



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.113

(03/93)

SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN

**RECOMENDACIONES GENERALES
SOBRE LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN
PARA UNA CONEXIÓN TELEFÓNICA
INTERNACIONAL COMPLETA**

DEGRADACIONES DE LA TRANSMISIÓN

Recomendación UIT-T G.113

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

PREFACIO

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El UIT-T tiene a su cargo el estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de tarificación y la formulación de Recomendaciones al respecto con objeto de normalizar las telecomunicaciones sobre una base mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas que habrán de abordar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que preparan luego Recomendaciones sobre esos temas.

La Recomendación UIT-T G.113, revisada por la Comisión de Estudio XII (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

1 Como consecuencia del proceso de reforma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el CCITT dejó de existir el 28 de febrero de 1993. En su lugar se creó el 1 de marzo de 1993 el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). Igualmente en este proceso de reforma, la IFRB y el CCIR han sido sustituidos por el Sector de Radiocomunicaciones.

Para no retrasar la publicación de la presente Recomendación, no se han modificado en el texto las referencias que contienen los acrónimos «CCITT», «CCIR» o «IFRB» o el nombre de sus órganos correspondientes, como la Asamblea Plenaria, la Secretaría, etc. Las ediciones futuras en la presente Recomendación contendrán la terminología adecuada en relación con la nueva estructura de la UIT.

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1994

Reservados todos los derechos. No podrá reproducirse o utilizarse la presente Recomendación ni parte de la misma de cualquier forma ni por cualquier procedimiento, electrónico o mecánico, comprendidas la fotocopia y la grabación en micropelícula, sin autorización escrita de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Degradación de la transmisión	1
2 Objetivo de calidad de funcionamiento de la red para el ruido de circuito en conexiones telefónicas completas.....	1
3 Degradación de la calidad de transmisión debida a procesos digitales	1
3.1 Distorsión de cuantificación	1
3.2 Fuentes de distorsión de cuantificación	2
3.3 Efecto de los errores aleatorios en los bits.....	4
3.4 Distorsión de atenuación y distorsión por retardo de grupo	4
3.5 Regla provisional de planificación	4
3.6 Limitaciones de la regla provisional de planificación	4
4 Efecto de las degradaciones de transmisión en la calidad de los datos en la banda vocal	5
Anexo A – Información destinada a la planificación sobre la distorsión de atenuación y la distorsión por retardo de grupo introducidas por los circuitos y centrales de la red telefónica con conmutación	6
Anexo B – Efecto de las degradaciones de transmisión sobre la transmisión de datos en la banda vocal	9
B.1 Introducción.....	9
B.2 Ruido impulsivo.....	10
B.3 Retardo de envolvente (retardo de grupo)	10
B.4 Fluctuación de fase	11
B.5 Distorsión no lineal.....	11
B.6 Relación tono/ruido	12
B.7 Deslizamiento de frecuencia.....	12
B.8 Transitorios de ganancia y de fase.....	12
Anexo C – Repercusiones de las características de funcionamiento de la modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) sobre la transmisión de datos en la banda vocal	13
C.1 Introducción.....	13
C.2 Arquitectura de las condiciones de prueba	14
C.3 Conclusiones.....	20
Referencias	21
Anexo D – Compatibilidad entre algoritmos de codificación vocal y datos en banda vocal	21
Referencia.....	21

DEGRADACIONES DE TRANSMISIÓN

*(Ginebra, 1980; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984;
Melbourne, 1988 y Helsinki, 1993)*

1 Degradación de la transmisión

1.1 Los objetivos en materia de distorsión de atenuación de una cadena a cuatro hilos de longitud máxima figuran en la Recomendación G.132, y los relativos al ruido de circuito independiente de la señal de dichas conexiones de longitud máxima se indican en la cláusula 2. Como las conexiones menos complejas (que son más numerosas) tendrán una distorsión de atenuación y un ruido menores, los valores máximo, medio y mínimo del índice de sonoridad indicados en la Recomendación G.121 asegurarán una calidad de transmisión adecuada en las conexiones internacionales.

1.2 En el caso de que los valores de distorsión de atenuación o de ruido sean muy diferentes de los recomendados por el CCITT para sistemas y equipos, podrá hallarse una orientación sobre las posibles modificaciones de la calidad de transmisión en la Recomendación P.11 y anexos, donde se indican también posibles soluciones de compromiso entre ellos.

2 Objetivo de calidad de funcionamiento de la red para el ruido de circuito en conexiones telefónicas completas

El CCITT recomienda que el objetivo de calidad de funcionamiento de la red para el valor medio, expresado en decibelios y tomado en un gran número de conexiones mundiales (cada una de las cuales comprenda cuatro circuitos internacionales), de la distribución del valor medio durante un minuto de potencia de ruido independiente de la señal no exceda de -43 dBm_{0p}, referido a la entrada del primer circuito de la cadena de circuitos internacionales.

3 Degradación de la calidad de transmisión debida a procesos digitales

La incorporación de procesos digitales no integrados en conexiones telefónicas internacionales, sobre todo durante el periodo mixto analógico/digital, puede acarrear una acumulación apreciable de degradaciones de la transmisión. Es por tanto necesario asegurarse de que esta acumulación no llegue al punto de degradar seriamente la calidad de transmisión global.

3.1 Distorsión de cuantificación

Desde el punto de vista de la distorsión de cuantificación, se recomienda que no se introduzcan más de 14 unidades de distorsión de cuantificación (qdu) o distorsión total equivalente introducida por el códec en una conexión telefónica internacional.

En conexiones telefónicas que comprendan procesos no integrados, se admite, simplemente, sumar las unidades de distorsión de cuantificación asignadas a los distintos procesos, para determinar la distorsión de cuantificación total o global. En 3.2 se indican algunas fuentes de distorsión de cuantificación y las unidades que se les han asignado provisionalmente.

Por definición, un par códec de 8 bits de tipo medio (conversiones A/D y D/A; ley A o ley μ) conforme a la Recomendación G.711 introduce una unidad de distorsión de cuantificación (1 qdu). Un par códec de tipo medio produce una distorsión de cuantificación inferior en unos 2 dB a los límites indicados en la Recomendación G.712. Esto correspondería a una relación señal/distorsión de 35 dB en el caso del método de prueba con onda sinusoidal y de unos 36 dB en el método de prueba con ruido. (Un total de catorce procesos MIC de 8 bits, cada uno de los cuales cumple justamente los límites previstos para la relación señal/distorsión en la Recomendación G.712, sería inaceptable.) El mismo principio debería aplicarse, en materia de planificación, a los valores expresados en unidades de distorsión de cuantificación, propuestos para otros procesos digitales.

En principio, el número de unidades para esos otros procesos digitales se determina por comparación con un par códec MIC de 8 bits, de forma que se asignen n unidades de distorsión de cuantificación a la distorsión del proceso digital que se esté evaluando si equivale a n procesos MIC de 8 bits no integrados, conectados en cascada. Hay varios métodos posibles de comparación; cabe citar, entre ellos, las medidas objetivas (o análisis equivalente), las pruebas subjetivas y las pruebas de datos en que se emplea como criterio el efecto de la tasa de errores en los bits a la salida de un moderno receptor de datos en banda vocal.

Actualmente no existe ningún método de medición objetivo que pueda arrojar resultados (por ejemplo, SNR) estrechamente correlacionados con los resultados de mediciones subjetivas del efecto de muchos de los procesos digitales que se están estudiando sobre la calidad vocal. Por consiguiente, debería generalmente determinarse el número de unidades de distorsión de cuantificación de los procesos digitales mediante métodos de medición subjetivos, como los que se recogen en la Recomendación P.83. En algunos casos, el número de unidades de distorsión de cuantificación de un proceso digital puede determinarse sin necesidad de mediciones objetivas, descomponiendo un proceso digital en dos o más partes y atribuyendo a las partes fracciones adecuadas del número total de unidades asignadas al proceso digital. No obstante, si bien este método puede considerarse como un método objetivo de determinación de las asignaciones de qdu a las partes, utiliza como punto de partida un valor determinado subjetivamente. Además, salvo para los procesos digitales relativamente simples en que la descomposición no es compleja, este método puede no ser fiable y debe utilizarse con cuidado.

Habida cuenta de que las normas de planificación deben ser aplicables a todas las señales transmitidas en la banda de frecuencias vocales, es preciso considerar tanto la calidad de la palabra como la de los datos. La primera debe evaluarse en general mediante pruebas subjetivas y la segunda por medio de pruebas objetivas que den estimaciones de la tasa previsible de errores en los bits y el comportamiento de la señalización. Actualmente, sin embargo, debido a la carencia de un método objetivo para evaluar el efecto de los procesos digitales sobre la calidad de los datos en banda vocal, la regla de planificación de esta Recomendación se limita exclusivamente a la planificación de las conexiones vocales. En la cláusula 4 se examinan algunos problemas asociados con la elaboración de una regla de planificación para las conexiones que transmiten datos en banda vocal y otras señales no vocales. Dicha regla se basaría en una unidad que reflejase la contribución de los procesos digitales a la degradación o degradaciones que afectan a los módems de datos en banda vocal y/o a los sistemas de señalización. Todavía no existe una unidad de ese tipo.

NOTA – La qdu se define como la distorsión de cuantificación presente en el codificador MIC y otros codificadores de forma de onda y supone que la distorsión de cuantificación se acumula según una ley de $15 \log_{10}(n)$ para n pares códec en cascada. Ciertos datos permiten sugerir que mientras el códec MICDA a 32 kbit/s (que cumple con la Recomendación G.726) tiene la misma distorsión y aditividad que el MIC, la codificación lineal predictiva excitada por código de bajo retardo (LD-CELP, *low delay code – excited lineal predictive coding*) probada y estudiada en 1991 tiene una aditividad más próxima a $20 \log_{10}(n)$. Sin embargo, pruebas subjetivas, realizadas con el asesoramiento del Grupo de Expertos sobre la calidad vocal de la Comisión de Estudio XII, indican que el par códec a 16 kbit/s sigue de cerca la calidad subjetiva del códec G.726 con hasta cuatro codecs en cascada. Más allá de esta cifra, la calidad del códec a 16 kbit/s disminuye más rápidamente que la del códec G.726. Así pues, se propone que el códec a 16 kbit/s sea tratado de la misma manera que el códec G.726 que determina el rendimiento de la red, con la estipulación de que no se permitan más de tres codecs a 16 kbit/s en la conexión mundial y destacando que la distorsión LD-CELP no se suma a las qdu de otros codecs.

3.2 Fuentes de distorsión de cuantificación

Las unidades de distorsión de cuantificación (qdu) asignadas provisionalmente a varios procesos digitales se indican en el Cuadro 1. Los Suplementos N.º 21 y 22, *Libro Rojo*, Fascículos III.1 y III.2 (1985) respectivamente, que figuran al final del presente fascículo y las notas asociadas al Cuadro 1, contienen información de base sobre estas asignaciones.

Conceptualmente, el número de qdu asignadas a un proceso digital debe reflejar únicamente el efecto sobre la palabra del ruido de cuantificación producido por el proceso. En la práctica, las qdu deben determinarse mediante mediciones subjetivas de procesos reales o simulados en que los sujetos estén expuestos no solamente a ruido de cuantificación, sino también a otras degradaciones producidas por el proceso digital sometido a prueba.

Por consiguiente, los resultados de la prueba subjetiva serán influenciados por esas otras degradaciones si los niveles de éstas difieren en mayor o menor medida de los niveles producidos por la MIC (como referencia). Esas influencias harán que las qdu obtenidas no den la medida exacta del efecto de la distorsión de cuantificación. La asignación de qdu reflejará en cambio el efecto de todas las degradaciones sobre la calidad vocal y, por consiguiente, para reducir las posibilidades de que exista esa influencia cuando se determinan las asignaciones de qdu a procesos digitales, es importante elaborar la prueba subjetiva de tal modo que:

- 1) se disminuyan las contribuciones de las degradaciones distintas de la distorsión de cuantificación a los resultados de las pruebas subjetivas; o
- 2) se equalicen los niveles de esas otras degradaciones en las condiciones de la prueba y en las de referencia.

CUADRO 1/G.113

Valores de planificación para la distorsión de cuantificación

(Sólo servicios vocales; véase la cláusula 4 para el estudio de los datos en banda vocal)
(véanse las Notas 1, 11 y 12)

Proceso digital	Unidades de distorsión de cuantificación (qdu)	Notas
Procesos con conversión A/D		
Par códec MIC de 8 bits (según la Recomendación G.711, (ley A o ley μ))	1	2, 3
Par códec MIC de 7 bits (ley A o ley μ)	3	3, 4, 5
Par transmultiplexor basado en MIC de 8 bits, ley A o ley μ (según la Recomendación G.792)	1	3
MICDA a 32 kbit/s (con predictor adaptativo) (combinación de un par códec MIC de 8 bits y una conversión en cascada MIC-MICDA-MIC) (según las Recomendaciones G.726 o G.727)	3,5	6
Par códec LD-CELP de 16 kbit/s (según la Recomendación G.728)	3,5	13
Procesos totalmente digitales		
Atenuador digital (MIC de 8 bits, ley A o ley μ)	0,7	7
Convertidor ley A/ μ o ley μ /A (según la Recomendación G.711)	0,5	10
Conversión en cascada ley A/ μ /A	0,5	
Conversión en cascada ley μ /A/ μ	0,25	
Conversión en cascada MIC-MICDA-MIC (según las Recomendaciones G.726 o G.727)	2,5	8, 9
Transcodificación de 8-7-8 bits (ley A o ley μ)	3	9
NOTAS		
<p>1 Como observación general, el número de unidades de distorsión de cuantificación indicado para los procesos digitales corresponde al valor obtenido para un nivel medio de una señal gaussiana de unos -20 dBm0. Los casos tratados en el Suplemento N.º 21, <i>Libro Rojo</i> al final del Fascículo III.1, concuerdan con este planteamiento.</p> <p>2 Por definición.</p> <p>3 Para la planificación general, se puede asignar la mitad del valor indicado a las partes emisora o receptora.</p> <p>4 Este sistema no está recomendado por el CCITT, pero lo emplean algunas Administraciones en sus redes nacionales.</p> <p>5 La degradación correspondiente a este proceso se basa en pruebas subjetivas.</p> <p>6 Las Recomendaciones G.726 y G.727 son equivalentes a tasas de bits correspondientes, incluidos los de 24 y 40 kbit/s. Sin embargo, no pueden asignarse por ahora valores qdu a las operaciones a 24 y 40 kbit/s.</p> <p>7 La degradación indicada es aproximadamente la misma para todos los valores de atenuador digital comprendidos en una gama de 1 a 8 dB. Una excepción la constituye el atenuador ley A de 6 dB y que introduce una degradación despreciable para señales de sólo unos -30 dBm0, considerándose por tanto que contribuye con 0 unidades de distorsión de cuantificación.</p> <p>8 El valor de 2,5 unidades se halló restando el valor correspondiente a un par códec MIC de 8 bits de las 3,5 unidades determinadas subjetivamente en el caso de la combinación de un par códec MIC de 8 bits y una conversión MIC-MICDA-MIC. A las conversiones digitales sincronas múltiples, como MIC-MICDA y MIC-MICDA-MIC, se les asigna un valor de 2,5 unidades.</p> <p>9 Este proceso podría emplearse en un sistema de interpolación digital de la palabra.</p> <p>10 Las contribuciones a las qdu de los convertidores de ley de codificación (por ejemplo, ley μ a ley A) se asignan a la parte internacional.</p> <p>11 Las asignaciones de qdu a esos procesos digitales reflejan, en la medida de lo posible, únicamente el efecto de la distorsión de cuantificación sobre la calidad vocal. Otras degradaciones, como el ruido de circuito, el eco y la distorsión de atenuación, afectan también a la calidad vocal. Debe por consiguiente tenerse en cuenta el efecto de esas otras degradaciones al procederse a la planificación.</p> <p>12 Las degradaciones de qdu indicadas en este cuadro se han deducido en el supuesto de que la tasa de bits erróneos es despreciable.</p> <p>13 Aparentemente, la distorsión producida en el códec LD-CELP a 16 kbit/s es de una naturaleza diferente a la distorsión qdu, ya que parece acumularse según $20 \log_{10}(n)$. Cabe destacar que un par códec a 16 kbit/s produce una calidad vocal subjetivamente equivalente a la producida por un par códec MICDA a 32 kbit/s, mientras que tres pares códec a 16 kbit/s producen una calidad vocal que se aproxima a la que producen cuatro pares códec MICDA a 32 kbit/s. Por lo tanto, basándose en esta equivalencia, se asignan 3,5 qdu a un códec LD-CELP a 16 kbit/s (de conformidad con la Recomendación G.728). Debe reconocerse que la qdu del códec a 16 kbit/s no es estrictamente aditiva con las qdu de las otras partes del Cuadro.</p>		

3.3 Efecto de los errores aleatorios en los bits

El efecto de los errores de bit aleatorios está en estudio.

3.4 Distorsión de atenuación y distorsión por retardo de grupo

La Recomendación provisional contenida en 3.1 especifica que la distorsión de cuantificación total introducida por procesos digitales no integrados en conexiones telefónicas internacionales debe estar limitada a un máximo de 14 unidades. Se espera que, si se cumple esta recomendación provisional, las distorsiones acumuladas de atenuación y por retardo de grupo, introducidas en tales conexiones por procesos digitales no integrados, se mantendrá también dentro de límites aceptables.

NOTA – Se están estudiando las relaciones entre las limitaciones impuestas por la distorsión de cuantificación, la distorsión de atenuación y la distorsión por retardo de grupo.

3.5 Regla provisional de planificación

Como consecuencia de la relación indicada en 3.4 sobre las distorsiones de cuantificación, de atenuación y por retardo de grupo es posible recomendar una regla provisional de planificación que rija la incorporación de procesos digitales no integrados en conexiones telefónicas internacionales. Esta regla provisional de planificación viene expresada en términos de unidades de degradación de la transmisión que son numéricamente iguales a las unidades de distorsión de cuantificación atribuidas a los procesos digitales específicos indicados en el Cuadro 1. La regla provisional de planificación es la siguiente:

El número de unidades de degradación de la transmisión en una conexión telefónica internacional no debe ser superior a $5 + 4 + 5 = 14$ unidades.

De acuerdo con esta regla, cada una de las dos partes nacionales de una conexión telefónica internacional estará autorizada a introducir hasta un máximo de 5 unidades de degradación de la transmisión, y la parte internacional hasta un máximo de 4 unidades.

NOTA – Se reconoce que en el periodo mixto analógico/digital pudiera no ser práctico, durante cierto tiempo y en algunos países, limitar las contribuciones nacionales a un máximo de 5 unidades de degradación de la transmisión. Para tener en cuenta estos países se está permitiendo cierta mitigación temporal de la regla provisional de planificación. En virtud de esta mitigación, la parte nacional de una conexión telefónica internacional estaría autorizada a introducir hasta 7 unidades de degradación de la transmisión. Teóricamente, esto podría dar por resultado conexiones telefónicas internacionales con un total de 18 unidades de degradación de la transmisión. Estas conexiones menoscabarían aún más la transmisión en lo que respecta al servicio telefónico vocal. Las Administraciones que consideren indispensable disponer de una atribución nacional de más de 5 unidades (pero no mayor que 7 unidades) deberán cerciorarse de que sólo un pequeño porcentaje del tráfico de las prolongaciones nacionales excede de 5 unidades.

3.6 Limitaciones de la regla provisional de planificación

En 3.5 se ha supuesto que, para la estimación de la degradación de la transmisión como consecuencia de la presencia de procesos digitales no integrados en conexiones telefónicas internacionales, las unidades de degradación de la transmisión corresponden a las unidades de distorsión de cuantificación, y que la simple adición de estas unidades sería aplicable.

Cuando se trata de circuitos telefónicos internacionales que comprenden procesos digitales en tándem, en un ambiente totalmente digital, la adición de las unidades de distorsión de cuantificación correspondientes a los distintos procesos pudiera no reflejar exactamente la distorsión de cuantificación acumulada (y, por consiguiente, no corresponder a las unidades de degradación de la transmisión acumuladas). Tal caso podría darse, pues los distintos valores de potencia de la distorsión de cuantificación producida por los diversos procesos digitales pudieran presentar cierta correlación y, por tal razón, la adición de las unidades de distorsión de cuantificación correspondientes a los distintos procesos pudiera, en ciertas circunstancias, dar valores totales que diferirían de los que se encuentran en la realidad. Esto se explica de forma bastante detallada en el Suplemento N.º 21 al Fascículo III.1 del *Libro Rojo*.

Se considera que la regla de $5 + 4 + 5 = 14$ indicada en 3.5, aunque en ciertas circunstancias pudiera proporcionar resultados solamente aproximados, es, no obstante, adecuada para la mayor parte de los fines de la planificación en los casos en que intervienen procesos digitales no integrados. En el Cuadro 1 se tiene expresamente en cuenta, como ejemplos de procesos digitales en cascada, la conversión de código A- μ -A, la conversión de código μ -A- μ y la conversión MIC-MICDA-MIC.

4 Efecto de las degradaciones de transmisión en la calidad de los datos en la banda vocal

La calidad vocal se ve afectada por las degradaciones de transmisión de las conexiones telefónicas, y lo mismo sucede con la calidad de los datos en banda vocal. En una conexión se producen numerosas degradaciones distintas; algunas son degradaciones de régimen permanente (por ejemplo, atenuación, ruido, distorsión de cuantificación, fluctuación de fase, distorsión armónica y de intermodulación, distorsión de retardo de envolvente, eco y distorsión de atenuación), y otras son transitorias (por ejemplo, ruido impulsivo, variaciones bruscas de fase o de ganancia y desvanecimientos de transmisión) y pueden ocurrir con poca frecuencia. Las degradaciones de régimen permanente y transitorias pueden afectar a la palabra y a los datos en banda vocal. Sin embargo, las degradaciones transitorias tienen casi siempre más efecto sobre los datos que sobre la palabra. Esto también es cierto para algunas de las degradaciones de régimen permanente, como la fluctuación de fase y la distorsión de retardo de envolvente. Por este motivo, las reglas de planificación de los circuitos de transmisión vocal suelen centrarse en el control de las degradaciones de régimen permanente y prestan menos atención a las transitorias. Si han de crearse nuevas reglas de planificación para controlar la acumulación de degradaciones importantes para los datos en banda vocal, las mismas tendrán que reflejar tanto las degradaciones transitorias como las de régimen permanente.

Los efectos de determinadas degradaciones sobre los datos en banda vocal dependen de la velocidad del módem, de la modulación utilizada y de otras características, como el hecho de que el módem tenga o no un ecualizador para corregir la distorsión de retardo de envolvente. Los modems de baja velocidad, que funcionan a 1200 bit/s o menos, suelen tolerar una relación señal/ruido más baja que los modems de alta velocidad. También tienden a ser menos sensibles a la distorsión de retardo de envolvente que los modems de mayor velocidad. Los modems que funcionan a 4800 bit/s y más tendrán normalmente un ecualizador de distorsión de retardo de envolvente para reducir al mínimo el efecto de la distorsión de retardo de envolvente sobre la calidad de transmisión. Las degradaciones transitorias afectan en mayor o menor medida a todos los modems, en función de numerosos factores.

Otros dos factores que determinan el efecto de las degradaciones sobre la calidad de los datos en banda vocal son:

- a) el empleo o no de técnicas de detección y/o corrección de errores; y
- b) la codificación de la información antes de su transmisión.

Si no se utiliza corrección de errores, los errores que causan degradaciones causarán también errores en los datos de salida, pero si se utiliza corrección de errores, los errores que causan degradaciones no harán sino reducir el caudal de datos. Según como esté codificada la información de usuario, los errores tendrán efectos más o menos graves. Por ejemplo, la pérdida de una letra de una palabra, debida a un error binario en 8 bits que representan las letras del alfabeto, será probablemente menos importante que un error en 8 bits utilizados para transmitir información sobre el tamaño, la forma y la ubicación de un símbolo gráfico en una imagen.

Las técnicas de compresión binaria como la MICDA (según la Recomendación G.726) tienen efectos muy importantes sobre la calidad de funcionamiento de los modems de alta velocidad (≥ 4800 bit/s).

En el Anexo C se ofrecen resultados de los estudios realizados utilizando la MICDA a 32 kbit/s. Estos resultados demuestran la necesidad de utilizar velocidades de codificación mayores, como la MICDA a 40 kbit/s, para la transmisión de datos en la banda vocal (VBD, *voice band data*) de 9,6 kbit/s. Los equipos de multiplicación de circuitos digitales modernos (DCME, *digital circuit multiplication equipment*) (véase la Recomendación G.763) utilizan clasificadores de señales para detectar VBD a velocidades más altas y codificarla utilizando MICDA a 40 kbit/s.

En lo que hace a la elaboración de una regla simple de planificación que pueda utilizarse para evaluar los efectos de los procesos digitales sobre la calidad de los datos en banda vocal, cabe destacar varios puntos:

- 1) Las degradaciones (especialmente transitorias) distintas de las que se suele medir para la calidad vocal cobran importancia para la medición de la calidad de datos en banda vocal.
- 2) Una medición simple de las degradaciones de régimen permanente (por ejemplo, relación señal/ruido total) puede no proporcionar una base satisfactoria para una regla de planificación de datos en banda vocal. Es posible que la regla de planificación tenga que reflejar las degradaciones transitorias.
- 3) Debe tenerse en cuenta el tipo y la velocidad del módem. Por este motivo, a diferencia de las reglas de planificación para la palabra, puede que las reglas para datos en banda vocal dependan más del tipo de módem.
- 4) El tipo de servicio de datos puede influenciar la importancia de determinados tipos de errores en los datos, y por consiguiente de determinadas degradaciones. Por este motivo, las reglas de planificación pueden depender del servicio.

- 5) Sólo un método de medición objetiva que tenga en cuenta los cuatro primeros puntos podría servir realmente de base para establecer reglas de planificación útiles.
- 6) Este método de medición no existe actualmente.

Por este motivo, hasta que se haya avanzado mucho más en la determinación de las degradaciones que afectan a la calidad de los datos en banda vocal, de los métodos de medición de esas degradaciones, de los niveles de las mismas que son importantes y de la manera de tener en cuenta los diversos tipos, velocidades y otras características de los modems, la aplicación de esta Recomendación debe limitarse exclusivamente a los servicios vocales.

Anexo A

Información destinada a la planificación sobre la distorsión de atenuación y la distorsión por retardo de grupo introducidas por los circuitos y centrales de la red telefónica con conmutación

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

A.1 La información que se presenta en los Cuadros A.1 a A.6 procede de los resultados de medidas¹⁾ efectuadas en equipos modernos. Cabe esperar que la calidad de funcionamiento de las conexiones reales establecidas en la red telefónica con conmutación sea inferior a la calculada a base de los datos tabulados, a causa de:

- la desadaptación y reflexión;
- las líneas de abonado no cargadas;
- los circuitos de enlace interurbanos cargados, con una baja frecuencia de corte;
- los equipos antiguos.

CUADRO A.1/G.113

Centrales locales y centros primarios a dos hilos

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	1,69	1,20	0,56	0,07
300	0,63	0,81	0,28	0,05
400	0,30	0,43	0,23	0,05
600	0	0,28	0,11	0,03
800	0	0	0,05	0,02
1000	-0,05	0,11	0,03	0,01
2000	-0,04	0,35	0	0
2400	-0,29	0,45	0	0
2800	-0,45	0,50	0	0
3000	-0,24	0,65	0	0
3400	-0,29	0,63	0	0

NOTA – Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 2000 Hz.

¹⁾ Comunicados por AT&T, Telecom Australia, Italia, British Telecom, NTT y Suiza.

CUADRO A.2/G.113

Centrales a cuatro hilos

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	0,32	0,14	0,40	0,02
300	0,16	0,28	0,14	0,02
400	0,13	0,21	0,14	0,03
600	0,02	0	0,07	0,02
800	0	0	0,03	0,01
1000	0	0	0,02	0,01
2000	0,01	0,14	0	0
2400	0,06	0,21	0	0
2800	0,02	0,02	0	0
3000	0,10	0,07	0	0
3400	0,20	0,50	0	0

NOTA – Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 2000 Hz.

CUADRO A.3/G.113

Circuitos de enlace

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	4,29	1,95	3,05	0,36
300	0,86	0,49	1,42	0,18
400	0,36	0,31	0,78	0,09
600	0,09	0,17	0,34	0,06
800	0	0,03	0,16	0,02
1000	-0,03	0,04	0,08	0,02
2000	0,14	0,20	0,02	0,01
2400	0,33	0,29	0,06	0,03
2800	0,58	0,35	0,18	0,06
3000	0,88	0,55	0,31	0,11
3400	2,21	1,06	0,92	0,26

NOTAS

- 1 Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 1500 Hz.
- 2 La muestra de circuitos de enlace incluía circuitos por líneas metálicas, FDM y sistemas MIC.
- 3 Los circuitos MIC pueden presentar en 200 Hz una distorsión de atenuación algo menor que la indicada en este cuadro.
- 4 Los valores para circuitos de enlace incluyen las terminaciones a dos/cuatro hilos.

CUADRO A.4/G.113

Circuitos establecidos en un grupo primario directo de 12 canales

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	1,56	0,92	5,42	0,22
300	0,39	0,43	2,97	0,35
400	0,11	0,30	1,45	0,22
600	0,05	0,18	0,76	0,10
800	0	0	0,44	0,05
1000	-0,01	0,11	0,26	0,02
2000	-0,03	0,19	0,01	0,01
2400	0,04	0,21	0,06	0,02
2800	0,13	0,33	0,21	0,04
3000	0,16	0,43	0,45	0,04
3400	1,03	0,56	1,97	0,20

NOTAS

1 Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 1800 Hz.

2 Los datos se refieren a un equipo de modulación de canal FDM con una separación de 4 kHz, que es la principal fuente de distorsión en los circuitos telefónicos establecidos en grupos primarios directos de 12 canales, o sea los circuitos con una sola sección de circuito.

CUADRO A.5/G.113

Circuitos establecidos en un grupo primario directo de 16 canales

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	2,80	1,63	9,74	0,40
300	0,04	0,19	4,39	0,27
400	-0,07	0,20	2,49	0,09
600	0,02	0,09	1,02	0,56
800	0	0	0,47	0,35
1000	0,09	0,08	0,19	0,28
2000	0,06	0,12	0,03	0,14
2400	0,03	0,14	0,36	0,31
2800	0,03	0,16	1,59	1,06
3000	-0,01	0,28	4,29	0,38

NOTAS

1 Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 1200 Hz.

2 Los datos se refieren a un equipo de modulación de canal FDM con una separación de 3 kHz, que es la principal fuente de distorsión en los circuitos telefónicos establecidos en grupos primarios directos de 16 canales, o sea los circuitos con una sola sección de circuito.

CUADRO A.6/G.113

Circuitos constituidos por tres secciones (4 kHz + 3 kHz + 4 kHz)

Frecuencia (Hz)	Distorsión de atenuación		Distorsión por retardo de grupo	
	Valor medio	Desviación típica	Valor medio	Desviación típica
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	5,92	2,09	20,58	0,51
300	0,82	0,64	10,33	0,56
400	0,15	0,47	5,39	0,32
600	0,12	0,27	2,54	0,58
800	0	0	1,35	0,36
1000	0,07	0,17	0,71	0,28
2000	0	0,29	0,05	0,14
2400	0,11	0,33	0,48	0,31
2800	0,29	0,49	2,01	1,06
3000	0,31	0,67	5,19	0,38

NOTAS

1 Este cuadro se deriva de los Cuadros A.4 y A.5 y se refiere a los circuitos internacionales cuya sección media se establece mediante equipo de modulación de canal con una separación de 3 kHz, como por ejemplo una sección de circuito por cable submarino.

2 Puede considerarse que la distorsión por retardo de grupo está tomada con respecto al retardo de grupo a unos 1400 Hz.

A.2 La frecuencia de referencia correspondiente a la distorsión de atenuación es 800 Hz. La frecuencia de referencia correspondiente a la distorsión por retardo de grupo (o sea, la frecuencia en que el retardo de grupo es mínimo) ha sido estimada para cada caso.

A.3 Los resultados relativos a los circuitos no comprenden ningún margen para tener en cuenta las terminaciones de señalización de línea, aunque en algunos casos estas distorsiones están incluidas en los datos relativos a las centrales.

Anexo B

Efecto de las degradaciones de transmisión sobre la transmisión de datos en la banda vocal

(Origen: AT&T)

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

B.1 Introducción

El actual plan de transmisión para conexiones internacionales facilita directrices para el control de la calidad de funcionamiento de la transmisión, en particular para permitir la transmisión satisfactoria de señales telefónicas. Las degradaciones significativas y su efecto en las señales telefónicas se describen en la Recomendación P.11. Entre estas degradaciones figuran la pérdida de sonoridad, el ruido de circuito, la pérdida de sonoridad por efecto local, el ruido ambiente, la distorsión de atenuación, el eco para la persona que habla, el eco para la persona que escucha, la distorsión de cuantificación y la fluctuación de fase. En otras Recomendaciones, a saber, H.12, M.1020 y M.1025, se hace referencia a la calidad de funcionamiento de la transmisión de datos por circuitos arrendados.

Como consecuencia del empleo de conexiones internacionales para la transmisión de señales no telefónicas, como los datos en la banda de frecuencias vocales, es necesario aumentar el ámbito de aplicación del plan de transmisión, incluyendo en el mismo directrices relativas al control de degradaciones adicionales. Entre las degradaciones significativas para la transmisión de datos en la banda de frecuencias vocales figuran el ruido impulsivo, la distorsión de retardo de envolvente, la fluctuación de fase, la distorsión no lineal, la relación tono/ruido, el deslizamiento de frecuencia, los fenómenos transitorios de ganancia y de fase. En las subcláusulas siguientes se facilita información sobre estas relaciones basada en la experiencia adquirida por AT&T. Todos los valores de los parámetros indicados corresponden a objetivos de calidad mínima de extremo a extremo de la red pública con conmutación de AT&T, antes de la desmembración. Los valores típicos obtenidos en la red son mucho mejores que los objetivos mínimos. Se considera que estos valores mínimos corresponden a una calidad satisfactoria de funcionamiento de módem a velocidades de hasta 4,8 kbit/s. Para una calidad de funcionamiento satisfactoria a velocidades más elevadas, como 9,6 kbit/s, se consideran necesarios objetivos mínimos más estrictos. Los valores de los parámetros indicados son sólo ejemplos y no representan una propuesta de Recomendación.

B.2 Ruido impulsivo

El ruido impulsivo se ha definido como toda excursión de la forma de onda de ruido en un canal que rebasa un umbral de nivel especificado. El ruido impulsivo se evalúa en los canales computando el número de excursiones durante un intervalo de tiempo determinado previamente. A fin de reducir al mínimo las contribuciones debidas al ruido térmico, el umbral mínimo se fija normalmente en 12 a 18 dB por encima del valor eficaz del ruido. El umbral correspondiente al nivel de ruido impulsivo es aquél en que la tasa media de cómputo es igual a 1 por minuto.

Los aparatos de medida utilizados para contar los impulsos de ruido pueden emplear contadores electromecánicos o electrónicos. En algunos conjuntos, se ha comprobado una tasa máxima de cómputo de siete por segundo.

La contribución de ruido impulsivo en la tasa de errores es significativa cuando las crestas de ruido alcanzan un nivel de 3 a 12 dB por debajo del nivel eficaz de la señal de datos en función del tipo de modulación utilizado por los modems de datos, la velocidad de transmisión en bits por segundo y las magnitudes de otras degradaciones de transmisión en el canal. El objetivo de ruido impulsivo de AT&T es no llegar a más de 15 cuentas por 15 minutos en un nivel por encima del umbral que es inferior en 6 dB al nivel de los datos recibidos. El control se efectúa mediante disposiciones técnicas y límites en los niveles de ruido impulsivo medidos.

Teniendo en cuenta que la mayor parte del ruido impulsivo tiene su origen en fenómenos transitorios provocados por la utilización de relés y demás equipo de conmutación, las disposiciones técnicas y medidas reductoras tienen por objeto proteger las señales portadoras de bajo nivel contra la radiación asociada a estos fenómenos transitorios.

B.3 Retardo de envolvente (retardo de grupo)

El retardo de envolvente se considera como una derivada con respecto a la frecuencia de la característica de fase del canal. Teniendo en cuenta que medir esta derivada no resulta práctico, se procede a su cálculo aproximado por medición de una diferencia. Existen numerosos aparatos de medición del retardo de envolvente que emplean una diversidad de anchuras de frecuencia para esta medición de diferencia. La norma AT&T es 166-2/3 Hz. En resultados de pruebas, estas diferencias aparecen como una diversidad de resolución de ondulaciones en la característica de retardo de envolvente. Amplitudes de frecuencia inferiores producen una resolución mayor, pero reducen la exactitud.

La frecuencia de retardo de envolvente mínima en canales de telecomunicación suele situarse generalmente en las proximidades de 1800 Hz. Por consiguiente, las mediciones de retardo de envolvente suelen normalizarse a cero en 1800 Hz. La desviación con respecto a cero en otras frecuencias se considera como distorsión de retardo de envolvente. La distorsión de retardo de envolvente provoca interferencia entre símbolos de la transmisión de datos, lo que causa errores y aumenta la sensibilidad al ruido de fondo.

En la red, el retardo de envolvente se controla principalmente al diseñar los filtros de canal y demás equipos. Son objetivos típicos para la distorsión de retardo de envolvente 800 μ s como máximo en la banda de 1004 a 2404 Hz y 2600 μ s como máximo en la banda de 604 a 2804 Hz.

B.4 Fluctuación de fase

La fluctuación de fase es la modulación angular no deseada de una señal transmitida. Su característica más corriente es que provoca la perturbación de los cruces a cero de una señal. Teniendo en cuenta que el ruido también perturba los cruces a cero de una señal, suele provocar indicaciones en un aparato de medida de la fluctuación de fase incluso en ausencia de modulación incidente.

La fluctuación de fase degrada la transmisión de datos reduciendo la tolerancia del receptor de datos a otras degradaciones. La fluctuación de fase se controla mediante el diseño del equipo de transmisión. Si bien se han localizado en condiciones prácticas fuentes específicas de fluctuación, como las fuentes de frecuencias portadoras primarias, las técnicas de corrección han requerido por regla general modificaciones de diseño en equipos específicos. El objetivo mínimo de extremo a extremo para la fluctuación de fase es de 10° cresta a cresta para la banda de frecuencias de 20 a 300 Hz y 15° cresta a cresta para la banda de 4 a 300 Hz.

B.5 Distorsión no lineal

Los elementos no lineales del equipo de transmisión provocan distorsión armónica y de intermodulación, denominados más frecuentemente distorsión no lineal. Las mediciones de la distorsión no lineal se suelen efectuar en términos de mediciones de distorsión de intermodulación.

La distorsión no lineal puede definirse, de forma general, como la generación de componentes de la señal transmitida que se agregan a la misma de forma generalmente no deseada. La distorsión no lineal de interés en este documento es la que se produce dentro de un canal vocal individual. No debe confundirse con el ruido de intermodulación causado por la no linealidad del equipo múltiplex y amplificadores de línea de un sistema múltiplex por división de frecuencia. Si bien estas no linealidades pueden contribuir a la distorsión no lineal en frecuencias vocales, su contribución es generalmente despreciable.

La distorsión no lineal se mide e identifica generalmente por el efecto que produce en ciertas señales. Por ejemplo, si la señal es un tono cuya frecuencia es A , la distorsión no lineal aparece como armónicas de la entrada, a saber, como tonos en $2A$, $3A$, etc. Teniendo en cuenta que la mayor parte de la energía producida por la distorsión aparece generalmente en la segunda y tercera armónicas, la distorsión se cuantifica a menudo midiendo la potencia de cada una de estas armónicas y se denomina distorsión de segunda y tercera armónica. Si la cantidad de distorsión no lineal se mide por la suma de potencias de todas las armónicas, el resultado se denomina distorsión armónica total. Estas potencias de distorsión no tienen significado, a no ser que se conozca la potencia de la señal deseada (señal fundamental), por lo que por regla general las mediciones se refieren a la potencia de la fundamental y se denominan distorsión de segunda o tercera armónica o distorsión armónica total.

Hasta ahora se han utilizado dos métodos diferentes para medir la distorsión no lineal en canales de la banda de frecuencias vocales: el método de un solo tono y el método de cuatro tonos. No obstante, el método de un solo tono ha dejado de utilizarse.

Para el método de cuatro tonos, se transmiten cuatro tonos del mismo nivel como dos conjuntos de tonos a una potencia de señal compuesta de nivel de datos (-13 dBm0). Uno de los conjuntos está compuesto por tonos a 856 y 863 Hz (separación de 7 Hz). Un segundo conjunto utiliza frecuencias de 1374 y 1385 Hz (separación de 11 Hz). La separación de frecuencia dentro de cada conjunto de tonos no es crítica, pero tiene que ser diferente en cada caso. Estos cuatro tonos pueden denominarse: A_1 , A_2 , B_1 y B_2 . Los productos de segundo orden ($A + B$) se sitúan en $A_1 + B_1$, $A_1 + B_2$, $A_2 + B_1$ y $A_2 + B_2$. Si la separación entre A_1 y A_2 es la misma que entre B_1 y B_2 , entonces $A_1 + B_2 = A_2 + B_1$ y estos dos componentes se agregarán en tensión y proporcionarán una indicación errónea.

Los productos de tercer orden ($2B - A$) se sitúan en $2B_1 - A_1$, $2B_1 - A_2$, $2B_2 - A_1$, $2B_2 - A_2$, $B_1 + B_2 - A_1$ y $B_1 + B_2 - A_2$. El receptor utiliza filtros de una anchura de 50 Hz para seleccionar los productos $A + B$, $B - A$ y $2B - A$. R_2 es la relación entre la potencia de las frecuencias fundamentales compuestas recibidas y la potencia media de los productos $A + B$ y $B - A$. R_3 es la relación entre las fundamentales compuestas recibidas de los productos $2B - A$.

Una ventaja del método de cuatro tonos, actualmente empleado por AT&T, es que la señal de prueba de cuatro tonos tiene una función de densidad de amplitud bastante similar a la de la señal de datos. Sin embargo, teniendo en cuenta la banda de paso relativamente ancha (50 Hz) de los filtros del receptor, las mediciones con el método de cuatro tonos resultan más afectadas por el ruido de circuito.

Los productos de intermodulación procedentes de la distorsión no lineal se agregan a la señal deseada e interfieren con la misma de igual forma que el ruido. No obstante, los productos de intermodulación son más perturbadores que el ruido y la relación entre la frecuencia fundamental y los productos de segundo o tercer orden debe situarse en la gama de 25 a 38 dB, según el tipo de transmisión de datos, para que el funcionamiento sea satisfactorio.

La distorsión no lineal se controla principalmente mediante el diseño del equipo. Sin embargo, factores como el envejecimiento de los tubos de vacío en los equipos más antiguos y el ajuste poco preciso de los bancos de canales MIC pueden hacer que esta distorsión aumente por encima de los límites previstos en el diseño. El objetivo global a largo plazo de abonado a abonado para la distorsión no lineal utilizando el método de medición de cuatro tonos es de 27 dB como mínimo para R_2 y 32 dB como mínimo para R_3 .

B.6 Relación tono/ruido

Para transmisión telefónica, el ruido que se oye durante los intervalos de silencio es más intenso y, por lo tanto, éste es el que se evalúa al medir el ruido de circuito de mensaje normal. Para transmisión de datos, el ruido en el canal durante la transmisión activa y la relación señal/ruido correspondiente es importante. En sistemas que utilizan compansores o cuantificadores, el ruido aumenta durante la transmisión activa. A fin de medir este ruido, se transmite un tono de -16 , -13 , ó -10 dBm₀ desde el extremo distante del canal sometido a prueba y seguidamente se procede a su filtrado en el aparato de medición de ruido. El filtro utilizado para suprimir el tono es un filtro de ranura estrecha centrado en la frecuencia del tono. Este tipo de medición también se conoce bajo la denominación de «ruido con tono». Se dispone actualmente de equipo de prueba que utiliza un tono de 1004 Hz para esta medición.

Es evidente que el ruido puede provocar errores en la transmisión de datos y que debe mantenerse el objetivo de relación tono/ruido en 24 dB para que el funcionamiento sea satisfactorio. El ruido se controla al diseñar el equipo de transmisión, en la ingeniería de los sistemas de transmisión (mediante factores como la separación entre repetidores) y al proceder al mantenimiento de estos sistemas.

B.7 Deslizamiento de frecuencia

Cuando un tono experimenta un cambio en la frecuencia transmitida por un canal, se dice que en el canal se ha producido un deslizamiento o desviación de frecuencia. El deslizamiento de frecuencia se puede medir utilizando contadores de frecuencia en ambos extremos de un canal. Cuando la frecuencia de entrada difiere de la frecuencia de salida, la diferencia es el deslizamiento de frecuencia en el canal.

En los equipos de telecomunicaciones modernos, el deslizamiento de frecuencia, si lo hay, suele ser de 1 Hz o inferior. Algunos sistemas portadores antiguos pueden tener valores considerables de deslizamiento, por ejemplo, 15 a 20 Hz.

El deslizamiento de frecuencia es importante en sistemas que utilizan filtros receptores de banda estrecha, como los multiplexores telegráficos y equipos de lectura de contadores a distancia. Cuando los sistemas que utilizan estos tipos de transmisión experimentan deslizamientos de frecuencia, las señales recibidas se sitúan fuera de la anchura de banda de los filtros. Se puede producir deslizamiento de frecuencia en facilidades que utilicen transmisión por portadoras de banda única suprimida. En AT&T, el deslizamiento de frecuencia se controla por medio de la red de sincronización de frecuencias. El objetivo global para el deslizamiento de frecuencia es de ± 5 Hz.

B.8 Transitorios de ganancia y de fase

En los canales de telecomunicación puede haber cambios de ganancia y de fase que se producen con mucha rapidez. Algunas de las causas más corrientes de estos fenómenos son la conmutación automática a facilidades o portadoras de reserva, la puesta fuera de servicio de facilidades para realizar operaciones de mantenimiento de rutina, los desvanecimientos o cambios de trayecto en facilidades de microondas y los transitorios de ruido acoplados en fuentes de frecuencias portadoras. La ganancia de canal y el desplazamiento de fase (o de frecuencia) puede volver a su valor original después de un breve momento o permanecer de forma indefinida en los nuevos valores.

Los cambios de ganancia se detectan generalmente por modificaciones en un circuito de control automático de ganancia y los cambios de fase por medio del bucle de enganche de fase. A fin de facilitar protección contra detectores de equipos de prueba que funcionen de modo inadecuado en crestas de ruido sin correlación (ruido impulsivo), se prevé un intervalo de guarda de 4 ms en el instrumento indicador de la cresta de ganancia o de fase. Lamentablemente, este intervalo de guarda también oculta efectivamente verdaderos saltos de fase de duración inferior a 4 ms que no van acompañados por una excursión de amplitud de cresta. El riesgo se considera justificado en este momento, cuando se comparan las frecuencias relativas conocidas de los saltos de fase con las del ruido impulsivo.

Los instrumentos para medir los saltos de ganancia y de fase, como se suelen designar generalmente los cambios rápidos de ganancia y de fase, efectúan esta medición por supervisión de la magnitud y fase de un tono sinusoidal. Los saltos se registran y acumulan en contadores con niveles de umbral ajustable. Los contadores de saltos de ganancia suelen acumular eventos que rebasan umbrales de 2, 3, 4 y 6 dB, si bien no pueden establecer la diferencia entre un aumento y una disminución de magnitud. De forma similar, los contadores de saltos de fase acumulan cambios en umbrales de 5° a 45°, por escalones de 5°. Responden a saltos que alcanzan o rebasan el umbral seleccionado. Puede ser conveniente disponer de un conmutador que suprima la característica de enmascaramiento de ruido impulsivo, que el usuario puede utilizar según su buen criterio, cuando se prevé la existencia de saltos de fase por impulsos. La amplia variedad de las formas de onda del salto, el efecto del ruido en las mediciones y las tolerancias admisibles en umbrales y circuitos de medición contribuirán, por regla general, a diferentes resultados de cómputo de saltos incluso con instrumentos de diseño idéntico. Esta variedad conducirá a cierta confusión entre quienes efectúen pruebas con contadores de saltos de fabricantes diferentes. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos tiene en estudio una especificación alternativa del circuito completo de cómputo de saltos.

Los saltos de ganancia empiezan a provocar errores en la transmisión de datos de gran velocidad cuando su magnitud alcanza 2 ó 3 dB. Los saltos de fase empiezan a causar errores cuando su magnitud es de unos 20° a 25°. El objetivo de extremo a extremo para saltos de ganancia consiste en tener no más de ocho saltos de ganancia que rebasen 3 dB en 15 minutos; el objetivo para los saltos de fase es tener no más de ocho saltos de fase en 15 minutos con un umbral de 20°. Una caída se define como una disminución de nivel superior o igual a 12 dB que dure por lo menos 4 ms. El objetivo en materia de caídas es que no se produzcan más de dos en una hora.

Anexo C

Repercusiones de las características de funcionamiento de la modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) sobre la transmisión de datos en la banda vocal

(Origen: AT&T)

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

Resumen

Este anexo se basa principalmente en el documento de los Laboratorios Bell AT&T presentado en la «IEEE Global Telecommunications Conference» celebrada del 2 al 5 de diciembre de 1985. Se ha enviado para apoyar esta Recomendación en lo que se refiere a la calidad de los circuitos de datos en banda vocal. Los resultados indican que sería muy difícil asignar un valor de qdu a los equipos que utilizan MICDA a 32 kbit/s (véase la Recomendación G.726) ya que las características de desempeño dependen en gran medida del tipo y velocidad del módem.

El anexo informa de los resultados de una serie de pruebas empíricas sobre características de error de modems de datos de alta velocidad en banda vocal utilizados en canales con sistemas MICDA a 32 kbit/s (Recomendación G.726) colocados en tándem asincrónicamente y mezclados con degradaciones analógicas simuladas. Se probó una muestra representativa de transmisión a 4,8 kbit/s y dos dispositivos a 9,6 kbit/s: un diseño experimental de la Recomendación V.32 que opera a 9,6 kbit/s para un módem dúplex y otro producto actualmente disponible a 9,6 kbit/s. Los 4,8 kbit/s se realizará de manera adecuada a través de sistemas MICDA en tándem de manera síncrona pero sin embargo la transmisión a 9,6 kbit/s está limitada y bajo las mismas condiciones, resulta inaceptable con ciertos modems.

C.1 Introducción

Es posible usar la modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA, *adaptive differential pulse code modulation*) a velocidades binarias menores que 64 kbit/s por canal con una degradación de la calidad de transmisión analógica, en muchos casos menor que proporcional respecto a dichos valores. Por lo tanto, el uso del algoritmo MICDA a 32 kbit/s sobre canales de calidad telefónica debería doblar la capacidad por canal de los medios asociados.

Junto al potencial beneficio económico debido al incremento de capacidad, surge la posibilidad de una degradación de la calidad del canal. Nuestros resultados muestran que los datos a alta velocidad en banda vocal (por ejemplo, 4,8 kbit/s o mayor) sufrirían degradaciones significativas de sus características de desempeño utilizando esta nueva tecnología.

En este anexo informamos de los resultados de una serie de pruebas empíricas sobre las características de error de modems de datos de alta velocidad en banda vocal a través de canales que incluyen sistemas MICDA a 32 kbit/s (véase la Recomendación G.726), mezclados con degradaciones analógicas de transmisión simuladas [1]. Las configuraciones del canal están diseñadas para que sean representativas de las topologías posibles en las redes públicas conmutadas con sistemas MICDA. El equipo físico MICDA colocado en tándem asincrónamente²⁾ utilizado en los canales de prueba varía en un número comprendido entre 0 y 7, mientras que las degradaciones analógicas intercaladas se obtienen asignando parámetros a partir de las distribuciones de las degradaciones dadas en el end office connections study (EOCS) [2], en el estudio de bucles de 1970 [3] y en las pruebas de bucles de 1980. También realizamos medidas de desempeño utilizando conexiones con sistemas MIC a 64 kbit/s colocados en tándem asincrónamente, construyendo bancos de canales D4, para comparar con las configuraciones MICDA que mostraron un desempeño especialmente pobre, de esta manera se podría determinar si la utilización del algoritmo MICDA o la codificación MIC estaba en la raíz del problema.

Se utilizaron modems de alta velocidad en las pruebas. Se probó una muestra representativa de transmisión a 4,8 kbit/s de tipo V.29, y dos modems a 9,6 kbit/s: un diseño experimental de la Recomendación V.32 para un módem dúplex y otro dispositivo actualmente disponible (de tipo V.29). Estos dispositivos eran modems a dos hilos que están o estarán en el mercado para su uso en las redes públicas conmutadas.

Los resultados de las pruebas indican que la transmisión de datos en banda vocal a 4,8 kbit/s se realizará adecuadamente a través de sistemas MICDA colocados en tándem asincrónamente, sin embargo, la transmisión a 9,6 kbit/s está limitada y bajo la misma configuración es inaceptable con ciertos modems.

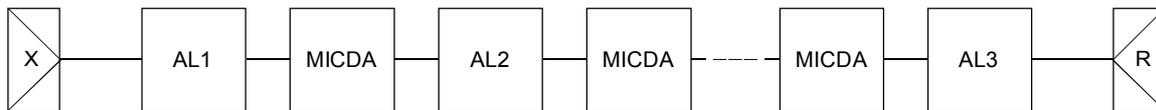
C.2 Arquitectura de las condiciones de prueba

Es conocido que la precisión del algoritmo MICDA depende en gran medida de la naturaleza de la señal a codificar y transmitir. Señales con poca o ninguna componente estocástica, tales como los tonos puros, atraviesan estos sistemas muy bien con muy poca o ninguna distorsión. Por el contrario, señales de datos de alta velocidad en banda vocal que tienen inherente una gran componente estocástica y una considerable anchura de banda son afectadas de manera significativa por la codificación MICDA. Debido a ello nuestra arquitectura de las condiciones de prueba examina estos tipos de módem de alta velocidad. Hemos, asimismo, intentado limitar eficazmente la cantidad de pruebas requeridas utilizando una arquitectura universal para todos nuestros estudios.

C.2.1 Semidúplex a 4,8 kbit/s

La Figura C.1 muestra la arquitectura de la configuración de pruebas para las conexiones semidúplex a 4,8 kbit/s. La configuración está terminada en ambos extremos con modems. La secuencia de aparatos utilizados empieza desde la izquierda con un simulador de degradaciones analógicas (AL1) representativo del bucle analógico y del enlace de acceso (AT, *access trunk*). A continuación el segmento de larga distancia consiste en un sistema MICDA, un enlace analógico de portadora L equivalente a 500 millas (AL2), seguido de 1 a 6 sistemas MICDA. Esta estructura es representativa de una parte entre centrales consistente en enlaces múltiples y modela el segmento como si todas las degradaciones analógicas ocurrieran al principio del mismo. Aunque esta situación de las degradaciones analógicas es algo conservadora, está compensada por el hecho de que las degradaciones son las de un enlace con portadora L sencilla, siendo esto una buena aproximación a la realidad dadas las limitaciones de usar un único simulador de degradación para la parte de larga distancia. Finalmente, la salida al receptor se realiza a través de un simulador de degradación analógica (AL3) que es representativo de un bucle y enlace analógico. Dadas las actuales aplicaciones y topologías es más representativo situar de esta manera las degradaciones analógicas con sistemas MICDA que colocar todas las degradaciones analógicas en un solo lugar.

²⁾ La colocación en tándem asincrónica ocurre cuando una señal codificada MICDA es decodificada y su versión analógica recodificada en una MICDA posterior.



Módem	Entrada	LH			Salida	Módem
	Bucle + entrada	MICDA	1 LMX	n (MICDA)	Bucle + entrada	# pruebas
4,8 kbit/s	85	Ninguno	85	Ninguno	85	1
	Ninguno	MICDA	Ninguno	1-6 MICDA	Ninguno	6
	Ninguno	MIC	Ninguno	1-6 MIC	Ninguno	6 AN
	μ , 85	MICDA	μ , 85	1-6 MICDA	μ , 85	48
	μ , 85	MIC	μ , 85	1-6 MIC	μ , 85	48 AN

T1205460-93/d01

FIGURA C.1/G.113

Arquitectura de las condiciones de prueba para módem a 4,8 kbit/s

Para esta configuración es necesario determinar los tipos y valores de las degradaciones analógicas a incluir en los simuladores AL1, AL2 y AL3. Usando una herramienta de modelado de las características de la red, los resultados del EOCS y la suposición de que los usuarios con datos a alta velocidad se conectan a la red vía jacks de datos, obtuvimos la media de extremo a extremo (M) y las condiciones del 85° percentil del principal subconjunto de degradaciones para canales por red conmutada. Nótese que aunque nos referimos al canal con las degradaciones a un nivel del 85% como el canal de 85° percentil la realidad es que la situación es algo peor, ya que durante menos del 15% del tiempo aparecen simultáneamente en un mismo canal todas las degradaciones al 85%. Sin embargo, nosotros atribuimos estos valores de extremo a extremo a los simuladores de las degradaciones analógicas. En el Cuadro C.1 se muestran los resultados de esta atribución, los tipos de degradación, y los valores extremo a extremo. Los valores designados (M) se extraen de la media de extremo a extremo, mientras los valores designados «85» se extraen de los valores de degradación extremo a extremo al 85%. La discusión de la Figura C.1 puede completarse describiendo los diversos valores de degradaciones analógicas así como el tipo y número de equipos digitales presentes. La primera configuración no incluye MICDA pero contiene las degradaciones extraídas del canal de 85° por ciento. Posteriormente para una referencia adicional fueron tomados 6 canales conteniendo de 2 a 7 MICDA sin degradaciones analógicas. Se probaron otros 6 canales con dispositivos MIC puestos en tándem asincrónicamente si, y sólo si, las pruebas MICDA previas mostraban un desempeño pobre. Finalmente se realizaron las importantes pruebas que incluían degradaciones analógicas atribuidas a los simuladores basados en la media (μ) y en el canal de 85° percentil con un número entre 2 y 7 de MICDA (o MIC, según fuera necesario).

C.2.2 Dúplex y semidúplex a 9,6 kbit/s

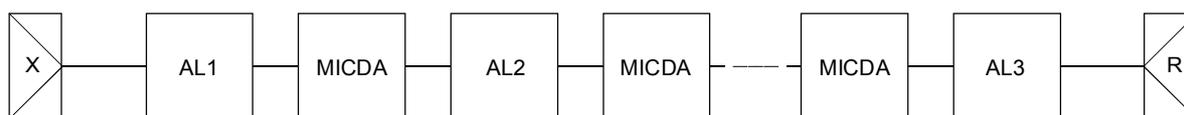
La Figura C.2 muestra la arquitectura con la que se realizó la prueba. Se probó una realización práctica de la Recomendación V.32 para un módem dúplex a 9,6 kbit/s bajo los mismos valores de degradaciones analógicas usadas para el módem de 4,8 kbit/s. Aunque en el esquema los segmentos de canal tienen la misma representación se probaron sólo 1 a 3 MICDA en el segmento de larga distancia. El funcionamiento dúplex simulado se probó con datos en el canal en sentido contrario, con una relación entre la señal y el eco del oyente de 12 dB, y con un retardo de eco del oyente de 25 ms, de acuerdo con las pruebas de las que se había informado a la Comisión de Estudio XVIII [4]. Para estas pruebas el Cuadro C.1 contiene los valores relevantes de los simuladores de degradaciones analógicas.

También se muestran tres pruebas realizadas sólo con sistemas MICDA sobre otro módem dúplex a 9,6 kbit/s. Este módem está especialmente diseñado para su uso en la red pública conmutada y representa las características típicas de la tecnología a 9,6 kbit/s actualmente disponible.

CUADRO C.1/G.113

Condiciones de prueba derivadas del EOCS

	AL1	AL2	AL3	E-E
Degradación	$\mu/85$	$\mu/85$	$\mu/85$	M/85
Pérdidas (dB)	11,0/11,4	1,1/1,7	11,0/11,4	23,0/24,5
Ruido de ranura C (dBmC)	32,0/35,6	37,5/38,5	24,0/27,6	29,4/31,0
Pendiente (dB)	1,5/3,0	0,0/0,2	1,5/3,0	2,9/6,1
Retardo de la envolvente (μ s)	226/388	632/755	226/388	1084/1535
Intermod. 2.º orden (dB)	66,0/50,2	58,4/53,8	66,0/50,2	52,7/46,3
Intermod. 3.º orden (dB)	74,0/53,0	56,9/50,3	74,0/53,0	51,7/44,3
Fluctuación de fase (p-p)	0,5/0,7	1,9/3,7	0,5/0,7	3,5/5,1
Nivel (dBm)				-27,0/28,5
S/N (dB)				31,6/28,5



Módem	Entrada	LH			Salida	Módem
	Bucle + entrada	MICDA	1 LMX	n (MICDA)	Bucle + entrada	# pruebas
V.32	85	Ninguno	85	Ninguno	85	1
9,6 kbit/s	Ninguno	MICDA	Ninguno	1-3 MICDA	Ninguno	3
V.32	Ninguno	MIC	Ninguno	1-3 MIC	Ninguno	3 AN
	$\mu, 85$	MICDA	$\mu, 85$	1-3 MICDA	$\mu, 85$	24
	$\mu, 85$	MIC	$\mu, 85$	1-3 MIC	$\mu, 85$	24 AN

T1205470-93/d02

FIGURA C.2/G.113

Arquitectura de las condiciones de prueba para módem a 9,6 kbit/s

C.2.3 Calidad de funcionamiento a 4,8 kbit/s

En la Figura C.3 se muestran los resultados más destacados de la transmisión a 4,8 kbit/s. Se han dibujado cuatro curvas: dos para la tasa de errores en los bloques de 1000 bits (BLER) y dos para las tasas de errores en los bits (BER), cada uno para canales medios y canales EOCS al 85%. La abscisa indica el número de MICDA conectados en tándem de manera asíncrona. Debido a la arquitectura de las pruebas, están numeradas como 1 + n. La «1» representa la MICDA entre AL1 y AL2, mientras que n es el número de sistemas MICDA entre AL2 y AL3.

Puede verse claramente en los gráficos que todas las características de error medidas se degradan conforme el número de procesos MICDA puestos en tándem asíncronamente aumenta y que las características del canal correspondiente al 85%, que tiene peores valores de degradaciones analógicas, es inferior a los resultados para el canal medio. Suponemos que un límite aceptable para la calidad de funcionamiento adecuada del módem es una BER < 10⁻⁵ y una BLER < 10⁻² para el 85% de los canales. De esta manera, si nos centramos en un canal al 85% del EOCS, vemos que la calidad de funcionamiento a 4,8 kbit/s está dentro de los límites aceptables si el número de procesos MICDA está entre 4 y 5 en lo que a la BLER se refiere, y entre 3 y 4 para la BER. Resultados más recientes parecen demostrar que para algunos modems el criterio de BER es marginal con 3 elementos en tándem y que sólo sería aceptable tener 2. Por supuesto, sabemos que el criterio de BER es más estricto que el límite de BLER ya que los errores en los bits representan un fenómeno que se produce por ráfagas, lo cual es en gran medida superable mediante el uso de transmisión por bloques realizadas con protocolos de detección y corrección de errores. Sin embargo, probamos y presentamos aquí ambos resultados porque las aplicaciones de las comunicaciones de datos de los abonados nos indicarán qué tipo de medida es más relevante.

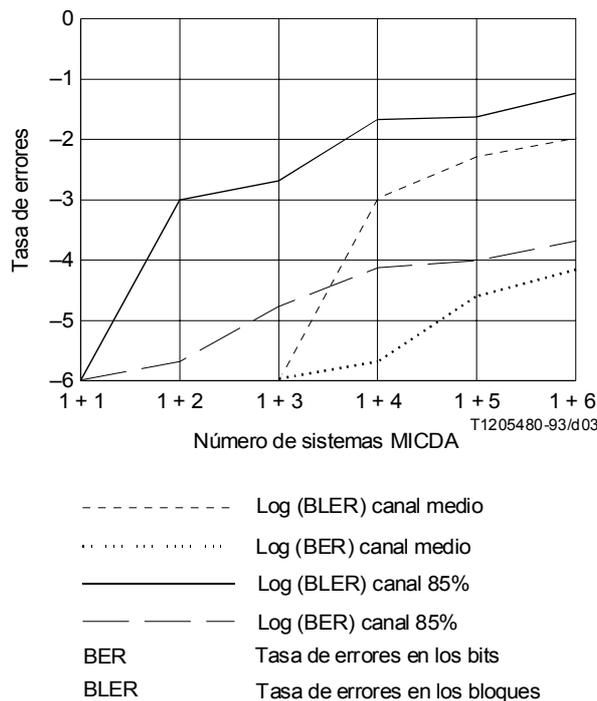


FIGURA C.3/G.113
 Calidad de funcionamiento de la MICDA con un módem a 4,8 kbit/s
 (Canales medio y correspondiente al 85%)

C.2.4 Calidad de funcionamiento de la MICDA con módem Recomendación V.32

En la Figura C.4 se muestran los resultados de las pruebas sobre el banco de pruebas experimental que representa un dispositivo conforme a la Recomendación V.32 a 9,6 kbit/s. Nótese que también hemos dibujado cuatro curvas de calidad de funcionamiento. Como antes, la calidad de funcionamiento del canal correspondiente al 85% es inferior a la del canal medio. Si nos centramos en la BLER del canal correspondiente al 85% vemos que el límite de calidad de funcionamiento aceptable ocurre para un número de procesos MICDA puestos en tándem de manera asíncrona comprendido entre 2 y 3, mientras que para BER el número está comprendido entre 0 y 1. Dependiendo de la aplicación del usuario, una u otra medida de calidad de funcionamiento será la más adecuada. Se observa que una componente estocástica mayor de las señales de datos implica una característica de error más pobre del módem. En este caso, el uso de 9,6 kbit/s muestra una degradación definitiva en cuanto a la calidad de funcionamiento con la misma topología que con los dispositivos a 4,8 kbit/s.

Es también interesante comprobar si cambios en la posición de los segmentos con valores de degradaciones más pobres afectan a la calidad de funcionamiento del módem. La Figura C.5 muestra un gráfico de tres curvas BLER para módem Recomendación V.32 donde se ha considerado en primer lugar el segmento de porcentaje 85, a continuación la parte de larga distancia y finalmente, a la salida del canal de prueba, el otro segmento con valores medios de degradaciones. Nótese, en primer lugar, que en cuanto a la calidad de funcionamiento estas curvas están situadas entre el canal correspondiente al 85% y el canal medio. Nótese también que parece haber una ligera dependencia con respecto a la situación de los valores de degradación más severos. La situación próxima al transmisor de las degradaciones peores parece tener un efecto más nocivo en la calidad de funcionamiento de la BLER del módem que si estuvieran más cercanas al receptor. Esto significa que las degradaciones analógicas en la vía de acceso tienen probablemente un efecto más significativo sobre el régimen de errores del módem que aquéllas situadas en la salida o en la red de larga distancia. El efecto observado es suavizado sin embargo, probablemente porque los valores de degradación atribuidos a los segmentos de porcentaje 85 no son realmente mucho más pobres que aquéllos atribuidos a los segmentos medios.

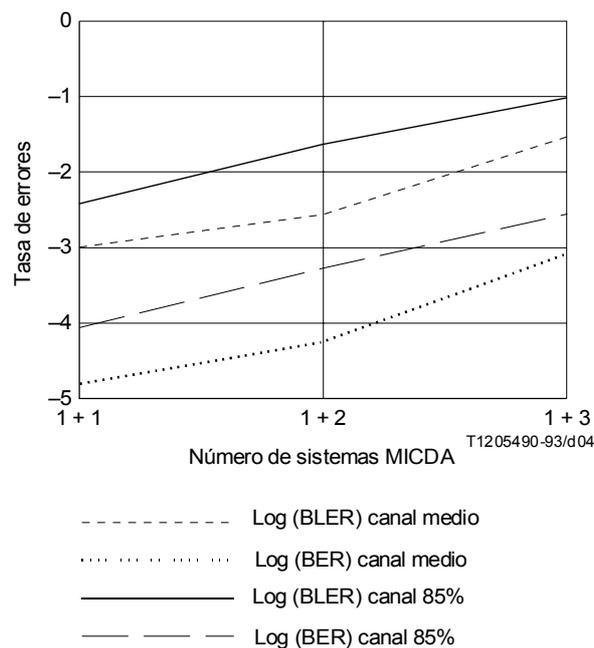


FIGURA C.4/G.113
**Calidad de funcionamiento de la MICDA
 con un módem Rec. V.32 (Canales medio y 85%)**

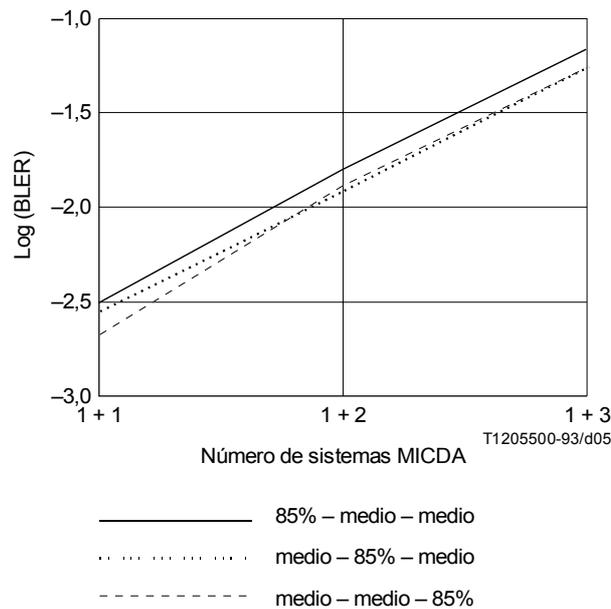


FIGURA C.5/G.113
**Calidad de funcionamiento de la MICDA con un módem Rec. V.32
 (Estudio de la posición de las degradaciones)**

C.2.5 Calidad de funcionamiento de la MICDA a 9,6 kbit/s

Como prueba final de la calidad de funcionamiento del módem hemos sometido otro dispositivo de 9,6 kbit/s, de una tecnología más tradicional, a una secuencia de procesos MICDA situados en tándem asincrónicamente. Este módem es un dispositivo a dos hilos recomendado por el suministrador para uso en la red pública conmutada a velocidad de transmisión de 9,6 kbit/s. Hemos probado la calidad de funcionamiento del dispositivo sin degradaciones analógicas de ningún tipo en el canal de prueba. Durante el curso de la determinación empírica se detectó que la secuencia de arranque del módem y el algoritmo MICDA interactuaban evitando el comienzo de la comunicación entre transmisor y receptor. Fue por tanto necesario realizar la prueba permitiendo que la secuencia de acondicionamiento del módem se realizara sobre un canal MIC normal, después de lo cual se suprimía la MICDA para observar su calidad de funcionamiento. Problemas de disponibilidad semejantes ocurrirían probablemente para cualquier módem cuya secuencia de acondicionamiento sea similar a la de este módem a 9,6 kbit/s.

La Figura C.6 muestra los resultados de la calidad de funcionamiento de este módem. Sin degradaciones analógicas el número de procesos MICDA puede enumerarse secuencialmente. Los resultados de BLER indican que nuestros criterios de calidad de funcionamiento sólo se cumplen con 0 ó 1 codificador MICDA. En cuanto a la BER parece, de nuevo para nuestro criterio normal, que la MICDA es incompatible con el funcionamiento adecuado del módem. Ya que se espera que muchos suministradores de modems anuncien, o de hecho ya hayan anunciado, dispositivos a dos hilos de alta velocidad para su uso en redes públicas conmutadas, la presencia de procesos MICDA en dichos canales probablemente causará problemas de calidad de funcionamiento para aquellos dispositivos similares al que aquí se ha probado en cuanto a secuencia de pruebas, modulación y detección.

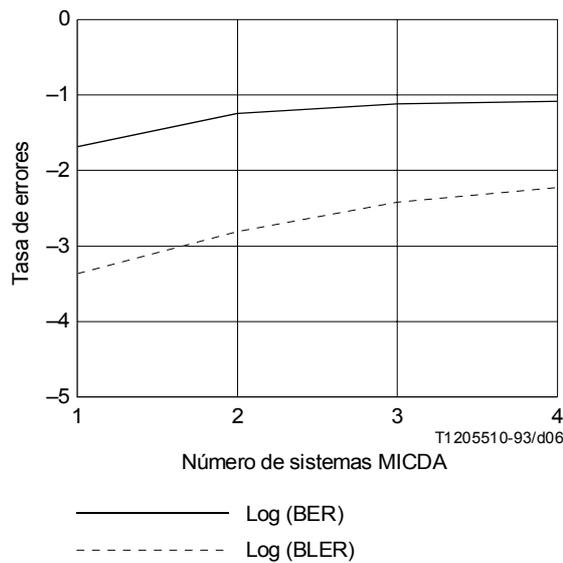


FIGURA C.6/G.113
**Calidad de funcionamiento de la MICDA con un módem a 9,6 kbit/s
(Sin degradaciones analógicas)**

C.3 Conclusiones

En este anexo hemos informado de la arquitectura, aparatos de laboratorio, y resultados de una serie de pruebas empíricas sobre características de error de módem de datos de alta velocidad en banda vocal a través de canales con sistemas MICDA puestos en tándem asincrónamente y entremezclados con degradaciones analógicas simuladas. Los resultados se muestran de manera compacta en el Cuadro C.2 en el cual se ve que las comunicaciones a 4,8 kbit/s pueden establecerse a través de un mayor número de sistemas MICDA puestos en tándem asincrónamente que los dispositivos a 9,6 kbit/s. Aun más, las comunicaciones a 9,6 kbit/s pueden resultar inaceptables cuando se aplica el criterio de BER pero aceptables en algunas ocasiones cuando se utiliza el criterio BLER. Claramente el criterio más adecuado depende de la aplicación del usuario de la comunicación de datos.

CUADRO C.2/G.113
Número de sistemas MICDA permitidos sobre un canal de EOCS al 85%

Módem	BER = 10^{-5}	BLER = 10^{-2}
4,8 kbit/s (V.29)	3/4 ^{a)}	4/5
V.32	0/1	2/3
9,6 kbit/s	0	0/1
a) Resultados más recientes dan un valor de 2/4.		

Referencias

- [1] Draft-Proposed American National-Standard *32 kbit/s ADPCM Algorithm and Line Format*, Committee T1, Subcommittee T1Y1, Documento N.º T1Y1, LB 85-01, 28 marzo, 1985.
- [2] CAREY (M. B.), CHEN (H.-T.), DESCIOUX (A.), INGLE (J. F.) y PARK (K. I): 1982/83 End Office Connection Study: Analogue voice and Voice-band Data Transmission Performance Characterization of the Public Switched Network, *AT&T Bell Lab. Tech. J.*, 63, 2059, 1984.
- [3] MANHIRE (L. M.): Physical and Transmission Characteristics of Customer Loop Plant, *BSTJ*, 57, 1/70.
- [4] KALB (M.), MORTON (C. H.) y SHYNK (JU. J): DATA CAL – A Voice-band Data Communication Connection Performance Model, *Proc. of the Second International Network Planning Symposium, University of Sussex*, Brighton, UK, 21-25 marzo, 1983.

Anexo D

Compatibilidad entre algoritmos de codificación vocal y datos en banda vocal

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

Como se indica en los Anexos B y C, los codificadores vocales digitales tienen repercusiones sobre los datos en banda vocal. La siguiente lista ofrece información aproximada con respecto a la capacidad de diversos algoritmos de codificación vocal para tratar señales de datos en banda vocal.

- 1) El algoritmo LD-CELP a 16 kbit/s (véase la Recomendación G.728) admite datos en la banda vocal sólo hasta 2400 bit/s.
- 2) La MICDA a 32 kbit/s (véase la Recomendación G.726) admite datos en banda vocal hasta 4800 bit/s.
- 3) La MICDA a 40 kbit/s (véase la Recomendación G.726) admite datos en banda vocal hasta 9600 bit/s; los admite hasta 14 400 bit/s sólo en conexiones que no están en cascada.

Esta lista sólo pretende dar una orientación general y será ampliada en el futuro. En el Anexo C se proporcionan más detalles con respecto al punto 2, y en [1] pueden hallarse datos adicionales en relación con el punto 3.

Referencia

- [1] DIMOLITSAS (S.), CORCORAN (F. L.), ONUFRY (M.) y SUYDERHOUD (H. G.): Evaluation of ADPCM Coders for Digital Circuit Multiplication Equipment, *COMSAT Technical Review*, Volumen 17, N.º 2, pp. 323-345, otoño de 1987.

