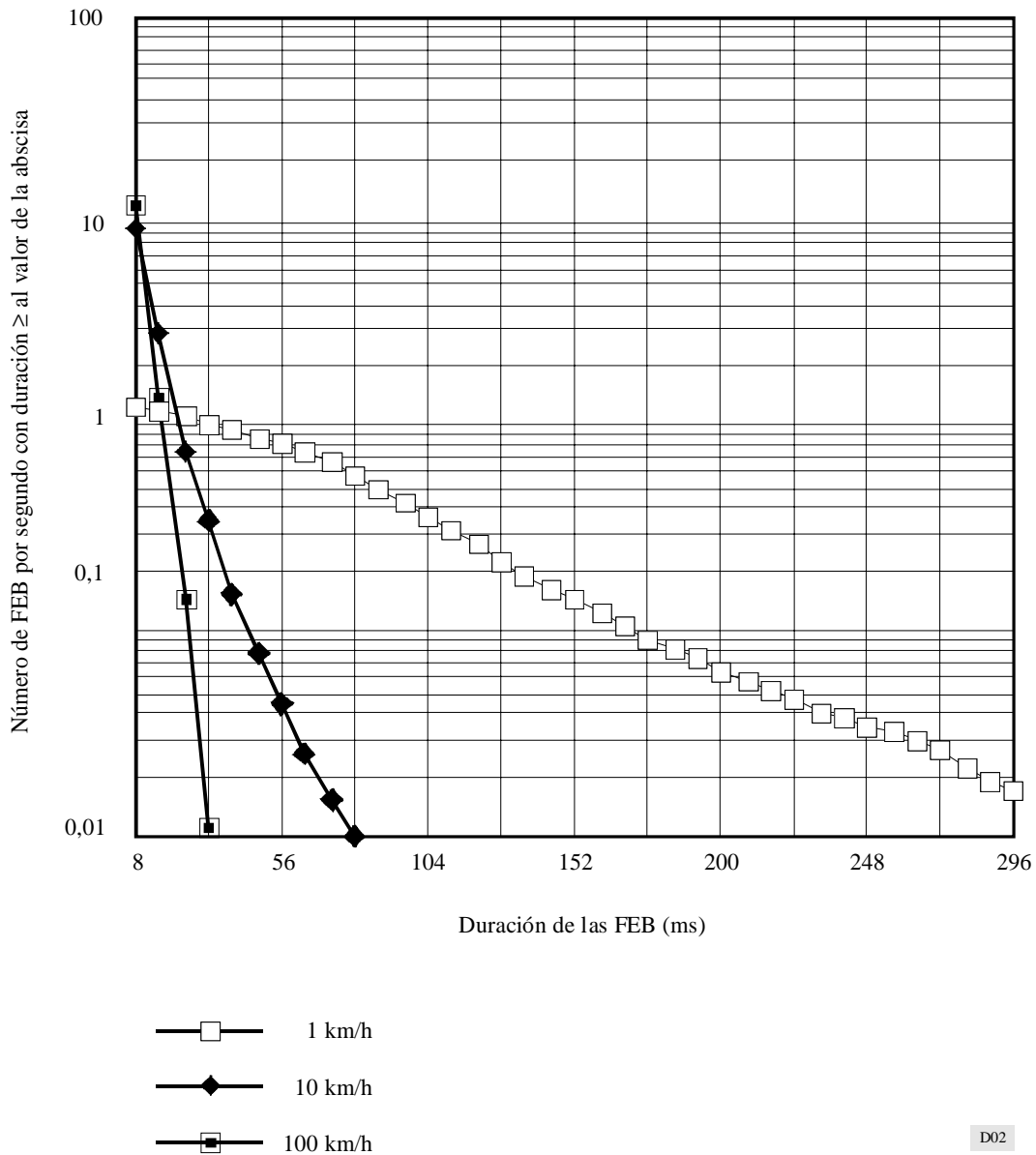
En este punto se presentan los resultados de la simulación sobre las estadísticas de FEB para sistemas AMDT y AMDC. Se presentan dos tipos de estadística:

- el número de FEB por segundo con duración superior o igual a un valor dado y
- la función de distribución acumulativa de probabilidad (CDF – cumulative probability distribution function) de la duración de las FEB.

Se consideran velocidades de terminal de 1, 10 y 100 km/h con una frecuencia de portadora de 2 GHz. Las anteriores estadísticas sobre las FEB se obtienen con la condición restrictiva de que la proporción de bits erróneos (BER) es inferior a 0,001.

En la fig. 2 se muestra la tasa de ocurrencias de FEB de diferentes duraciones para el sistema AMDT, con velocidades de la unidad portátil de 1, 10 y 100 km/h. Los resultados de la fig. 2 se obtuvieron para una relación señal/ruido (SNR – signal noise ratio) de 18,5 dB, correspondiente a una BER inferior a 0,001. La correspondiente FEB fue de 0,1. La fig. 3 muestra la CDF de duración de las FEB para AMDT a velocidades de 1 y 10 km/h.

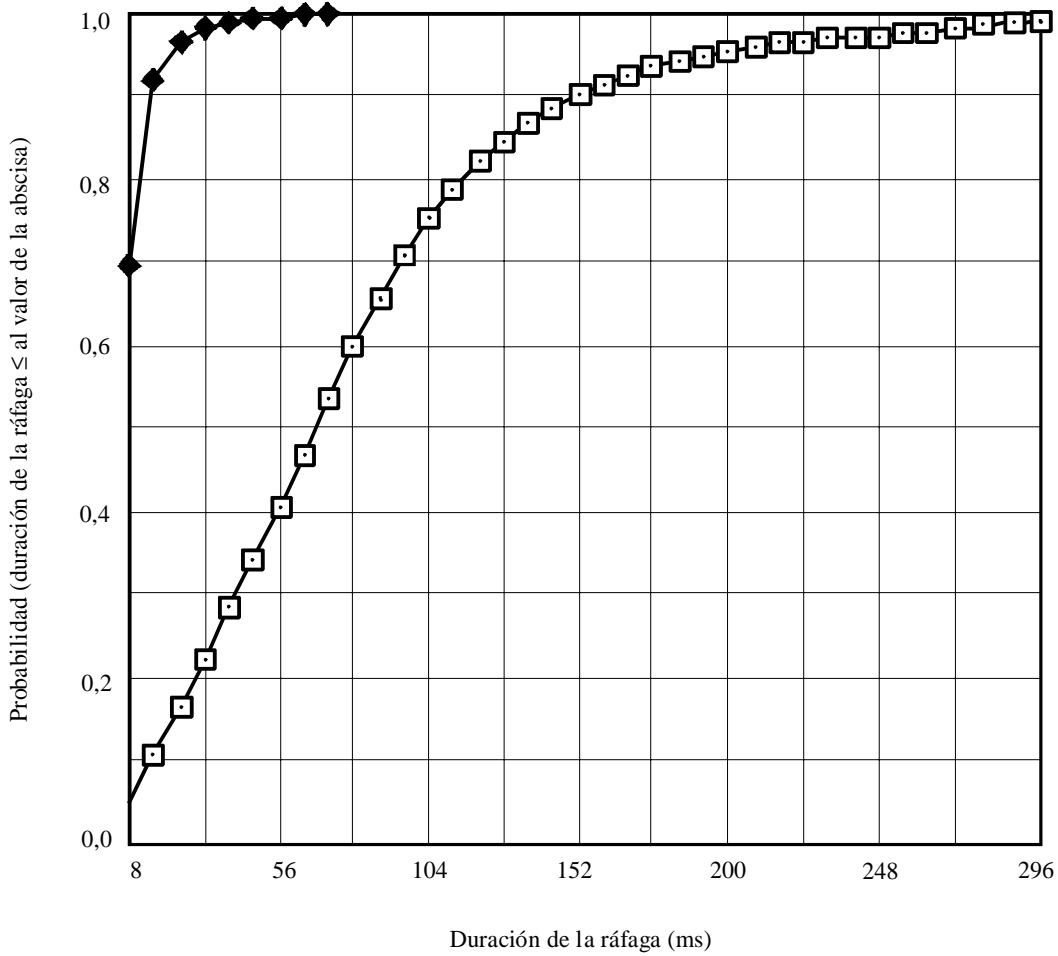
FIGURA 2
 Número de FEB por segundo cuya duración es superior o igual al valor de la abscisa (sistema AMDT)



La fig. 4 da la tasa de ocurrencias de FEB de diferentes duraciones para el enlace descendente de AMDC con una velocidad del terminal de 1 km/h. La SNR de 16 dB corresponde a una BER de menos de 0,001. Los valores correspondientes a la velocidad de 10 km/h no se muestran en el gráfico porque el número de FEB por segundo con duración superior a 1 trama fue de menos del 0,01. Los valores de FEB para las velocidades de 1 y 10 km/h son 0,0057 y 0,0043. En la fig. 5 se da la CDF de duración de las FEB.

Para el enlace ascendente se observó que el número de FEB por segundo con duración superior a 2 tramas era inferior a 0,01 a la velocidad de 1 km/h. A 10 km/h, el número de FEB por segundo con duración superior a 1 trama fue inferior a 0,01. Las FEB correspondientes a las velocidades de 1 y 10 km/h son 0,024 y 0,012. El control de potencia en bucle cerrado considerado en el enlace ascendente es lo suficientemente rápido como para mitigar parcialmente los efectos del desvanecimiento Rayleigh con frecuencia Doppler baja. Esto ha reducido notablemente la duración de las FEB a bajas velocidades. A velocidades más altas (frecuencias Doppler elevadas), la combinación de codificación y entrelazado de canales reduce la frecuencia y la duración de las FEB. Aunque en el enlace descendente del sistema AMDC no se simula el control de potencia rápido, la duración y frecuencia de las FEB en dicho enlace son menores que las del sistema AMDT. Esto se debe a la codificación del canal en el sistema AMDC.

FIGURA 3
CDF de la longitud de las FEB para el sistema AMDT



— □ — 1 km/h
— ◆ — 10 km/h

D03

4. Conclusiones de las simulaciones

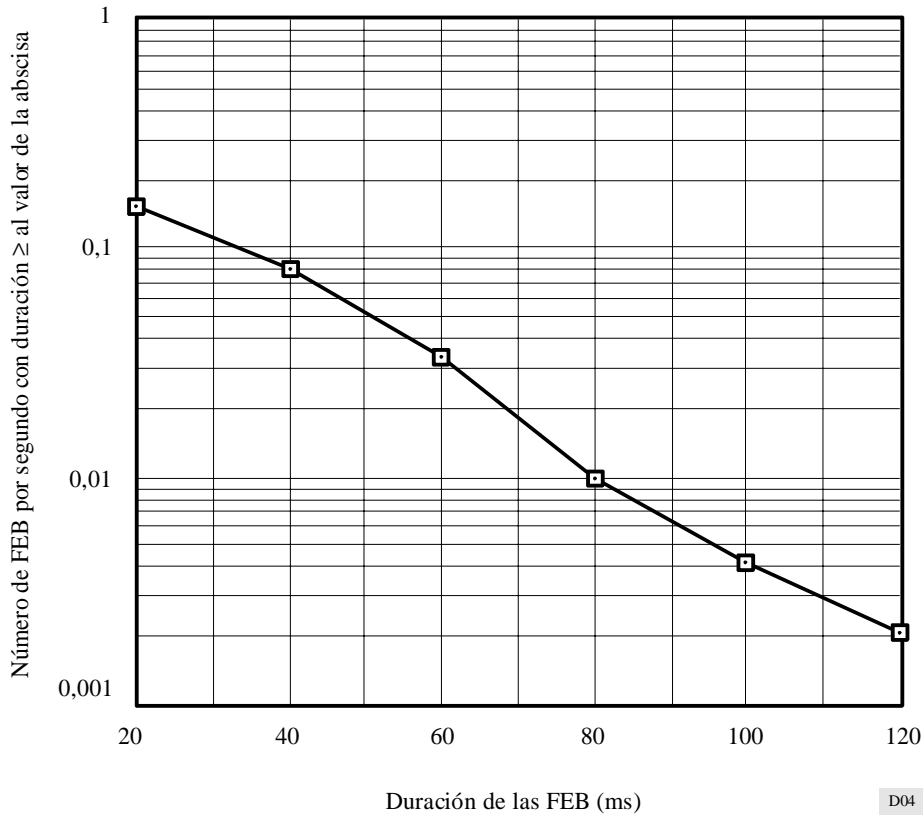
4.1 Los resultados de las simulaciones muestran una amplia gama de estadísticas que dependen de la técnica de acceso inalámbrico que se utilice y de la velocidad del terminal. Estas estadísticas diferentes imponen requisitos de resistencia diferentes al códec de las señales vocales.

4.2 Un códec de señales vocales que se haya optimizado para una técnica de acceso inalámbrico puede no ser óptimo con otro esquema de acceso. Por ello, es posible que no baste un modelo de errores global a efectos de evaluación y selección de los códecs de señales vocales.

4.3 Las figs. 3 y 4 indican que, para el sistema AMDT, las FEB de duración superior a 152 ms (19 tramas de 8 ms de duración cada una) se producen con una probabilidad importante. Por ello, el modelo de errores en cadena Markov de estados finitos propuesto por Bellcore necesita más de 8 estados para representar una amplia gama de técnicas de acceso.

FIGURA 4

Número de FEB por segundo con duración superior o igual al valor de la abscisa, velocidad de 1 km/h (enlace descendente del sistema AMDC)

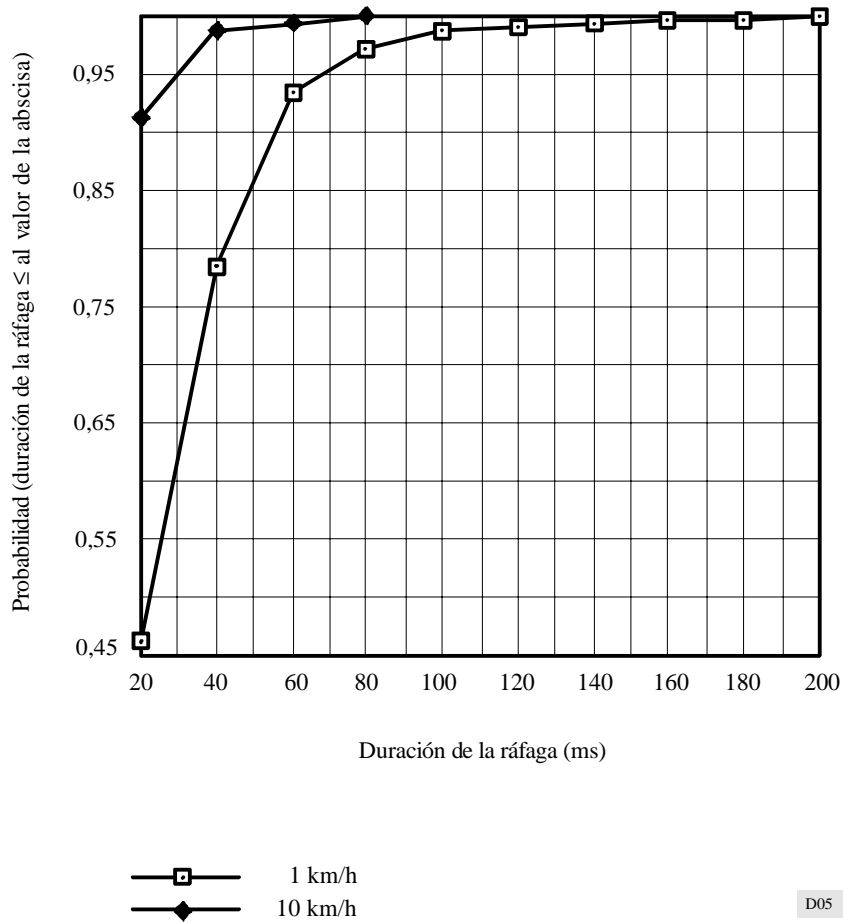


5. Criterio alternativo para la evaluación de los códecs de señales vocales

Debe analizarse un criterio alternativo, según el cual se impone un límite al número de FEB por segundo con duración superior a un determinado valor umbral. Los códecs de señales vocales se diseñarían de manera que se lograra una alta calidad con las limitaciones especificadas de frecuencia y duración de las FEB.

Se exigiría entonces a las técnicas de acceso inalámbrico candidatas que cumplieran las limitaciones impuestas a las estadísticas de FEB. El valor umbral de duración de las FEB y el límite del número de tales ráfagas por segundo deben obtenerse como resultado de las pruebas subjetivas. En base a resultados preliminares, un valor umbral de 50 ms para la duración de las FEB y un valor umbral del número de ocurrencias de las mismas comprendido entre el 1% y el 5% por segundo representan valores de partida razonables. Se recomienda que se efectúen nuevas pruebas subjetivas de las técnicas de enmascaramiento del desvanecimiento para establecer un valor preciso.

FIGURA 5
 CDF de la longitud de las FEB para el enlace descendente del sistema AMDC



Duración de la ráfaga (ms)

—□— 1 km/h
 —◆— 10 km/h

D05

ANEXO 3

Modelo en materia de errores provisional de las IMT-2000 – Bellcore

1. Introducción

El análisis de la propagación de las ondas radioeléctricas en entornos urbanos y suburbanos para los servicios propuestos de IMT-2000/PCS indica que, debido a las cancelaciones de señales multirrayecto (es decir, el desvanecimiento Rayleigh), los usuarios que se desplacen lentamente o permanezcan estacionarios pueden experimentar ráfagas de errores esporádicas. La frecuencia y duración de estas ráfagas depende de factores tales como el movimiento del usuario, la frecuencia, el tipo de diversidad utilizado, el esquema de detección y la SNR media y las duraciones pueden variar desde unos pocos a varios cientos de milisegundos. Los códecs de señales vocales que han de utilizarse en canales radioeléctricos en tales aplicaciones deben ser evaluados, por consiguiente, mientras están sometidos a configuraciones de errores en ráfagas típicas de este entorno.

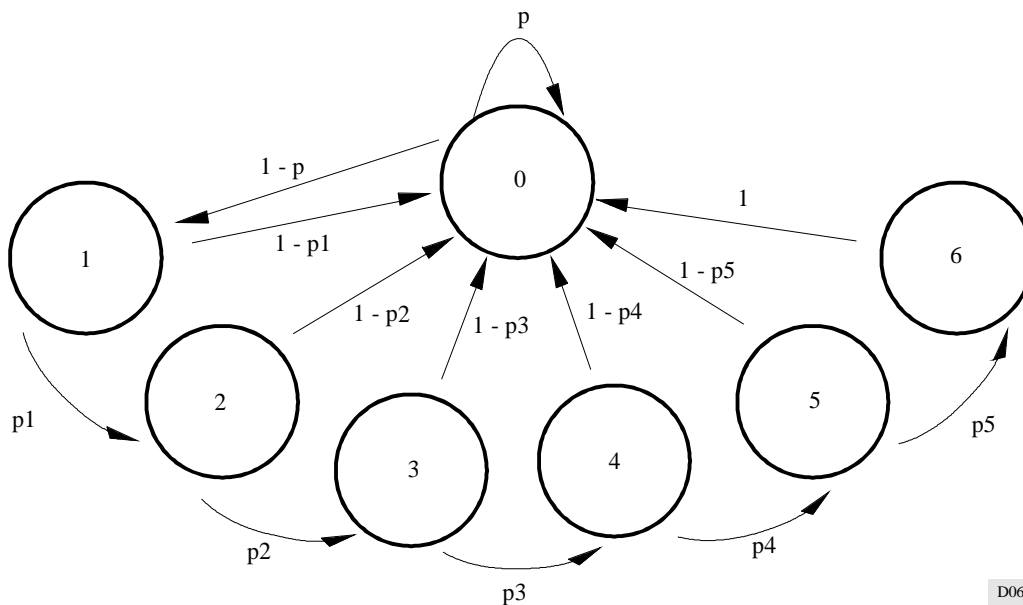
La extrema variabilidad de los parámetros significa que la gama posible de duraciones de desvanecimientos y desvanecimientos por segundo que un usuario podría encontrar generaría una matriz de prueba demasiado grande como para ser utilizada en pruebas subjetivas. No hay ningún conjunto de valores paramétricos que pueda representar adecuadamente el entorno de errores «visto» por el usuario típico, por lo que un método alternativo consistiría en definir

una prueba que caracterice la calidad de funcionamiento de un códec de señales vocales por la manera que tiene éste de reaccionar ante una configuración fija de ráfagas de errores cortas, medias y largas. Las calificaciones de corta, media y larga son un tanto arbitrarias y deberían basarse, quizás, en la longitud de la trama utilizada por el códec. Por ejemplo, para un códec que utilice una longitud de trama de 16 ms, las calificaciones podrían ser: «corta» si la ráfaga es de 1 a 2 tramas, «media» si es de 3 a 4 tramas y «larga» si es de 5 a 6 tramas.

2. Visión de conjunto del modelo en materia de ráfagas erróneas

Se ha propuesto un modelo Markov de siete estados para generar ráfagas erróneas correlacionadas, a utilizar en pruebas subjetivas. El presente anexo da información adicional a propósito del modelo y explica cómo puede utilizarse para generar las configuraciones de ráfagas erróneas deseadas. En la fig. 6 se muestra un diagrama del modelo.

FIGURA 6
Modelo de ráfagas erróneas (cadena Markov de 7 estados)



D06

El modelo tiene siete estados (0 a 6), el nombre de cada uno de los cuales corresponde al número de tramas perdidas durante una ráfaga errónea. Por ejemplo, en el estado 0 no hay tramas perdidas, el estado 1 representa la pérdida de una sola trama y el estado 6 representa una ráfaga errónea que provoca la pérdida de seis tramas.

El modelo está controlado por las probabilidades condicionales (p, p_1, p_2, \dots, p_6) que definen la probabilidad de pasar de un estado a otro. Por ejemplo, empezando en el estado 0, se ve que hay una probabilidad de p de permanecer en el estado 0. A la inversa, podría decirse que la probabilidad de pasar del estado 0 al estado 1 sería de $1 - p$. Una vez que se está en un estado de error (estados 1 a 6), las opciones de cada prueba sucesiva son las de continuar hacia el estado de error siguiente o volver al estado 0.

Una característica de este modelo es que, una vez que se está en el estado 6, la probabilidad de volver al estado 0 es 1, truncando de esta manera a seis el número máximo de tramas perdidas en una sola ráfaga errónea. Con una longitud de trama de 16 ms, esto significa que la ráfaga errónea más larga que el modelo puede generar es de 96 ms. Se supone que las ráfagas erróneas superiores a unos 100 ms introducen degradaciones independientes de la capacidad de recuperación de un códec, reduciendo su valor a efectos de pruebas comparativas.

3. Estadísticas en materia de ráfagas erróneas deseadas

La BER media teórica y las probabilidades de cada estado de error pueden deducirse matemáticamente a partir de las probabilidades condicionales. El cuadro 4 muestra un ejemplo en el que se utiliza un conjunto de probabilidades condicionales seleccionado de manera arbitraria.

CUADRO 4

Probabilidades condicionales		
$p = 0,99$ $p_1 = 0,7$ $p_2 = 0,6$ $p_3 = 0,5$ $p_4 = 0,4$ $p_5 = 0,3$		
Estado	Probabilidad del estado n	Fórmula ($K_n =$ probabilidad de estar en el estado n)
0	0,975608	$K_0 = 1 - K_1 - 2 \times K_2 - 3 \times K_3 - 4 \times K_4 - 5 \times K_5 - 6 \times K_6$
1	0,003000	$K_1 = (1 - p) \times (1 - p_1)$
2	0,002800	$K_2 = (1 - p) \times p_1 \times (1 - p_2)$
3	0,002100	$K_3 = (1 - p) \times p_1 \times p_2 \times (1 - p_3)$
4	0,001260	$K_4 = (1 - p) \times p_1 \times p_2 \times p_3 \times (1 - p_4)$
5	0,000588	$K_5 = (1 - p) \times p_1 \times p_2 \times p_3 \times p_4 \times (1 - p_5)$
6	0,000252	$K_6 = (1 - p) \times p_1 \times p_2 \times p_3 \times p_4 \times p_5$
Tasa de errores media teórica = $1 - K_0 = 2,44\%$		

Las probabilidades condicionales deben elegirse de modo que se satisfagan dos requisitos:

- que los estados de ráfagas erróneas estén distribuidos uniformemente, es decir, que cada estado de error se produzca aproximadamente con la misma frecuencia que cualquiera de los otros estados de error, y
- que la FEB media se limite a un 3% aproximadamente.

Quizás convenga limitar ligeramente la ocurrencia de ráfagas erróneas más largas, dando cabida así a un número adecuado de ráfagas cortas en la limitación de tasa de errores del 3%. En base a estas consideraciones de diseño, una distribución razonable de ráfagas erróneas podría ser:

CUADRO 5

Número de tramas perdidas en la ráfaga errónea	Tasa deseada de ocurrencias (%)
1	0,2
2	0,2
3	0,2
4	0,2
5	0,1
6	0,1

En el cuadro 6 se muestra el conjunto de probabilidades condicionales que produciría esa distribución (con una muestra suficientemente grande). Como se ve en dicho cuadro, estos valores dan lugar a una concordancia muy estrecha entre las tasas de ocurrencia teórica y deseada.

CUADRO 6

Probabilidades condicionales	Estado	Probabilidad teórica del estado n
$p = 0,99$	0	0,968965
$p_1 = 0,8$	1	0,002000
$p_2 = 0,75$	2	0,002000
$p_3 = 0,67$	3	0,001980
$p_4 = 0,5$	4	0,002010
$p_5 = 0,5$	5	0,001005
	6	0,001005
Tasa de errores media teórica = $1 - K_0 = 3,10\%$		

4. Calidad del modelo: teoría y práctica

Se ha escrito un programa de computador para su empleo práctico en pruebas subjetivas, con el que implementar el modelo Markov de 7 estados y generar la distribución deseada de ráfagas erróneas. Aplicando este programa con las probabilidades condicionales especificadas en el cuadro 6 se obtuvieron los siguientes resultados:

CUADRO 7

Número de pruebas: 1 000					
Probabilidad condicional	Tramas en ráfaga	Probabilidad teórica	Tasa real de ocurrencias	Número real de ocurrencias	Total de tramas perdidas
p = 0,99	0	0,968965	0,958	958	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,003	3	3
p2 = 0,75	2	0,002000	0,002	2	4
p3 = 0,67	3	0,001980	0,004	4	12
p4 = 0,50	4	0,002010	0,002	2	8
p5 = 0,50	5	0,001005	0,003	3	15
p6 = 1,0	6	0,001005	0,000	0	0
Total de tramas perdidas = 42 Tasa real de tramas perdidas = 4,2% Tasa teórica de tramas perdidas = 3,1%					

Obsérvese que las tasas reales de ocurrencias y de tramas perdidas difieren de las tasas teóricas. Esto se debe a que la simulación por computador del modelo Markov utiliza un generador de números aleatorios (la función *rand()* de ANSI C), con lo que los resultados reales dependen del valor con que se comience (start seed), de las propiedades espectrales del generador de números aleatorios y (lo más importante) del número de pruebas. A medida que aumente el número de pruebas, las tasas reales de ocurrencias y de tramas perdidas convergen hacia las tasas teóricas. El cuadro 8 muestra los resultados con 10 000 pruebas. Obsérvese que los resultados reales se acercan mucho a los resultados teóricos.

CUADRO 8

Número de pruebas: 10 000					
Probabilidad condicional	Tramas en ráfaga	Probabilidad teórica	Tasa real de ocurrencias	Número real de ocurrencias	Total de tramas perdidas
p = 0,99	0	0,968965	0,9709	9 709	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,0021	21	21
p2 = 0,75	2	0,002000	0,0018	18	36
p3 = 0,67	3	0,001980	0,0016	16	48
p4 = 0,50	4	0,002010	0,0022	22	88
p5 = 0,50	5	0,001005	0,0010	10	50
p6 = 1,0	6	0,001005	0,0008	8	48
Total de tramas perdidas = 291 Tasa real de tramas perdidas = 2,91% Tasa teórica de tramas perdidas = 3,1%					

5. Generación de configuraciones de errores para utilizarlas en pruebas subjetivas

Los resultados anteriores muestran que, si bien la simulación por conmutador del modelo puede generar una distribución de ráfagas erróneas cuya tasa de tramas perdidas media total puede ser especificada, el hecho de que los errores se produzcan en ráfagas exige que se actúe con precaución cuando se extraiga un segmento parcial de la configuración de errores generada. De no ser así, la tasa de errores totales y la distribución de los errores del segmento puede que no concuerden con las distribuciones que se trata de encontrar.

Puesto que la simulación por computador se empleará para generar configuraciones de errores a utilizar en pruebas subjetivas, la solución consiste en generar un tren de errores cuya longitud coincida con la de la muestra vocal utilizada en las pruebas subjetivas y ajustar, a continuación, las probabilidades condicionales (por aproximaciones sucesivas) para obtener las distribuciones deseadas. Por ejemplo, si las muestras vocales utilizadas en la prueba tienen una duración de 20 segundos, la simulación por computador deberá programarse de modo que se genere un esquema de 1 250 tramas de 16 ms. Si las tramas fueran de 12 ms se generaría un esquema de 1 667 tramas. El cuadro 9 muestra los resultados habiendo efectuado 1 500 pruebas.

CUADRO 9

Número de pruebas: 1 500					
Probabilidad condicional	Tramas en ráfaga	Probabilidad teórica	Tasa real de ocurrencias	Número real de ocurrencias	Total de tramas perdidas
p = 0,99	0	0,968965	0,9687	1 453	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,0020	3	3
p2 = 0,75	2	0,002000	0,0020	3	6
p3 = 0,67	3	0,001980	0,0033	5	15
p4 = 0,50	4	0,002010	0,0013	2	8
p5 = 0,50	5	0,001005	0,0020	3	15
p6 = 1,0	6	0,001005	0,0000	0	0
Total de tramas perdidas = 47 Tasa real de tramas perdidas = 3,1% Tasa teórica de tramas perdidas = 3,1%					

Puesto que la distribución real de los errores (véase el cuadro 9) no es muy uniforme (el estado 3 ocurre demasiadas veces y el estado 6 no ocurre ni una sola vez), las probabilidades condicionales pueden ajustarse para obtener una distribución mejor, como se muestra en el cuadro 10.

CUADRO 10

Número de pruebas: 1 500					
Probabilidad condicional	Tramas en ráfaga	Probabilidad teórica	Tasa real de ocurrencias	Número real de ocurrencias	Total de tramas perdidas
p = 0,99	0	0,970084	0,9624	1 457	0
p1 = 0,77	1	0,002070	0,0024	3	3
p2 = 0,75	2	0,001733	0,0024	3	6
p3 = 0,76	3	0,001247	0,0040	3	9
p4 = 0,70	4	0,001185	0,0016	2	8
p5 = 0,75	5	0,000691	0,0024	2	10
p6 = 1,0	6	0,002074	0,0000	1	6
Total de tramas perdidas = 42 Tasa real de tramas perdidas = 2,8% Tasa teórica de tramas perdidas = 3,0%					

6. Escalación del modelo para acomodar diferentes longitudes de trama

Como se indicó anteriormente, el modelo está diseñado para limitar la longitud de una ráfaga de errores cualquiera a un máximo de unos 100 ms. El modelo actual de 7 estados se basa en el supuesto de que se va a utilizar una trama de 16 ms (es decir, $6 \times 16 \text{ ms} = 96 \text{ ms}$). Si el modelo ha de emplearse para generar configuraciones de errores a utilizar con una longitud de trama diferente, habrá de procederse a una escalación apropiada del mismo. Por ejemplo, si se utiliza una trama de 12 ms, deberá ampliarse el modelo con dos estados adicionales, de modo que el número máximo de tramas que puedan perderse en una misma ráfaga de errores sea de 8, lo que corresponde a 96 ms ($8 \times 12 \text{ ms}$).

Puesto que el modelo está realizado en soporte lógico, la ampliación del número de estados puede hacerse con gran rapidez. Por consiguiente, una vez que se conozca la longitud de trama de un códec candidato, se diseña rápidamente un modelo de errores en ráfaga y se aplica para generar la configuración de errores en ráfaga requerida para la prueba subjetiva.

7. Resumen

El modelo de ráfagas erróneas propuesto se basa en una cadena Markov de múltiples estados y puede generar ráfagas erróneas de diferentes duraciones, a utilizar en pruebas subjetivas. La distribución de las duraciones de los errores se controla seleccionando un conjunto de probabilidades condicionales. Como se indicó anteriormente, las probabilidades condicionales deben elegirse de modo que se satisfagan dos requisitos:

- que los estados de ráfagas erróneas estén distribuidos uniformemente, es decir, que cada estado de error se produzca aproximadamente con la misma frecuencia que cualquiera de los otros estados de error, y
- que la FEB media se limite a un 3% aproximadamente.

Quizás convenga limitar ligeramente la ocurrencia de ráfagas de errores más largas, dando cabida así a un número adecuado de ráfagas cortas en la limitación de tasa de errores del 3%.

El modelo debe utilizarse para generar una configuración de errores de longitud aproximadamente igual a la muestra vocal utilizada en las pruebas subjetivas. Las probabilidades condicionales pueden ajustarse entonces, por aproximaciones sucesivas, hasta que se obtenga la distribución exacta de duraciones de ráfagas erróneas.
