

RECOMENDACIÓN UIT-R P.842-2*

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD Y LA COMPATIBILIDAD DE LOS SISTEMAS RADIOELÉCTRICOS EN ONDAS DECAMÉTRICAS

(Cuestión UIT-R 224/3)

(1992-1994-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la fiabilidad de un sistema radioeléctrico se define como la probabilidad de lograr una calidad requerida;
- b) que la fiabilidad es un índice de la calidad;
- c) que la compatibilidad es una medida de la degradación de la calidad de un sistema radioeléctrico causada por las interferencias;
- d) que las fiabilidades y compatibilidades previstas son útiles para la selección de las combinaciones preferidas de antena (y también para la optimización de su diseño, cuando sea necesario), de frecuencias y de las potencias necesarias en el transmisor a fin de lograr la calidad deseada,

recomienda

que en la planificación y el diseño de los sistemas radioeléctricos se utilicen los métodos indicados a continuación para calcular los diferentes tipos de fiabilidad y compatibilidad.

1 Introducción

Las fiabilidades examinadas en esta Recomendación se estructuran jerárquicamente, como se indica en la Fig. 1. Las fiabilidades básicas del circuito se examinan en los § 2 a 5 y 9, la fiabilidad global en el § 6, la fiabilidad en las redes en ondas decamétricas en el § 7, y la compatibilidad en el § 8. El cálculo de la fiabilidad básica del circuito (BCR) para los sistemas de modulación digital está descrito en el § 9.

En el Apéndice 1 se presentan las definiciones específicas de los distintos tipos de fiabilidad.

2 Datos para calcular la fiabilidad básica

El método de cálculo de la BCR se basa en los parámetros siguientes: mediana mensual de la potencia de la señal disponible en el receptor (Recomendación UIT-R P.533); medianas mensuales de las potencias del ruido atmosférico, artificial y galáctico (Recomendación UIT-R P.372); desviaciones del decilo superior e inferior con respecto a medianas mensuales de las potencias de la señal y del ruido – a largo plazo (de un día a otro) y a corto plazo (en la hora); relación señal/ruido requerida (Recomendación UIT-R F.339).

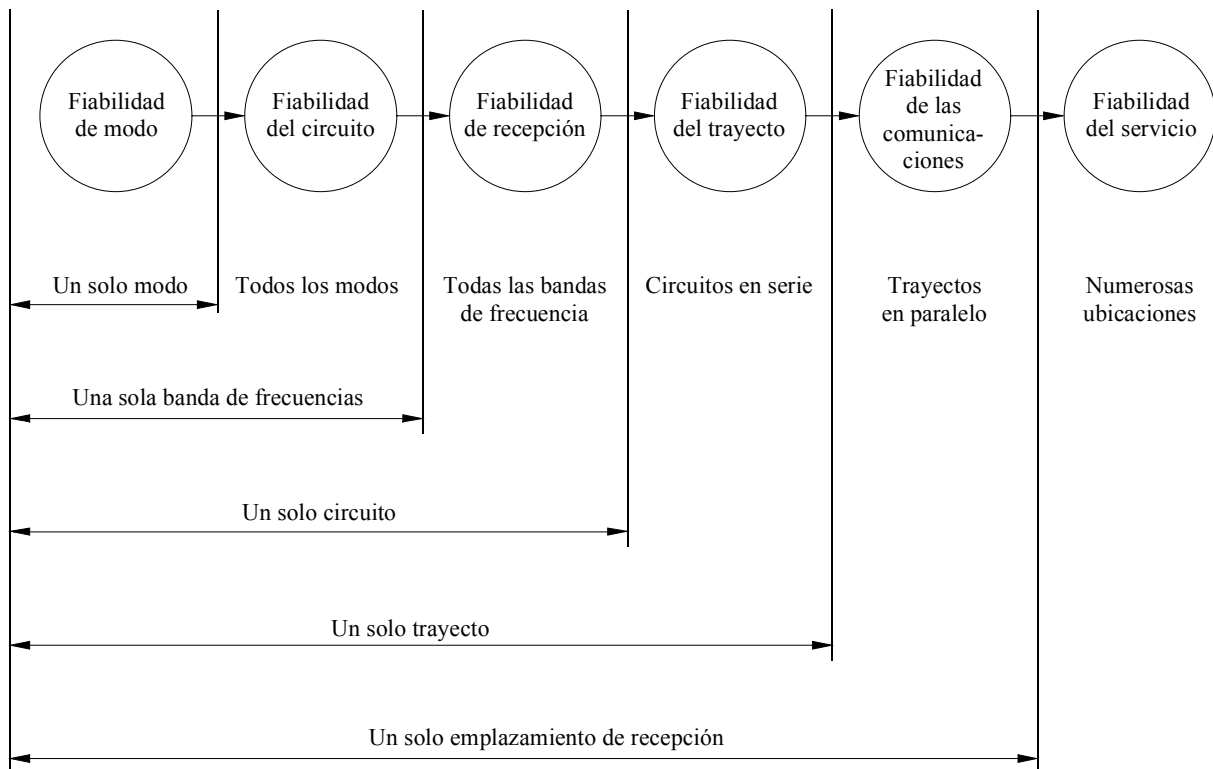
3 Cálculo de la fiabilidad básica del circuito (BCR)

La BCR puede estimarse conforme al procedimiento descrito en el Cuadro 1, utilizando la información del Cuadro 2.

Este procedimiento implica el cálculo intermedio de la mediana compuesta de la potencia de la señal deseada disponible en el receptor (paso 1), la mediana de la relación señal/ruido (pasos 2 y 3), el decilo superior resultante de la relación señal/ruido (pasos 4 a 6) y el decilo inferior resultante de la relación señal/ruido (pasos 7 a 9).

* La Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2000 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

FIGURA 1
Gráfico de fiabilidades



0842-01

La relación señal/ruido requerida (paso 10) viene definida por el usuario (la Recomendación UIT-R F.339 expresa en forma tabular las relaciones señal/ruido requeridas para lograr calidades específicas). La BCR se estima entonces utilizando la distribución estadística del paso 11.

4 Fiabilidad básica de recepción (BRR, *basic reception reliability*)

Para n frecuencias

$$BRR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BCR(f_i)}{100} \right) \right] \quad \%$$

donde $BCR(f_i)$ es el porcentaje de la BCR a la frecuencia, f_i .

Para una sola frecuencia operacional, BRR es igual a BCR.

5 Fiabilidad básica del servicio (BSR, *basic service reliability*)

La determinación de la BSR implica la utilización de puntos de prueba situados dentro de la zona de servicio requerida. La BSR es el valor de la BRR excedido por un porcentaje especificado de los puntos de prueba.

CUADRO 1
Cálculo de la BCR

Paso	Parámetro	Descripción del parámetro	Origen del valor del parámetro
1	S	Mediana de la potencia de la señal deseada disponible en el receptor (dBW)	Método de predicción de P_r , § 6 de la Rec. UIT-R P.533
2	$F_a A$ $F_a M$ $F_a G$	Mediana del factor de ruido para el ruido atmosférico Mediana del factor de ruido para el ruido artificial Mediana del factor de ruido para el ruido galáctico	Rec. UIT-R P.372
3	S/N	Mediana resultante de la relación señal/ruido (dB) para la anchura de banda b (Hz)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}} \right] - 10 \log_{10} b + 204$
4	$D_u S_d$ $D_u S_h$	Desviación del decilo superior de la señal (de un día a otro) (dB) Desviación del decilo superior de la señal (en la hora) (dB)	Cuadro 2, utilizando para el trayecto la MUF básica 5
5	$D_l A$ $D_l M$ $D_l G$	Desviación del decilo inferior (dB) del ruido: atmosférico artificial galáctico	Rec. UIT-R P.372 Rec. UIT-R P.372 2
6	$D_u SN$	Desviación del decilo superior (dB) de la relación S/N resultante	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados $D_u S_d, D_u S_h$ y $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}}{10^{\frac{F_a A - D_l A}{10}} + 10^{\frac{F_a M - D_l M}{10}} + 10^{\frac{F_a G - D_l G}{10}}} \right]$

CUADRO 1 (Continuación)

Paso	Parámetro	Descripción del parámetro	Origen del valor del parámetro
7	$D_I S_d$	Desviación del decilo inferior de la desviación de la señal (de un día a otro) (dB)	Cuadro 2, utilizando la MUF básica para el trayecto
	$D_I S_h$	Desviación del decilo inferior de la señal (en la hora) (dB)	8
8	$D_u A$	Desviación del decilo superior (dB) del ruido: atmosférico	Rec. UIT-R P.372
	$D_u M$	artificial	Rec. UIT-R P.372
	$D_u G$	galáctico	2
9	$D_I SN$	Desviación del decilo inferior (dB) de la relación S/N resultante	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados $D_I S_d$, $D_I S_h$ y $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A + D_u A}{10}} + 10^{\frac{F_a M + D_u M}{10}} + 10^{\frac{F_a G + D_u G}{10}}}{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}} \right]$
10	S/N_r	Relación señal/ruido requerida (dB)	Definido por el usuario
11	BCR	Fiabilidad básica del circuito para $S/N \geq S/N_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/N - S/N_r) / D_I SN)$ ó 100, el valor que sea menor
		Fiabilidad básica del circuito para $S/N < S/N_r$ (%)	$80 / (1 + (S/N_r - S/N) / D_u SN) - 30$ ó 0, el valor que sea mayor

CUADRO 2

Desviaciones del decilo inferior (LD) y del decilo superior (UD) respecto a la mediana mensual prevista de la potencia de la señal deseada disponible en el receptor y de las señales interferentes, que se producen por la variabilidad de un día a otro

Latitud geomagnética ⁽¹⁾	<60°		≥60°	
Frecuencia de transmisión/MUF básica predicha	LD	UD	LD	UD
≤0,8	8	6	11	9
1,0	12	8	16	11
1,2	13	12	17	12
1,4	10	13	13	13
1,6	8	12	11	12
1,8	8	9	11	9
2,0	8	9	11	9
3,0	7	8	9	8
4,0	6	7	8	7
≥5,0	5	7	7	7

⁽¹⁾ Si cualquier punto de la parte del círculo máximo que pasa por el transmisor y el receptor y que se encuentra entre los puntos de control situados a 1 000 km de cada extremo del trayecto alcanza una latitud geomagnética corregida de 60° o más, han de utilizarse los valores para ≥60° (véase la Recomendación UIT-R P.1239, Fig. 2).

6 Cálculo de la fiabilidad global del circuito, de recepción y del servicio

El cálculo de la fiabilidad global del circuito (OCR, *overall circuit reliability*) es semejante al de la BCR, salvo que las potencias recibidas de los transmisores potencialmente interferentes se suman y su resultado se compara con la señal disponible para determinar la distribución de un día a otro y en la hora de las medianas horarias de la relación señal/interferencia (*S/I*). Esta distribución se aplica en la mediana horaria de la relación *S/I* requerida para la calidad especificada a fin de determinar la fracción de tiempo dentro del mes durante la que se puede esperar que el circuito funcione satisfactoriamente cuando sólo hay interferencia. Este porcentaje se compara con la BCR, y el menor de los porcentajes es la OCR.

Así como las fiabilidades básicas de recepción y del servicio se pueden calcular a partir de las relaciones *S/N*, también se pueden calcular las fiabilidades globales de recepción y del servicio a partir de las distribuciones supuestas de las medianas horarias de las relaciones *S/I* (véase el Cuadro 3). La relación de protección de los sistemas radioeléctricos utilizada en el paso 3 se da en la Recomendación UIT-R F.240 para el servicio fijo y en la Recomendación UIT-R BS.560 para el servicio de radiodifusión.

7 Estimación de la fiabilidad en las redes en ondas decamétricas

En las redes, que disponen de una cantidad de circuitos entre terminales, se pueden utilizar las fiabilidades del trayecto y de las comunicaciones (véase la Fig. 1).

7.1 Fiabilidad básica del trayecto (BPR, *basic path reliability*)

Cuando hay más de un circuito, una estimación inferior de BPR es el producto de las BRR de todos los circuitos del trayecto, por ejemplo:

$$BPR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BRR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

donde BRR_i es la BRR del trayecto i , y una estimación superior es la BRR mínima.

Para un solo circuito, BPR es igual a BRR.

CUADRO 3
Cálculo de la OCR

Paso	Parámetro	Descripción del parámetro	Origen del valor del parámetro
1	S	Mediana de la potencia de la señal deseada disponible en el receptor (dBW)	Método de predicción de P_r , § 6 de la Rec. UIT-R P.533
2	I_1, I_2, \dots, I_i	Medianas de las potencias de las señales interferentes en el receptor (dBW)	Método de predicción de P_r , § 6 de la Rec. UIT-R P.533
3	R_1, R_2, \dots, R_i	Relación de protección relativa de las señales interferentes (dB)	Definido por el usuario
4	S/I	Mediana de la relación señal/interferencia resultante (dB)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{I_1 - R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i}{10}} \right]$
5	$D_u S_d$ $D_l I_{1d}$ $D_l I_{2d}$... $D_l I_{id}$	Desviación del decilo superior de la señal deseada Desviaciones del decilo inferior de las señales interferentes (de un día a otro) (dB)	Cuadro 2, utilizando la MUF básica para el trayecto
6	$D_u S_h$ $D_l I_{1h}$ $D_l I_{2h}$... $D_l I_{ih}$	Desviación del decilo superior de la señal deseada Desviaciones del decilo inferior de las señales interferentes (en la hora) (dB)	5 8
7	$D_u SI$	Desviación del decilo superior de la relación señal/interferencia resultante (dB)	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de $D_u S_d, D_u S_h$, $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 - R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 - R_1 - D_l I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2 - D_l I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i - D_l I_{id}}{10}}} \right]$ y $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 - R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 - R_1 - D_l I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2 - D_l I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i - D_l I_{ih}}{10}}} \right]$

CUADRO 3 (Continuación)

Paso	Parámetro	Descripción del parámetro	Origen del valor del parámetro
8	$D_l S_d$ $D_u I_{1d}$ $D_u I_{2d}$... $D_u I_{id}$	Desviación del decilo inferior de la señal deseada Desviaciones del decilo superior de las señales interferentes (de un día a otro) (dB)	Cuadro 2, utilizando la MUF básica para el trayecto
9	$D_l S_h$ $D_u I_{1h}$ $D_u I_{2h}$... $D_u I_{ih}$	Desviación del decilo inferior de la señal deseada Desviaciones del decilo superior de las señales interferentes (en la hora) (dB)	8 5
10	$D_l SI$	Desviación del decilo inferior de la relación señal/interferencia resultante (dB)	Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de $D_l S_d, D_l S_h$, $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 - R_1 + D_u I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2 + D_u I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i + D_u I_{id}}{10}}}{10^{\frac{I_1 - R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i}{10}}} \right]$ y $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 - R_1 + D_u I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2 + D_u I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i + D_u I_{ih}}{10}}}{10^{\frac{I_1 - R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 - R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i - R_i}{10}}} \right]$
11	S/I_r	Relación señal/interferencia requerida (dB)	Definido por el usuario
12	ICR	Fiabilidad del circuito en presencia de interferencia únicamente (sin ruido) para $S/I \geq S/I_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/I - S/I_r) / D_l SI)$ ó 100, el valor que sea menor
		Fiabilidad del circuito en presencia de interferencia únicamente (sin ruido) para $S/I < S/I_r$ (%)	$80 / (1 + (S/I_r - S/I) / D_u SI) - 30$ ó 0, el valor que sea mayor
13	BCR	Fiabilidad básica del circuito (%)	Cuadro 1
14	OCR	Fiabilidad global del circuito (%)	Mín (ICR, BCR)

7.2 Fiabilidad básica de las comunicaciones (R)

Cuando hay más de un trayecto, una estimación inferior de R viene dada por la fiabilidad máxima del trayecto, y una estimación superior por:

$$R = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BPR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

donde BPR_i es la fiabilidad básica del trayecto para el trayecto, i .

Para un solo trayecto, R es igual a BPR.

8 Cálculo de la compatibilidad

La compatibilidad es una medida de la degradación que un circuito o servicio deseados sufrirán en presencia de interferencia. En el caso de un solo circuito punto a punto, la «compatibilidad del circuito (CC)» está definida por el porcentaje de tiempo durante el cual se alcanza un criterio especificado de calidad del servicio en el emplazamiento del receptor en presencia de interferencia (OCR) con respecto al valor que se obtendría si sólo hubiera ruido presente (BCR):

$$CC = 100 \frac{OCR}{BCR} \quad \%$$

que es idéntica a la relación entre la OCR y la BCR.

Cuando el servicio deseado se aplica a una zona en vez de un punto de recepción único, la compatibilidad se puede definir de dos maneras:

- La compatibilidad de tiempo del servicio (TSC , *time service compatibility*) es el porcentaje de tiempo durante el cual un porcentaje especificado de la zona objetivo p_A puede ser atendido en presencia de interferencia (OSR) con respecto al valor que se obtendría si sólo hubiera ruido del medio circundante presente (BSR):

$$TSC = 100 \frac{OSR(p_A)}{BSR(p_A)} \quad \%$$

que es idéntica a la relación entre OSR y BSR.

- La compatibilidad de zona del servicio (ASC , *area service compatibility*) es el porcentaje de la zona objetivo que puede ser atendido durante un porcentaje especificado de tiempo p_T en presencia de interferencia, A_I , con respecto al valor que se obtendría si sólo hubiera ruido del medio circundante presente, A_N :

$$ASC = 100 \frac{A_I(p_T)}{A_N(p_T)} \quad \%$$

donde la zona A puede ser representada mediante el número de puntos de prueba que satisfacen las condiciones requeridas.

9 BCR para los sistemas de modulación digital

Existe un método aproximado simplificado que puede utilizarse provisionalmente en los sistemas de modulación digital, consistente en hacer:

$$BCR (\%) = R_{SN} \cdot R_T \cdot R_F$$

donde:

R_{SN} : probabilidad de alcanzar la relación señal/ruido SN_0 deseada

R_T : probabilidad de alcanzar la dispersión de tiempo T_0 necesaria al nivel de -10 dB respecto a la amplitud de cresta de la señal

R_F : probabilidad de que no se sobrepase la dispersión de frecuencia necesaria f_0 al nivel de -10 dB respecto a la amplitud de cresta de la señal.

Es posible que haya que seleccionar valores adecuados para estos niveles relativos en función del método de modulación utilizado.

Estas tres probabilidades diferentes se calculan de la siguiente manera:

$$R_{SN}(\%) = 130 - 80/[1 + (SN_m - SN_0)/D_l], \text{ ó } 100, \text{ el menor de ellos} \quad \text{para } SN_m \geq SN_0$$

$$= 80/[1 + (SN_0 - SN_m)/D_u] - 30, \text{ ó } 0, \text{ el mayor de ellos} \quad \text{para } SN_m < SN_0$$

$$R_T(\%) = 130 - 80/[1 + (T_0 - T_m)/D_{Tu}], \text{ ó } 100, \text{ el menor de ellos} \quad \text{para } T_m \leq T_0$$

$$= 80/[1 + (T_m - T_0)/D_{Tl}] - 30, \text{ ó } 0, \text{ el mayor de ellos} \quad \text{para } T_m > T_0$$

$$R_F(\%) = 130 - 80/[1 + (F_0 - F_m)/D_{Fu}], \text{ ó } 100, \text{ el menor de ellos} \quad \text{para } F_m \leq F_0$$

$$= 80/[1 + (F_m - F_0)/D_{Fl}] - 30, \text{ ó } 0, \text{ el mayor de ellos} \quad \text{para } F_m > F_0$$

SN_m , D_l y D_u son respectivamente la mediana mensual de la relación señal/ruido, y los decilos superior e inferior de las desviaciones de la mediana, calculados de acuerdo con el § 3 siguiendo los pasos indicados en los Cuadros 1 y 2. T_m , D_{Tu} y D_{Tl} son los correspondientes parámetros de dispersión de tiempo y F_m , D_{Fu} y D_{Fl} los parámetros de dispersión de frecuencia análogamente definidos.

Si $D_{Tu} = D_{Tl} = 0,15 T_m$ y $D_{Fu} = D_{Fl} = 0,10 F_m$, los valores de T_m (ms) y de F_m (Hz) correspondientes a la propagación en una longitud de trayecto, D (km) y a una frecuencia de f (MHz) en un trayecto con MUF básica igual a f_b vienen dados por:

$$T_m = 2,5 \times 10^7 D^{-2} (1 - f/f_b)^2, \text{ ó } 7 - 0,00175D, \text{ el menor de ellos,} \quad \text{para } D \leq 2\,000 \text{ km}$$

$$= 4,27 \times 10^{-2} D^{0,65} \text{ ó } 3,5, \text{ el menor de ellos,} \quad \text{para } D > 2\,000 \text{ km}$$

$$y \quad F_m = 0,02 f T_m$$

APÉNDICE 1

Se dan las definiciones siguientes a los efectos de la presente Recomendación.

1 Términos pertinentes para la explotación y diseño de sistemas radioeléctricos en ondas decamétricas

Fiabilidad

Probabilidad de que se alcance una calidad de funcionamiento especificada.

Fiabilidad del circuito

Probabilidad de que se alcance en un circuito una calidad de funcionamiento especificada con una sola frecuencia.

Fiabilidad de recepción

Probabilidad de que en un circuito se alcance una calidad de funcionamiento especificada teniendo en cuenta todas las frecuencias transmitidas asociadas a la señal deseada.

Fiabilidad del trayecto

Probabilidad de conseguir una cantidad de funcionamiento especificada para un par de terminales en un único trayecto entre dichos terminales, compuesto de uno o más circuitos contiguos, teniendo en cuenta todas las frecuencias transmitidas.

Fiabilidad de las comunicaciones

Probabilidad de que se consiga una calidad de funcionamiento especificada, para un par de terminales, teniendo en cuenta todos los trayectos entre ellos y todas las bandas de frecuencias asociadas con las señales deseadas en cada trayecto.

Fiabilidad del servicio

Probabilidad de que en una zona de servicio se alcance una calidad de funcionamiento especificada, teniendo en cuenta todas las frecuencias transmitidas.

Fiabilidad de la zona

Porcentaje de puntos de prueba de una zona de servicio para el que la fiabilidad básica de recepción es mayor que un valor especificado requerido.

NOTA 1 – En estos términos, por circuito se entiende un enlace de transmisión entre una ubicación de transmisión y otra de recepción, con diversidad o sin ella.

NOTA 2 – Estos términos van precedidos por la palabra «básica» cuando se trata sólo de ruido de fondo, y por «global» cuando existe ruido de fondo e interferencia.

NOTA 3 – Cuando existe ruido de fondo e interferencia, estos términos pueden referirse a los efectos de una sola fuente interferente o a interferencias múltiples procedentes de transmisiones en el mismo canal y en canales adyacentes.

NOTA 4 – Para muchas aplicaciones conviene adoptar un valor determinado de la relación señal/ruido de fondo como calidad de funcionamiento especificada.

NOTA 5 – Estos términos (o sea, las fiabilidades) se refieren a uno o más periodos de tiempo que deben especificarse.

NOTA 6 – Para fines de radiodifusión, el término «fiabilidad de servicio» se sustituye por el de «fiabilidad de radiodifusión», y se calcula para un número especificado de puntos de prueba situados en el interior de la zona de servicio.

2 Términos pertinentes para las técnicas de predicción

Fiabilidad de modo

Probabilidad de que se alcance en un circuito una calidad de funcionamiento especificada mediante un solo modo con una sola frecuencia.

Disponibilidad de modo

Probabilidad de que, para un solo circuito, un solo modo en una sola frecuencia pueda propagarse por refracción ionosférica únicamente.

Probabilidad de alcanzar una calidad de funcionamiento de modo

Probabilidad de que se alcance en un solo circuito una calidad de funcionamiento especificada mediante un solo modo y una sola frecuencia habida cuenta de que el modo puede propagarse por refracción ionosférica únicamente.

NOTA 1 – Se aplican las Notas 4 y 5 del § 1.
