

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1420

CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DEL MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO EN LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS DE BANDA ANCHA POR SATÉLITE

(Cuestiones UIT-R 78/4 y UIT-R 75/4)

(1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los satélites que intervienen en el servicio fijo por satélite desempeñan un papel importante en la prestación de comunicaciones digitales internacionales fiables;
- b) que, por consiguiente, la calidad de funcionamiento de los satélites debe satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento especificados en la Recomendación UIT-T I.356 sobre calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono (ATM) de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA);
- c) que al definir criterios de calidad de funcionamiento, es necesario tener en cuenta todas las características específicas del medio de transmisión utilizado en la transmisión ATM,

recomienda

- 1 que las porciones de conexión que incluyen enlaces por satélite que cursan transmisiones ATM de la RDSI-BA cumplan los objetivos establecidos en la Recomendación UIT-T I.356 (véase la Nota 1);
- 2 que los citados objetivos se cumplan únicamente durante el tiempo en que el enlace por satélite está en estado disponible (véase la Nota 2);
- 3 que el modelo de referencia expuesto en el Anexo 1 de esta Recomendación se considere una base para desarrollar métodos y técnicas destinados a cumplir los objetivos de la Recomendación UIT-T I.356 en el contexto citado;
- 4 que las atribuciones de objetivos de calidad de funcionamiento ATM a porciones de conexión que incluyan enlaces por satélite que formen parte de una conexión ficticia de referencia (HRX) para sistemas ATM de la RDSI-BA se hagan de acuerdo con las atribuciones recogidas en el Anexo 1 de la presente Recomendación;
- 5 que se utilicen los métodos de conversión descritos en el Anexo 1 de la presente Recomendación en la evaluación de los niveles de calidad de funcionamiento de los sistemas de transmisión por satélite ATM (véase la Nota 3);
- 6 que las Notas siguientes se consideren parte de la presente Recomendación:

NOTA 1 – Pueden existir sistemas de transmisión por satélite basados en el ATM que queden fuera del ámbito de la Recomendación UIT-T I.356, en cuyo caso no pueden aplicarse los objetivos de calidad de funcionamiento derivados de dicha Recomendación.

NOTA 2 – Los objetivos de disponibilidad ATM de la RDSI-BA para conexiones semipermanentes se especifican en la Recomendación UIT-T I.357. La disponibilidad de las conexiones conmutadas ATM de la RDSI-BA seguirán en estudio. Los parámetros y objetivos de disponibilidad ATM de los sistemas de satélite son objeto de la Recomendación UIT-R S.1424.

NOTA 3 – El Anexo 2 contiene material informativo referente a la calidad de funcionamiento general del ATM por satélite.

Objetivos de calidad de funcionamiento de la capa ATM de la RDSI-BA y métodos de conversión en los enlaces por satélite

1 Alcance

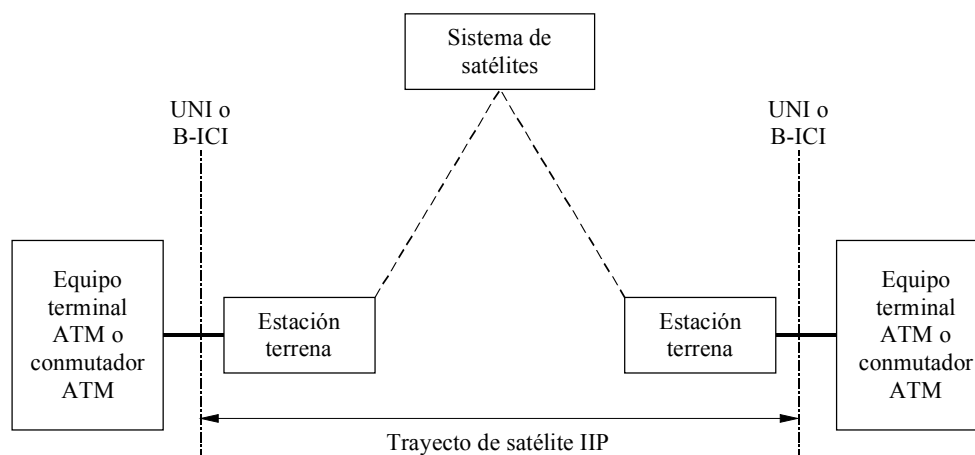
Este Anexo describe un modelo de referencia para el tramo internacional de las conexiones de satélites ATM y detalla los métodos para realizar la conversión entre los parámetros de calidad de funcionamiento de la capa ATM y la proporción de bits erróneos (BER) del enlace por satélite. En la Recomendación UIT-T I.356 figura la definición de HRX y los parámetros de calidad de funcionamiento ATM de las diversas partes de la HRX. La utilización de sistemas de satélites en otros tramos de conexiones debe ser objeto de interior estudio.

2 Modelo de referencia

Para interpretar la atribución de los objetivos de calidad de funcionamiento a los tramos de satélite de una conexión ATM, se incluye en la Fig. 1 un modelo de referencia. Obsérvese que el trayecto de satélite puede comprender estaciones terrenas y un solo satélite transparente (guiaondas acodado) o una serie de satélites. Algunos sistemas de satélites pueden incluir procesamiento a bordo (OBP, *on board processor*), conmutación ATM y enlaces entre satélites (EES). El segmento terrenal del trayecto de satélite ATM comprende el equipo de la estación terrena (antenas, amplificadores, conversores ascendentes y descendentes, módems, etc.) y cualquier equipo ATM específico de satélite que pueda utilizarse en un trayecto de satélite. El punto de demarcación entre la red ATM nacional y la red ATM internacional se conoce con el nombre de punto de medición internacional (MPI, *measurement point international*) que puede ser una interfaz usuario-red (UNI, *user network interface*) o una interfaz entre portadoras de banda ancha (B-ICI, *broadband inter-carrier interface*). El tramo entre dos MPI se conoce con el nombre de porción interoperator internacional (IIP, *international interoperator portion*).

FIGURA 1

Modelo de referencia para un trayecto de satélite ATM



1420-01

Uno de los usos de los satélites consiste en proporcionar la conectividad entre redes ATM distintas situadas en diferentes países. En tal caso, la red ATM terrenal generalmente establecerá una interfaz con la subred de satélites mediante una UNI (o B-ICI). Como es posible que este punto de interfaz no siempre esté ubicado en el mismo sitio que la estación terrena de satélite, puede haber una distancia terrenal entre el nodo de cabecera terrenal y la propia estación terrena.

3 Objetivos de calidad de funcionamiento ATM de los enlaces por satélite

Este punto proporciona una interpretación de los objetivos de calidad de funcionamiento definidos en la Recomendación UIT-T I.356 y los correspondientes requisitos para el tramo o tramos por satélite de una conexión ATM.

Los parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de una red de capa ATM de extremo a extremo para la RDSI-BA se definen en la Recomendación UIT-T I.356. Para tener en cuenta las características y los requisitos de varios tipos de tráfico, dicha Recomendación describe diferentes clases de servicio. La clase 1 (clase exigente) es una clase sensible al retardo y está destinada a soportar servicios de velocidad binaria constante (CBR, *constant bit rate*) y de velocidad binaria variable (VBR, *variable bit rate*) en tiempo real, tales como la telefonía y la videoconferencia. La clase 2 (clase tolerante) es una clase tolerante al retardo y soporta servicios de velocidad binaria disponible (ABR, *available bit rate*) y VBR no en tiempo real, tales como vídeo y datos. La clase 3 (clase binivel) soporta servicios VBR y ABR tales como datos de alta velocidad. Por último la clase 4 (clase sin especificar) que soporta servicios de velocidad variable sin especificar (UBR, *unspecified bit rate*), tales como transferencias de ficheros y correo electrónico. En el Cuadro 1 figuran los objetivos de calidad de funcionamiento de la capa ATM para las diversas clases de servicios (véase la Nota 1). Puede que en el futuro sea necesario revisar estos objetivos basándose en la experiencia real de funcionamiento (véase la Nota 2).

NOTA 1 – Durante una reciente reunión (junio de 1998) de la Comisión de Estudio 13 de Normalización de las Telecomunicaciones se aceptó provisionalmente una nueva clase de calidad de servicio (QoS) exigente binivel para su inclusión en la próxima versión de la Recomendación UIT-T I.356. Esta nueva clase tendrá límites para retardo de transferencia de célula (CTD, *cell transfer delay*), variación del retardo de célula (CDV, *cell delay variation*), tasa de pérdida de células 0 (CLR₀, *cell loss ratio 0*), tasa de células con errores (CER, *cell error ratio*), tasa de inserción incorrecta de células (CMR, *cell misinsertion rate*) y tasa de bloques de células con muchos errores (SECBR, *severely errored cell block ratio*), pero no para CLR₀ + 1.

NOTA 2 – Los objetivos de calidad de funcionamiento designados por una «U» no se especifican y la UIT no establecerá un límite superior para estos parámetros.

CUADRO 1

Definiciones de clases de QoS y parámetros de calidad de funcionamiento de la red

	CTD	CDV bipunto	CLR ₀₊₁	CLR ₀	CER	CMR	SECBR
Objetivos por defecto	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4×10^{-6}	1/día	1×10^{-4}
<i>Clases de QoS:</i>							
Clase 1 (clase exigente)	400 ms	3 ms	3×10^{-7}	Ninguno	Por defecto	Por defecto	Por defecto
Clase 2 (clase tolerante)	U	U	1×10^{-5}	Ninguno	Por defecto	Por defecto	Por defecto
Clase 3 (clase binivel)	U	U	U	1×10^{-5}	Por defecto	Por defecto	Por defecto
Clase U	U	U	U	U	U	U	U

La clase de QoS requerida por cada aplicación forma parte del procedimiento de negociación del contrato entre el usuario y la red. Si ésta puede proporcionar el nivel de servicio solicitado, se establecerá la conexión. Si hay algún objetivo de calidad de funcionamiento que no puede satisfacerse, la conexión será denegada. Una vez establecida la conexión, la red debe asegurar que durante la misma se satisfacen los objetivos de calidad de funcionamiento de la clase de QoS.

3.1 Principios de atribución de la calidad de funcionamiento ATM

La Recomendación UIT-T I.356 especifica los límites superiores de los objetivos de calidad de funcionamiento de la transmisión ATM. Atribuye parte de los objetivos de extremo a extremo a los tramos nacional e internacional de una HRXATM. Los satélites geoestacionarios tienen una atribución especial partiendo de la hipótesis de que los satélites sustituirán una distancia terrenal considerable, múltiples nodos ATM y porciones de países de tránsito. Estas atribuciones

de la calidad de funcionamiento se definen entre los puntos de medición ATM, pues se refieren a calidad de funcionamiento de la transmisión ATM y no a elementos individuales de los equipos de transmisión tales como los sistemas de satélites. Por consiguiente, la atribución a la IIP incluye la planta terrenal y puede incluir nodos de conmutación ATM así como el sistema de satélites.

Esta Recomendación supone que la planta terrenal no introduce errores significativos y que puede darse toda la atribución al sistema de satélites. Por consiguiente, los objetivos indicados en términos de parámetros de capa ATM en los puntos de medición ATM deben simplemente convertirse a los objetivos de BER del enlace por satélite. Sin embargo, puede que esta hipótesis no sea válida para todas las configuraciones de circuitos. En el Cuadro 2 aparece un resumen de la atribución de objetivos especificados en la Recomendación UIT-T I.356 a tramos de conexión con enlaces por satélite.

CUADRO 2

Atribución de los objetivos de la Recomendación UIT-T I.356 a tramos de conexión con enlaces por satélite

	SECBR y CER (clases 1, 2 y 3) (%)	CLR (clase 1) (%)	CLR (clases 2 y 3) (%)
Nacional	42	35	34,5
IIP(0)	35	25	1
Parte de tránsito internacional	36	30	9
IIP(1)	38	30	11
IIP(2)	42	33	21
IIP(3)	48	42	31

De acuerdo con la Recomendación UIT-T I.356, la abreviatura IIP (x) ($x = 0, 1, 2 \dots$) se utiliza para indicar una IIP de canal virtual (VC, *virtual channel*) con « x » países de tránsito intermedio, cada uno de los cuales proporciona funciones de transconexión o de conmutación de trayecto virtual (VP, *virtual path*).

3.2 Objetivos de calidad de funcionamiento ATM de los sistemas de satélites

Los valores numéricos de los parámetros de calidad de funcionamiento ATM de los sistemas de satélites pueden obtenerse aplicando las atribuciones indicadas en el Cuadro 1 a los objetivos de calidad de funcionamiento que figuran en la Recomendación UIT-T I.356. Como ejemplo, en el Cuadro 3 se muestran los objetivos de calidad de funcionamiento ATM para un enlace por satélite utilizado en el tramo internacional que proporciona servicios de clase 1 y no contiene funciones de conmutación o transconexión (véase la Nota 1).

NOTA 1 – La atribución de los objetivos de calidad de funcionamiento para los sistemas de satélites geoestacionarios que incluyen conmutación y procesamiento ATM debe ser objeto de estudios ulteriores.

4 Conversión entre parámetros de la capa ATM y de la capa física

En este punto se indica una correspondencia entre los parámetros de la capa ATM CLR, CER y SECBR y la BER del enlace por satélite. También se consideran los otros parámetros de la capa ATM, a saber CMR, CTD y CDV y la repercusión de las características del sistema de satélites en dichos parámetros.

CUADRO 3

Objetivos de calidad de funcionamiento ATM para satélites (servicios de clase 1)

Parámetros de calidad de funcionamiento	Objetivo UIT de extremo a extremo	Objetivo UIT para el satélite
CLR	$3 \times 10^{-7(1)}$	$7,5 \times 10^{-8}$
CER	4×10^{-6}	$1,4 \times 10^{-6}$
SECBR	1×10^{-4}	$3,5 \times 10^{-5}$
CTD	400 ms	320 ms (máximo)
CDV	3 ms	Despreciable
CMR	1/día	1/72 h ⁽²⁾

(1) Es posible que en el futuro las redes puedan lograr un valor de CLR = 1×10^{-8} para la clase 1. Este tema debe ser objeto de interior estudio.

(2) La atribución para el equipo de procesamiento ATM a bordo debe ser objeto de ulteriores estudios.

4.1 Características de los errores de transmisión por satélite

Cuando se utilizan satélites geoestacionarios y estaciones terrenas fijas, el canal de transmisión del satélite es gaussiano y los errores de transmisión se caracterizan por producirse a ráfagas debido a la aleatorización y a la codificación utilizadas en los módems de satélite. Normalmente, los errores que surgen de un decodificador tienden a agruparse en ráfagas según los algoritmos de decodificación empleados. Una ráfaga de error viene definida por dos parámetros: la longitud de ráfaga media (L) y el número medio de errores de bit por ráfaga (N). En el Cuadro 4 aparecen los valores de L y N para los códigos de corrección de errores por satélite típicos.

CUADRO 4

Valores de L y N para los códigos de corrección de errores por satélite comúnmente utilizados

Código de corrección de errores	Longitud de ráfaga media (L)	Número medio de errores de bit por ráfaga (N)
Codificación convolucional de índice de velocidad 3/4 con decodificación de Viterbi	29	11,5

Los valores indicados se obtuvieron realizando mediciones empíricas de errores en ráfaga. Es posible realizar cálculos analíticos para esquemas de codificación complejos, pero es difícil obtener los resultados y, por consiguiente, se necesitan mediciones para confirmarlos.

4.2 CLR

El mecanismo de control de errores de encabezamiento (HEC, *header error control*) de las células ATM puede corregir errores aislados y detectar casi todos los errores múltiples en los cinco bytes que contiene el encabezamiento de una célula ATM.

Cuando el HEC detecta errores que no puede corregir, se descarta la célula completa y se pierde su carga útil. Estas células descartadas son las componentes principales del parámetro CLR.

En presencia de errores con distribución aleatoria, el código de corrección de bits aislados de la HEC es capaz de corregir la mayoría de los errores encontrados. En presencia de errores en ráfaga y suponiendo que la ráfaga afecte a más de un bit del encabezamiento, no es posible ninguna corrección puesto que la HEC es capaz de corregir únicamente errores de bits aislados. Sin embargo, algunos patrones de múltiples errores en el encabezamiento pueden ser mal interpretados por

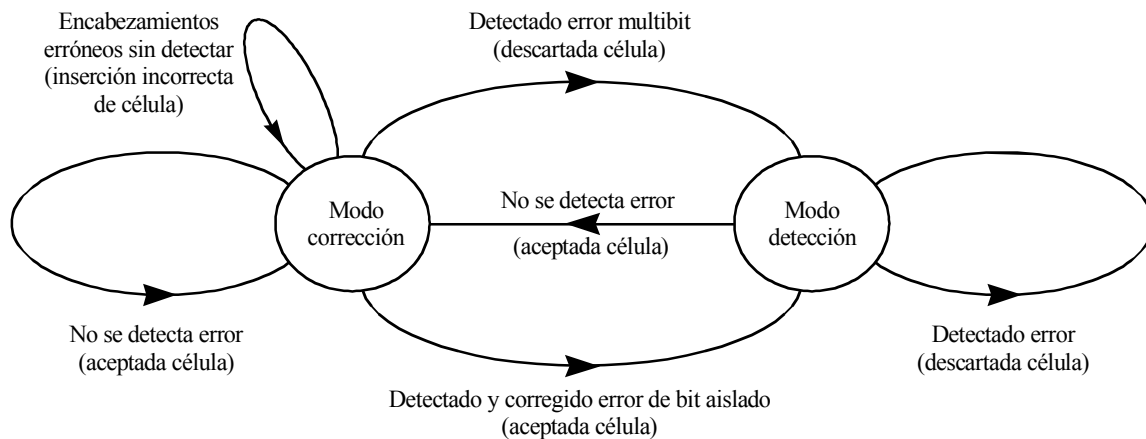
la HEC como un error aislado y, por consiguiente, puede producirse una corrección inadecuada, o equivocada, del encabezamiento dando lugar a que la célula no se descarte. En este caso, la célula ATM es eliminada o transmitida a un destino incorrecto por el siguiente nodo ATM (mal encaminada). Aunque se pierde en una conexión de extremo a extremo, puede considerarse como una célula corregida por un probador ATM que está ajustado únicamente para medir células degradadas a la salida de un enlace por satélite. Las células mal dirigidas también contribuirán a la CLR si se detectan.

4.2.1 HEC ATM

El último octeto del encabezamiento de célula ATM de cinco octetos es un byte HEC que se emplea para detectar y corregir errores de encabezamiento. Como puede verse en la Fig. 2, la capa ATM utiliza un mecanismo HEC ATM que puede funcionar en el modo corrección o en el modo detección.

El receptor de la capa ATM opera normalmente en el modo corrección, en el que se detectan y corrigen todos los errores de bits aislados. Todos los errores de bits dobles y cuádruples únicamente se detectan y dan lugar a un descarte de células. Una pequeña fracción de los errores de bits triples es equivocadamente corregida como errores de bits simples. Cuando se está en el modo corrección, si se detecta (o corrige) un error de encabezamiento, el receptor conmuta al modo detección. En el modo detección, el receptor de la capa ATM es capaz de detectar todos los patrones de errores de encabezamiento simples, dobles y triples. Puede también detectar la mayoría de los patrones de errores de bits cuádruples. En el modo detección, no se efectúa ninguna corrección de errores; todos los errores de encabezamiento detectados producen descarte de célula. Si no se detectan errores de encabezamiento, cuando se está en el modo detección, el receptor conmuta al modo corrección.

FIGURA 2
Modos de operación de encabezamiento de células ATM



1420-02

4.2.2 Cálculo de la relación entre CLR y BER

Para calcular la relación entre la CLR y la BER, se realizan las siguientes hipótesis sobre el resultado de pérdidas de células en los modos corrección y detección:

- En el modo corrección, todos los sucesos de errores de encabezamiento múltiples dan lugar a pérdida de células. Esta hipótesis ignora la probabilidad de que múltiples errores sin detectar o múltiples errores equivocadamente corregidos, como errores sencillos, pueden dar lugar a que aparezcan valores válidos en el encabezamiento (y, en consecuencia, se produzca una inserción incorrecta de células).
- En el modo detección, todos los sucesos de un solo error o múltiples errores de encabezamiento producen pérdida de célula.

Con las citadas hipótesis:

$$P[\text{pérdida de célula} \mid \text{modo corrección}] \cong 1 - P[\text{ningún error}] - P[1 \text{ error}]$$

$$P[\text{pérdida de célula} \mid \text{modo detección}] \cong 1 - P[\text{ningún error}]$$

y

$$P[\text{pérdida de célula}] = P[\text{modo corrección}] \times P[\text{pérdida de célula} \mid \text{modo corrección}] + P[\text{modo detección}] \times P[\text{pérdida de célula} \mid \text{modo detección}]$$

Como el receptor estará en el modo detección después de cada corrección o detección de error de encabezamiento:

$$P[\text{modo detección}] \cong 1 - P[\text{ningún error}]$$

$$P[\text{modo corrección}] \cong P[\text{ningún error}]$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$CLR = P[\text{pérdida de célula}] \cong 1 - P[\text{ningún error}] - P[\text{ningún error}] \times P[1 \text{ error}]$$

Canal de errores aleatorios

Para el canal de errores aleatorios:

$$P[\text{ningún error}] = (1 - BER)^{40}$$

$$P[1 \text{ error}] = 40 \times BER \times (1 - BER)^{39}$$

Canal de errores en ráfaga

Una caracterización de primer orden del canal de errores en ráfaga es la longitud de ráfaga media, L , y el número medio de bits erróneos por ráfaga, N . La probabilidad de aparición de una ráfaga en un pequeño intervalo correspondiente a K bits puede aproximarse mediante la expresión $K \cdot BER/N$. En ese caso, la probabilidad de que una ráfaga se superponga a un bit determinado ($K = 1$) puede aproximarse mediante la fórmula:

$$P[\text{ráfaga}] = BER/N$$

Suponiendo que solamente una ráfaga influirá en el encabezamiento y que las ráfagas de errores no se extienden a más de un solo encabezamiento ATM, la probabilidad de que no aparezcan errores en el encabezamiento viene dada por la expresión:

$$P[\text{ningún error}] \cong 1 - (BER/N) (L - 1 + 40)$$

La probabilidad de que aparezca un solo error de bit en el encabezamiento puede expresarse de la forma siguiente:

$$P[1 \text{ error}] = \sum Pe(i) P[\text{ráfaga}]$$

donde $Pe(i)$ representa la aparición de un solo error en un cierto bit i , suponiendo que llega una ráfaga a ese bit; el sumatorio debe considerar todos los casos en que la ráfaga se superpone con el encabezamiento.

La Fig. 3a) ilustra la situación en que un solo error en el encabezamiento en la posición $i \leq$ mínimo ($L - 1, 39$), corresponde al último bit (con error) de la ráfaga. (Obsérvese que una ráfaga de errores comienza y finaliza con un bit erróneo.)

Suponiendo una distribución uniforme independiente de los errores dentro de la ráfaga (excluyendo el primer y el último bits), para el caso de la Fig. 3, $Pe(i) = [1 - P(EB)]^i$, siendo $P(EB)$ la probabilidad de que se produzca un bit erróneo entre el primer y el último bits de la ráfaga. Esto puede expresarse de la forma siguiente:

$$P(EB) = (N - 2)/(L - 2)$$

Puede obtenerse una topología simétrica considerando que el único error en la posición i se produce por el primer bit (con error) en la ráfaga de errores, como se indica también en la Fig. 3b). En ese caso, la probabilidad de que aparezca un solo error en el encabezamiento viene dada por la expresión:

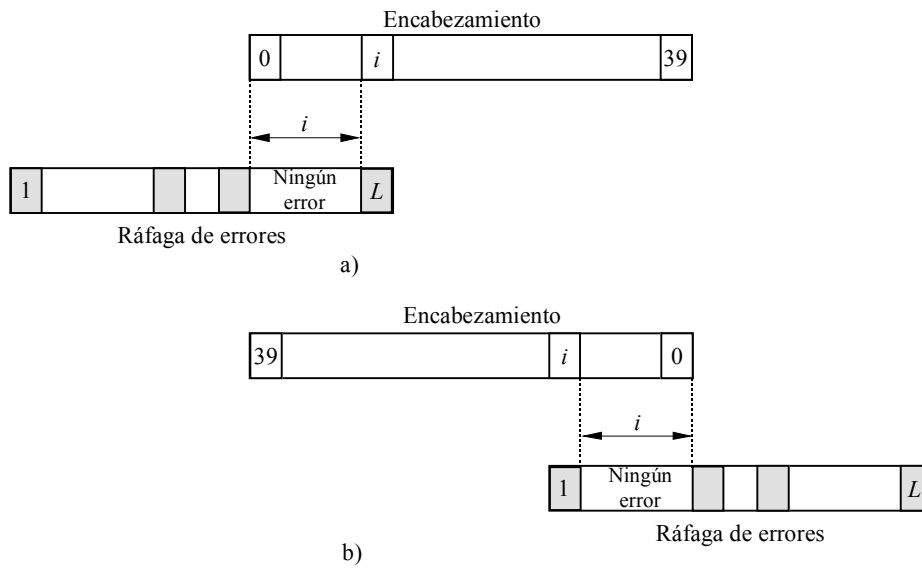
$$P[1 \text{ error}] \cong (BER/N) \times 2 \times \sum [1 - P(EB)]^i$$

siendo en el anterior sumatorio $i = 0, 1, \dots$, mínimo ($L - 1, 39$). Para valores típicos de N y L ($N, L \gg 1$):

$$P[1 \text{ error}] \cong (BER/N) \times 2/P(EB)$$

Obsérvese que si $L > 40$ y el encabezamiento está completamente incluido en la ráfaga, existe la posibilidad de que aparezca un solo error producido por un bit erróneo que no corresponde ni al primero ni al último bit de la ráfaga. La probabilidad de que ello suceda es mucho menor que la descrita anteriormente y por ello es despreciable. Obsérvese también que si $L \leq 40$ y $L - 1 < i \leq 39$, la ráfaga se encuentra completamente dentro del encabezamiento y, en ese caso, aparecerán al menos dos errores.

FIGURA 3
Un error en el encabezamiento producido por el primer y último bits (con error) en la ráfaga



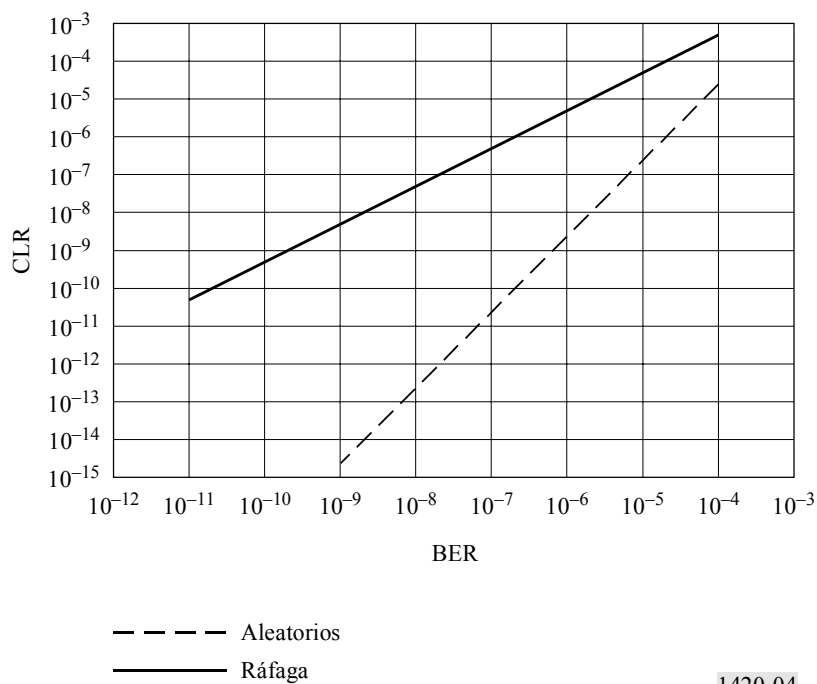
La parte sombreada representa bits erróneos en ráfaga.

1420-03

4.2.3 Resultados numéricos

En la Fig. 4 aparece la CLR en función de BER. Representa una CLR para un entorno de errores aleatorios y para un entorno de errores en ráfaga donde $L = 29$ y $N = 11,5$ (típico de la codificación convolucional a velocidad 3/4 con decodificación de Viterbi).

FIGURA 4
CLR en función de BER para un canal de errores en ráfaga de longitud media, $L = 29$ y número medio de bits erróneos por ráfaga, $N = 11,5$



1420-04

En el § 3 del Anexo 2 figuran algunos resultados obtenidos para códigos concatenados.

4.3 CER

La CER se define como la relación entre el número de células con errores y el número total de células con errores y sin errores transferidas. Una célula transferida con éxito se define como una célula que se recibe con un identificador de trayecto virtual/identificador de canal virtual (VPI/VCI, *virtual path identifier/virtual channel identifier*) correcto y un byte HEC válido. Sin contar las células incorrectamente insertadas, se produciría un evento de célula con errores si:

- el encabezamiento de la célula contiene errores detectados;
- la HEC de células corrigió un error de múltiples bits como un error de un solo bit que dio lugar a un VPI/VCI incorrecto; y
- el encabezamiento de la célula es correcto, en tanto que la carga útil de la célula contiene uno o más errores de bits.

La probabilidad de que los dos primeros sucesos pueden ignorarse en comparación con la probabilidad de un suceso de error de carga útil. Teniendo en cuenta el modo de corrección y el modo de detección de errores de encabezamiento del receptor, la CER puede expresarse como:

$$P[\text{error de célula}] = P[\text{error de célula} \mid \text{modo corrección}] \times P[\text{modo corrección}] + P[\text{error de célula} \mid \text{modo detección}] \times P[\text{modo detección}]$$

donde:

$$P[\text{modo detección}] \cong 1 - P[\text{ningún error de encabezamiento}]$$

$$P[\text{modo corrección}] \cong P[\text{ningún error de encabezamiento}]$$

4.3.1 Cálculo de la relación entre CER y BER

- Para calcular la relación entre CER y BER, se realizan las mismas hipótesis utilizadas para obtener la relación entre CLR y BER: en el modo corrección todos los sucesos de múltiples errores de encabezamiento producen pérdida de célula.
- En el modo detección, todos los sucesos de un solo error o múltiples errores de encabezamiento producen pérdida de célula.

Con estas hipótesis, la probabilidad de un error de célula en los modos corrección y detección es:

$$P[\text{error de célula} \mid \text{modo corrección}] = (1 - P[\text{pérdida de célula} \mid \text{modo corrección}]) \times P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo corrección}] \cong P[(\text{ningún error de encabezamiento}) + P[1 \text{ error de encabezamiento}]] \times P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo corrección}]$$

$$P[\text{error de célula} \mid \text{modo detección}] = (1 - P[\text{error de célula} \mid \text{modo detección}]) \times P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo detección}] \cong (P[\text{ningún error de encabezamiento}]) \times P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo detección}]$$

La CER es:

$$P[\text{error de célula}] = P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo corrección}] \times (P[\text{ningún error de encabezamiento}] + P[1 \text{ error de encabezamiento}]) \times P[\text{ningún error de encabezamiento}] + P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo detección}] \times (P[\text{ningún error de encabezamiento}]) \times (1 - P[\text{ningún error de encabezamiento}])$$

Canal de errores aleatorios

Para el canal de errores aleatorios:

$$P[\text{ningún error de encabezamiento}] = (1 - BER)^{40}$$

$$P[1 \text{ error de encabezamiento}] = 40 \times BER \times (1 - BER)^{39}$$

$$P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo corrección}] = P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo detección}] = 1 - (1 - BER)^{384}$$

Canal de errores en ráfaga

Para el canal de errores en ráfaga con longitud de ráfaga media, L y número medio de bits erróneos por ráfaga, N :

$$P[\text{ningún error de encabezamiento}] \cong 1 - (BER/N) \times (L - 1 + 40)$$

$$P[1 \text{ error de encabezamiento}] \cong (BER/N) \times \left[\sum (1 - PEB)^i + \sum (1 - PEB)^{39-i} \right]$$

donde en el sumatorio anterior, $PEB = (N - 2)/(L - 2)$ e $i = 0, \dots$, mínimo $(L - 1, 40 - 1)$.

Cuando el receptor está en el modo corrección, se recibe una célula válida si hay 0 ó 1 bits erróneos de encabezamiento. La probabilidad de un error de carga útil depende de que se haya producido una HEC. Cuando hay 0 bits erróneos de encabezamiento, la probabilidad de un error de carga útil es la probabilidad de un error en ráfaga dentro de la carga útil, cuyo cálculo se aproxima mediante:

$$PB \cong 384 \times BER/N$$

En cambio, cuando hay 1 bit erróneo de encabezamiento que es corregido por la HEC, el bit erróneo único será el primer bit o el último bit de una ráfaga de errores. Cuando el bit erróneo de encabezamiento es el primer bit de una ráfaga de errores, la probabilidad de un error de carga útil es aproximadamente igual a 1. Cuando el bit erróneo de encabezamiento es el último bit de una ráfaga de errores, la probabilidad de una error de carga útil es PB. Por tanto, en el modo corrección:

$$P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo corrección}] \cong P[\text{ningún error de encabezamiento}] \times PB +$$

$$P[1 \text{ error de encabezamiento}] \times [0,5 + 0,5PB]$$

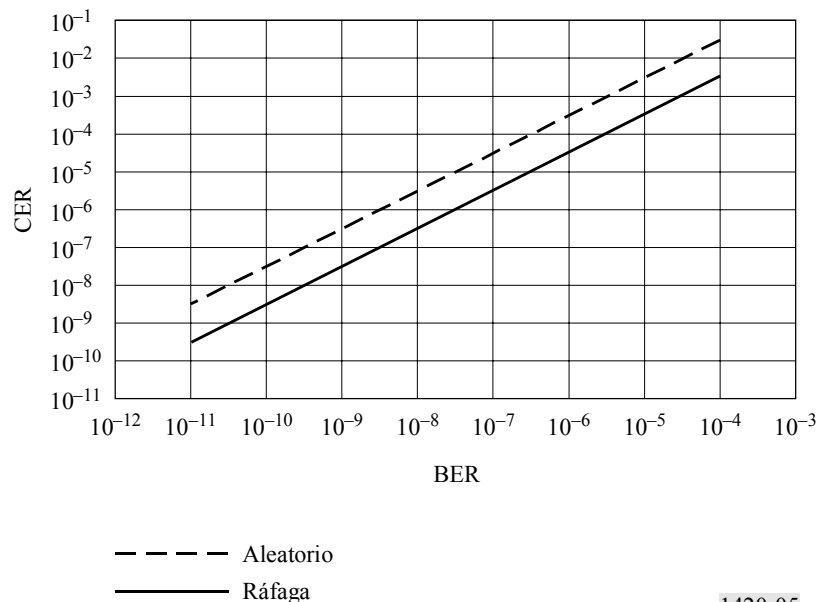
En el modo detección, una célula válida es recibida sólo si no se producen errores de encabezamiento. La probabilidad de una error de carga útil viene dada por:

$$P[\text{error de carga útil} \mid \text{modo detección}] \cong P[\text{ningún error de encabezamiento}] \times PB$$

4.3.2 Resultados numéricos

En la Fig. 5 aparece CER en función de BER. Representa CER para un entorno de errores aleatorios y para un entorno de errores en ráfaga donde $L = 29$ y $N = 11,5$ (típico de la codificación convolucional a velocidad 3/4 con decodificación de Viterbi).

FIGURA 5
CER en función de BER para un canal de errores en ráfaga de longitud media, $L = 29$ y número medio de bits erróneos por ráfaga, $N = 11,5$



1420-05

En el § 3 del Anexo 2 figuran algunos resultados obtenidos para códigos concatenados.

4.4 SECBR

El parámetro SECBR se define en la Recomendación UIT-T I.356 como la relación entre el número total de bloques de células con muchos errores y el número total de bloques en una población de interés. Se produce un resultado bloque de células con muchos errores cuando se observan en un bloque de células recibido más de M células con errores, células perdidas o células incorrectamente insertadas. Un bloque de células es una secuencia de N transmitidas consecutivamente por una conexión dada. Los valores de M y N se indican en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-T I.356.

4.5 CMR

Ciertos patrones de múltiples errores en el nodo de encabezamiento pueden ser reconocidos por la HEC como errores aislados y por tanto la célula afectada puede ser incorrectamente corregida en lugar de ser descartada. En este caso el nodo ATM puede abandonar la célula o enviarla al destino incorrecto (mal encaminada). En la Recomendación UIT-T I.356, el parámetro que tiene en cuenta el número total de células incorrectamente insertadas observado durante un intervalo de tiempo especificado es la CMR.

4.6 CTD

El CTD global o latencia en la conexión de un satélite tiene varias causas. El origen principal del retardo es la propagación en espacio libre. La siguiente causa en importancia es el retardo debido a la codificación y decodificación realizada en los canales del satélite (módems). Generalmente, los retardos de codificación varían según el tipo de codificación y la velocidad binaria de transmisión. Por último, otra fuente de retardo puede ser el equipo ATM específico del satélite situado en la estación terrena o a bordo del vehículo espacial que puede introducir retardos por colas, conmutación o encaminamientos.

4.7 CDV

La CDV o fluctuación de fase que puede aparecer en un enlace por satélite depende de varias circunstancias. En primer lugar, la CDV depende de la estructura de la carga del tráfico o del número y proporción de trayectos virtuales (VP) y canales virtuales (VC) que pueden utilizarse en el canal ATM. La CDV también depende de la capacidad y del mecanismo de almacenamiento de conmutación. Además, la CDV aumentará al hacerlo el número de nodos ATM en una conexión (esta circunstancia puede ser crítica en satélites que utilizan OBP y EES. Por último, la CDV dependerá de la cantidad de operaciones de conmutación interna (puesta en cola, conmutación, encaminamiento) resultantes del equipo ATM específico del satélite. La utilización de esquemas de acceso múltiple puede tener también influencia en la CDV.

5 Relación entre los parámetros de calidad de funcionamiento de las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T I.356

Aunque los parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la capa ATM se especifican en la Recomendación UIT-T I.356, los parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la capa física para conexiones que transportarán tráfico ATM se indican en la Recomendación UIT-T G.826 – Parámetros y objetivos de las características de error para trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores. Los parámetros de calidad de funcionamiento de dicha Recomendación son: proporción de segundos con errores (ESR), proporción de segundos con muchos errores (SESR) y proporción de errores de bloque de fondo (BBER). Además, los objetivos de calidad de funcionamiento de la citada Recomendación son dependientes de la velocidad. A un enlace de satélite dentro de una conexión G.826 se le asigna un 35% de los objetivos de extremo a extremo totales.

Estudios y mediciones en canales afectados por ráfagas de errores han revelado que un sistema de satélites destinado a cumplir simplemente la Recomendación UIT-T G.826 puede no cumplir los objetivos de la Recomendación UIT-T I.356 para servicios de clase 1 ATM. Por tanto, se sugiere que los enlaces de satélite que transportan tráfico ATM se diseñen para cumplir los requisitos de la Recomendación UIT-T I.356 con margen adicional para asegurar el cumplimiento de los requisitos QoS de ATM.

ANEXO 2

(Informativo)

Calidad de funcionamiento simulada y medida del ATM por satélite**1 Introducción**

Este Anexo describe los resultados de las simulaciones, mediciones de laboratorio y pruebas de funcionamiento real de la transmisión ATM por sistemas de satélites.

2 Parámetros de calidad de funcionamiento ATM en los sistemas de satélites

La calidad de funcionamiento de la capa ATM en los enlaces por satélite depende de la BER y de las estadísticas de las ráfagas de bits erróneos. Los errores de bits debidos al ruido térmico en las comunicaciones por satélites se suponen aleatoriamente distribuidos. Sin embargo, si se utilizan técnicas FEC para mejorar la BER, los errores generalmente aparecen en ráfagas cuando el mecanismo de corrección de errores FEC falla. Una consecuencia indeseable de las ráfagas de errores en el transporte de tráfico ATM es que pueden dar lugar, con una elevada probabilidad, a dos o más bits erróneos en los encabezamientos de células ATM, lo cual da lugar a que las células ATM sean descartadas por el mecanismo de HEC. Los resultados analíticos y las pruebas de funcionamiento real han demostrado que la CLR originada por el enlace de transmisión suele ser linealmente proporcional a la BER. Por esta razón, la CLR es mucho más alta que la obtenida en presencia de errores aleatorios, mientras que la CLR suele ser proporcional al cuadrado de la BER.

Las ráfagas de errores introducidas por los módems de satélites, debido a fallos en la corrección de errores, tienen distintas longitudes y diversas frecuencias de aparición según los diferentes esquemas FEC, métodos de aleatorización y técnicas de interconexión utilizadas. Por lo tanto, no resulta práctico formular reglas generales para establecer las relaciones entre la calidad de funcionamiento de la capa física y la calidad de funcionamiento de la capa ATM. Sin embargo, las relaciones específicas a esquemas determinados pueden obtenerse mediante mediciones y/o simulación.

2 CER**2.1 Característica de la CER para códigos concatenados****2.1.1 Códigos FEC concatenados**

Entre los diversos candidatos a códigos concatenados pueden incluirse los códigos Reed-Solomon (RS) para códigos exteriores y los códigos reticulares convencionales y códigos rotacionalmente invariante (RI, *rotationally invariant*) para códigos interiores. La MDP-4 con detección coherente y codificación reticular convencional se ha considerado para el sistema de transmisión básico al que se ha aplicado FEC.

2.1.1.1 Códigos RS

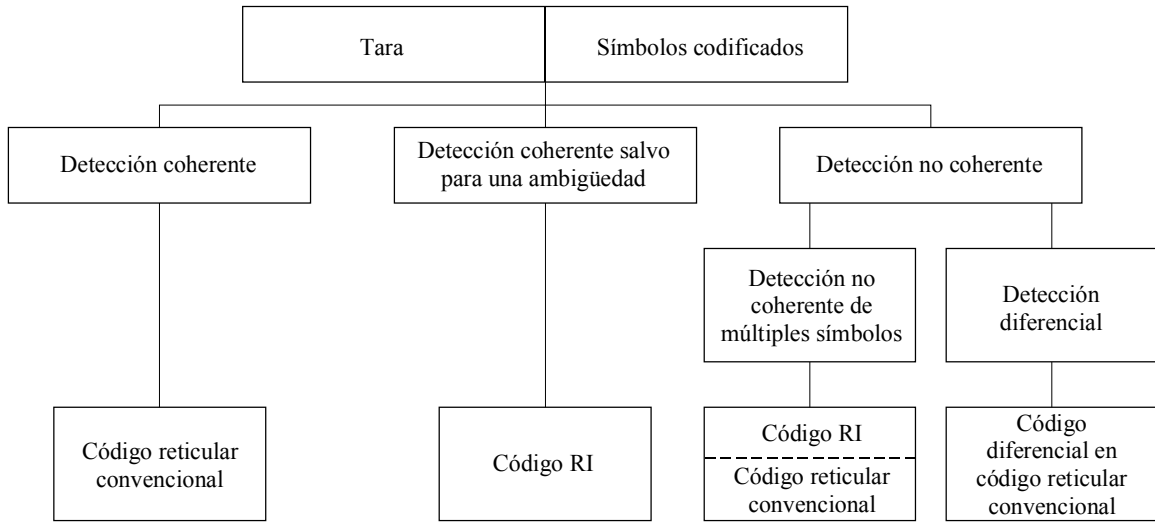
El código de bloque RS se encuentra entre la clase de códigos más eficaz que puede realizarse utilizando la tecnología más avanzada de soporte físico y de soporte lógico. Con esquemas de codificación exterior RS concatenados con códigos internos convolucionales se logran enlaces de transmisión por satélite de mayor calidad y más económicos. Los códigos de bloque, como su nombre indica, procesan los datos en bloque. Cada bloque se procesa como una sola unidad tanto en el codificador como en el decodificador. Un código RS particular se describe como un código (n, k) . La tasa de código (eficacia) de un código viene dada por $R = k/n$. Normalmente conviene utilizar códigos con tasas de código elevadas porque emplean de manera eficaz el canal disponible para transmisión de la información. Los códigos de RS generalmente tienen tasas superiores al 80%, longitud de bloque elevada y tasa de código alta.

Estos códigos funcionan adecuadamente cuando la longitud de bloque del mensaje y la longitud de bloque de código están adaptadas. Por ejemplo, en una configuración multipunto con esquema de acceso AMDT, la longitud de bloque de código puede adaptarse a un número entero de células ATM de forma que se obtenga flexibilidad en cuanto a atribución del tráfico a las distintas estaciones terrenas.

2.1.1.2 Códigos interiores

La Fig. 6 muestra las diversas opciones de códigos interiores.

FIGURA 6
Sincronización y candidatos de codificación para códigos interiores

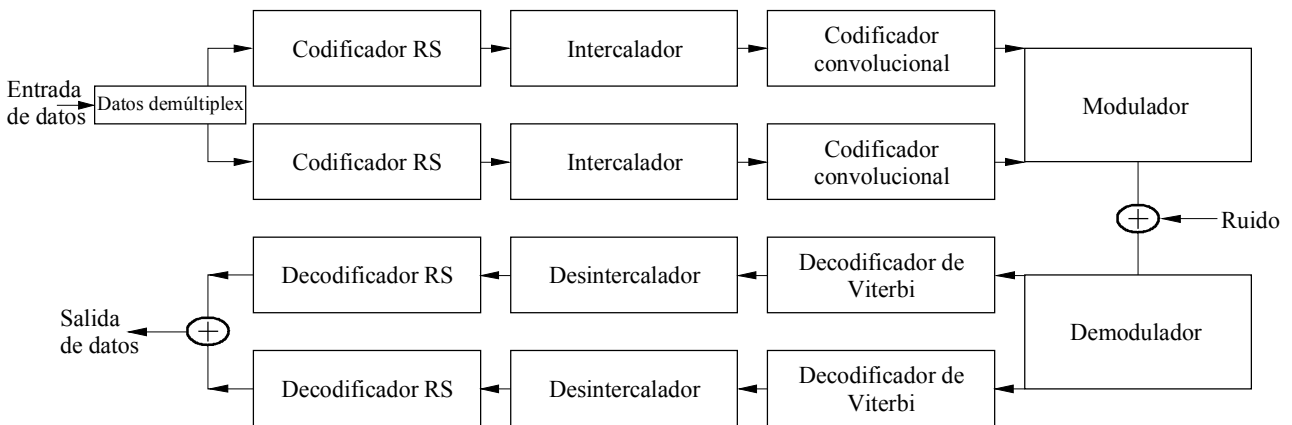


1420-06

También se consideran las opciones de intercalado entre los códigos exteriores e interiores. Para los códigos RS exteriores, la longitud de bloques se considera en las fronteras de células ATM. Se utilizan concretamente 53 símbolos y 106 secuencias de datos de símbolos.

Los análisis indican que la intercalación casi perfecta exige un enorme tamaño de memoria intermedia, especialmente para los servicios por satélite AMDF/AMDT. Por lo tanto, también se ha estudiado la calidad de funcionamiento sin intercalado entre los códigos exteriores e interiores.

FIGURA 7
Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones por satélite con conmutación ATM a bordo

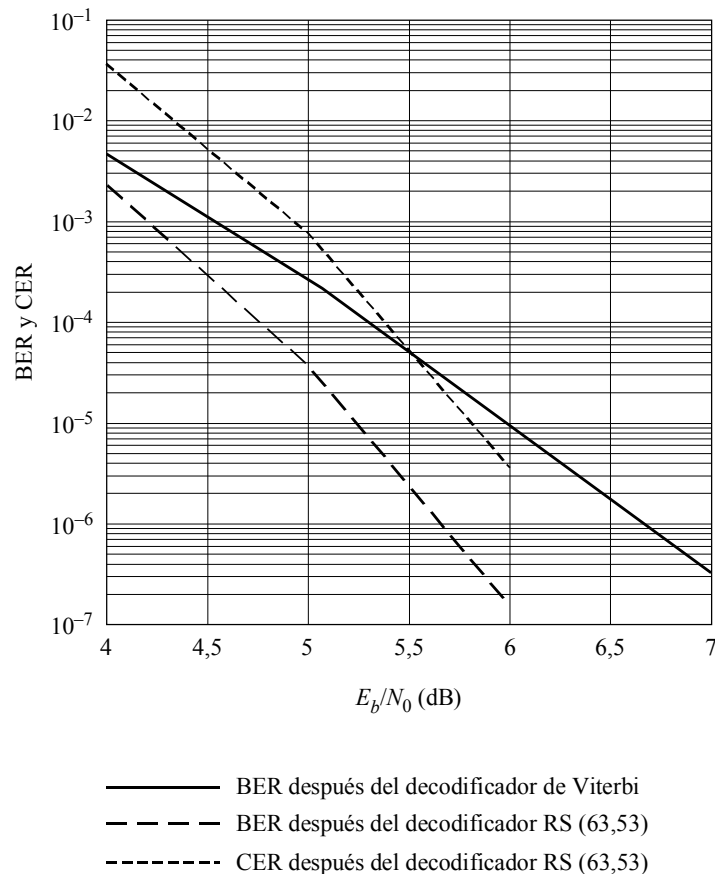


1420-07

2.2 Resultados de la simulación con respecto a la E_b/N_0 del satélite

En la Fig. 8 se representan los resultados de simulación de característica de BER y CER en función de la relación E_b/N_0 para un caso concreto de codificación interior convolucional perforado de índice 3/4 y código exterior RS (63,53). Dicha Figura muestra que para una relación E_b/N_0 de 6 dB, la CER es aproximadamente 3×10^{-6} y la BER aproximadamente 1×10^{-7} .

FIGURA 8
Característica de BER y CER para FEC interior de índice 3/4
con código exterior RS (63,53) concatenado



1420-08

El tamaño de bloque de código exterior se varió de una célula ATM a dos células ATM. Los resultados de BER y CER para el código exterior RS (126,106) sin intercalación entre el código exterior y el interior (convolucional perforado de índice 3/4) se muestran en la Fig. 9.

Obsérvese que se produce una mejora considerable de la calidad de funcionamiento a medida que aumenta la longitud de bloque de una célula ATM a dos células ATM (con el mismo índice de código). Para una E_b/N_0 de 6 dB, la CER disminuye de 3×10^{-6} a aproximadamente 3×10^{-8} . Por lo tanto, utilizando múltiples células para efectuar la codificación exterior, cuando ello sea posible, se mejora la calidad de funcionamiento con un aumento mínimo de la complejidad de realización.

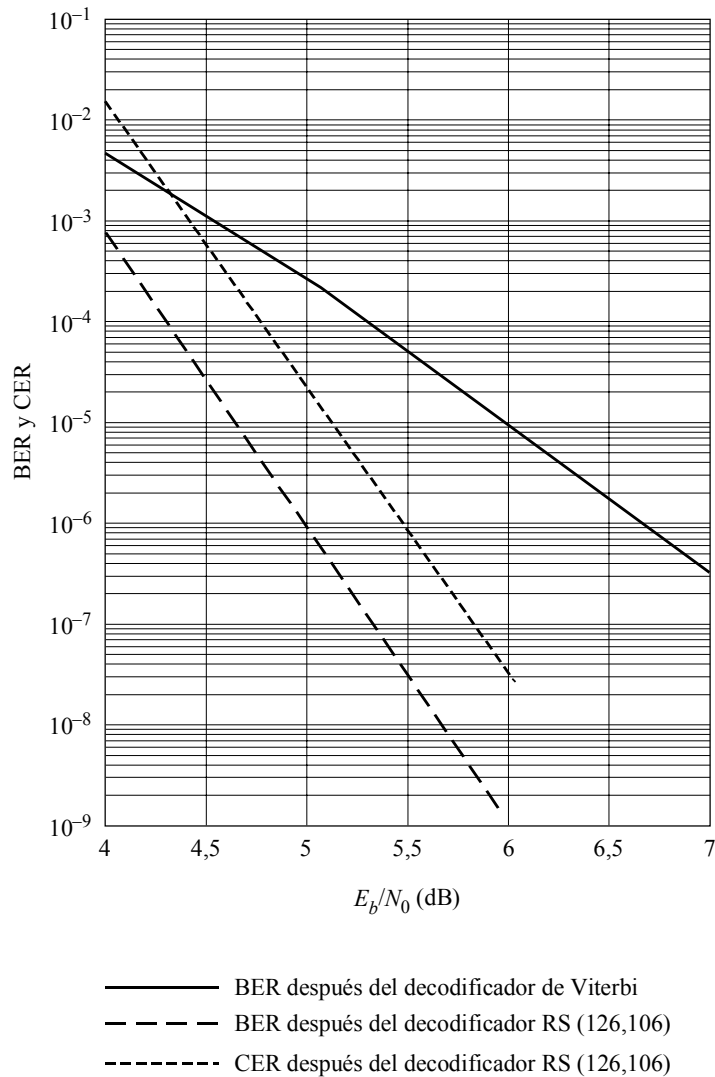
2.3 CLR

En los § 3.1, 3.2 y 3.3 se describen las mediciones de la CLR en función de la BER. La influencia de los sistemas de OBP y de procesamiento de células en el segmento terreno debe ser objeto de más estudios.

2.4 SECBR

En el § 3.1 se describen las mediciones de la SECBR en función de la BER.

FIGURA 9
 Característica de BER y CER para FEC interior de índice 3/4 con código exterior RS (126,106) concatenado



1420-09

2.5 CTD

Las características específicas y la influencia de los sistemas de procesamiento de células a bordo así como las repercusiones de los equipos de procesamiento de células en el segmento terreno sobre el CTD deben ser objeto de más estudios.

2.6 CDV

Las características específicas y la influencia sobre la CDV de los sistemas OBP, de los equipos de procesamiento de células en el segmento terreno y de la alineación de trama AMDT deben ser objeto de más estudios.

2.7 CMR

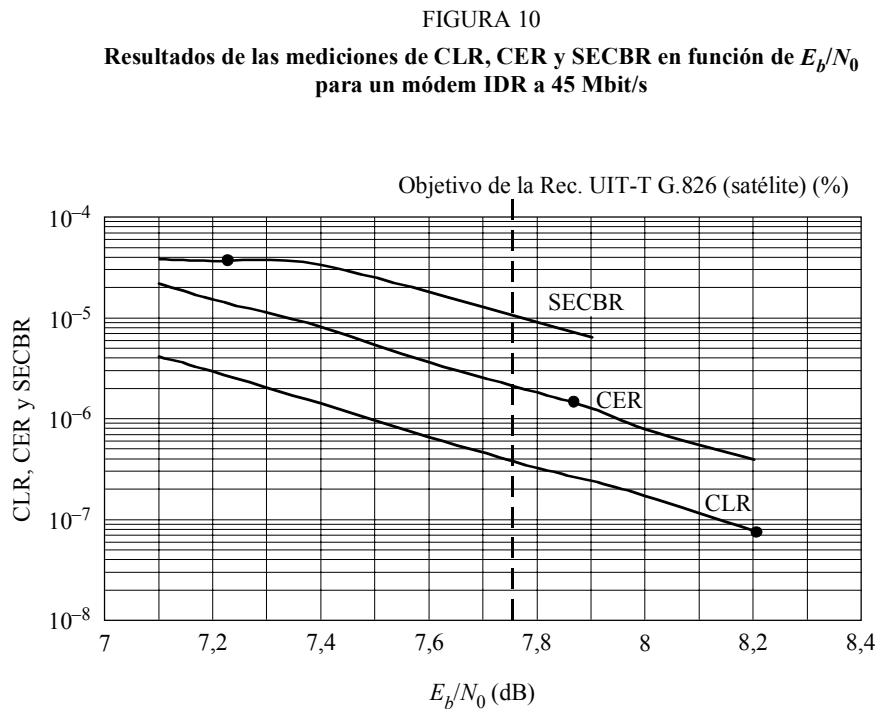
Las características específicas y la influencia de los sistemas de procesamiento de células a bordo así como las repercusiones de los equipos de procesamiento de células en el segmento terreno sobre la CMR deben ser objeto de más estudios.

3 Resultados de la medición de la calidad de funcionamiento de la capa física en función de la capa ATM

Este punto resume los resultados de las mediciones. Estos resultados proporcionan una verificación de la calidad de funcionamiento calculada de ATM en los enlaces por satélite y su relación con la calidad de funcionamiento de la capa física. El § 3.1 contiene los resultados medidos de los parámetros ATM en función de la relación E_b/N_0 de un módem. El § 3.2 contiene los resultados de pruebas de funcionamiento real de la calidad de funcionamiento con velocidad de transmisión de datos intermedia (IDR, *intermediate data rate*) de 45 Mbit/s. El § 3.3 contiene los resultados de pruebas de la calidad de funcionamiento AMDT a 120 Mbit/s (con y sin codificación BCH de índice 7/8) y de la calidad de funcionamiento IDR a 34,368 Mbit/s. El § 3.4 contiene resultados de pruebas de la calidad de funcionamiento IDR a 2,048 Mbit/s (con y sin codificación RS).

3.1 Resultados de las mediciones a 45 Mbit/s

Mediciones de laboratorio (realizadas por AT&T) de módems de satélite IDR a 45 Mbit/s han demostrado la relación existente entre la relación E_b/N_0 del módem y los parámetros de calidad de funcionamiento de la capa ATM: CLR, CER y SECBR. La configuración de prueba consistía en dos módems de satélite IDR, un inyector de ruido y un aparato de prueba ATM. El aparato de prueba midió las CLR, CER y SECBR según las definiciones de la Recomendación UIT-T I.356. Estos resultados se representan en la Fig. 10.



● Objetivos de la Recomendación UIT-T I.356 (satélite)

ES: segundos con errores

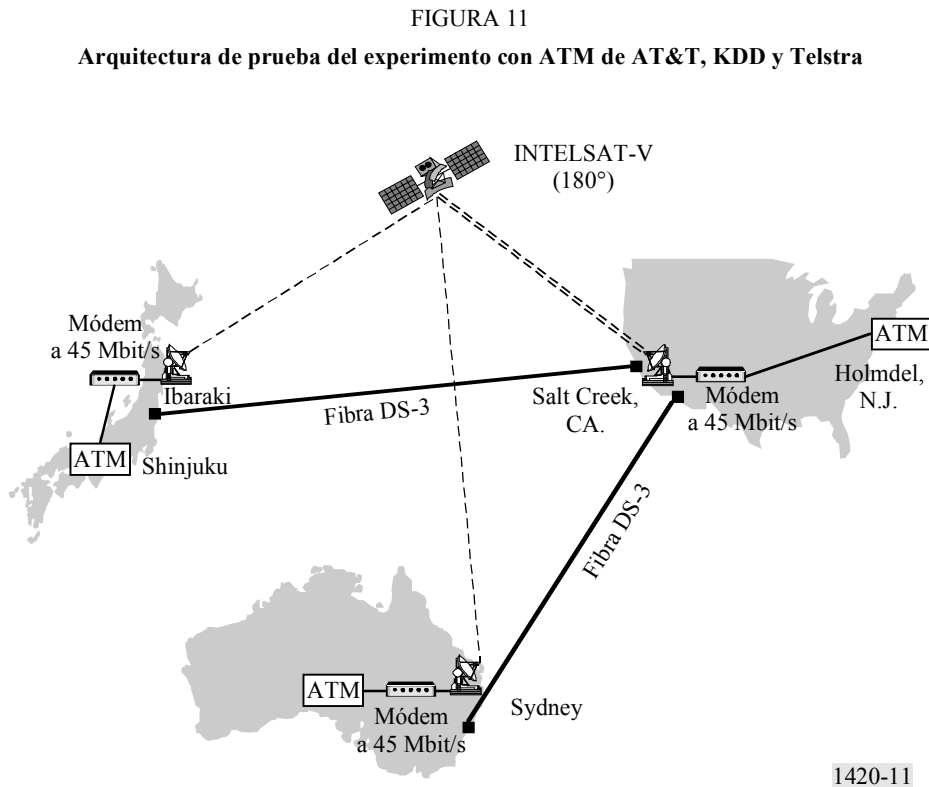
1420-10

La Figura incluye los objetivos de la Recomendación UIT-T I.356 para CLR, CER y SECBR correspondientes a un satélite que transporta servicios ATM de clase 1. Estos resultados proporcionan las relaciones entre el punto de funcionamiento del módem y la calidad de funcionamiento de la capa ATM para un módem ampliamente utilizado que emplea codificación convolucional de índice 3/4 y decodificación de Viterbi. Estos resultados también revelan que un módem que simplemente cumple todos los parámetros de la Recomendación UIT-T G.826 no satisface los objetivos de calidad de funcionamiento ATM de clase 1 atribuidos en la Recomendación UIT-T I.356.

3.2 Pruebas entre AT&T y KDD

Este punto presenta los resultados de unas pruebas en funcionamiento real efectuadas por AT&T (Estados Unidos de América), KDD (Japón) y Telstra (Australia). En el experimento se utilizó una combinación de conexiones por fibra y por satélite. El objetivo de las pruebas fue caracterizar la calidad de funcionamiento a largo plazo de los equipos de DS-3 (45 Mbit/s) midiendo diversos parámetros de la capa física y de la capa ATM. Las pruebas de funcionamiento real se realizaron entre el 24 de abril y el 5 de diciembre de 1995.

La Fig. 11 representa la arquitectura del funcionamiento en condiciones reales. Se utilizó un transpondedor de banda C completo de 72 MHz y dos semitranspondedores en el satélite INTELSAT 511 situado a 180° de longitud Este y que funcionaba en una órbita inclinada de unos 3°.



El tramo de satélite del experimento empleó un par de portadoras IDR DS-3 entre las estaciones terrenas de Salt Creek e Ibaraki, y otro par de enlaces DS-3 entre Salt Creek y la estación terrestre de Sydney, situada en Australia. Cada estación terrestre se conectó a dispositivos de fibra terrenal que transportaban los trenes de información DS-3 procedentes de los tres lugares de prueba situados en Holmdel (Estados Unidos de América), Tokio (Japón) y Sydney (Australia) y destinados a los mismos. Todos los enlaces de satélite estaban adecuadamente ecualizados y ajustados para conseguir un valor de BER con cielo despejado de 1×10^{-10} , de acuerdo con las especificaciones de calidad de funcionamiento para portadoras IDR (sin códec RS) que operan en los satélites INTELSAT-VII.

Los resultados presentados pertenecen al enlace AT&T-KDD solamente, ya que este enlace se probó durante un periodo de tiempo más largo y presentó degradaciones producidas por la lluvia mayores que las del enlace AT&T-Telstra. Este nivel superior de degradaciones producidas por la lluvia se consideró más representativo de otros enlaces de la región del Océano Pacífico. Las pruebas de capa física entre las estaciones terrenas de Salt Creek (AT&T) e Ibaraki (KDD) se realizaron durante un periodo superior a 30 días. Sólo se concluyeron las pruebas en las que la prestación de transferencia de células ATM fue medida por instrumentos de prueba ATM instalados en las estaciones terrenas. Tras excluir los sucesos anormales, se procesaron los datos de prueba para obtener resultados en los términos de las Recomendaciones UIT-R S.1062 y UIT-T G.826. Los datos de la capa ATM fueron recogidos por aparatos de prueba ATM situados en las estaciones terrenas. Una vez más, tras excluir los sucesos anormales, se analizaron los datos de prueba para calcular los valores de diversos parámetros, incluidos los definidos en la Recomendación UIT-T I.356.

El Cuadro 5 muestra los principales parámetros de calidad de funcionamiento, los objetivos de calidad de funcionamiento utilizados para evaluar la calidad de funcionamiento de las capas física y ATM y los resultados obtenidos con los enlaces IDR. Los objetivos de calidad de funcionamiento se ajustaron con arreglo a la atribución efectuada a los satélites geoestacionarios que se utilizan en el tramo internacional de una conexión de extremo a extremo.

CUADRO 5

Resultados de las pruebas de calidad de funcionamiento de las capas física y ATM de los enlaces IDR a 45 Mbit/s entre AT&T y KDD

Parámetros	Capa física abril-junio de 1995					Capa ATM agosto-diciembre de 1995	
	ES (Rec. UIT-T G.826) (%)	SES (Rec. UIT-T G.826) (%)	BBER (Rec. UIT-T G.826)	BER media	BER umbral (0,2% del tiempo) (Rec. UIT-R S.1062)	CLR Rec. UIT-T I.356 (Clase 1)	CER Rec. UIT-T I.356 (Clase 1)
Objetivos UIT	2,62	0,07	7×10^{-5}	–	$4,0 \times 10^{-6}$	$7,5 \times 10^{-8}$	$1,4 \times 10^{-6}$
KDD a AT&T	0,014	0,008	$1,5 \times 10^{-8}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$4,5 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-6(1)}$	$5,4 \times 10^{-6(1)}$
AT&T a KDD	0,0056	0,0027	$7,6 \times 10^{-9}$	$2,6 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-9}$	$3,9 \times 10^{-6(1)}$	$8,8 \times 10^{-6(1)}$

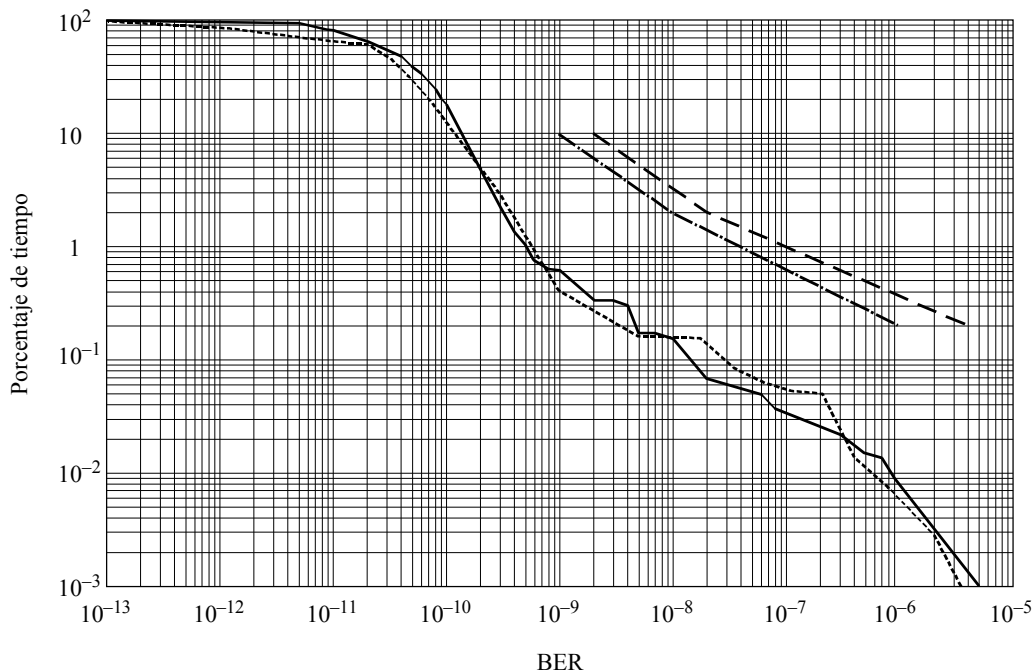
SES: segundos con muchos errores

(1) Éstos son los valores medios y no los límites superiores especificados por la Recomendación UIT-T I.356.

Los resultados muestran que la calidad de funcionamiento en ambos sentidos cumple los objetivos de la Recomendación UIT-T G.826 con un margen de 1 a 2 órdenes de magnitud.

La Fig. 12 ilustra la distribución estadística acumulativa de los sucesos de bits erróneos registrados durante un periodo superior a 30 días. Además, muestra, como referencia, los contornos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-R S.1062. El contorno de la Nota 1 simplemente cumple los objetivos de la Recomendación UIT-T G.826. Obsérvese que las curvas de BER medidas para ambos enlaces, AT&T a KDD y KDD a AT&T, son muy similares. Además, las curvas de BER medidas son de alrededor de 1 a 2 órdenes de magnitud mejores que los contornos de la Recomendación UIT-R S.1062.

FIGURA 12
Porcentaje de tiempo en función de BER para un enlace IDR DS-3 entre AT&T y KDD



- — — — Recomendación UIT-R S.1062 (Nota 1)
- · - · - · - Recomendación UIT-R S.1062 (Nota 2)
- Ibaraki
- Salt Creek

Las pruebas de la capa ATM se realizaron una vez concluidas las pruebas de la capa física. Los objetivos de la capa ATM recogidos en el Cuadro 5 corresponden a una nueva atribución efectuada en la Recomendación UIT-T I.356 a los sistemas de satélites geoestacionarios utilizados en el tramo internacional. Obsérvese que las CLR y CER medidas son valores medios obtenidos durante el intervalo de medición total, a diferencia de los límites superiores (cifras del caso más desfavorable) especificados en la Recomendación UIT-T I.356. Las medias de los enlaces IDR eran mejores que los valores de límite superior de la Recomendación UIT-T I.356, pero sólo por un pequeño margen.

Los resultados aquí presentados son representativos de la calidad de funcionamiento que puede obtenerse en muchos enlaces IDR DS-3 de la banda 14/11 GHz en todo el mundo. Los resultados revelan que un enlace IDR cuidadosamente acondicionado y explotado puede cumplir confortablemente los objetivos de las Recomendaciones UIT-R S.1062 y UIT-T G.826. Sin embargo, los resultados también indican que este nivel de calidad de funcionamiento puede no ser suficiente para el tráfico ATM, ya que los objetivos de límite superior de los servicios de clase 1 definidos en la Recomendación UIT-T I.356 exigirán umbrales de BER próximos a 1×10^{-9} . Por consiguiente, los resultados AT&T-KDD pueden haber cumplido apenas los objetivos I.356. Las técnicas de potenciación de enlaces, como son la codificación exterior RS y la intercalación, pueden producir una mejor calidad de funcionamiento que satisfaga los requisitos ATM (véase el § 6).

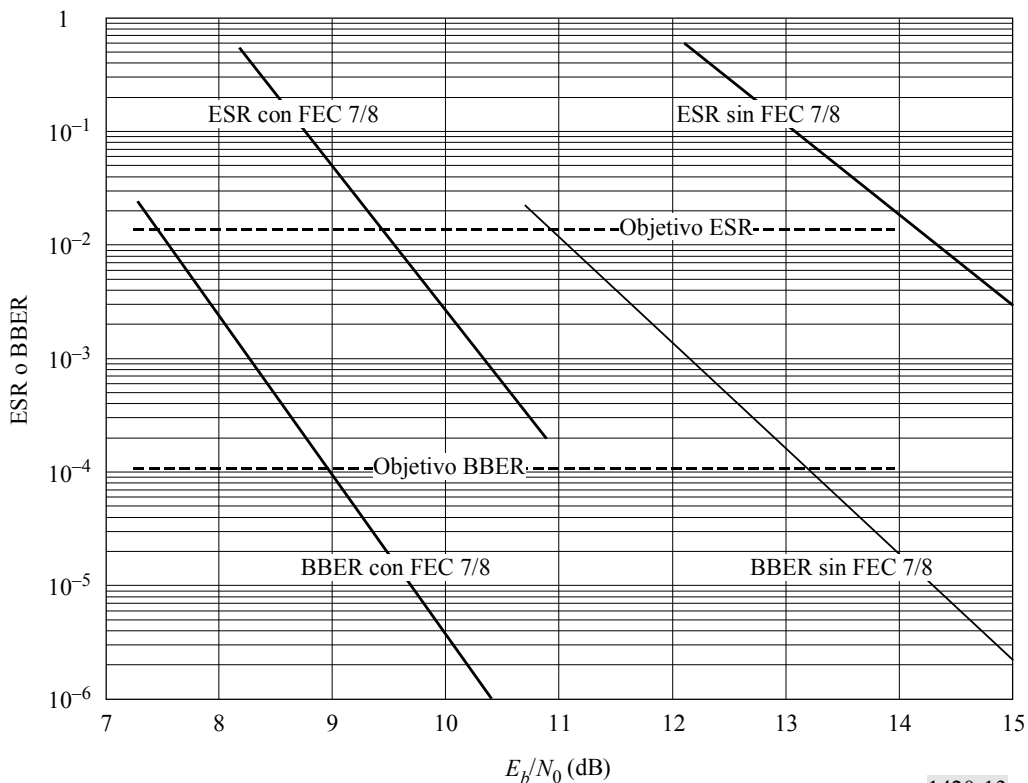
3.3 Pruebas ATM efectuadas por EUTELSAT

EUTELSAT realizó mediciones en las capas ATM y física en enlaces AMDT e IDR en el sistema EUTELSAT para caracterizar la relación entre los parámetros de las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T I.356 en función de la calidad de funcionamiento del enlace. Los resultados muestran la BER del enlace en función de la característica E_b/N_0 del módem del satélite y se representan en las Figs. 13 a 16 para una interfaz a 2,048 Mbit/s con el sistema AMDT a 120 Mbit/s y en las Figs. 17 a 20 para un enlace IDR a 34,468 Mbit/s.

La Fig. 13 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 en función de E_b/N_0 para el sistema AMDT. También se indican objetivos de la Recomendación UIT-T G.826. Se presentan dos conjuntos de resultados, uno es para enlaces con codificación BCH de índice 7/8 y el otro para enlaces sin codificación FEC.

FIGURA 13

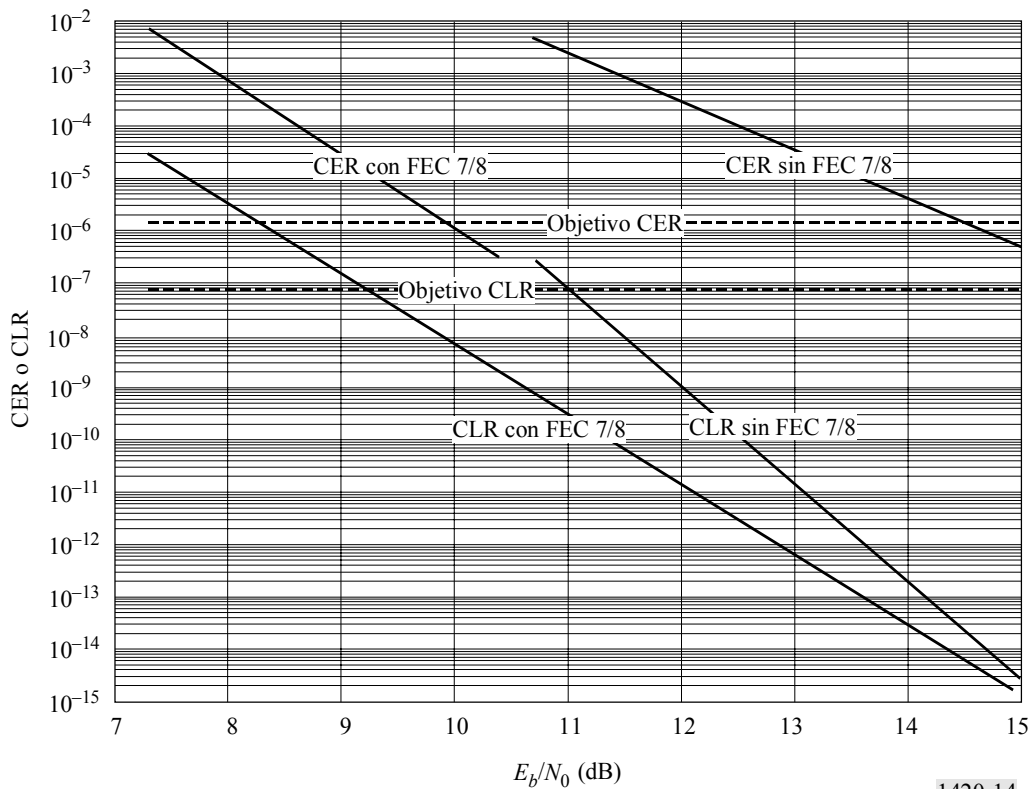
Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 (capa física) en función de E_b/N_0 a la entrada del demodulador para una interfaz a 2,048 Mbit/s del sistema AMDT a 120 Mbit/s de EUTELSAT



La Fig. 14 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 en función de E_b/N_0 para el sistema AMDT. También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T I.356. Como en la Fig. 13, aparecen dos conjuntos de resultados. Uno es para enlaces con codificación BCH de índice 7/8, y el otro para enlaces sin codificación FEC.

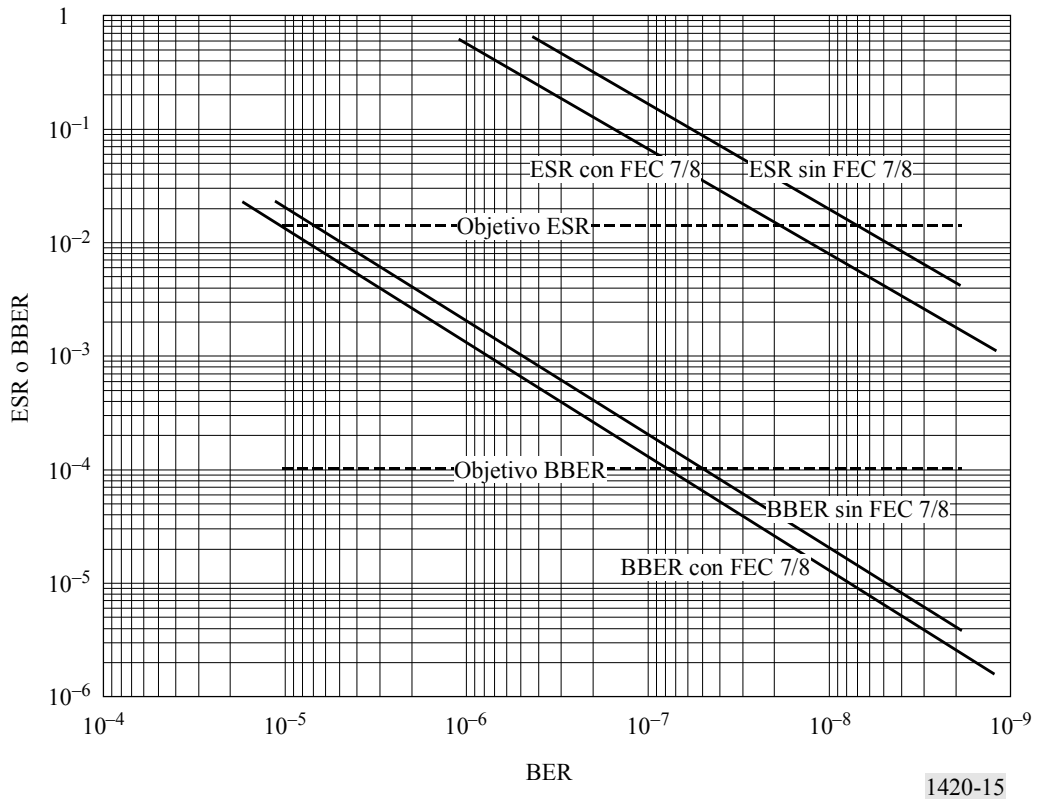
FIGURA 14

**Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 (capa ATM)
en función de E_b/N_0 a la entrada del demodulador para una interfaz
a 2,048 Mbit/s del sistema AMDT a 120 Mbit/s de EUTELSAT**



La Fig. 15 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 en función de BER para el sistema AMDT. También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T G.826.

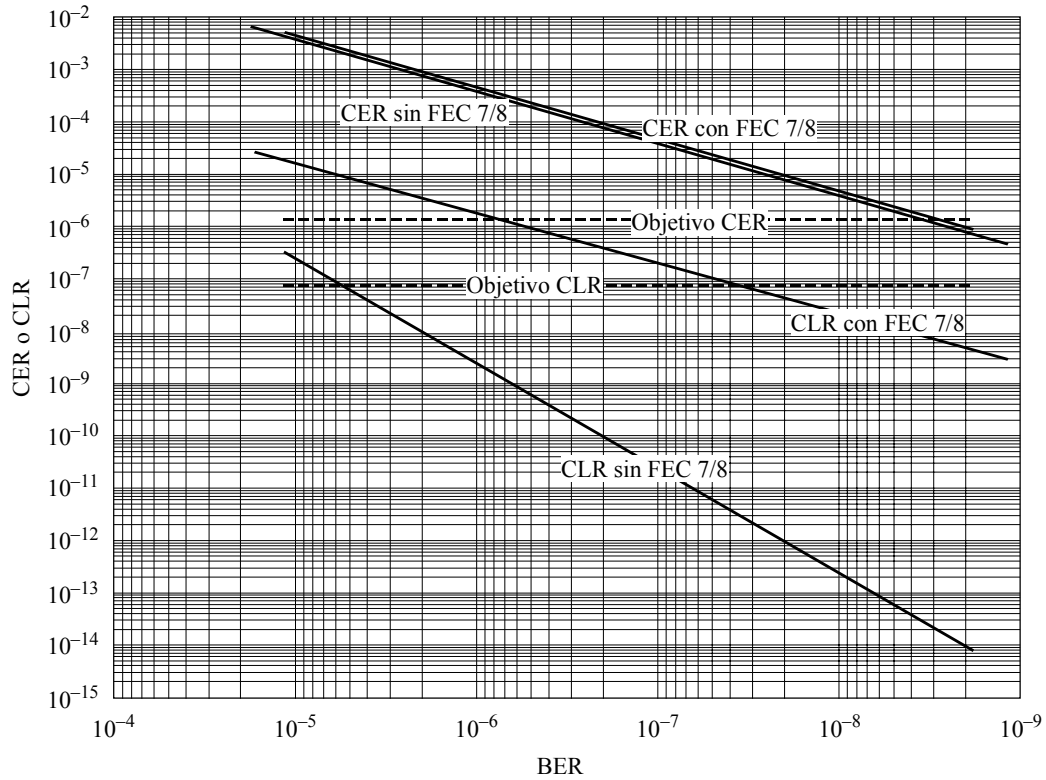
FIGURA 15
Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 (capa física) en función de BER a la salida del demodulador para una interfaz a 2,048 Mbit/s del sistema AMDT a 120 Mbit/s de EUTELSAT



La Fig. 16 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 en función de BER para el sistema AMDT. También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T I.356.

FIGURA 16

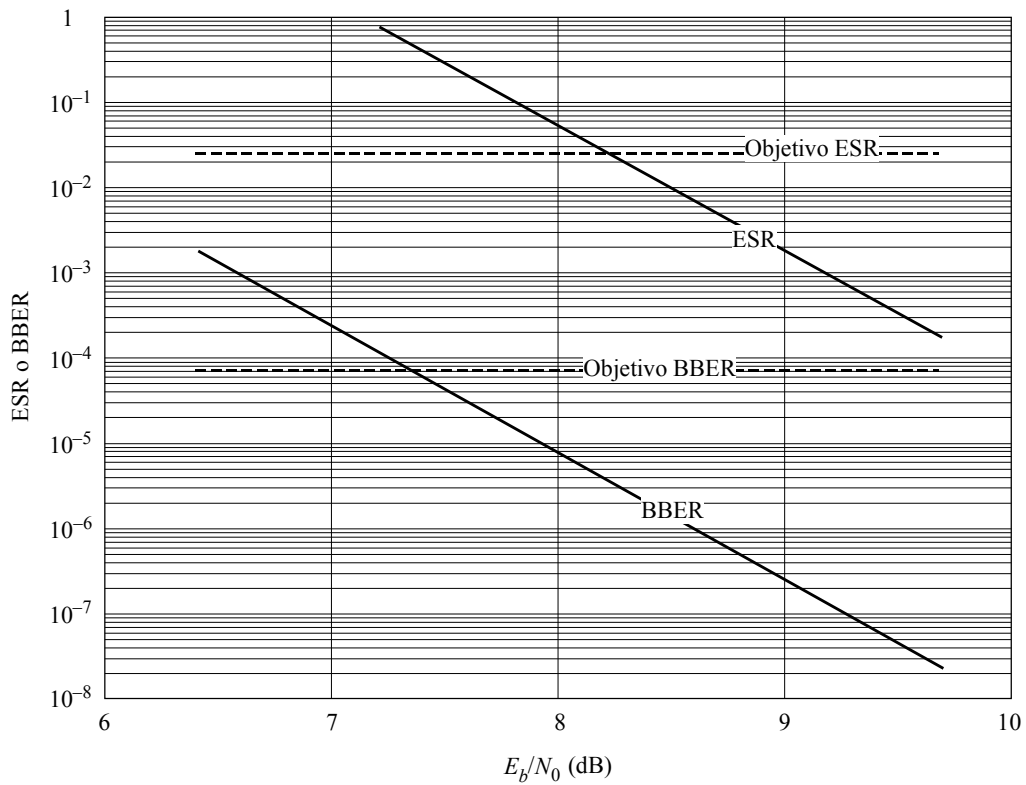
**Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 (capa ATM)
en función de BER a la salida del demodulador para una interfaz
a 2,048 Mbit/s del sistema AMDT a 120 Mbit/s de EUTELSAT**



1420-16

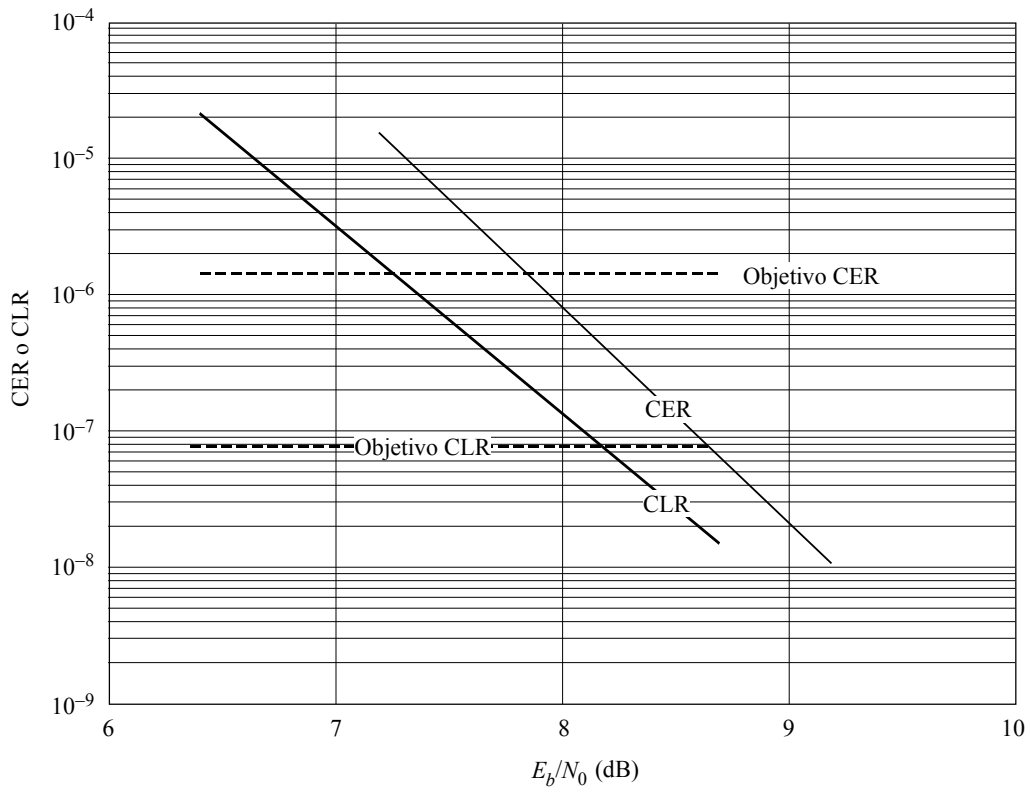
La Fig. 17 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 en función de E_b/N_0 para IDR (con codificación convolucional de índice 3/4 y decodificación de Viterbi). También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T G.826.

FIGURA 17
Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 (capa física) en función de E_b/N_0 a la entrada del demodulador para un módem IDR que funciona a una velocidad de interfaz de 34,368 Mbit/s



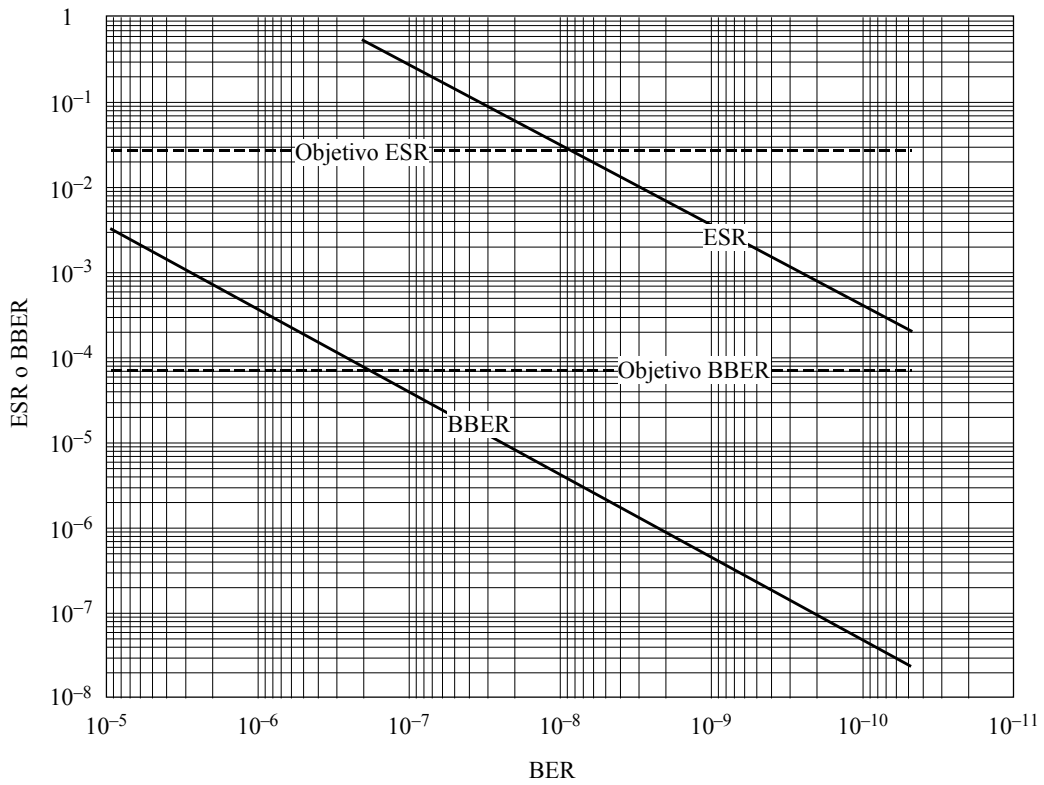
La Fig. 18 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 en función de E_b/N_0 para IDR (con codificación convolucional de índice 3/4 y decodificación de Viterbi). También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T I.356.

FIGURA 18
Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 (capa ATM) en función de E_b/N_0 a la entrada del demodulador para un módem IDR que funciona a una velocidad de interfaz de 34,368 Mbit/s



La Fig. 19 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 en función de BER para IDR (con codificación convolucional de índice 3/4 y decodificación de Viterbi). También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T G.826.

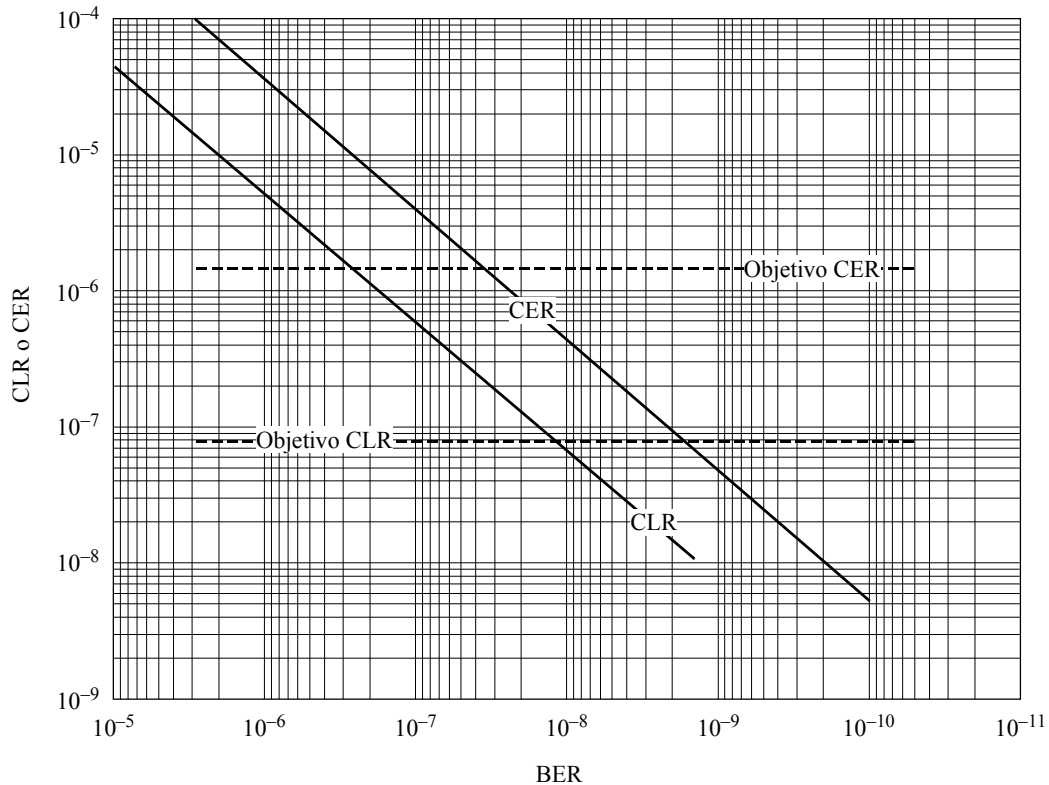
FIGURA 19
Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 (capa física) en función de BER a la salida del demodulador para un módem IDR que funciona a una velocidad de interfaz de 34,368 Mbit/s



La Fig. 20 muestra parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 en función de BER para IDR (con codificación convolucional de índice 3/4 y decodificación de Viterbi). También se presentan objetivos de la Recomendación UIT-T I.356.

FIGURA 20

Parámetros y objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 (capa ATM) en función de BER a la salida del demodulador para un módem IDR que funciona a una velocidad de interfaz de 34,368 Mbit/s



1420-20

3.4 Pruebas ATM efectuadas por INTELSAT

COMSAT ha realizado mediciones para investigar la relación entre CLR y CER en función de BER. Las Figs. 21 (CLR en función de BER) y 22 (CER en función de BER) muestran estas relaciones a la velocidad E1, con y sin codificación RS. Estas Figuras pueden ser útiles en la conversión de los requisitos de CLR y CER de la Recomendación UIT-T I.356 en los requisitos de BER utilizados en el diseño de enlaces por satélite.

4 Requisitos de aplicación ATM y calidad de funcionamiento de la capa física

Este punto presenta los resultados de calidad de funcionamiento de aplicaciones ATM por satélite a partir de un cierto número de experimentos y ensayos.

El mecanismo de transporte de células ATM es únicamente una capa del sistema de transmisión ATM de tres capas. Por encima de la capa de transporte de células se encuentra la capa de adaptación ATM (AAL, *ATM adaptation layer*). Existen cuatro tipos de AAL definidos hasta ahora, AAL-1, AAL-2, AAL-3/4 y AAL-5. Este último proporciona un trayecto transparente entre conmutadores ATM mientras que AAL-1 proporciona un almacenamiento intermedio para disminuir la CDV y AAL-3/4 incluye detección y corrección de errores. Por encima de AAL hay otras dos capas, la subcapa de convergencia específica de servicio de segmentación y reagrupación y la subcapa convergente que proporciona una correspondencia entre la AAL y la aplicación. Se ha utilizado una conexión AAL-5 para todos los resultados indicados en esta Recomendación.

FIGURA 21
 CLR ATM en función de BER para un canal IDR a la velocidad E1

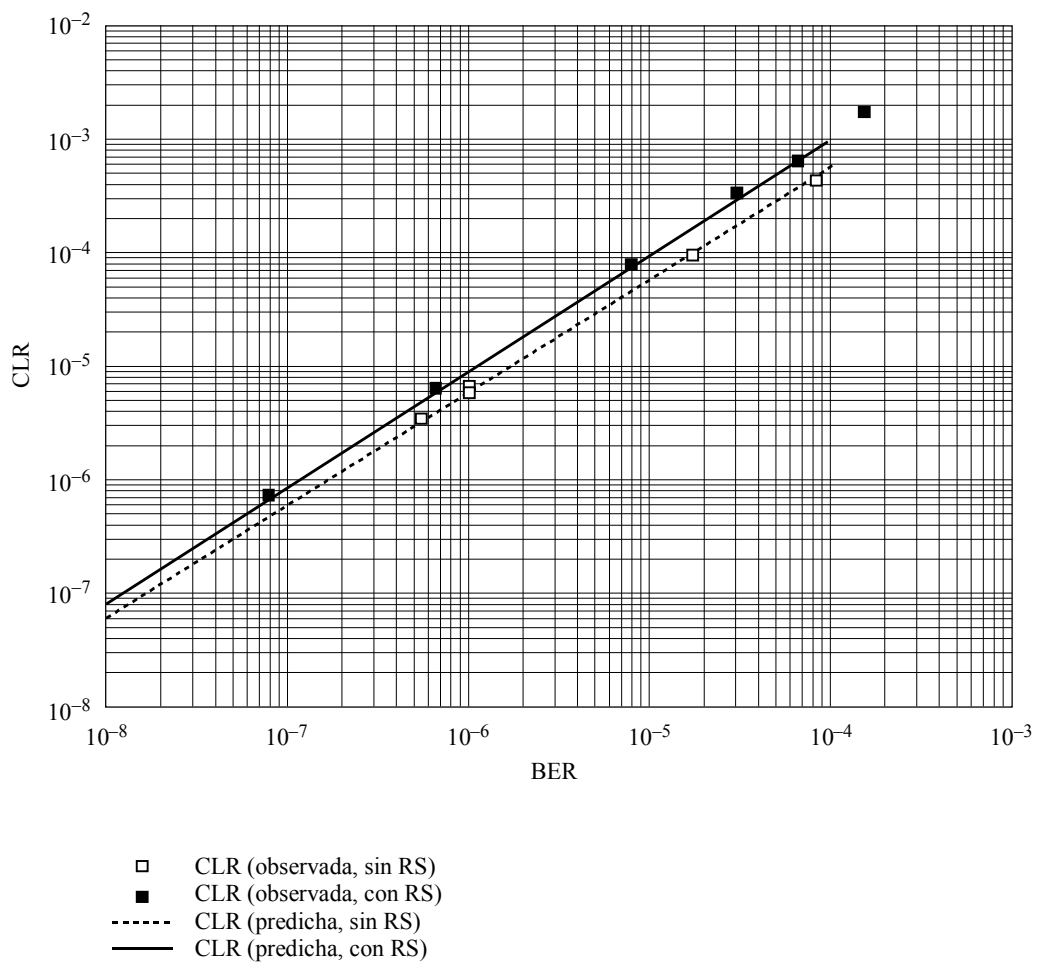
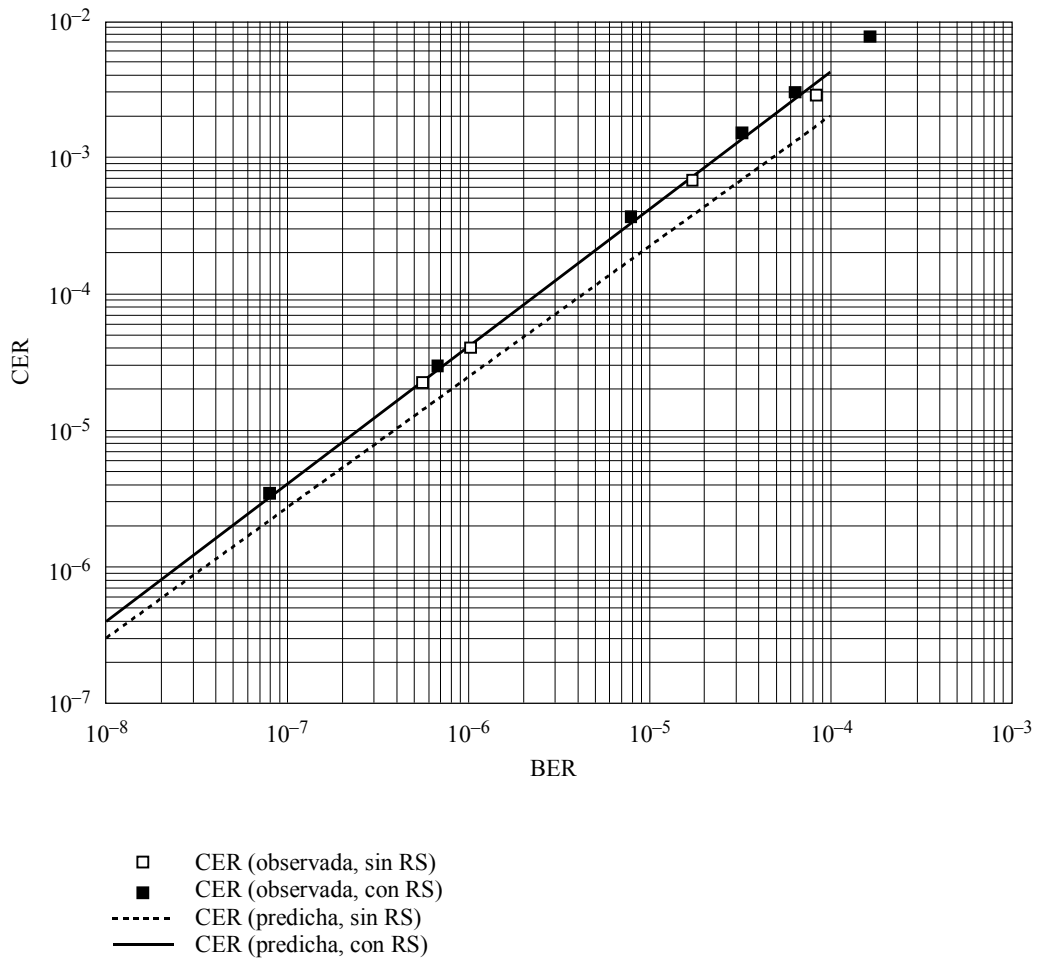


FIGURA 22

CER ATM en función de BER para un canal IDR a la velocidad E1



1420-22

4.1 Aplicaciones vocales y de datos en banda vocal

La característica de error requerida para soportar la señal vocal y los datos en banda vocal no es tan exigente como la necesaria para el vídeo comprimido pero un elevado valor de CLR y un importante retardo de extremo a extremo repercutirán en la calidad de estos servicios. Las nuevas técnicas de compresión para la señal vocal permiten actualmente cursar más muestras de dicha señal en cada una de las células ATM. Por consiguiente, la pérdida de incluso una sola célula tendrá influencia en muchos canales vocales o producirá una larga introducción en un solo canal.

4.2 Aplicaciones de vídeo

4.2.1 Compresión audio/vídeo MPEG-2 y transporte por ATM

La transmisión de la señal MPEG-2 por ATM designa el transporte de señales de audio y vídeo comprimidas combinadas, trenes de elementos de programa (PES, *program element streams*) y la correspondiente multiplexión y el tren de transporte. El vídeo puede comprimirse hasta aproximadamente 90:1 con MPEG-2. En el Cuadro 6 aparece la cantidad aproximada de datos contenidos en el tamaño típico de la unidad de acceso de vídeo de imagen B.

CUADRO 6

Tamaño aproximado de la unidad de acceso a imagen B

Velocidad de codificación de vídeo (MHz)	Tamaño de la unidad de acceso de vídeo (Bytes)
3	10 000
10	40 000
15	50 000

4.2.2 Tren de transporte MPEG-2

El tren de transporte MPEG-2 es un protocolo de multiplexación que permite transmitir en un único tren múltiples programas de vídeo, audio, vídeo y audio combinado, y datos específicos de usuario. El tren de transporte se compone de paquetes de 188 bytes que contienen información específica de programas tales como los paquetes de cuadro de asociación de programas (PAT, *Program Association Table*), el cuadro de correspondencia de programas (PMT, *Program Map Table*), el cuadro de acceso condicional (CAT, *Conditional Access Table*), el cuadro de información de red (NIT, *Network Information Table*) la referencia de reloj de programa (PCR, *program clock reference*) y los paquetes PES. Los paquetes PES contienen los datos del tren de elementos así como la indicación de hora de programa (PTS, *program time stamp*) que indica el tiempo que una unidad de presentación es presentada en el decodificador deseado del sistema, y la indicación de hora de visualización (DTS, *display time stamp*) que indica la hora en que la unidad de acceso se decodifica en el decodificador deseado del sistema.

Debido a la complejidad de la codificación de vídeo y audio MPEG-2 y de la multiplexación del tren de transporte, es sumamente difícil determinar la calidad de vídeo resultante de errores aleatorios insertados en el tren de transporte. En algunos casos, un error podría degradar una porción no utilizada de un tren de transporte, un bit no significativo de alguna información de temporización, o una parte de una unidad de acceso de audio y vídeo y no producir ningún efecto apreciable en la calidad del programa. En otros casos, un bit de temporización significativo o un puntero crítico podrían degradarse dando lugar a pérdida de sincronización del decodificador. Además, muchos de estos errores pueden enmascarse mediante una implementación innovadora del decodificador. Por tanto, es necesario un conocimiento minucioso de la implementación del decodificador y de la decodificación y multiplexación de vídeo y audio para determinar exactamente por qué el contenido del programa se degrada o el decodificador pierde sincronización.

4.2.3 MPEG-2 por ATM

El tren de transporte MPEG-2 puede segmentarse y colocarse en células ATM utilizando AAL-1 o AAL-5. La Fig. 23 ilustra la segmentación AAL-5.

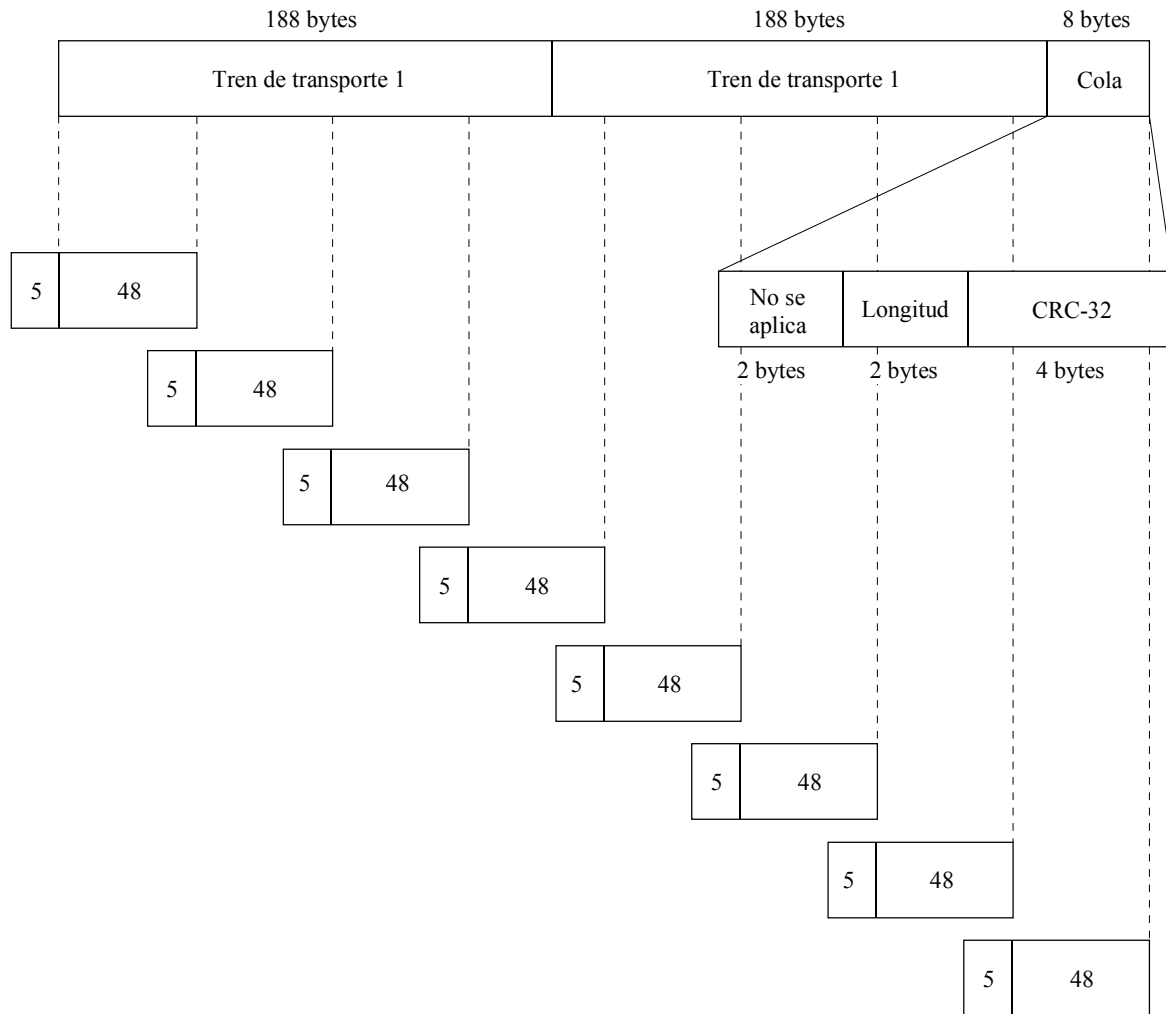
Es opcional si un datagrama AAL-5 degradado se abandona o no completamente o se pasa a la aplicación. Por tanto, el abandono de una célula ATM puede dar lugar a la pérdida de dos paquetes del tren de transporte o de un total de 376 bytes. El abandono de la última célula de un datagrama, que contiene el fin de una bandera de datagrama, podría causar el abandono de cuatro paquetes.

4.3 Aplicación datos**4.3.1 Tráfico Internet en ATM por satélite**

El transporte del tráfico Internet por red ATM es un área de aplicación importante a considerar en el ATM por satélite. Los sistemas de satélites pueden utilizarse para proporcionar un transporte medular a alta velocidad, así como acceso directo y conectividad a usuarios distantes en todo el mundo.

FIGURA 23

Subcapa de convergencia de parte común AAL-5



CRC: código de redundancia cíclica

1420-23

Aunque la mayoría de las aplicaciones Internet utilizan con éxito los satélites, existe la preocupación de que las aplicaciones de alta velocidad pueden no funcionar eficazmente cuando se transmiten por un satélite debido a las posibles pérdidas de paquetes y a los efectos de latencia (retardo) sobre los protocolos de datos utilizados por Internet. El problema principal con la actual versión del Protocolo de control de transmisión (TCP, *transmission control protocol*) es su ineficacia para tratar trenes de datos a alta velocidad por enlaces de largo retardo así como la forma de responder a condiciones de pérdida y congestión de la red. Este problema no es exclusivo de los satélites, sino que también es un problema para algunos servicios de datos transmitidos a velocidades de gigabits por redes de fibra.

Hay dos amplias categorías para potenciar el actual TCP: la limitación de la magnitud de la anchura de banda que puede transmitirse por un trayecto de satélite y la manera en la que se acusa recibo y se retransmiten los paquetes. El caudal de una sola aplicación que utilice una conexión TCP puede ser limitado por el tamaño de ventana del TCP, sometido a la restricción de que:

- los transmisores rápidos no desborden los receptores lentos, y
- los transmisores vayan más lentamente si existe congestión en la red.

Una forma de aumentar el caudal es incrementar el tamaño de ventana, independientemente del tipo de dispositivo de transmisión, ya que éste permitirá que se envíen más datos antes de esperar un mensaje de acuse de recibo. Si bien las ventanas ampliadas pueden permitir un mayor caudal, en condiciones de ausencia de pérdidas, es necesario considerar también otros aspectos, entre ellos los algoritmos de retransmisión y el mecanismo de control de gestión del TCP. Algunas posibles soluciones que han sido propuestas hasta ahora son:

- hacer funcionar múltiples conexiones paralelas,
- ampliar el tamaño de la ventana (RFC-1323),
- usar el mecanismo de acuse de recibo selectivo (RFC-2018) y
- emplear el algoritmo de arranque lento (RFC-2001).

Las implementaciones TCP/Protocolo Internet (IP) por ATM pueden resultar influenciadas de forma adicional por las pérdidas de células ATM o las inserciones incorrectas de células que pueden dar lugar a retransmisiones de datos y por la naturaleza del protocolo ATM. Se están estudiando técnicas para mejorar la utilización de TCP/IP por ATM.

Al diseñar estas redes, deben tenerse en cuenta varios parámetros de diseño del sistema para lograr una elevada eficacia de caudal. Entre estos parámetros cabe citar los tamaños de memoria intermedia, las políticas de exclusión por conmutación, las políticas de sistemas de extremo, los algoritmos de recuperación de errores y los mecanismos de control de la congestión.

En algunos resultados de simulación preliminares presentados al Grupo de Trabajo 4B de Radiocomunicaciones sobre un satélite que tiene previsto cursar tráfico ATM en modo de velocidad binaria no especificada se considera este tema y se demuestra que un tamaño de la memoria intermedia óptimo de aproximadamente $0,5 \times \text{RTT}$ (tiempo de transmisión de ida y vuelta) es suficiente para proporcionar un caudal del 98% a un número infinito de fuentes de tráfico TCP.

4.4 Resultados de mediciones de QoS de las aplicaciones que utilizan ATM

4.4.1 Resultados de QoS de AT&T-Telstra de aplicaciones ATM por un enlace IDR

Durante las pruebas con ATM de AT&T (Estados Unidos de América), KDD (Japón) y Telstra (Australia), AT&T y Telstra efectuaron diversas pruebas que incluían mediciones QoS de algunos servicios y aplicaciones. Las aplicaciones ATM se transmitieron entre laboratorios de investigación, situados en Nueva Jersey y Sydney, por redes de fibras y enlaces por satélite IDR a 45 Mbits. Los resultados presentados a continuación corresponden a cuatro aplicaciones ATM:

- EMMI (vídeo del Grupo Mixto de Expertos en Fotografía (JPEG) en movimiento),
- Communiqué (una posición de sobremesa para videoconferencia),
- voz MIC, y
- facsímil G3.

En el Cuadro 7 se muestran algunas de las características principales de estos sistemas.

CUADRO 7

Aplicaciones probadas

Aplicación	Descripción
EMMI	Un vídeo JPEG en movimiento que se ajustó para funcionar con un nivel de calidad de 50, lo cual produce una señal VBR de unos 10 a 20 Mbit/s
Communiqué	Un sistema de videoconferencia de sobremesa que se ajustó para funcionar a 15 tramas/s, lo cual produce una señal VBR de 0,5 a 1,5 Mbit/s
Voz	Un canal vocal MIC de 64 kbit/s conectado a una centralita privada (PBX) y enlazado por un troncal CBR DS1
Facsímil	Un facsímil G3 (sin capacidad de corrección de errores mejorada) conectado a un canal vocal de la PBX y enlazado por un troncal CBR DS1

Observadores experimentados con cada una de las aplicaciones respectivas evaluaron las aplicaciones de manera subjetiva para detectar degradaciones audibles y/o visuales. Los resultados aparecen en el Cuadro 8. Para este ejemplo concreto, los resultados demuestran que los objetivos de extremo a extremo propuestos en la Recomendación UIT-T I.356 ($CLR = 3 \times 10^{-7}$, $CER = 4 \times 10^{-6}$ y $SECBR = 1 \times 10^{-4}$) se cumplieron con un pequeño margen. Toda degradación superior producía una calidad de funcionamiento inaceptable.

CUADRO 8

Resultados de las pruebas

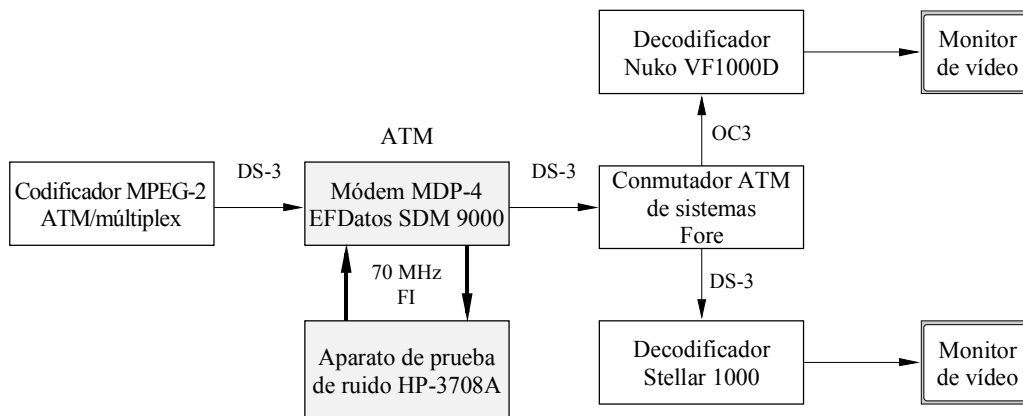
Intervalo de prueba (min)	E_b/N_0	BER ⁽¹⁾	CLR ⁽¹⁾	EMMI	Comunicqué	Voz	Facsimil
3	10,3	5×10^{-11}	0	Excelente	Vídeo y audio correctos	Excelente	Excelente
14	9,4	$5,7 \times 10^{-10}$	0	Ningún cambio	Ningún cambio	Ningún cambio	Ningún cambio
8	8,7	6×10^{-9}	0	Tal vez parpadeo en colores uniformes. Pero calidad excelente	Ningún cambio	Ningún cambio	Ningún cambio
7	8,2	5×10^{-8}	0	Ligero brillo en los tonos de la piel, pero calidad excelente	Manchas	Ningún cambio	Tipo de caracteres pequeño difícil de leer
5	7	5×10^{-7}	$2,8 \times 10^{-7}$	Ligero brillo. Calidad aceptable	Correcto	Ningún cambio	Tipo de caracteres pequeño difícil de leer
14	6,5	$4,2 \times 10^{-6}$	$7,7 \times 10^{-6}$	Movimiento espasmódico a veces. Cierta brillo	Pocas rayas negras, manchas, rayas blancas	Se oye ráfaga de ruido y se pierde luego la llamada. Llamada restablecida, la calidad es buena cuando la llamada está en curso. Dos o tres segundos de conversación muy entrecortada y se abandona la llamada	La tercera página no apareció y tuvo que retransmitirse. Ligera pérdida de nitidez
5	5,4	$7,5 \times 10^{-5}$	$8,2 \times 10^{-5}$	El movimiento se interrumpe un instante. Congelación en vídeo. La pelota que bota parece congelarse a medio bote y hay una pausa cuando bota. Brillo en los tonos de piel. Borrosidad en las letras y en los signos de nombres	Rayas, cortes. El audio comienza a cortarse	Cortes. Ráfagas de ruido, se va luego la conexión. Ahora es inutilizable. Permanece menos de un minuto	Se detiene la recepción. No podía transmitir
3	4,5	$2,99 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	Congelación del vídeo. Puede ser 5% de las tramas recibidas. Cortes de audio	Se congela la imagen	No puede establecerse una llamada (cinco intentos). Tono de marcación secundario, pero no se devuelve timbre de llamada ni llamada	No podía transmitir

⁽¹⁾ BER medida por el módem de satélite. CLR es la relación de células incorrectas o descartadas (DCR, *discarded cell ratio*); es decir, todas las células tienen dos o más errores en el encabezamiento. Adviértase que a bajas BER no existe suficiente confianza estadística en la medición de CLR.

4.4.2 MPEG-2 de la NASA por pruebas de laboratorio en ATM por satélite

El Lewis Research Center de la NASA efectuó experimentos de QoS ATM utilizando MPEG-2 (AAL-5) en ATM por un enlace de satélite emulado. El objeto de estos experimentos era determinar la calidad del enlace en espacio libre necesaria para transmitir información multimedios de alta calidad utilizando ATM. Los trenes de transporte MPEG-2 se dispusieron en línea de base en un entorno con errores (distribución binómica), seguidos por una serie de pruebas de MPEG-2 por ATM. Se crearon errores tanto digitalmente como en un enlace de FI utilizando un módem de satélite y un aparato de prueba de ruido gaussiano comercial, para dos implementaciones de decodificador MPEG-2 diferentes. La configuración de prueba se muestra en la Fig. 24.

FIGURA 24
Configuración de prueba de MPEG-2 para pruebas de doble decodificador de larga duración



1420-24

Los resultados de las pruebas se muestran en el Cuadro 9 e indican que CLR y CER deben ser al menos 1×10^{-8} y 1×10^{-7} respectivamente, y pueden requerir aún mejor calidad de funcionamiento a fin de ofrecer aceptablemente dichos servicios como vídeo comprimido MPEG-2. Sin embargo, estos resultados parecen deberse a la necesidad de contar con mejores requisitos de BER generales para la decodificación MPEG-2 de calidad más que al mecanismo de transporte indicado por la prueba de línea de base de los trenes de transporte MPEG-2 con errores en función de las células ATM con errores que transportan trenes de transporte MPEG-2.

CUADRO 9

Resultados de las pruebas

E_b/N_0 (dB)	BER	CLR	CER	Resincronización del decodificador	Errores de bloque	Total de errores visibles	Tiempo de pasada (s)	VEPS
7,5	$4,23 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-6}$	$9,95 \times 10^{-6}$	18	8	26	420	$6,19 \times 10^{-2}$
8,0	$7,05 \times 10^{-8}$	$2,93 \times 10^{-7}$	$1,76 \times 10^{-6}$	12	17	29	2315	$1,25 \times 10^{-2}$

- Las mediciones de BER, CLR y CER pertenecen a patrones de prueba que fueron transmitidos por el enlace simultáneamente con el vídeo. Son indicativos del enlace pero NO son mediciones del tren de vídeo propiamente dicho.
- Condición del módem: codificación convolucional de índice 3/4 decodificación de Viterbi y MDP-4.
- Resincronización del decodificador: el decodificador congela la imagen y se resincroniza.
- Error de bloque: pequeños cuadrados apreciables en una porción de la pantalla – a veces con colores cambiantes.
- VEPS: errores visibles por segundo (*visible errors per second*).

Los resultados de este estudio se basaron en sistemas que tenían porciones de multiplexor ATM a MPEG-2 que pasaban datagramas AAL-5 degradados a las porciones de decodificador de vídeo. Además, los dos decodificadores utilizados en estas pruebas se implementaron con chips de decodificador C-Cube^R CL9100. Se necesita más trabajo para evaluar la repercusión en la QoS de otros decodificadores y sistemas MPEG-2 más robustos.

5 Consideraciones sobre la medición de la calidad de funcionamiento

Para medir los parámetros de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T I.356 de la capa ATM de la RDSI-BA en el punto más próximo al enlace por satélite, los dos nodos de red ATM de cada lado del enlace deben identificarse. El equipo de prueba ATM debe poder medir la calidad de funcionamiento ATM a largo plazo (CLR, CER, SECBR, etc.) en los casos no invasivo y fuera de servicio. Si se trata de una topología punto a multipunto, el equipo de prueba debe poder identificar trayectos virtuales y canales virtuales individuales o agrupados. Los métodos utilizados para medir estos parámetros son objeto de otras Recomendaciones UIT-T.

6 Técnicas para potenciar la calidad de funcionamiento ATM por satélite

Este punto describe técnicas utilizadas para mejorar la calidad de funcionamiento de los enlaces por satélite a fin de acomodar diversas clases de servicios ATM, tales como codificación mejorada, intercalación y control de potencia adaptativo.

6.1 Reducción de CER, SECBR y CLR

6.1.1 Intercalación selectiva

La intercalación potencia las capacidades de corrección de errores aleatorios de un código hasta el punto que puede resultar de utilidad en un entorno de errores en ráfagas. El intercalador reordena los bits codificados a lo largo de un tramo de varias longitudes de bloque. La magnitud de la protección contra errores, basada en la longitud de ráfaga encontrada en el canal, determina la longitud de tramo del intercalador. El efecto total de intercalación es la extensión de los efectos de las largas ráfagas de manera que aparecen en el decodificador como errores de bits aleatorios independientes. La probabilidad de descartar células ATM por enlaces caracterizados por ráfagas de errores es de algunos órdenes de magnitud mayor que a través de enlaces con errores aleatorios debido a la capacidad de corrección de errores de un solo bit del mecanismo HEC. Por esta razón, la intercalación de bits puede utilizarse para mejorar la calidad de funcionamiento por enlaces de satélite codificados.

6.1.2 FEC

El poder de la FEC es que el sistema puede, sin retransmisiones, encontrar y corregir errores limitados causados por el sistema de transmisión. Se añaden símbolos de código adicionales al mensaje transmitido para proporcionar la necesaria información de detección y corrección. Las técnicas de codificación FEC utilizadas en los sistemas de satélite incluyen códigos secuenciales, de convolución, BCH, de retícula, turbo y RS.

6.1.3 Control de potencia adaptativo

El control de potencia adaptativo puede utilizarse en el enlace ascendente, en el enlace descendente o en ambos, a fin de compensar el desvanecimiento debido a la lluvia.

6.1.4 Control de velocidad adaptativo

El control de velocidad adaptativo puede lograrse mediante una codificación adaptativa que permite lograr un caudal eficaz en un sistema de satélites conservando al mismo tiempo su recurso más importante: la potencia del satélite. El principio se basa en la aplicación de modernas técnicas de codificación de gran potencia que permiten adaptar y maximizar el flujo de datos de usuario basándose en las condiciones del enlace. Pueden utilizarse algoritmos especiales para comprobar de manera dinámica la degradación o la mejora en el comportamiento del enlace. Esta capacidad permite el desarrollo de protocolos de sistema que atribuyen más o menos caudal de datos enlace a enlace. Una forma de adaptar el caudal es controlar la velocidad de codificación, que se define como el número de bits de datos de usuario transmitidos por símbolos de canal. El símbolo de canal puede ser un símbolo MDP-4 o el periodo y/o frecuencia generalizados de una onda.

6.1.5 Diversidad de emplazamiento

La diversidad de emplazamiento de las estaciones en tierra permite al subsistema de tierra de un sistema de satélites contar con múltiples enlaces de comunicación geográficamente dispersos y dirigidos al subsistema espacial. Dicho subsistema puede constar de uno o más satélites que proporcionan múltiples enlaces de comunicaciones con distintos ángulos de elevación con respecto a las estaciones en tierra. La calidad de funcionamiento de cada enlace de comunicación variará según las condiciones atmosféricas y la distancia que tienen que atravesar los enlaces de comunicación, pero combinando las señales procedentes de los trayectos más favorables puede obtenerse una señal de buena calidad. Por consiguiente, el sistema de satélites puede satisfacer la disponibilidad necesaria para soportar los servicios de transporte ATM.

7 Formatos de transmisión digital utilizados por los sistemas de satélite para ATM

El tráfico ATM puede cursarse por sistemas de satélites en varios formatos de transmisión digital que incluyen la jerarquía digital síncrona (SDH), la jerarquía digital pliesíncrona (PDH), los sistemas basados en células y los sistemas basados en MPEG-2.

7.1 SDH

Véase la Recomendación UIT-T G.707 y las Recomendaciones de la Serie UIT-T I.432.

7.2 PDH

Véase la Recomendación UIT-T G.804.

7.3 Sistemas basados en células

Véase la Recomendación UIT-T G.707 y las Recomendaciones de la Serie UIT-T I.432.
