

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.1605**  
(02/2003)

**Estimación de la característica de error  
y la disponibilidad de los sistemas  
inalámbricos fijos terrenales de  
la jerarquía digital síncrona**

**Serie F**  
**Servicio fijo**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	<b>Servicio fijo</b>
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1605\*

**Estimación de la característica de error y la disponibilidad de los sistemas inalámbricos fijos terrenales de la jerarquía digital síncrona**

(2003)

**Cometido**

En esta Recomendación se facilitan métodos de predicción de la característica de error para los radioenlaces (trayectos y secciones) de los sistemas inalámbricos fijos terrenales de la jerarquía digital síncrona (SDH) con capacidades en modo de transferencia síncrono (STM) de 51 Mbit/s (STM-0) a 622 Mbit/s (STM-4). Los métodos de predicción se basan en la relación entre la proporción de bits erróneos (BER) y los parámetros SDH, obtenida de manera teórica y basada en los bloques con errores (EB). Los métodos tienen en cuenta las características del sistema, como por ejemplo las ráfagas de errores, junto con los parámetros necesarios para predecir la duración de la interrupción basándose en diferentes valores umbrales de la BER.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los sistemas de la jerarquía digital síncrona (SDH) y de la jerarquía digital plesiócrona (PDH) desempeñan un papel importante en los actuales sistemas inalámbricos fijos;
- b) que se necesitan métodos adecuados de planificación de trayectos y de diseño de sistemas para minimizar la degradación del funcionamiento de los sistemas radioeléctricos fijos debida a efectos de propagación,

*reconociendo*

- a) que en la Recomendación UIT-R F.1668 se establecieron los objetivos de características de error para conexiones reales;
- b) que en la Recomendación UIT-R F.1703 se establecieron los objetivos de disponibilidad para conexiones reales;
- c) que en la Recomendación UIT-R P.530 se describen métodos que permiten predecir los parámetros de propagación que influyen en la planificación de sistemas terrenales con visibilidad directa,

*recomienda*

- 1** que se adopten los métodos de predicción de la característica de error para los radioenlaces JDS (trayectos y secciones) que se describen en el Anexo 1 a esta Recomendación para la planificación de sistemas terrenales con visibilidad directa en las respectivas gamas de parámetros indicadas.

---

\* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2009 de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

## Anexo 1

### Predicción de la característica de error y de la disponibilidad en radioenlaces con visibilidad directa de la jerarquía digital síncrona

#### 1 Introducción

Actualmente, las redes de la jerarquía digital síncrona (SDH) (en el UIT-R, JDS), o las redes ópticas síncronas (SONET), admiten sistemas de radioenlaces con capacidades en modo de transferencia síncrono (STM) de 51 Mbit/s (STM-0) a 622 Mbit/s (STM-4). Los objetivos de característica de error y de disponibilidad para las redes SDH se definen en Normas y Recomendaciones internacionales. Estos objetivos son independientes del medio, y se han de cumplir siempre que la red tenga una parte radioeléctrica.

Los métodos de predicción que se describen en este Anexo se basan en la relación entre la proporción de bits erróneos (BER) y los parámetros SDH, obtenida de manera teórica y basada en los bloques con errores (EB). Los métodos tienen en cuenta las características del sistema, como por ejemplo las ráfagas de errores, junto con los parámetros necesarios para predecir la duración de la interrupción basándose en diferentes valores umbrales de la BER. En esta Recomendación, el término «interrupción» se define como la probabilidad de que la BER sea mayor que un determinado umbral. Cabe señalar que la intensidad de la interrupción, definida en el § 2.1, es un parámetro bien distinto.

#### 2 Objetivos de característica de error y de disponibilidad

En las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T G.827 se establecen, respectivamente, los objetivos de la característica de error y de la disponibilidad. Dado que en estas Recomendaciones se indican los objetivos de extremo a extremo, se necesitan otras Recomendaciones que traten de los radioenlaces reales. Para distribuir los márgenes entre cada uno de los trayectos con las longitudes de salto reales, la frecuencia radioeléctrica de funcionamiento, etc., se han publicado una serie de Recomendaciones adicionales en las que se tratan los radioenlaces como elementos de la red SDH.

##### 2.1 Parámetros de la característica de error y de la disponibilidad

En las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T G.828 se definen un conjunto de sucesos y parámetros de característica de error basados en bloques consagrados a la supervisión en servicio de la característica de error de los trayectos SDH (véase la Nota 1). Un bloque con errores contiene uno o más bits erróneos. Un segundo con errores (ES, *errored second*) se produce cuando hay EB o cuando aparece al menos un defecto, por ejemplo una pérdida de puntero (LoP, *loss of pointer*), durante un periodo de 1s. Un segundo con muchos errores (SES, *severely errored second*) se produce cuando hay un 30% o más de EB o un defecto. El SES es un subconjunto del ES. Errores de bloque de fondo (BBE, *background block error*) es un EB que no forma parte de un SES. Los parámetros de característica de error definidos son la tasa de segundos con muchos errores (SESR, *severely errored second ratio*), la tasa de errores de bloque de fondo (BBER, *background block error ratio*) y la tasa de segundos con errores (ESR, *errored second ratio*).

Cada sentido de un trayecto puede estar en uno de los estados siguientes: tiempo disponible o tiempo no disponible. Los criterios que determinan la transición entre los dos estados son los siguientes: el periodo de tiempo no disponible empieza cuando se producen 10 sucesos SES consecutivos. La duración de estos 10 s se considera parte del tiempo no disponible. El nuevo periodo de tiempo disponible empieza cuando se producen 10 s sin SES consecutivos. La duración

de estos 10 s se considera parte del tiempo disponible. Un trayecto está disponible si y sólo si ambos sentidos están disponibles.

Los parámetros de disponibilidad definidos son: la tasa de disponibilidad ( $AR$ , *availability ratio*) y el tiempo medio entre interrupciones del trayecto digital ( $Mo$ ). El complementario de la  $AR$  es la tasa de indisponibilidad (*unavailability ratio*,  $UR$ ). Es decir,  $AR + UR = 1$ . El recíproco del  $Mo$  se define como la intensidad de interrupción ( $OI$ , *outage intensity*). Por consiguiente,  $OI = 1/Mo$ .  $OI$  se considera el número de periodos indisponibles por año.

NOTA 1 – Un trayecto SDH es un camino que transporta una carga útil SDH, y la tara asociada, por la red de transporte de capas entre los equipos de terminación del trayecto. Los trayectos digitales pueden ser unidireccionales o bidireccionales y pueden comprender partes que son propiedad del cliente y partes que son propiedad del operador de la red (para más información véanse las Recomendaciones UIT-T G.803, UIT-T G.805 y UIT-T G.828).

En la Recomendación UIT-T G.829 se definen el tamaño del bloque y los sucesos de la característica de error para la sección múltiplex ( $MS$ ) SDH y la sección de regenerador ( $RS$ ) SDH. Los parámetros y objetivos de característica de error de  $MS$  y  $RS$  SDH para cada enlace inalámbrico fijo digital se definen en las Recomendaciones UIT-R de la serie F.

NOTA 2 – El umbral de 30% de EB para trayectos SDH se define en las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T G.828, mientras que el valor umbral para  $MS$  y  $RS$  SDH se define en la Recomendación UIT-T G.829.

## 2.2 Objetivos para los trayectos digitales inalámbricos fijos

Los objetivos de característica de error para trayectos digitales a velocidad primaria o superior (2 048 ó 1 544 Mbit/s) son distintos para las partes nacional e internacional. Los objetivos especificados deben satisfacerse todos los meses. El UIT-R ha adoptado objetivos para trayectos nacionales y para internacionales. La parte nacional se ha dividido en tres secciones: larga distancia, corta distancia y red de acceso. En la asignación de los objetivos de característica de error de las secciones de corta distancia y de acceso se deberá utilizar la asignación en bloques fijos en el intervalo de 7,5% a 8,5% de los objetivos de extremo a extremo. En la asignación de los objetivos de la sección de larga distancia deberá utilizarse una asignación basada en la distancia por 100 km y una asignación en bloques fijos en el intervalo de 1% a 2% de los objetivos de extremo a extremo. Para la distribución de estos objetivos en los enlaces inalámbricos fijos digitales reales que consten de uno o más saltos, se utilizará la Recomendación UIT-R F.1668 para las partes internacionales y nacionales.

Los objetivos de disponibilidad se definen en la Recomendación UIT-T G.827. Los objetivos de disponibilidad para los enlaces inalámbricos fijos digitales reales que consten de uno o más saltos y que formen parte de un trayecto SDH a la velocidad primaria o a una velocidad superior se definen en la Recomendación UIT-R F.1703 para las partes internacional y nacional.

## 3 Predicción de la característica de error y de la disponibilidad

La relación entre los parámetros de la característica de error y de la BER se calcula utilizando las distribuciones aleatoria (Poisson) y de ráfagas de errores (Neyman-A). Los sistemas radioeléctricos de transmisión modernos, los cuales incorporan mecanismos de modulación complejos, códigos de corrección de errores, ecualizadores, etc., suelen producir grupos o ráfagas de errores (véase la Nota 1). Los valores típicos para la modulación de alto nivel (por ejemplo, la modulación con código reticular de 128 (128-TCM)) son de 10 a 20 errores por ráfaga.

NOTA 1 – Una ráfaga de errores se define como una secuencia de errores que empieza y termina con un bit erróneo, de manera que el tiempo transcurrido entre dos errores es inferior a la memoria del sistema (por ejemplo, la longitud limitada del código convolucional, el tamaño del código para el código de bloques, etc.).

Los métodos de predicción SDH se basan en suposiciones teóricas que relacionan la BER, parámetro fundamental en los métodos de predicción existentes, con los sucesos de característica de error ES, SES y BBE. Puesto que los métodos se basan en la BER, abarcan automáticamente la atenuación debida a la lluvia y a la propagación por múltiples trayectos. A continuación se facilita información básica y procedimientos para el cálculo paso a paso.

Los métodos de predicción para la SDH también se pueden utilizar para la PDH seleccionando lo siguiente:

- utilizar la  $BER_{SES}$  que más se ajuste a la velocidad de transmisión (Mbit/s), por ejemplo VC-12 para una velocidad PDH de 2 Mbit/s;
- utilizar los valores  $BER_{SES}$  que figuran en el Cuadro 1 (aunque se están estudiando los valores  $BER_{SES}$  para la PDH, se prevé que no diferirán mucho de estos).

CUADRO 1

 **$BER_{SES}$  para diversos trayectos SDH y secciones MS**

Tipo de trayecto	Velocidad binaria soportada (Mbit/s)	$BER_{SES}^{(1), (2)}$	Bloques/s, $n^{(2)}$	Bits/bloque, $N_B^{(2)}$
VC-11	1,5	$5,4 \times 10^{-4} \alpha$	2 000	832
VC-12	2	$4,0 \times 10^{-4} \alpha$	2 000	1 120
VC-2	6	$1,3 \times 10^{-4} \alpha$	2 000	3 424
VC-3	34	$6,5 \times 10^{-5} \alpha$	8 000	6 120
VC-4	140	$2,1 \times 10^{-5} \alpha$	8 000	18 792
STM-1	155	$2,3 \times 10^{-5} \alpha$ $1,3 \times 10^{-5} \alpha + 2,2 \times 10^{-4}$	8 000 192 000	19 940 801

<sup>(1)</sup>  $\alpha = 1$ , indica una distribución Poisson de los errores.

<sup>(2)</sup> Los bloques/s se definen en las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T G.828 para trayectos SDH, y en la Recomendación UIT-T G.829 para secciones SDH. Algunos equipos STM-1 se pueden diseñar con 8 000 bloques/s (19 940 bits/bloque), pero los valores definidos en la Recomendación UIT-T G.829 para la velocidad y tamaño del bloque son, respectivamente, 192 000 bloques/s y 801 bits/bloque.

### 3.1 Predicción de la SESR

El procedimiento para predecir la SESR se basa en la relación entre el SES y la BER, mientras que los métodos para predecir interrupciones definidas por una determinada BER se describen en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530. En general la predicción de SESR se calcula mediante la expresión:

$$SESR = \int_{BER_A}^{BER_B} f_{SES}(x) g_{BER}(x) dx \quad (1)$$

donde:

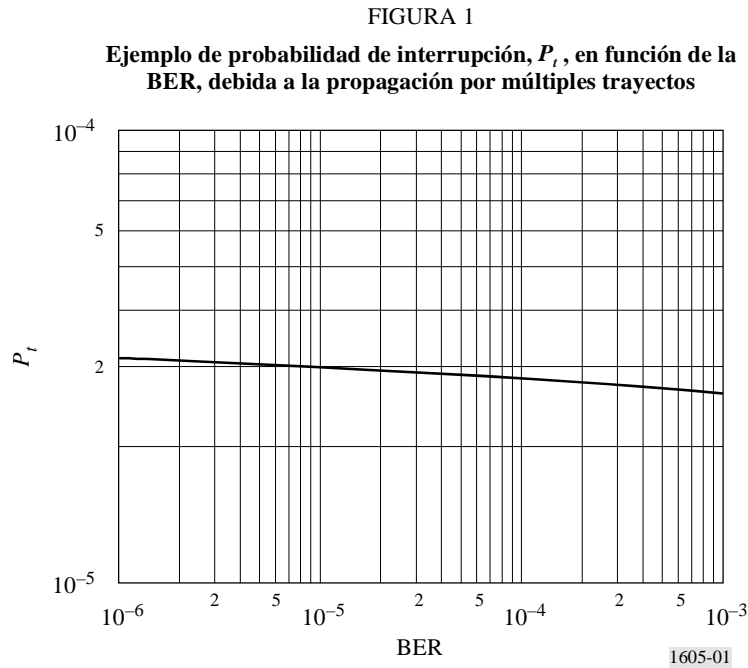
$f_{SES}(x)$ : relación entre el SES y la BER

$g_{BER}(x)$ : función de densidad de probabilidad de la BER

$BER_A$  y  $BER_B$ : límites de integración (los valores típicos son  $1 \times 10^{-9}$  y  $1 \times 10^{-3}$ ).

**3.1.1 Predicción de la SESR debida a efectos de propagación por múltiples trayectos**

El parámetro SESR viene dado por la ecuación (1) donde el segundo término es la función de densidad de probabilidad de la BER. En la propagación por múltiples trayectos, la BER está relacionada exclusivamente con la probabilidad de interrupción  $P_t$ , calculada por los métodos que se describen en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530. La probabilidad de interrupción  $P_t$  con respecto a la BER se puede calcular utilizando los métodos correspondientes al sistema de transmisión de que se trate (véase el ejemplo que muestra la Fig. 1). La función  $g_{BER}$  se calcula a partir de la figura correspondiente, de manera similar a la Fig. 1, es decir,  $g_{BER} = dP_t/d_{BER}$ .



En general, los valores de la probabilidad de interrupción se obtienen sólo para unos pocos valores de BER para los cuales se conoce la signatura y el umbral del equipo. Si se dispone de un conjunto ampliado de valores BER se puede obtener una curva más precisa.

El cálculo de la SESR se hace en dos etapas: en primer lugar se determina el número de SES debidos a EB, y en segundo lugar se calcula la parte correspondiente a la LoP, normalmente insignificante.

La curva de SES debido a EB se puede aproximar por una función escalón. El valor de BER, para el cual la probabilidad SES pasa de 0 a 1 se indica por  $BER_{SES}$ .

$$f_{SES}(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } BER < BER_{SES} \\ 1 & \text{para } BER \geq BER_{SES} \end{cases} \quad (2)$$

En el Cuadro 1 se muestra el valor de  $BER_{SES}$  normalizado a la media del número de errores por ráfaga,  $\alpha$  ( $\alpha = 1$  equivale a una distribución Poisson).

Para el caso de SES debido a EB, teniendo en cuenta la ecuación (2), la ecuación (1) se reduce a:

$$SESR = \int_{BER_A}^{BER_B} f_{SES}(x) g_{BER}(x) dx = P_t(BER_{SES}) \quad (3)$$

*Límite superior del SES debido a LoP*

Para calcular el límite superior,  $SESR_{LoPu}$ , se supone que la probabilidad de SES para valores de BER inferiores a  $BER_{SES}$  es constante. Entonces,

$$SESR_{LoPu} = P(SES | BER = BER_{SES}) (1 - P_t(BER_{SES})) \quad (4)$$

NOTA 1 – La contribución de LoP se ha determinado que es pequeña, por lo que puede despreciarse.

### 3.1.1.1 Procedimiento paso a paso para calcular la SESR debida a la propagación por múltiples trayectos

*Paso 1:* Calcular la probabilidad de interrupción  $P_{tSES}$  para  $BER = BER_{SES}$  del sistema correspondiente, utilizando para ello los métodos de predicción de interrupción que se describen en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

$$SESR = P_{tSES} = P_t(BER_{SES}) \quad (5)$$

donde  $BER_{SES}$  viene dada en el Cuadro 1.

### 3.1.2 Predicción de la SESR correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

La lluvia puede producir una gran atenuación. La mayor parte del  $X\%$  del tiempo en que la atenuación debida a la lluvia sobrepasa el umbral  $A_{SES}$ , se produce un estado de indisponibilidad. El tiempo restante,  $100 - X\% = Y\%$ , se considera como tiempo disponible en el que se producen SES. La división en tiempo disponible e indisponible se ha de determinar experimentalmente para cada región climática.

La obtención de la SESR debida a la lluvia implica calcular el margen de atenuación,  $A_{SES}$ , del radioenlace para una BER,  $BER_{SES}$ , en la que todos los segundos son SES. Seguidamente es posible calcular el porcentaje de tiempo en el mes más desfavorable en que la atenuación debida a la lluvia sobrepasa este margen, y finalmente calcular el correspondiente porcentaje de tiempo anual. El valor de la SESR debida a la lluvia será igual al  $Y\%$  de esta probabilidad.

#### 3.1.2.1 Procedimiento paso a paso para calcular la SESR correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

A continuación se describe el procedimiento paso a paso para calcular la SESR debida a la lluvia. Los parámetros de entrada son: frecuencia, longitud del salto, polarización, zona de lluvia, potencia de transmisión, ganancia de la antena transmisora, ganancia de la antena receptora, relación entre la potencia recibida y la BER, tipo de trayecto SDH y longitud de las ráfagas de errores.

*Paso 1:* Calcular la atenuación debida a la lluvia rebasada durante el 0,01% del tiempo,  $A_{0,01}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 2:* Calcular la potencia nominal recibida sin atenuación debida a la lluvia,  $P_{RXnominal}$ .

*Paso 3:* Utilizar la relación entre la potencia recibida y la BER (normalmente lo proporciona el fabricante del equipo) para calcular el valor de  $A_{SES}$ , que es el margen de atenuación del radioenlace para  $BER = BER_{SES}$  (véase el Cuadro 1).



*Paso 4:* Calcular el porcentaje de tiempo anual,  $p_{aSES}$ , en que la atenuación debida a la lluvia es mayor que  $A_{SES}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 5:* Expresar el porcentaje de tiempo anual  $p_{aSES}$ , como porcentaje del mes más desfavorable,  $p_{wSES}$ , utilizando para ello el método que se describe en la Recomendación UIT-R P.841.

*Paso 6:* Calcular SESR mediante la expresión:

$$SESR = Y(\%) P_{wSES} \quad (6)$$

donde  $P_{wSES}$  es la probabilidad del mes más desfavorable ( $P_{wSES} = p_{wSES}/100$ ).

NOTA 1 – El valor de  $X$  se está estudiando; por el momento se sugiere  $Y = 0\%$ , es decir, la atenuación debida a la lluvia da lugar a la indisponibilidad de  $P_{wSES}$  en el mes más desfavorable.

### 3.2 Predicción de la BBER

Para el caso de lluvia y propagación por múltiples trayectos, la BBER se calcula mediante la expresión:

$$BBER = \int_{BER_A}^{BER_B} f_{BBER}(x) g_{BER}(x) dx \quad (7)$$

donde:

$f_{BBER}(x)$ : relación entre el BBE y la BER;

$g_{BER}(x)$ : función de densidad de probabilidad de la BER

$BER_A$  y  $BER_B$ : límites de integración (los valores típicos son  $1 \times 10^{-12}$  y  $1 \times 10^{-3}$ ).

#### 3.2.1 Predicción de la BBER debida a la propagación por múltiples trayectos

Se pueden utilizar dos métodos: un método completo que se basa en la solución analítica de la integral de la ecuación (7), donde  $g_{BER}(x)$  se obtiene del modelo de predicción de interrupciones (la figura correspondiente, similar a la Fig. 1), y  $f_{BBER}(x)$  es la relación teórica para BBE debidos a una BER, o un método simplificado que se basa en hacer una aproximación de  $f_{BBER}(x)$  y de  $g_{BER}(x)$ .

##### 3.2.1.1 Procedimiento paso a paso para calcular la BBER debida a la propagación por múltiples trayectos

En este punto se describe un procedimiento paso a paso que está basado en el modelo de predicción simplificado.

*Paso 1:* Calcular la probabilidad de interrupciones,  $P_{tR}$ , para la BER residual (BER-R, en inglés: RBER) (normalmente entre  $1 \times 10^{-10}$  y  $1 \times 10^{-13}$  para velocidades binarias entre 2 y 155 Mbit/s, respectivamente), utilizando para ello los métodos de predicción de interrupciones que se describen en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530 para el sistema que corresponda:

$$P_{tR} = P_t(RBER) \quad (8)$$

*Paso 2:* Calcular la probabilidad de interrupciones para  $BER = BER_{SES}$  como en el Paso 1:

$$P_{tSES} = P_t(BER_{SES}) \quad (9)$$

donde la  $BER_{SES}$  viene dada en el Cuadro 1.

*Paso 3:* Calcular la SESR para la propagación por múltiples trayectos, como en el Paso 1 (véase el § 3.1.1.1):

$$SESR = P_{tSES} = P_t(BER_{SES}) \quad (10)$$

*Paso 4:* Calcular la BBER mediante la expresión:

$$BBER = SESR \frac{\alpha_1}{2,8 \alpha_2 (m - 1)} + \frac{N_B RBER}{\alpha_3} \quad (11)$$

donde:

- $\alpha_1 =$  10 a 30, número de errores por ráfaga cuando el valor de la BER está comprendido entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $BER_{SES}$
- $\alpha_2 =$  1 a 10, número de errores por ráfaga cuando el valor de la BER está entre  $BER_{SES}$  y RBER
- $\alpha_3 =$  1, número de errores por ráfaga cuando la BER sea menor que la RBER
- $N_B$ : número de bits/bloque (véase el Cuadro 1)
- $m$ : pendiente de la curva de distribución de la BER en una escala logarítmica doble cuando el valor de la BER esté comprendido entre  $BER_{SES}$  y RBER, dada por la expresión:

$$m = \left| \frac{\log_{10}(RBER) - \log_{10}(BER_{SES})}{\log_{10}(P_{tR}) - \log_{10}(P_{tSES})} \right| \quad (12)$$

### 3.2.2 Predicción de la BBER correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

El modelo de predicción de la BBER debida a la lluvia se basa en la relación entre el modelo de atenuación debida a la lluvia del UIT-R y la relación entre la potencia recibida y la BER del sistema de transmisión de que se trate.

#### 3.2.2.1 Procedimiento paso a paso para calcular la BBER correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

Los parámetros de entrada son: frecuencia, longitud del salto, polarización, zona de lluvia, potencia de transmisión, ganancia de la antena transmisora, ganancia de la antena receptora, relación entre la potencia recibida y la BER, tipo de trayecto SDH y longitud de las ráfagas de errores.

*Paso 1:* Calcular la atenuación debida a la lluvia rebasada durante el 0,01% del tiempo,  $A_{0,01}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 2:* Calcular la potencia nominal recibida sin atenuación debida a la lluvia,  $P_{RXnominal}$ .

*Paso 3:* Utilizar la relación entre la potencia recibida y la BER (normalmente lo proporciona el fabricante del equipo) para calcular el valor de  $A_{SES}$ , que es el margen de atenuación del radioenlace para  $BER = BER_{SES}$  (véase el Cuadro 1).

*Paso 4:* Calcular el porcentaje de tiempo anual,  $p_{aSES}$ , en que la atenuación debida a la lluvia es mayor que  $A_{SES}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 5:* Expresar el porcentaje de tiempo anual  $p_{aSES}$ , como porcentaje del mes más desfavorable,  $p_{wSES}$ , utilizando para ello el método que se describe en la Recomendación UIT-R P.841.

*Paso 6:* Utilizar la relación entre la potencia recibida y la BER (normalmente lo proporciona el fabricante del equipo) para calcular el valor de  $A_R$ , que es el margen de atenuación del radioenlace para RBER.

*Paso 7:* Calcular el porcentaje de tiempo anual,  $p_{aR}$ , en que la atenuación debida a la lluvia es mayor que  $A_R$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 8:* Expresar el porcentaje de tiempo anual  $p_{aR}$ , como porcentaje del mes más desfavorable,  $p_{wR}$ , utilizando para ello el método que se describe en la Recomendación UIT-R P.841.

*Paso 9:* Transformar los porcentajes del mes más desfavorable,  $p_{wSES}$ , y  $p_{wR}$ , en las correspondientes probabilidades,  $P_{wSES}$  y  $P_{wR}$ , donde: ( $P_{wSES} = p_{wSES} / 100$  y  $P_{wR} = p_{wR} / 100$ ).

*Paso 10:* Calcular la BBER mediante la expresión:

$$BBER = SESR \frac{\alpha_1}{2,8 \alpha_2 (m - 1)} + \frac{N_B RBER}{\alpha_3} \quad (13)$$

donde SESR se obtiene de la ecuación (6)

y

$\alpha_1 =$  1 a 30, número de errores por ráfaga cuando el valor de la BER está comprendido entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $BER_{SES}$

$\alpha_2 =$  1 a 20, número de errores por ráfaga cuando el valor de la BER está entre  $BER_{SES}$  y RBER, para  $\alpha_1 / \alpha_2 \leq 2$

$\alpha_3 =$  1, número de errores por ráfaga cuando la BER es igual o menor que la RBER

$N_B$ : número de bits/bloque (véase el Cuadro 1)

$m$ : pendiente de la curva de distribución de la BER en una escala logarítmica doble cuando el valor de la BER esté comprendido entre  $BER_{SES}$  y RBER, dada por la expresión:

$$m = \left| \frac{\log_{10}(RBER) - \log_{10}(BER_{SES})}{\log_{10}(P_{wR}) - \log_{10}(P_{wSES})} \right| \quad (14)$$

### 3.3 Predicción de la ESR

Para el caso de lluvia y propagación por múltiples trayectos, la ESR se calcula mediante la expresión:

$$ESR = \int_{BER_A}^{BER_B} f_{ESR}(x) g_{BER}(x) dx \quad (15)$$

donde:

$f_{ESR}(x)$ : relación entre ES y la BER;

$g_{BER}(x)$ : función de densidad de probabilidad de la BER

$BER_A$  y  $BER_B$ : límites de integración (los valores típicos son  $1 \times 10^{-12}$  y  $1 \times 10^{-3}$ ).

### 3.3.1 Predicción de la ESR debida a la propagación por múltiples trayectos

El método de predicción de la ESR se basa en hacer una aproximación de la integral de la ecuación (15).

#### 3.3.1.1 Procedimiento paso a paso para calcular la ESR debida a la propagación por múltiples trayectos

A continuación se describe el procedimiento paso a paso para calcular la ESR debida a la propagación por múltiples trayectos.

*Paso 1:* Calcular la probabilidad de interrupción  $P_{tR}$  para la RBER del sistema correspondiente, utilizando para ello los métodos de predicción de interrupción que se describen en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

$$P_{tR} = P_t(RBER) \quad (16)$$

*Paso 2:* Calcular la probabilidad de interrupciones para  $BER = BER_{SES}$  como en el Paso 1:

$$P_{tSES} = P_t(BER_{SES}) \quad (17)$$

donde la  $BER_{SES}$  viene dada en el Cuadro 1.

*Paso 3:* Calcular la SESR mediante la expresión:

$$SESR = P_{tSES} = P_t(BER_{SES}) \quad (18)$$

*Paso 4:* Calcular la ESR mediante la expresión:

$$ESR = SESR \sqrt[m]{n} + \frac{n N_B RBER}{\alpha_3} \quad (19)$$

donde:

$\alpha_3 = 1$ , número de errores por ráfaga cuando la BER sea menor que la RBER

$N_B$ : número de bits/bloque (véase el Cuadro 1)

$n$ : número de bloques/s (véase el Cuadro 1)

$m$ : pendiente de la curva de distribución de la BER en una escala logarítmica doble cuando el valor de la BER esté comprendido entre  $BER_{SES}$  y RBER, dada por la expresión:

$$m = \left| \frac{\log_{10}(RBER) - \log_{10}(BER_{SES})}{\log_{10}(P_{tR}) - \log_{10}(P_{tSES})} \right| \quad (20)$$

### 3.3.2 Predicción de la ESR correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

El modelo de predicción de la ESR debida a la lluvia se basa en la relación entre el modelo de atenuación debida a la lluvia del UIT-R y la relación entre la potencia recibida y la BER del sistema de transmisión de que se trate.

### 3.3.2.1 Procedimiento paso a paso para calcular la ESR correspondiente a la atenuación debida a la lluvia

Los parámetros de entrada son: frecuencia, longitud del salto, polarización, zona de lluvia, potencia de transmisión, ganancia de la antena transmisora, ganancia de la antena receptora, relación entre la potencia recibida y la BER, tipo de trayecto SDH y longitud de las ráfagas de errores.

*Paso 1:* Calcular la atenuación debida a la lluvia rebasada durante el 0,01% del tiempo,  $A_{0,01}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 2:* Calcular la potencia nominal recibida sin atenuación debida a la lluvia,  $P_{RXnominal}$ .

*Paso 3:* Utilizar la relación entre la potencia recibida y la BER (normalmente lo proporciona el fabricante del equipo) para calcular el valor de  $A_{SES}$ , que es el margen de atenuación del radioenlace para  $BER = BER_{SES}$  (véase el Cuadro 1).

*Paso 4:* Calcular el porcentaje de tiempo anual,  $p_{aSES}$ , en que la atenuación debida a la lluvia es mayor que  $A_{SES}$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 5:* Expresar el porcentaje de tiempo anual  $p_{aSES}$ , como porcentaje del mes más desfavorable,  $p_{wSES}$ , utilizando para ello el método que se describe en la Recomendación UIT-R P.841.

*Paso 6:* Utilizar la relación entre la potencia recibida y la BER (normalmente lo proporciona el fabricante del equipo) para calcular el valor de  $A_R$ , que es el margen de atenuación del radioenlace para la RBER.

*Paso 7:* Calcular el porcentaje de tiempo anual,  $p_{aR}$ , en que la atenuación debida a la lluvia es mayor que  $A_R$ , utilizando el método que se describe en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.530.

*Paso 8:* Expresar el porcentaje de tiempo anual  $p_{aR}$ , como porcentaje del mes más desfavorable,  $p_{wR}$ , utilizando para ello el método que se describe en la Recomendación UIT-R P.841.

*Paso 9:* Transformar los porcentajes del mes más desfavorable,  $p_{wSES}$ , y  $p_{wR}$ , en las correspondientes probabilidades,  $P_{wSES}$  y  $P_{wR}$ , donde:

$$P_{wSES} = p_{wSES}/100 \text{ y } P_{wR} = p_{wR}/100$$

*Paso 10:* Calcular la ESR mediante la expresión:

$$ESR = SESR \sqrt[m]{n} + \frac{n N_B RBER}{\alpha_3} \quad (21)$$

donde  $SESR$  se obtiene mediante la ecuación (6)

y

$\alpha_3 = 1$ , número de errores por ráfaga cuando la BER sea menor que la RBER

$N_B$ : número de bits/bloque (véase el Cuadro 1)

$n$ : número de bloques/s (véase el Cuadro 1)

$m$ : pendiente de la curva de distribución de la BER en una escala logarítmica doble cuando el valor de la BER esté comprendido entre  $BER_{SES}$  y RBER, dada por la expresión:

$$m = \left| \frac{\log_{10}(RBER) - \log_{10}(BER_{SES})}{\log_{10}(P_{wR}) - \log_{10}(P_{wSES})} \right| \quad (22)$$

### 3.4 Predicción de la indisponibilidad debida a efectos de propagación por múltiples trayectos

Según la definición actual, la indisponibilidad se debe a periodos de SES largos. Un sistema radioeléctrico está en estado disponible o en estado indisponible. Cuando se encuentre en estado disponible y el periodo de SES dure más de 10 s consecutivos, pasará al estado indisponible y el periodo de SES contará como tiempo indisponible. Cuando el sistema esté en estado indisponible, el requisito para que pase al estado disponible es que haya un periodo de 10 s consecutivos sin SES. Supóngase ahora que el desvanecimiento debido a la lluvia es la única causa del tiempo de indisponibilidad. En este caso es sencillo calcular la indisponibilidad causada por la atenuación debida a la lluvia utilizando el método para la SESR debida a la lluvia (véanse los § 3.1.2 y 3.1.2.1).

Si  $Y=0\%$  (véase la Nota 1 en el § 3.1.2.1), entonces  $UR = P_{aSES}$  para la atenuación debida a la lluvia, donde  $P_{aSES} = p_{aSES} / 100$  (véase el Paso 4 en el § 3.1.2.1).

Es bien sabido que el desvanecimiento debido a la propagación por múltiples trayectos también contribuye a que se produzcan sucesos de indisponibilidad. Sin embargo, por ahora no existe un método aceptado de predicción de la indisponibilidad debida a la propagación por múltiples trayectos u otros efectos con cielo despejado.

---