

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1522-1

Repercusiones de la pérdida de sincronización del tiempo de recuperación en la disponibilidad de los trayectos digitales ficticios de referencia

(Cuestión UIT-R 73/4)

(2001-2005)

Cometido

El tiempo de restauración del servicio es un factor importante que debe tenerse en cuenta al determinar los requisitos de calidad de funcionamiento del servicio. Esta Recomendación indica el nivel $C/(N+I)$ típico cuando se considera la pérdida de sincronización, los tiempos de recuperación típicos y el umbral de pérdida de sincronización.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la indisponibilidad de un trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) viene determinada por los efectos combinados de la disponibilidad del equipo y la debida a la disponibilidad;
- b) que, en algunos casos la indisponibilidad debida al equipo no se debe al fallo del mismo;
- c) que la Recomendación UIT-R S.521 especifica que los TDFR pueden comprender funciones de modulación/demodulación, de corrección de errores, de almacenamiento intermedio y de proceso que pueden aplicarse en el equipo del terminal del abonado o en la estación terrena;
- d) que los TDFR también pueden soportar otras aplicaciones, como el MPEG-2, que contiene esquemas de codificación por capas secuenciales que cuentan, entre otras cosas, con seguridad en el direccionamiento, compresión de datos y corrección de errores;
- e) que los TDFR también pueden comprender aplicaciones digitales que utilicen otras técnicas de modulación y de codificación tales como modulación por desplazamiento de fase (MDP) (MDP-4), (MDP-8), modulación de amplitud en cuadratura (MAQ), corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) de índice 1/2, 3/4, codificación Reed-Solomon (RS), Turbo, etc.;
- f) que dichas aplicaciones, tras la pérdida de señal, tal vez pueden tardar cierto tiempo en recuperarse después del restablecimiento de la señal;
- g) que la Recomendación UIT-R S.579 indica que un enlace se considera indisponible si el alineamiento de temporización de la señal digital recibida (o sincronización) se pierde durante 10 s consecutivos o más. Estos 10 s se consideran tiempo indisponible y dicho periodo continua hasta que el alineamiento de temporización (o sincronización) se restablece durante un periodo de 10 s consecutivos;
- h) que la Recomendación UIT-R S.579 define la disponibilidad e indisponibilidad de un TDFR que puede comprender elementos del *considerando* c) citado;
- j) que la sincronización en el TDFR del satélite también puede afectar a la pérdida de sincronización y al tiempo de recuperación de las capas de protocolo superiores en la conexión ficticia de referencia (XFR);
- k) que la degradación estable de trama a los receptores MPEG-2 se produce cuando los bloques con errores aparecen en la imagen de vídeo y pueden considerarse indisponibles,

recomienda

1 que se tenga en cuenta el tiempo de recuperación al determinar los requisitos de disponibilidad para los decodificadores digitales con esquemas de sincronización complejos que son susceptibles a los periodos cortos de degradación de señales debido a las condiciones de propagación o a las interferencias (véase el Anexo 2);

2 que en aquellos enlaces diseñados para garantizar que las fuentes de interferencia estadísticas no causen un aumento adicional de la temperatura de ruido equivalente del enlace que produzcan pérdidas de sincronización, se utilicen decodificadores digitales sensibles, configurados como se define en el *recomienda* 1;

3 que al considerar la pérdida de sincronización para los decodificadores/demoduladores digitales típicos que se sirven de varias técnicas de modulación y codificación para sistemas con velocidad de transmisión de datos de 34 Mbit/s o inferiores se utilicen los niveles de $C/(N + I)$ que figuran en el Cuadro 1;

4 que en aquellos casos en los que los objetivos de calidad de funcionamiento mínimos sean inferiores a los valores señalados en el *recomienda* 3, se supone que el umbral para la pérdida de sincronización es de 1 dB por debajo del objetivo de calidad degradado;

5 que al determinar la indisponibilidad debida a la pérdida de sincronización en un TDFR que utilice decodificadores/demoduladores digitales se utilicen los tiempos de recuperación que aparecen en el Cuadro 2;

6 que para las aplicaciones que utilizan receptores MPEG-2 se producirán bloques con error en las imágenes de vídeo en el umbral superior al nivel de sincronización mostrado en el Cuadro 1, de 0,3 dB para MDP-4 con índice de codificación RS de 1/2 y 0,6 dB para MDP-4 de índices de codificación RS de 3/4 y 7/8 (véase el Anexo 1).

NOTA 1 – La duración del tiempo y la frecuencia de ocurrencia de las señales interferentes pueden contribuir a determinar cuál es el nivel de interferencia máximo permitido. Se observa que múltiples eventos de interferencia cortos pueden traducirse en periodos de indisponibilidad de más larga duración que aquellos periodos fruto de unos pocos eventos largos (véase el Anexo 3). Este efecto y los resultados de los eventos de interferencia de corta duración (< 1 s) son objetos de nuevo estudio.

NOTA 2 – Las repercusiones de la pérdida de sincronización en el TDFR del satélite en los niveles de protocolo de la capa más elevada en una XFR son objeto de un nuevo estudio.

NOTA 3 – El Cuadro 2 es el resultado del último grupo de datos limitados disponibles que se presenta en el Anexo 4 y es provisional puesto que depende de estudios ulteriores.

CUADRO 1

**Niveles $C/(N + I)$ típicos al considerar
la pérdida de sincronización***

Modulación y codificación	$C/(N + I)$ (dB)
MDP-4 de índice 1/2	3,5
MDP-4 de índice 3/4	5,3
MDP-4 de índice 7/8	6,0
MDP-8	8,1
MAQ-16	11,0

* Se tienen en cuenta los datos calculados en el Anexo 4.

CUADRO 2
(Véase la Nota 3)

Valores máximos medidos de los tiempos de recuperación

Modulación y codificación	Velocidad binaria de la portadora	Tiempo de recuperación (s)
MDP-4 de índice FEC 1/2	64 kbit/s	40
	2 Mbit/s	4,5
MDP-4 de índice FEC 3/4	64 kbit/s	19,8
	2 Mbit/s	6
	8 Mbit/s	9,3
	34 Mbit/s	2,3
MDP-8 de índice FEC 2/3 con codificación RS (201,219)	2 Mbit/s	3,1
	8 Mbit/s	9,1
	34 Mbit/s	4,0

Anexo 1

Consideraciones para los TDFR al aplicarse para prestar servicios cuya disponibilidad es sensible al tiempo de recuperación tras la pérdida de sincronización

1 Introducción y objetivo

Se examinó el comportamiento de sincronización de distintas clases de receptores a partir de los cálculos realizados o de la información facilitada por los fabricantes del receptor de la estación terrena. El objeto de la investigación consistió en determinar la duración de la interferencia y el nivel de potencia necesario para que el receptor perdiera la sincronización. Se determinó el nivel de degradación y el espacio de tiempo necesario para producir la pérdida de sincronización en cada uno de los receptores analizados. Además, se determinó la cantidad de tiempo necesaria para volver a adquirir la sincronización de cada receptor. A continuación se cuantificaron los resultados a fin de determinar el umbral de pérdida de sincronización que podrían aplicarse a todos los receptores de la estación terrena del servicio fijo por satélite (SFS) geostacionario (OSG).

2 Receptores de vídeo y audio digitales

En el Anexo 2 se describe un receptor de vídeo y audio digitales MPEG-2 típico y su funcionamiento así como el análisis de los resultados de las pruebas. Los resultados de las pruebas indican que el canal de transmisión por satélite del tipo arriba probado y aplicado, que emplea una MDP-4 concatenada con codificación RS convolucional de índices 1/2 ó 7/8 y que funciona con una proporción de bits erróneos (BER) de 1×10^{-10} perdería la sincronización si el ruido aumentara en 2,2 dB durante un periodo de 1 a 2 s. Si se supone que los niveles nominales de $C/(N+I)$ se restablecen después de la pérdida de sincronización, el equipo necesitará entre 4 y 8 s más para volver a funcionar normalmente.

Se señaló que los bloques con errores se producen en la imagen recibida a un nivel de umbral superior al nivel de pérdida de sincronización. El vídeo MPEG-2 se considera disponible cuando los bloques con errores se ven en la imagen de vídeo. En el caso de la señal MPEG-2 codificada de MDP-4 de índice 1/2, los bloques con errores se produjeron en un umbral C/N que se encontraba a 0,3 dB por encima del umbral para las pérdidas de sincronización. En el caso de la señal MPEG-2 codificada de MDP-4 de índice 7/8, los bloques con errores se produjeron en un umbral C/N que se encontraba a 0,6 dB por encima del umbral para las pérdidas de sincronización.

3 Receptores de datos

Los resultados de funcionamiento para los receptores digitales que funcionan a distintas velocidades de transmisión de datos demuestran que el margen para la pérdida del margen de sincronización es de la misma naturaleza que la analizada en el § 2.1. Cuando la relación E_b/N_0 cae por debajo del umbral y permanece en ese valor durante un periodo de 1 a 2 s, pierde la sincronización tanto en la frecuencia como en la sincronización de datos. El tiempo necesario para readquirir la sincronización depende del algoritmo utilizado y de la anchura de banda que debe barrerse para readquirir la sincronización. Generalmente, esta función corresponde a la velocidad de transmisión de datos, al método de modulación (MDP-2, MDP-4, etc.), al método de codificación/decodificación y al índice de codificación empleado. El tiempo total que se necesita para readquirir la sincronización y los datos de la sincronización varía para las velocidades binarias moderadas y elevadas hasta la gama de los Mbit/s, como muestran los resultados de las pruebas que ilustran la gama de tiempos de recuperación que figuran en el Cuadro 8.

4 Servicios de datos con conmutación de paquetes

Los servicios de datos con conmutación de paquetes pueden verse afectados durante periodos mucho más largos incluso si una anomalía del sistema dura poco.

El UIT-T considera que un sistema es indisponible después de que su servicio sea indisponible durante 10 s o más. La información sobre encaminamiento para el servicio de datos con conmutación de paquetes se actualiza cada 30 s y hasta dos ciclos de dicha actualización pueden verse afectados por una pequeña anomalía y sus consecuencias secundarias. Así, puede concluirse que si bien el receptor pierde la sincronización sólo entre 1 y 15 s, la repercusión general, si se incluye también el tiempo para restablecer el servicio, tal vez consistirá en hacer que el servicio esté indisponible durante un periodo mucho más largo.

5 Redes de satélites de tratamiento a bordo

La llegada de los satélites de tratamiento a bordo hizo que la pérdida de sincronización sobre el enlace ascendente de dichas redes también se tuviera en cuenta al evaluar los defectos de interferencia procedentes de fuentes no OSG y de otras fuentes de interferencia en los sistemas del SFS OSG. Será necesario realizar nuevos análisis para determinar la duración y los niveles de interferencia necesarios para que se produzca la pérdida de sincronización en los receptores de los satélites que emplean tratamiento a bordo.

6 Resumen y conclusiones

Los resultados de las pruebas de calidad y sensibilidad a la interferencia de distintos tipos de receptores-demoduladores que funcionan o está previsto que funcionen en las bandas de 30/20 GHz y 14/11 GHz han terminado. Es necesario disponer de información suplementaria sobre otras configuraciones y los últimos adelantos de la tecnología.

Las pruebas realizadas en receptores típicos empleados para vídeo digital, audio digital y servicios de datos y aplicaciones vocales indican que el ruido o los niveles de interferencia que rebasan los umbrales C/N del Cuadro 1 por periodos de tiempo corto, harán que el receptor pierda sincronización. Las pruebas demuestran que cuando las señales, después de perder la sincronización, vuelven a los niveles de $C/(N + I)$ nominales, el tiempo de recuperación del receptor está en función de la modulación, codificación y velocidad binaria, como se indica en el Cuadro 2. Es necesario realizar nuevos estudios sobre el espacio de tiempo y la frecuencia de ocurrencia de las fuentes de interferencia a fin de cuantificar totalmente sus repercusiones en los servicios con aplicaciones de sincronización implantadas.

En el caso de los sistemas sometidos a prueba, se pone de manifiesto que el tiempo de restablecimiento del servicio es un factor importante que debe tenerse en cuenta al determinar los requisitos de calidad del mismo. Diversos factores afectan al tiempo total para el cual se necesita el restablecimiento del servicio: entre dichos factores se encuentran el demodulador y la sincronización de bits, la sincronización de tramas, la decodificación de corrección de errores, la sincronización de seguridad, la restauración de la conexión para los circuitos vocales y el reinicio de los protocolos de transmisión para los circuitos de datos.

Anexo 2

Pérdida de sincronización debida a la interferencia breve en un receptor de vídeo y audio digitales MPEG-2

1 Introducción

En este Anexo se examinan las características de sincronización del tipo de receptor de vídeo digital que comúnmente se emplea en periodismo electrónico por satélite (SNG) y en la distribución de vídeos por parte de las entidades de radiodifusión. También se utilizan receptores complejos similares para las aplicaciones directas a los hogares y las aplicaciones del servicio de radiodifusión por satélite (SRS), distribución de datos, transferencia de ficheros, radiodifusión de datos, etc. Este tipo de receptor se eligió para realizar pruebas y evaluaciones porque los datos vídeo están sumamente codificados y comprimidos, y la pérdida de sincronización podría producir interrupciones de largo plazo. Otros receptores diseñados para distintos tipos de servicio funcionarán de forma similar con distintos tiempos de interrupción.

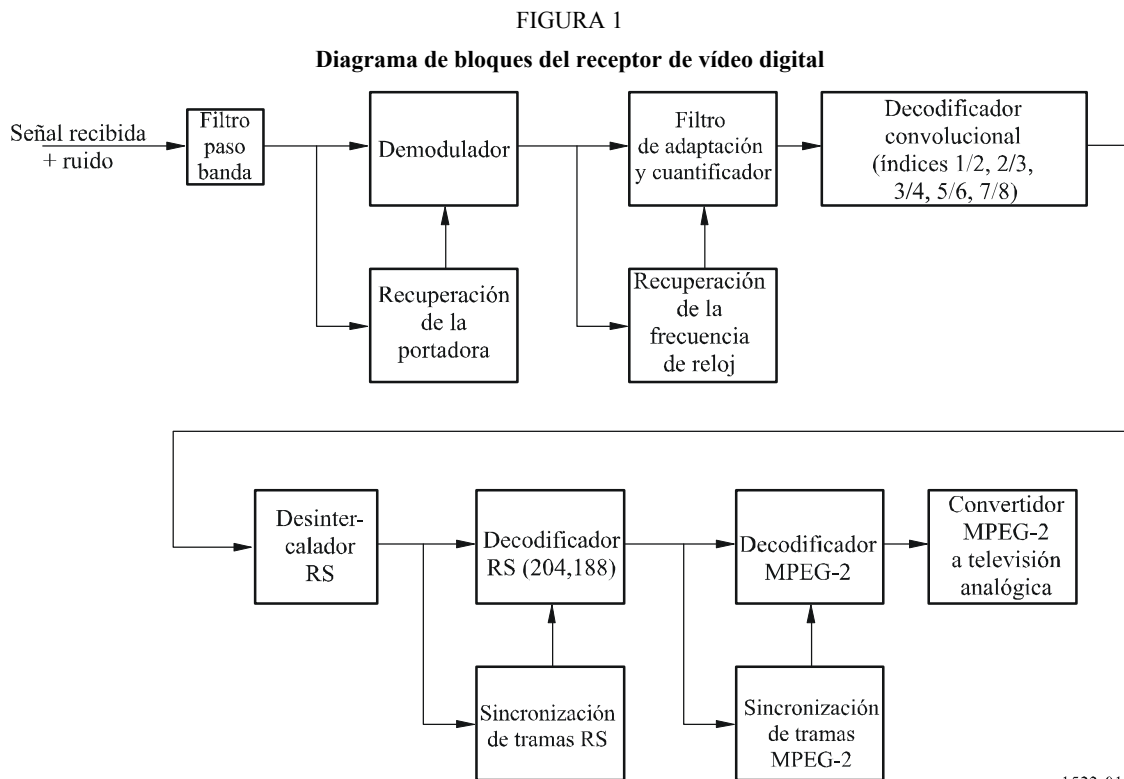
2 Objetivo y planteamiento

El objetivo de la investigación fue determinar la duración de la interferencia y el nivel de potencia necesario para hacer que el receptor pierda la sincronización y también para caracterizar el tiempo de interrupción del receptor. Para estas mediciones, la interferencia se modela como ruido gaussiano, en virtud de los procedimientos de prueba aceptados que tratan las interferencias procedentes de las fuentes digitales. Las mediciones se obtuvieron al incrementar el nivel de ruido para simular la fuente de interferencia. Las pruebas iniciales fueron diseñadas para caracterizar la calidad de la BER del receptor y se compararon con las especificaciones del fabricante a fin de garantizar que el sistema que era objeto de evaluación funcionaba correctamente. Se realizaron pruebas adicionales para determinar el tiempo medio de pérdida de sincronización de base y el tiempo para readquirirlo. Asimismo se realizaron pruebas para determinar las repercusiones de las ráfagas de ruido en la calidad del receptor.

3 Descripción del receptor

El receptor de vídeo digital sometido a prueba integra un conjunto de decodificadores de vídeo digital MPEG-2 y audio digital MPEG-2 en un único canal por portadora. Dicha configuración permite la recepción directa de vídeo, audio y datos digitalizados procedentes de las transmisiones por red de satélites. Para esta aplicación, se fijó que la señal recibida sea del tipo MDP-4 modulada y que el receptor pueda funcionar con velocidades binarias entre 2,5 Mbit/s y 15 Mbit/s.

La Fig. 1 es un diagrama de bloques del receptor de vídeo digital que muestra la secuencia de tratamiento del receptor. La señal recibida se demodula y se adapta mediante filtrado y los símbolos detectados se cuantifican. Los símbolos cuantificados se decodifican de forma convolucional (Viterbi). El sistema puede instalarse para codificación de índices 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8. Los símbolos entran así en un decodificador RS y en un desintercalador que protege al decodificador RS de la ráfaga de errores producida por el decodificador Viterbi. El decodificador RS produce tramas MPEG-2. Dichas tramas se decodifican y demultiplexan y la señal MPEG-2 se convierte en un formato de televisión analógico.

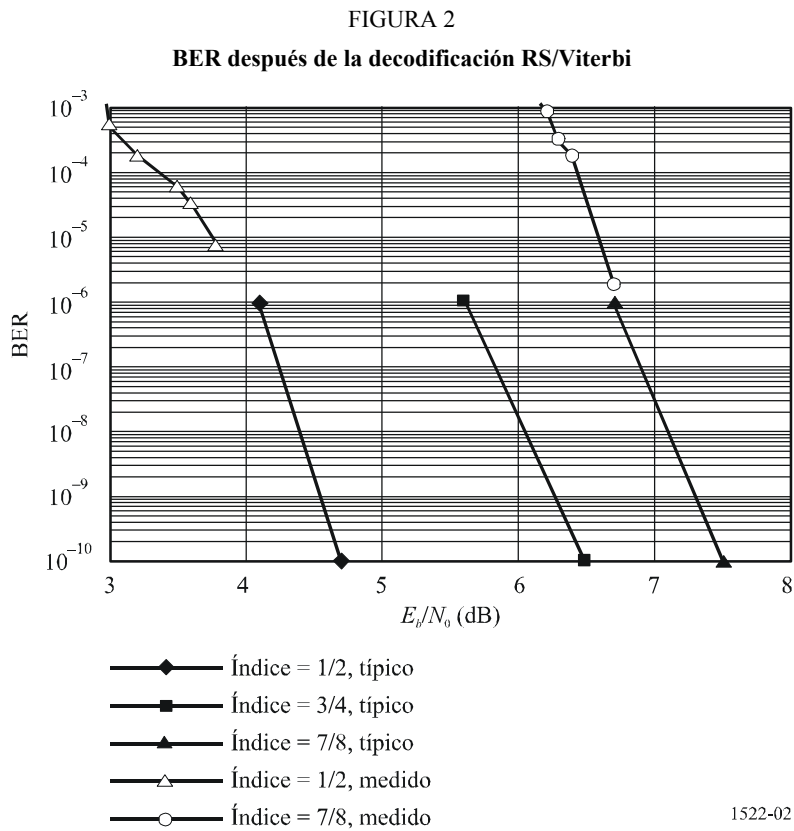


1522-01

Como se observa en la Fig. 1, el receptor cuenta con muchos niveles de sincronización desde la recuperación de la portadora inicial hasta la sincronización de tramas MPEG-2 que precede a la conversión a televisión analógica. En general, las funciones de sincronización de nivel superior son más sensibles a la pérdida de sincronización que las funciones de nivel inferior. Por consiguiente, la sincronización de trama y código se perderá antes de la sincronización de la portadora. La pérdida de sincronización y la nueva adquisición del mismo son principalmente funciones de soporte lógico. Así, el comportamiento del receptor puede depender de la aplicación específica de dicho soporte lógico.

La Fig. 2 muestra las curvas de funcionamiento típicas para el decodificador RS para varias velocidades de código convolucional distintas. El umbral de funcionamiento en condiciones de cielo despejado suele fijarse en el punto de la $BER = 1 \times 10^{-10}$, lo que corresponde a una

relación $E_b/N_0 = 4,7$ dB para una codificación de índice 1/2 y a una relación $E_b/N_0 = 7,5$ dB para una codificación de índice 7/8.



Los umbrales de desvanecimientos se definen en esta Recomendación como el punto mínimo de funcionamiento para el receptor. Los umbrales de los desvanecimientos de las redes por satélite suelen situarse en el punto de la BER = 1×10^{-6} . El Cuadro 3 presenta los umbrales de los desvanecimientos E_b/N_0 para las distintas relaciones de código convolucionales.

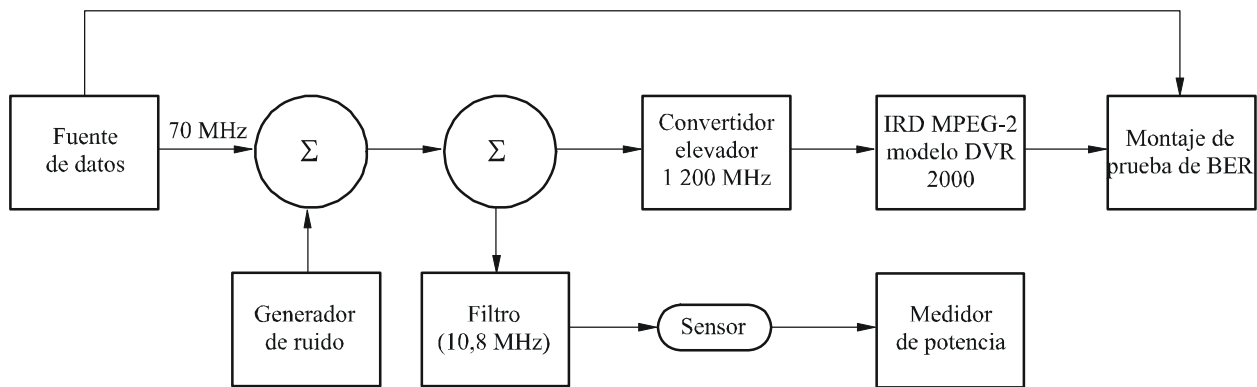
CUADRO 3
Umbrales de desvanecimientos para una BER = 1×10^{-6}

Índice	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
E_b/N_0 (dB)	4,1	4,8	5,6	6,1	6,7

3.1 Calidad de funcionamiento del receptor

La Fig. 3 muestra el montaje de las pruebas de la BER que se emplea para comprobar el funcionamiento de la unidad sometida a prueba. La velocidad de transmisión fue 3,68 Mbit/s. Se pusieron a prueba dos relaciones de código distintas, a saber 1/2 y 7/8. La calidad de funcionamiento del receptor se incluye en la Fig. 2. Resultó muy difícil medir BER muy bajas debido a la necesidad de emplear mucho tiempo para lograr las mediciones. Sin embargo, los resultados parecen satisfacer las características de funcionamiento de los módems típicos. La calidad de funcionamiento de este sistema se comparó con otros sistemas y los resultados fueron compatibles con el 0,3 dB.

FIGURA 3
Montaje para las pruebas de BER



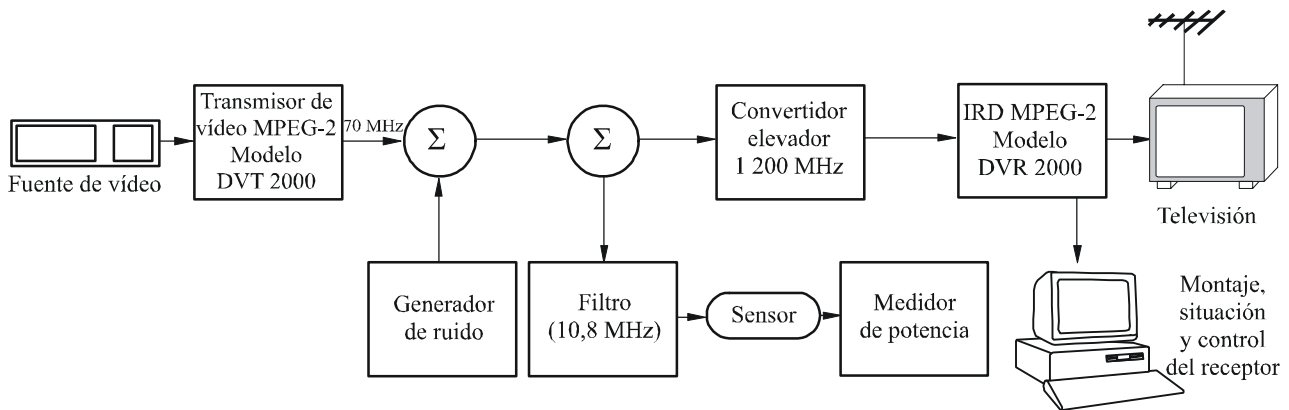
DVR: receptor vídeo digital
IRD: receptor-decodificador integrado

1522-03

4 Dispositivo para las pruebas del sistema

La Fig. 4 muestra el montaje de pruebas que se utiliza para determinar el comportamiento de sincronización del receptor. La fuente de vídeo fue el programa de un evento deportivo. Se concluyó que la calidad de funcionamiento del receptor se veía afectada por la magnitud de movimiento de la señal de vídeo. Dicha fuente fue elegida por el contenido de movimiento errático aplicado continuamente a los algoritmos de compresión de vídeo.

FIGURA 4
Montaje de pruebas de datos de vídeo



DVT: transmisor vídeo digital

1522-04

Los cálculos del medidor de potencia se realizaron en términos de C/N y se convirtieron en E_b/N_0 siguiendo la siguiente ecuación:

$$E_b/N_0 = C/N + 10 \log (B_n/dr) = C/N + 4,68 \quad (1)$$

donde:

B_n : anchura de banda de ruido = 10,8 MHz

d_r : velocidad de datos = 3,68 Mbit/s.

El receptor de prueba utilizado proporcionó una interfaz externa que permitió que una terminal controlara localmente al mismo. Los diagnósticos también están disponibles para indicación visual en el terminal que incluye informes sobre tramas deslizadas y repetidas que se imprimen cada 5 s, así como indicaciones de la situación de sincronización. La prueba también incluyó la presentación de un vídeo en una pantalla de televisión lo cual permitió tener un indicio subjetivo sobre la calidad de funcionamiento.

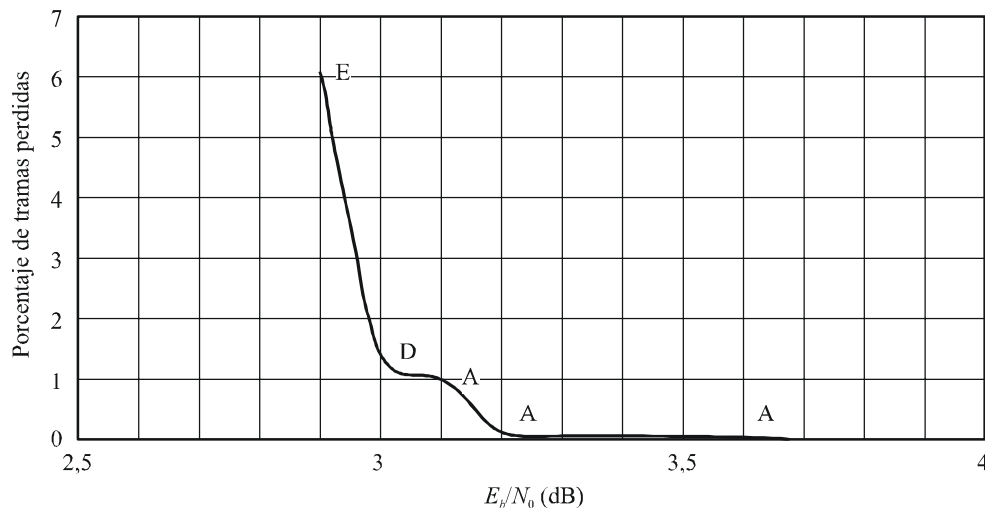
4.1 Resultados de las pruebas del sistema

4.1.1 Pérdida de sincronización

Las Figs. 5 y 6 muestran el número de tramas de vídeo perdidas en función de E_b/N_0 para una codificación de índices 1/2 ó 7/8, respectivamente. Para cada punto de medición E_b/N_0 el promedio de los resultados es de 2 min. La variación abrupta de las curvas refleja la sensibilidad del código RS/convolucional concatenado. Por debajo del punto E_b/N_0 en el que la velocidad de pérdida de tramas excede aproximadamente un 6%, el receptor pierde la sincronización. Esta Figura corresponde a una BER de unos 1×10^{-3} .

FIGURA 5

Porcentaje de tramas de vídeo perdidas en función de E_b/N_0 para el receptor vídeo que emplea una codificación de índice 1/2



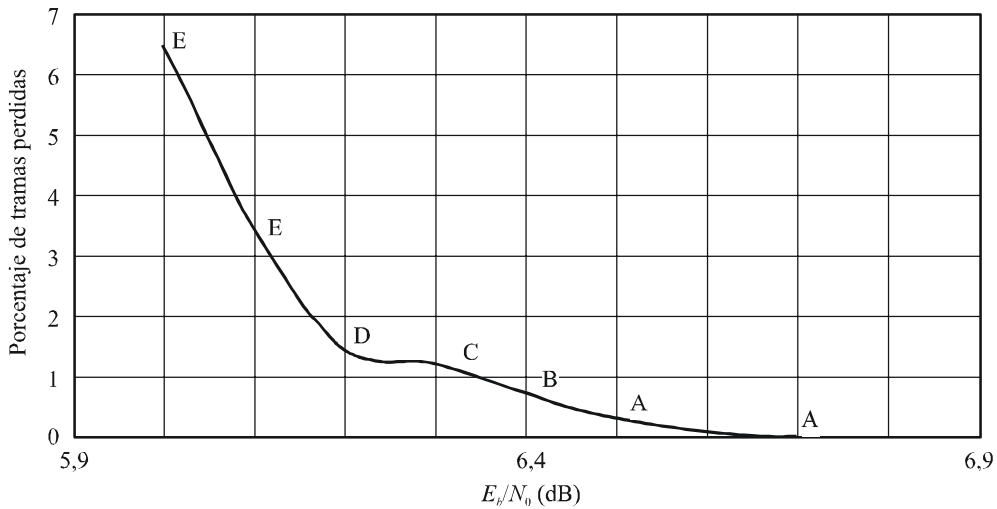
1522-05

Se realizó una medición subjetiva de la calidad de visualización a través de un monitor de televisión. Las mediciones subjetivas se indican mediante letras en las Figs. 5 y 6. El significado de dichas letras es:

- A: imagen clara
- B: saltos ocasionales o bloques con errores en la imagen
- C: saltos frecuentes o bloques con errores en la imagen
- D: la imagen es aún visible
- E: la imagen no se puede ver.

FIGURA 6

Porcentaje de tramas de vídeo perdidas en función de E_b/N_0 para el receptor de vídeo con codificación de índice 7/8



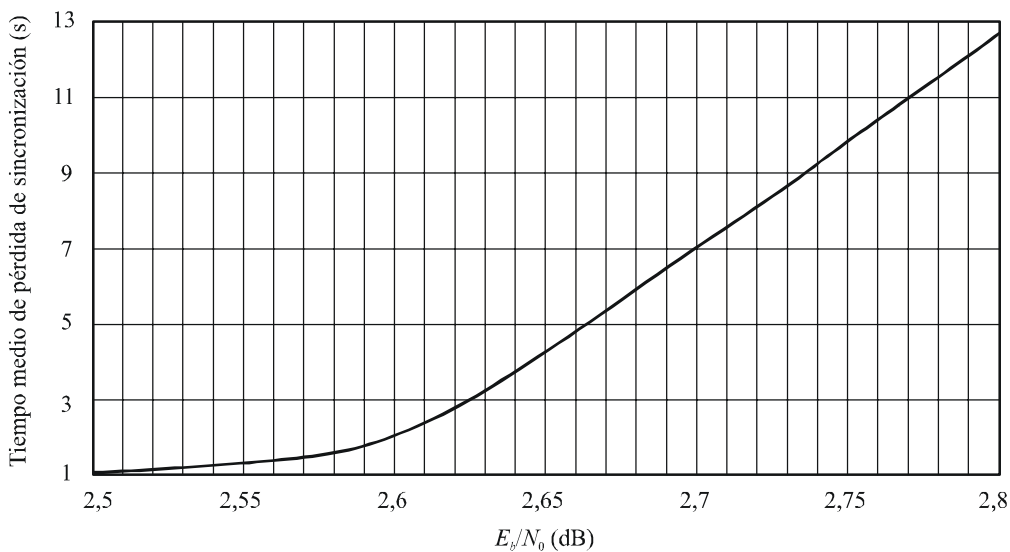
1522-06

4.1.2 Tiempo medio de pérdida de sincronización

Se investigó el tiempo medio de pérdida de sincronización para E_b/N_0 por debajo del 6% de velocidad de pérdida de trama. Las Figs. 7 y 8 muestran el tiempo medio de pérdida de sincronización para los códigos con índice 1/2 y 7/8, respectivamente. Estas mediciones se realizaron permitiendo que el receptor de sincronización se enganche con un valor de E_b/N_0 elevado, y luego se redujo la relación E_b/N_0 al valor de prueba y se registró el tiempo utilizado para perder la sincronización. Las mediciones de tiempo se realizaron observando el reloj. Se promediaron unas diez mediciones para cada E_b/N_0 .

FIGURA 7

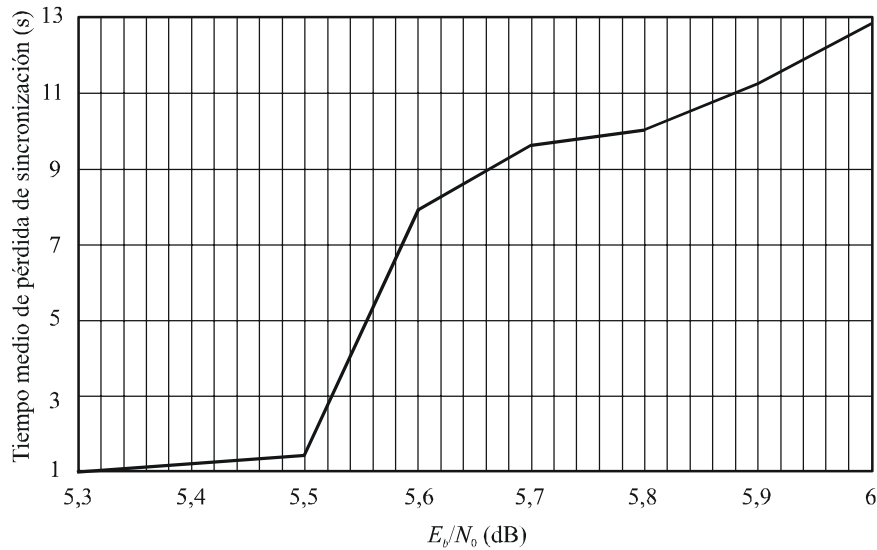
Tiempo medio de pérdida de sincronización en función de la relación E_b/N_0 para el receptor de vídeo con codificación de índice 1/2



1522-07

FIGURA 8

Tiempo medio de pérdida de sincronización en función de la relación E_b/N_0 para el receptor de vídeo modelo con codificación de índice 7/8



1522-08

Por debajo de cierto valor de E_b/N_0 el receptor siempre parece perder la sincronización en aproximadamente 1 s. Habida cuenta de que la interferencia procedente del sistema no OSG se producirá en cortas ráfagas (en el orden de los segundos) este valor de E_b/N_0 es crítico. Para el sistema codificado de índice 1/2 la relación E_b/N_0 es de 2,5 dB y para el sistema codificado de índice 7/8 E_b/N_0 es de 5,3 dB. En relación con una BER de 1×10^{-10} esto corresponde a un margen de 2,2 dB tanto para los códigos de índice 1/2 como para los de 7/8.

4.1.3 Readquisición

Para el receptor sometido a prueba existen dos gamas de búsqueda para la sincronización de la portadora. La adquisición inicial emplea un modo de investigación amplio que realiza la búsqueda en una gama de $\pm 1,5$ MHz. La readquisición normal emplea un modo de búsqueda limitado en una gama de ± 140 kHz en torno a la frecuencia a la que estuvo sincronizado en último lugar. El receptor se ceñirá al modo de búsqueda limitado durante 5 min aproximadamente y, si la portadora no es adquirida, pasará al modo de búsqueda amplio.

Puesto que se espera que las interferencias no OSG sólo produzcan ráfagas de corto plazo se puede suponer que mientras se utilice el modo búsqueda limitado se conseguirá la readquisición de la portadora. La medición del tiempo indica que la readquisición en el modo de búsqueda limitado dura aproximadamente 4 s. La búsqueda de la portadora sólo debería constituir una porción de este tiempo puesto que la búsqueda empieza en una frecuencia en la que se ha perdido la sincronización. Gran parte del tiempo empleado para conseguir esta readquisición para el receptor implica una nueva inicialización de la programación interna.

Un modelo más avanzado del receptor de vídeo digital probado promete una calidad de funcionamiento ligeramente superior a la versión probada. Sin embargo, este receptor cuenta con un retardo adicional incorporado de 4 s antes que comience el proceso de readquisición.

4.1.4 Recuperación de las ráfagas de interferencia

Esta prueba es similar a la del tiempo medio de la pérdida de sincronización descrita en el § 4.1.2 y caracteriza mejor las repercusiones de una ráfaga de errores. Las ráfagas de interferencia se simularon haciendo funcionar el receptor sin ruido e introduciendo a continuación una ráfaga de ruido en el canal durante un tiempo breve. La ráfaga de ruido se vio forzada a tener una relación $E_b/N_0 = 2,5$ dB para el canal codificado de índice 1/2 y $E_b/N_0 = 5,3$ dB para el canal codificado de índice 7/8 durante un tiempo controlado de $\pm 0,25$ s. Los resultados de esta prueba figuran en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Calidad de funcionamiento del receptor después de ser perturbado por una ráfaga de ruido

Índice	Nivel de transición E_b/N_0 (dB)	Duración de la interferencia (s)	Pérdida de sincronización	Tramas perdidas (%)
7/8	5,3	1	No	8,5
7/8	5,3	2	Sí	–
1/2	2,5	0,5	No	4,0
1/2	2,5	1	No	12
1/2	2,5	2	Sí	–

Esta prueba indica que es necesaria una duración de ráfagas de aproximadamente 2 s para hacer que el receptor pierda la sincronización a la vez que, de conformidad con el § 4.1.2, el tiempo medio de pérdida de sincronización se produce solamente en 1 s, para la misma relación E_b/N_0 . Aparentemente, es necesario una E_b/N_0 inferior de más de 1 s para esperar a que el canal se recupere.

5 Conclusiones

Las mediciones de calidad de funcionamiento realizadas en este receptor demuestran un margen para la pérdida de sincronización, comparado con una BER de 1×10^{-10} , de 2,2 dB. Es necesario una ráfaga de interferencia de 2 s aproximadamente para que se produzca una pérdida de sincronización y el periodo de readquisición del receptor es de 4 s a partir del término de la interferencia. Si se supone que se ha puesto en servicio un canal de satélite con márgenes que protegerán su utilización a un umbral BER de 1×10^{-10} , un receptor del tipo sometido a prueba instalado en el circuito perdería la sincronización si dicho margen rebasara 2,2 dB durante un periodo de 1 a 2 s. Si asimismo se supone que los niveles operacionales se recuperan después de la pérdida de sincronización, las siguientes funciones del receptor volverían a adquirirse en un periodo entre 4 y 8 s.

Anexo 3

Repercusiones de los eventos de interferencia en la disponibilidad de servicio

1 Introducción y objetivo

La disponibilidad de servicio para un enlace en una red OSG se ve afectada por la combinación de fenómenos atmosféricos, de equipo y de interferencia además del tiempo de recuperación de la pérdida de sincronización. Este análisis demuestra que allí donde el tiempo de recuperación de la sincronización constituye un factor que se debe considerar, la disponibilidad de servicio (definida posteriormente) de una red OSG disminuye en proporción inversa al número de sucesos relativos a la propagación, el equipo y la interferencia que producen la pérdida de sincronización, incluso si el compuesto total de tiempo de enlace indisponible permanece constante, por ejemplo muchos sucesos de interferencia breves son más perjudiciales que pocos sucesos de larga duración.

2 Definiciones

La Recomendación UIT-R S.579 define la disponibilidad para un circuito ficticio de referencia (CFR) y un TDFR del SFS. Los *considerandos* d) y e) de la Recomendación UIT-R S.579 afirman que la disponibilidad viene determinada por los efectos combinados de la disponibilidad de equipo y la debida a la propagación; y el *recomienda* 4 indica que la indisponibilidad también debería tener en cuenta el tiempo de recuperación del equipo. La Recomendación UIT-R S.579 define la «disponibilidad» y la «indisponibilidad» del circuito de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = (100 - \text{Indisponibilidad}) \quad \% \quad (2)$$

donde:

$$\text{Indisponibilidad} = (\text{tiempo indisponible} / \text{tiempo requerido}) \times 100 \quad \% \quad (3)$$

y «tiempo requerido» se define como el periodo de tiempo durante el cual el usuario requiere que el circuito o el «trayecto digital» esté en condiciones de llevar a cabo la función requerida, y el tiempo indisponible es el tiempo acumulado de las interrupciones del circuito o del trayecto digital durante el tiempo requerido.

Este análisis tiene en cuenta los efectos del «tiempo de recuperación de sincronización» como una función de la duración del suceso individual cuando se supone que el total de todos los tiempos de suceso son constantes a lo largo de un periodo de tiempo de un año. Los análisis y ejemplos numéricos se presentan todos en una base «por año». Los análisis demuestran que muchos eventos de corta duración que producen indisponibilidad suelen tener una mayor repercusión sobre el funcionamiento, en un periodo de tiempo más largo, que unos pocos eventos de larga duración durante este mismo periodo de tiempo más largo. Es necesario realizar más estudios para determinar qué periodos de tiempo deberían seleccionarse para la evaluación.

3 Disponibilidad y requisitos de usuario

La Recomendación UIT-R S.579 se refiere a la disponibilidad del requisito de usuario de llevar a cabo una función. Dichas funciones tales como las referidas a las pérdidas de sincronización exigirán más tiempo que el restablecimiento del valor adecuado de la relación C/N para restablecer la capacidad funcional deseada.

En tales enlaces, el restablecimiento de la relación C/N correspondiente viene seguido de la readquisición de la sincronización, del restablecimiento de la funcionalidad del enlace y de la readquisición de las funciones de usuario.

A los efectos del presente análisis se consideró útil distinguir entre la disponibilidad de enlace y la disponibilidad de servicio del usuario de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad de enlace} = \text{porcentaje de tiempo durante el cual se dispone del producto receptor/demodulador} \quad (4a)$$

$$\text{Disponibilidad de servicio de usuario} = \text{porcentaje de tiempo durante el cual se dispone de la sincronización binaria y de la función de usuario} \quad (4b)$$

Habida cuenta de que la disponibilidad de servicio de usuario depende de la disponibilidad de enlace, el primero nunca puede ser mayor que el segundo.

Asimismo de lo antedicho se deduce que la «indisponibilidad de enlace» y la «indisponibilidad de servicio de usuario» son iguales a 100 menos los valores citados en las ecuaciones (4a) y (4b) respectivamente.

Se enumeran a continuación algunas aplicaciones de equipo, fuera del receptor/demodulador y del sincronizador binario, que son sensibles a la pérdida de sincronización y que exigen restablecimiento. El tiempo para realizar dichas acciones degradará la disponibilidad de servicio de usuario relativa a la disponibilidad de enlace. Estas acciones comprenden:

- sincronización de tramas;
- sincronización de seguridad;
- sincronización de intercaladores;
- sincronización de decodificador de corrección de errores;
- reinicialización de los protocolos de transmisión;
- inicialización de terminal de usuario.

Otras funciones de usuario que suelen depender de otros enlaces (tales como volver a marcar) pero que pueden verse afectadas por la pérdida de sincronización, no se consideran en este momento.

4 Análisis

4.1 Duración del evento y número de eventos por año

La disponibilidad de un enlace suele definirse en términos de porcentajes de tiempo durante los cuales no se pueden exceder límites específicos.

En virtud de ello si:

p : fracción de tiempo en la que se excede el límite, y

$p = 1 - 0,01 \times \text{porcentaje de tiempo disponible}$, y si

N : número de eventos por año que producen indisponibilidad, y

D : duración media de cada evento (s),

entonces:

$$N \times D = p \times 3,1536 \times 10^7 \text{ segundo indisponible por año} \quad (5)$$

donde:

$3,1536 \times 10^7$: cantidad de segundos en 365 días.

Así, por ejemplo, la disponibilidad del 99%, 99,9% y 99,99% suelen ser requisitos solicitados para los enlaces de redes por satélite. La elección de dichos requisitos de calidad de funcionamiento viene dictada por muchos factores entre los que se cuenta el costo, las bandas de frecuencias aplicadas, los límites de la tecnología y la necesidad de servicios específicos. Para los tres casos considerados:

$$p = 10^{-2}, 10^{-3} \text{ y } 10^{-4}, \text{ y}$$

el tiempo indisponible en segundos por año viene determinado por la ecuación (5) de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} N \times D &= 315\,360 \text{ s} && \text{indisponibles para una red disponible el 99\%,} \\ &= 31\,536 \text{ s} && \text{indisponibles para una red disponible el 99,9\%, y} \\ &= 3\,153,6 \text{ s} && \text{indisponibles para una red disponible el 99,99\%.} \end{aligned}$$

La información experimental (véase el Anexo 1) indica que los eventos de interferencia de nivel suficientemente superior de 1 s o más podrían producir una pérdida de sincronización de las funciones de servicio común aplicadas a los enlaces por satélite. Si se tiene en cuenta que todo el presupuesto de indisponibilidad se utiliza para los eventos de interferencia y que todos dichos eventos tenían una duración de 1 s, entonces cada enlace podría experimentar hasta:

$$\begin{aligned} 315\,360 &&& \text{interrupciones por año para el enlace del 99\%,} \\ 31\,536 &&& \text{interrupciones por año para el enlace del 99,9\%, y} \\ 3\,153,6 &&& \text{interrupciones por año para el enlace del 99,99\%.} \end{aligned}$$

Para cada evento que produzca una pérdida de sincronización, se necesita un tiempo de recuperación de R segundos para cada evento, después de que el margen de la C/N del enlace adecuado se restablezca durante S segundos. La indisponibilidad de los sistemas para dicho circuito aumentaría en $N(R + S)$ por año: donde N es igual al número de eventos de interrupción anuales que producen una pérdida de sincronización hasta los niveles máximos arriba indicados.

De lo antedicho se deduce que:

$$\text{Indisponibilidad de servicio} = \text{Indisponibilidad de enlace} + N(R + S);$$

y

$$\text{Disponibilidad de servicio \%} = (100 - (\text{Indisponibilidad de enlace} + N(R + S))) \quad \%$$

Si se emplean las ecuaciones descritas, se realiza un cálculo modelo en los enlaces diseñados para contar con una disponibilidad del 99%, 99,9% y 99,99%. Los Cuadros 5, 6 y 7 ilustran los efectos calculados del tiempo de recuperación de sincronización en la disponibilidad de servicio para los tres ejemplos de disponibilidad de enlace citados. En todos estos ejemplos se supone que:

$$\text{Tiempo de recuperación, } R = 10 \text{ s, y}$$

$$\text{Tiempo de recuperación, } S = 1 \text{ s.}$$

Las Figs. 9, 10 y 11 proporcionan una ilustración gráfica de los resultados calculados.

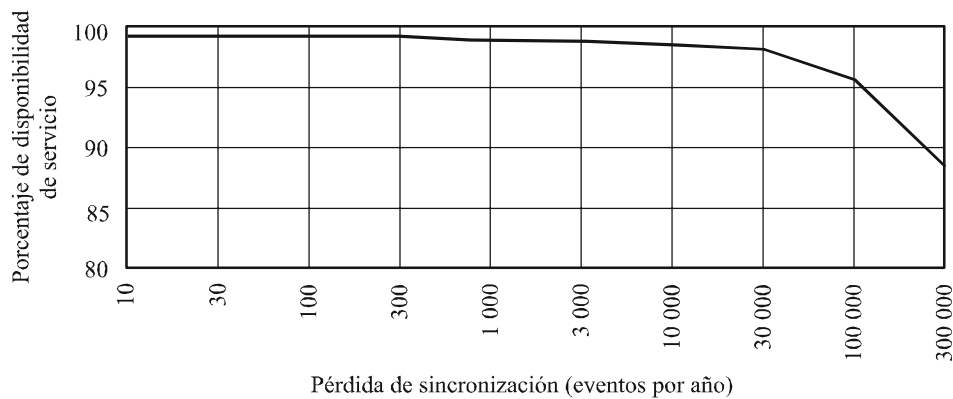
CUADRO 5

Disponibilidad de enlace del 99%

Número de eventos N de pérdida de sincronización	Duración del evento D (s)	Tiempo de recuperación $N(R + S)$ (s)	Tiempo de indisponibilidad de servicio (s)	Porcentaje de disponibilidad de servicio
10	31 536	110	315 470	98,999
30	10 512	330	315 690	98,998
100	3 153,6	1 100	316 460	98,996
300	1 051,2	3 300	318 860	98,989
1 000	315,36	11 000	326 360	98,965
3 000	105,12	33 000	348 360	98,895
10 000	31,536	110 000	425 360	98,651
30 000	10,512	330 000	645 360	97,954
100 000	3,1536	1 100 000	1 415 360	95,512
300 000	1,0512	3 300 000	3 615 360	88,536

FIGURA 9

Repercusiones de la recuperación de sincronización en una disponibilidad de enlace del 99%



1522-09

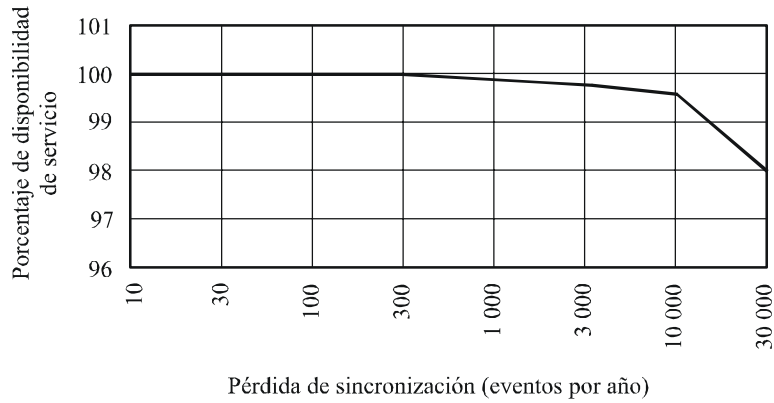
CUADRO 6

Disponibilidad del enlace del 99,9%

Número de eventos N de pérdida de sincronización	Duración del evento D (s)	Tiempo de recuperación $N(R + S)$ (s)	Tiempo de indisponibilidad de servicio (s)	Porcentaje de disponibilidad de servicio
10	31 536	110	31 464	99,899
30	10 512	330	31 866	99,898
100	3 153,6	1 100	32 636	99,896
300	1 051,2	3 300	34 836	99,889
1 000	315,36	11 000	42 536	99,865
3 000	105,12	33 000	64 536	99,795
10 000	31,536	110 000	141 536	99,551
30 000	10,512	330 000	645 360	97,953

FIGURA 10

Repercusiones de la recuperación de la sincronización sobre la disponibilidad de enlace del 99,9%



1522-10

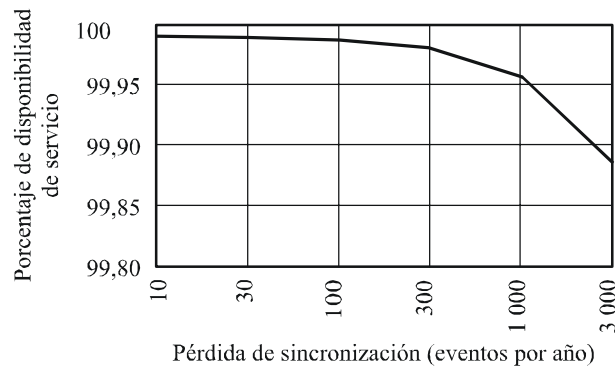
CUADRO 7

Disponibilidad del enlace del 99,99%

Número de eventos N de pérdida de sincronización	Duración del evento D (s)	Tiempo de recuperación $N(R + S)$ (s)	Tiempo de indisponibilidad de servicio (s)	Porcentaje de disponibilidad de servicio
10	31 536	110	3 263,6	99,989
30	10 512	330	3 483,6	99,986
100	3 153,6	1 100	4 253,6	99,896
300	1 051,2	3 300	6 453,6	99,979
1 000	315,36	11 000	14 153,6	99,955
3 000	105,12	33 000	36 153,6	99,885

FIGURA 11

Repercusiones de la recuperación de la sincronización en una disponibilidad de enlace del 99,99%



1522-11

5 Consideraciones

El análisis de los Cuadros 5 a 7 y de las Figs. 9 a 11 indica que la recuperación de la pérdida de sincronización afecta la disponibilidad de las aplicaciones del servicio en proporción a la frecuencia de la pérdida de sincronización incluso cuando la calidad de la disponibilidad de enlaces se mantiene. Por consiguiente, parece que el control de los eventos que causan la pérdida de sincronización es importante y que se garantiza un nuevo estudio para caracterizar dichos eventos. Los estudios sobre degradaciones pasadas suelen versar sobre las anomalías de propagación que en la mayoría de casos han tenido que ver con el tiempo de ocurrencia total transcurrido de las degradaciones de transmisión y han presentado sus resultados en forma de distribución acumulativa. Otros estudios de interferencia suelen tener relación con los niveles de interferencia causativos de orden relativamente estable. Es importante señalar que el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones permite que la densidad de flujo de potencia equivalente provisional limite la órbita de los satélites no OSG en ciertas bandas de frecuencias del SFS. La caracterización de la interferencia procedente de fuentes de interferencia no OSG debería considerar el entorno de la interferencia que derivará de la naturaleza repetitiva de las órbitas no OSG. De la mecánica de las órbitas de un satélite no OSG de baja altitud única puede inferirse que dichas consideraciones son importantes. Puede demostrarse que un solo satélite de baja altura se puede implantar para funcionar en una órbita que pasará por el mismo punto en la superficie de la Tierra a razón de 1 000 veces por año. Si se considera que múltiples sistemas de satélites no OSG compartirán el espectro con redes del SFS OSG, existe preocupación de que las repercusiones de la naturaleza repetitiva de dichas fuentes de interferencia no pueda determinarse aún y que deban efectuarse ulteriores estudios con el fin de evitar la pérdida de sincronización en los enlaces del SFS OSG.

6 Conclusiones

Los requisitos de los tiempos de recuperación del servicio en las redes OSG deberían tenerse en cuenta al establecer la confianza en la red durante el diseño de los enlaces. Un análisis ha demostrado que el tiempo de recuperación, después de un periodo de indisponibilidad producido por un evento, tiene una repercusión en la disponibilidad del servicio de un circuito OSG. Dicho análisis también demuestra que habida cuenta de la constante indisponibilidad de enlace, la disponibilidad de servicio de un circuito OSG disminuye a medida que la frecuencia de los eventos que producen la pérdida de sincronización aumentan. Si bien se reconoce que la distribución de la indisponibilidad a lo largo de un año es importante, la consideración de las repercusiones de periodos de tiempo más cortos, tal vez sean objeto de ulterior estudio.

Anexo 4

Criterios para la determinación del umbral para la pérdida de sincronización

La pérdida de sincronización de una portadora digital está relacionada con el nivel $C/(N+I)$ que es función de la interferencia, del funcionamiento del soporte lógico de una estación terrena, del margen de enlace de satélite y de la lluvia y de las interferencias de sol.

Los valores $C/(N+I)$ dados en el Cuadro 8 son un resumen de varias pruebas llevadas a cabo en portadoras digitales a diversas velocidades binarias y con distintas codificaciones de error para determinar los valores $C/(N+I)$ que harían que el demodulador/decodificador perdiera sincronización y el tiempo para recuperarse de una ráfaga de ruido correspondiente a una interferencia que podría producirse en un sistema de satélite no OSG del SFS.

Los valores que figuran en el Cuadro 8 se obtienen a partir de un número de mediciones de programas limitado (cinco).

CUADRO 8
Resultados de las mediciones para los umbrales de pérdida de sincronización y tiempo de recuperación

Modulación y codificación	Velocidad binaria	$C/(N+I)$ (dB)	Tiempo de recuperación (s)
MDP-4 de índice FEC 1/2	64 kbit/s	1,7-3,1	9-40
	2 Mbit/s	3,4-3,6	1,7-4,5
MDP-4 de índice FEC 3/4	64 kbit/s	3,4-4,2	8,6-19,8
	2 Mbit/s	3,1-4,2	1,9-6
	8 Mbit/s	3,9-5,6	4-9,3
	34 Mbit/s	4,1-4,5	1,8-2,3
MDP-8 de índice FEC 2/3 + TCM	2 Mbit/s	7,9	2,6-3,1
	8 Mbit/s	7,6-7,8	9,1
	34 Mbit/s	7,8-7,9	1,7-4

TCM: modulación con código reticular.

Los valores mencionados de $C/(N+I)$ aumentarían en 0,5 dB aproximadamente para tener en cuenta las contribuciones no lineales del satélite en el enlace del satélite actual.

A partir del conjunto de mediciones mencionado en el Cuadro 8 para los umbrales de pérdida de sincronización para los sistemas con velocidad de transmisión de datos inferior a 34 Mbit/s se acuerda que las $C/(N+I)$ del Cuadro 9 son representativas del umbral de pérdida de sincronización para las portadoras indicadas:

CUADRO 9

Modulación y codificación	$C/(N+I)$ (dB)
MDP-4 de índice 1/2	3,5
MDP-4 de índice 3/4	5,3
MDP-4 de índice 7/8	6,0
MDP-8	8,1
MAQ-16	11,0

En todos los otros casos y en particular cuando los objetivos de calidad se especifican con valores inferiores a los arriba citados, se supone que el umbral para la pérdida de sincronización es 1 dB inferior al objetivo de calidad degradado.

En los tiempos de recuperación de los resultados de las pruebas citadas se encontró una gran variedad. Para esta Recomendación, se proponen tiempos de recuperación máximos puesto que deberían llevarse a cabo pruebas provisionales y ulteriores antes de poder suponer los valores típicos más bajos.
