



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

Suplemento 3

(Serie P)

(03/93)

CALIDAD DE TRANSMISIÓN TELEFÓNICA

**MODELOS DE PREDICCIÓN DE LA CALIDAD
DE TRANSMISIÓN A PARTIR DE
MEDICIONES OBJETIVAS**

**Suplemento 3 a las
Recomendaciones UIT-T de la Serie P**

(Anteriormente «Recomendaciones del CCITT»)

PREFACIO

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

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

El Suplemento 3 a las Recomendaciones UIT-T de la serie P, revisado por la Comisión de Estudio XII (1988-1993) del UIT-T, fue aprobado por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

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

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

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

© UIT 1994

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

ÍNDICE

		<i>Página</i>
1	Modelos de determinación de índices de transmisión	1
1.1	Introducción	1
1.2	Modelos de determinación de índices de transmisión	2
1.3	Modelos de opinión subjetiva	13
2	Predicción de la calidad de transmisión a partir de mediciones objetivas	16
2.1	Tipos de modelo	16
2.2	Modelo y programas: SUBMOD, CATPASS y CATNAP	16
2.3	Situación que ha de representarse	17
2.4	Descripción del modelo	17
2.5	Cálculos de sonoridad y de índices de sonoridad	18
2.6	Cálculo de la nota de esfuerzo en la escucha	18
2.7	Cálculo de la nota de opinión en conversación	22
2.8	Evaluación de otras medidas subjetivas de la calidad	22
2.9	Correspondencia entre valores calculados y observados	24
2.10	Inclusión de otros factores de degradación	25
2.11	Utilización práctica del modelo	26
3	Cálculo de la calidad de transmisión a partir de mediciones objetivas por el método del índice de información	27
3.1	Introducción: tipo de modelo	27
3.2	Aplicación a las transmisiones digitales	27
3.3	Aplicación a las transmisiones analógicas	29
3.4	Ampliaciones	36
4	Modelo de índice de calidad global para evaluación de la calidad de una red (OPINE)	36
4.1	Introducción	36
4.2	Descripción del modelo	37
4.3	Configuración del modelo OPINE	39
4.4	Tipos y valores de los símbolos	46
Anexo A (Véase 1.1) – Notas de opinión sobre degradaciones de transmisión		56
A.1	Introducción	56
A.2	Índice de sonoridad global y ruido de circuito	57
A.3	Ruido de cuantificación procedente de procesos MIC	57
A.4	Anchura de banda	57
A.5	Eco para el oyente	57
A.6	Eco para el hablante	57
A.7	Efecto local	57
Anexo B (Véase 2.9) – Calidad de transmisión calculada de las redes telefónicas		68
B.1	Introducción	68
B.2	HRC 1 – Conexión establecida dentro de la propia central	69
B.3	HRC 2 – Comunicación nacional limitativa	69
B.4	HRC 3 – Comunicación de larga distancia con un enlace MIC	69
B.5	HRC 4 – Asimetría de la pérdida de transmisión	69
B.6	HRC 5 – Efecto del ruido ambiente	69
B.7	HRC 6 – Efecto del ruido de circuito y la limitación de banda	69
B.8	HRC 7 – Multiplicidad de cálculos con selección arbitraria de los elementos	70
B.9	HRC 8 – Ejemplo de la utilización del CATNAP para satisfacer un criterio de diseño	70
B.10	HRC 9 – Efecto de la variación de la longitud de la línea	70

	<i>Página</i>
Anexo C (Véase 4.3.1.2) – Cálculo del espectro de ruido.....	80
Anexo D (Véase 4.3.3) – Ejemplos de cálculo de MOS	81
Anexo E (Véase 4.3.2.2) – Obtención de la ecuación (4-16)	84
Anexo F (Véase 4.3.3) – Modelo de evaluación psicológica	85
F.1 Modelo psicológico para evaluación	85
F.2 Obtención de la ecuación (4-35) a partir de la ecuación (4-34).....	86
Anexo G – Método de estimación objetiva de la calidad vocal degradada por distorsión no lineal	87
G.1 Introducción.....	87
G.2 Alcance	87
G.3 Señal de medición.....	87
G.4 Preprocesamiento.....	88
G.5 Parámetros objetivos.....	89
G.6 Proceso de estimación.....	92
Apéndice I (Véase 3.2.2) – Programas de computador utilizados.....	97
I.1 Programa de computador N.º 1	97
I.2 Programa de computador N.º 2	97
Apéndice II (Véanse 3.2.2 y 3.3).....	99
Apéndice III (Véase 3.3.2) – Cálculo de DATA del Apéndice II a partir de datos primarios.....	101
III.1 Definición de los datos primarios	101
III.2 Relaciones.....	102
III.3 Ejemplo.....	102
Referencias	103

INTRODUCCIÓN

Modelos para predecir la opinión subjetiva sobre conexiones telefónicas, utilizando datos procedentes de mediciones objetivas se están estudiando actualmente. Hasta el momento no ha sido posible recomendar un modelo único aplicable a una amplia gama de degradaciones de transmisión, pero varias administraciones han propuesto los métodos descritos en las cláusulas 1, 2, 3, y 4.

MODELOS DE PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN A PARTIR DE MEDICIONES OBJETIVAS

(a las Recomendaciones de la serie P)

1 Modelos de determinación de índices de transmisión (Ginebra, 1980; modificado en Málaga-Torremolinos, 1984) (Citado en la cláusula 3 de la Recomendación P.11) (Contribución de Estados Unidos y Canadá)

1.1 Introducción

En la cláusula 1 se describen modelos de determinación de índices de transmisión que pueden utilizarse para estimar la reacción subjetiva de los usuarios telefónicos ante ciertas degradaciones de la transmisión, tales como el ruido de circuito, el índice de sonoridad global, el eco para el hablante, el eco para el oyente, la distorsión de atenuación (incluida la anchura de banda), la distorsión de cuantificación, el ruido ambiente y el efecto local.

Los modelos para ruido de circuito, índice de sonoridad global (OLR, *overall loudness rating*) y eco para el hablante, están basados en varias pruebas de conversación realizadas en los Laboratorios Bell entre 1965 y 1972 para evaluar la apreciación subjetiva de la calidad de transmisión en función del ruido de circuito, el índice de sonoridad global, la atenuación del trayecto de eco para el hablante y el retardo del trayecto del eco para el hablante [1]. En estas pruebas participaron centenares de sujetos y se efectuaron miles de llamadas de prueba. Varias pruebas se realizaron durante llamadas comerciales normales. Otras se realizaron en laboratorio. En todas ellas se empleó una escala de evaluación de cinco notas: excelente, buena, regular, mediocre e insatisfactoria.

Las características esenciales de los modelos se deducían originalmente en términos de las pérdidas de sonoridad de una conexión global, en *dB* (medidas por el sistema de determinación de índices electroacústicos, EARS, *electro-acoustic rating system*) y del ruido del circuito en *dBmp* a la entrada de un sistema receptor de referencia (rendimiento de la conversión eléctrico/acústica medido por el EARS) [2]. Los efectos del eco para el hablante se incorporan más tarde en términos de pérdida de sonoridad del trayecto de eco, en *dB* (medidas por EARS) y del retardo de ida y vuelta del trayecto de eco, en *milisegundos*. Se utilizaron factores de corrección determinados experimentalmente para convertir los modelos en índices de sonoridad conformes con la Recomendación P.79.

El modelo original para el eco para el oyente se basaba en una serie de cuatro pruebas subjetivas de escucha realizadas en los Bell Laboratories en 1977 y 1978 [3]. Los resultados posteriores de las pruebas condujeron a una forma alternativa de modelo. Las pruebas subjetivas incluyeron condiciones en las cuales la atenuación del trayecto de eco para el oyente era plana o estaba conformada en frecuencia por un filtrado selectivo. Se define una atenuación ponderada del trayecto de eco para establecer una ponderación de las condiciones de prueba conformadas en frecuencia, de modo que las condiciones de prueba subjetivamente equivalentes tengan el mismo índice de transmisión.

El modelo para la distorsión de cuantificación se basa en una serie de pruebas subjetivas realizadas para evaluar la calidad de funcionamiento de varios algoritmos de codecs digitales [6], [7], [8].

El modelo para la anchura de banda y la distorsión de atenuación se basa en pruebas realizadas en 1978 [9].

El modelo relativo al ruido ambiente se basa en pruebas inéditas, realizadas en 1976. Las evaluaciones de la calidad de transmisión de acuerdo con una escala de cinco notas las realizaron 40 sujetos para 156 condiciones con diversas combinaciones de ruido ambiente, nivel de conversación, ruido de circuito y atenuación del trayecto de efecto local. Se presentaron muestras de ruido ambiente mediante grabaciones en cinta magnética realizadas en la oficina de reserva de plazas de una empresa de transporte aéreo. Se adaptó un modelo a los resultados de la prueba en función del ruido de circuito que produjo los mismos índices de calidad que los niveles de ruido ambiente dados.

El modelo para el efecto local se basa en las pruebas realizadas en 1980 [10].

Todas las pruebas se realizaron con aparatos telefónicos de tipo Western Electric 500 o equivalentes. En [1] se describen los procedimientos utilizados para el análisis de los resultados de las pruebas objetivas y el establecimiento de la escala de índices de transmisión. Aunque los procedimientos son algo complejos para el cálculo manual, pueden tratarse fácilmente por un computador digital y se ha hallado que proporcionan una representación conveniente y útil para una gran variedad de datos de prueba.

Los modelos incorporan el concepto de una escala de índices de transmisión. Una razón importante para la introducción de esta escala fue el reconocimiento de que los resultados de las pruebas subjetivas pueden estar influidos por varios factores, tales como el grupo de sujetos, el tipo de pruebas y la gama de condiciones que se incluyen en la prueba. Se ha determinado que estos factores modifican la nota media de opinión para una condición dada, así como la desviación típica. Por consiguiente, se plantean dificultades al tratar de establecer una relación única entre una condición de transmisión dada y la opinión subjetiva en términos de una nota media de opinión o del porcentaje de evaluaciones «bueno» o «excelentes». La introducción de una escala de índices de transmisión tiende a reducir esta dificultad separando en dos partes la relación entre las características de transmisión y las notas de opinión. La primera parte, el índice de transmisión en función de la característica de transmisión, está fundada en dos puntos y tiende a ser mucho menos dependiente de las pruebas individuales. La segunda parte, la relación entre el índice de transmisión y los índices de opinión subjetiva, pueden presentarse para cada prueba.

La escala de índices de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito ha sido establecida de manera que se funde en los dos puntos de base indicados en el Cuadro 1-1.

CUADRO 1-1

Índice de sonoridad global (dB)	Ruido de circuito (dBmp) ^{a)}	Índice de transmisión
16	-61	80
31	-76	40
a) Los valores del ruido se refieren a un sistema receptor con un índice de sonoridad en recepción (RLR) de 0 dB.		

Estos puntos de base se seleccionaron de modo que estuvieran bien separados pero dentro de la gama de condiciones que es probable se incluyan en una prueba. Los valores de los índices son tales que la mayoría de las conexiones tendrán índices de valores positivos comprendidos entre 40 y 100. Los índices de transmisión para otras combinaciones de índice de sonoridad y ruido de circuito son relativos a los índices para estos dos puntos de base.

En esta cláusula se presentan los modelos de determinación de índices de transmisión en términos del índice de sonoridad global de una conexión completa en dB, el ruido de circuito en dBmp referido a la entrada de un sistema receptor con un índice de sonoridad en recepción (RLR, *receiving loudness rating*) de 0 dB, el índice de sonoridad del trayecto de eco para el hablante en dB y el retardo de ida y vuelta del trayecto de eco para el hablante en milisegundos. En el Anexo A se presentan resultados representativos de opiniones.

1.2 Modelos de determinación de índices de transmisión

1.2.1 Índice de sonoridad global y ruido de circuito

El modelo de determinación de índices de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito es:

$$R_{LN} = -26,76 - 2,257 \sqrt{(L'_e - 8,2)^2 + 1} - 2,0294 N'_F + 1,751 L'_e + 0,02037 L'_e N'_F \quad (1-1)$$

donde

L'_e es el OLR de una conexión telefónica completa (en dB).

NOTA – En la ecuación (1-1) el valor de L'_e puede sustituirse por $L'_e + L_s$ para proporcionar una corrección de la pérdida de sonoridad (L_s) en dB. Esto compensa el nivel vocal reducido para el hablante cuando el índice de enmascaramiento para el efecto local (STMR, *sidetone masking rating*) en el extremo del hablante de esta conexión es inferior a 15 dB. La corrección L_s es cero cuando el STMR = 12, el valor por defecto. En los demás casos, la corrección L_s es como sigue:

$$L_s = -0,3 \text{ (STMR - 12) si STMR < 15}$$

$$L_s = -0,9 \text{ (STMR - 12) si STMR } \geq 15$$

N'_F es el ruido efectivo total (en dBmp) referido a un sistema receptor con un RLR de 0 dB. El ruido efectivo total se obtiene por la suma en potencias del ruido de circuito N'_c , el ruido de circuito equivalente al ruido ambiente, N'_{Re} , y el ruido de circuito equivalente al ruido de cuantificación, N'_{Qe} :

- N'_c es el ruido de circuito (en dBmp) referido a un sistema receptor con un RLR de 0 dB;
- N'_{Re} es el ruido de circuito (en dBmp) equivalente al ruido ambiente referido a un sistema receptor con un RLR de 0 dB (véase 1.2.2);
- N'_{Qe} es el ruido de circuito (en dBmp) equivalente al ruido de cuantificación referido a un sistema receptor con un RLR de 0 dB (véase 1.2.3).

En la Figura 1-1 se muestra el índice de transmisión en función del RLR y del ruido de circuito. En esta figura se utiliza un valor de $N'_{Re} = -64$ dBmp, junto con el ajuste R_{LN} recomendado en la nota de 1.2.2, en lugar del valor $N'_{Re} = -58,63$ dBmp utilizado en el Tomo V del *Libro Azul*.

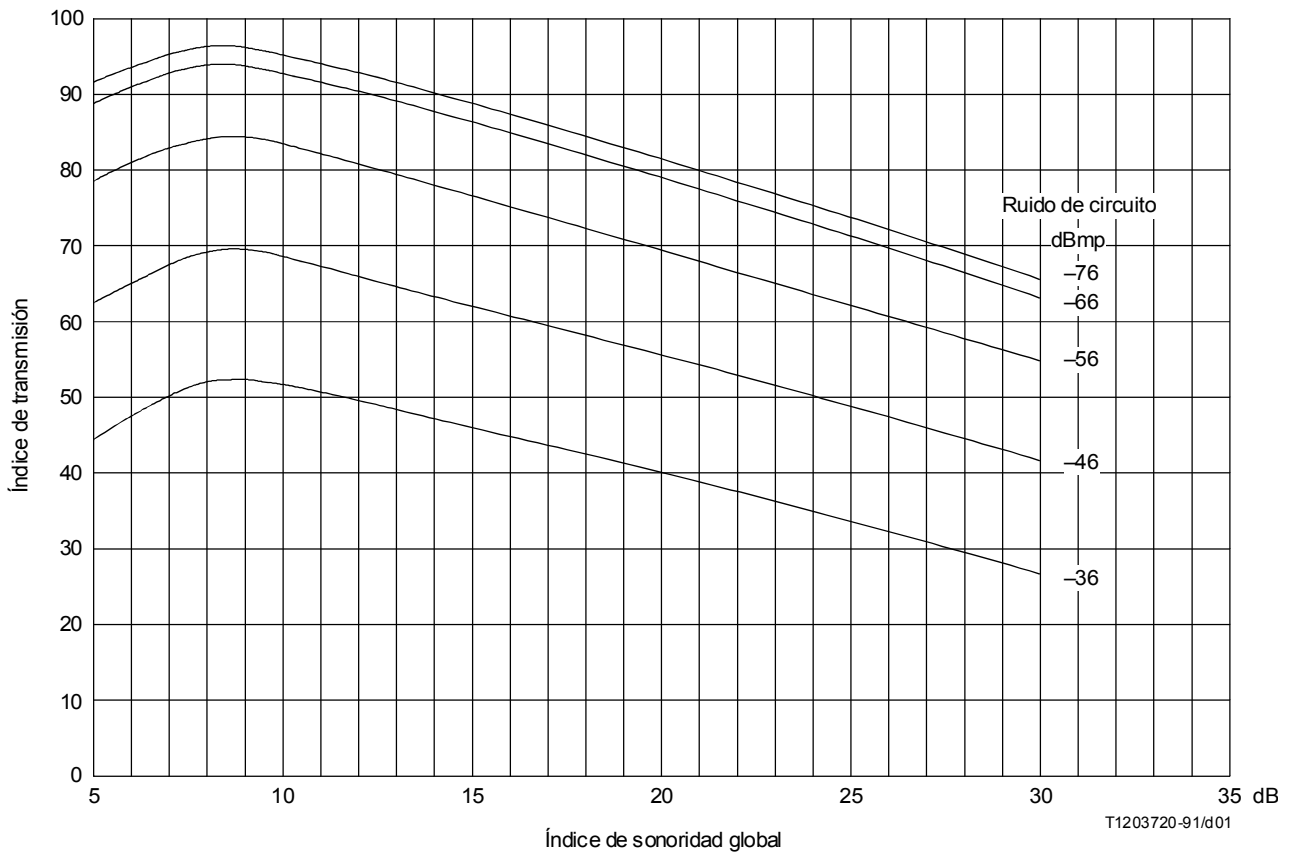


FIGURA 1-1
Índice de transmisión para el OLR y el ruido

1.2.2 Ruido de circuito equivalente al ruido ambiente

El modelo de determinación del índice de transmisión para el ruido de circuito equivalente al ruido ambiente, N'_{Re} (en dBmp) es:

$$N'_{Re} = N_R - 121 + 0,0078 (N_R - 35)^2 + 10 \log_{10} \left[1 + 10^{\frac{6 - L'_s}{10}} \right] \quad (1-2)$$

donde

- N_R es el ruido ambiente en dB(A) en el extremo de escucha;
- L'_s es el índice de enmascaramiento para el efecto local (en dB) en el extremo de escucha del trayecto de efecto local del aparato telefónico.

En la Figura 1-2 se representa el ruido de circuito equivalente, N'_{Re} , en función del ruido ambiente.

NOTA – El modelo de determinación del índice de sonoridad para el índice de sonoridad y el ruido de circuito se ha utilizado de ordinario con

$$N'_{Re} = -58,63 \text{ dBmp} \quad (1-3)$$

Este valor se ha determinado analizando los resultados de las pruebas de conversación a partir de las cuales se formuló originalmente el modelo de determinación del índice de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito.

Sin embargo, pruebas realizadas en América del Norte en 1987 indican que es más apropiado un valor más bajo para N'_{Re} . El valor que se ha acordado en América del Norte es:

$$N'_{Re} = -64 \text{ dBmp}$$

Cuando se utiliza este valor más bajo, el valor de R_{LN} debe sustituirse con R'_{LN} como sigue:

$$R'_{LN} = -0,0023 (R_{LN})^2 + 1,21 R_{LN} - 4,7$$

Este ajuste proporciona resultados de opinión realistas cuando se utilizan con la base de datos Murray Hill. Aunque los valores de N'_{Re} inferiores a -64 dBmp pueden ser útiles para ajustar resultados de pruebas de laboratorio con ruido ambiente bajo, no se recomienda su utilización para predecir resultados de opiniones subjetivas.

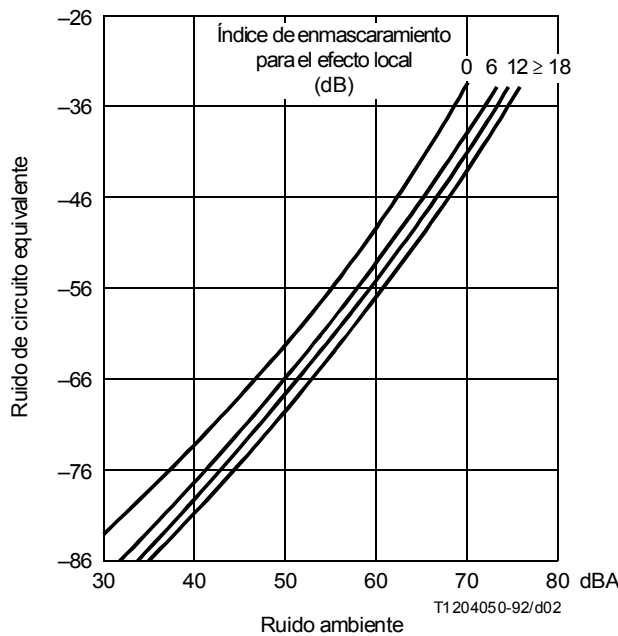


FIGURA 1-2
Ruido de circuito equivalente al ruido ambiente

1.2.3 Ruido de circuito equivalente al ruido de cuantificación

El modelo de índice de transmisión para el ruido de circuito equivalente al ruido de cuantificación N'_{Qe} (en dBmp), es

$$N'_{Qe} = V - 2 - SNR \quad (1-4)$$

donde

V es el nivel vocal activo (en dBm) referido a un sistema receptor con un RLR de 0 dB;

y

SNR es la relación señal/ruido de circuito (*signal-to-circuit noise ratio*) (en dB) que se considera asegura una calidad vocal equivalente a la relación señal vocal/ruido correlacionado con la palabra, Q (en dB), determinada mediante un aparato de referencia para ruido modulado (véase la Recomendación P.81).

Sobre la base de las pruebas realizadas, el valor de SNR viene dado aproximadamente por

$$SNR = 2,36 Q - 8 \quad (1-5)$$

de donde

$$N'_{Qe} = V - 2,36 Q + 6 \quad (1-6)$$

Según una encuesta relativa al nivel telefónico realizada en 1975 y 1976 [11], el nivel vocal en las conexiones nacionales norteamericanas viene dado aproximadamente por:

$$V = -9 - L'_e$$

de donde

$$N'_{Qe} = -3 - L'_e - 2,36 Q \quad (1-7)$$

A continuación se indican valores calculados de Q para pares de codecs aislados en el caso de modulación por impulsos codificados (MIC), modulación casi instantánea compansorizada (NIC, *compandored modulation*), modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) y modulación delta adaptativa (ADM, *adaptive delta modulation*). Se aplican a los algoritmos particulares descritos en las referencias [6] y [8].

$$\text{MIC:} \quad Q = 0,78 L - 12,9 \quad (1-8)$$

$$\text{NIC:} \quad Q = 0,74 L - 2,8 \quad (1-9)$$

$$\text{ADM:} \quad Q = 0,42 L + 8,6 \quad (1-10)$$

$$\text{MICDA:} \quad Q = 0,98 L - 5,3 \quad (1-11)$$

$$\text{MICDA-V:} \quad Q = 1,04 L - 4,6 \quad (1-12)$$

donde

L es la velocidad binaria de línea en kbit/s.

NOTA – En [12] se describe el algoritmo MICDA con predictor fijo. En [8] se describe el algoritmo MICDA-V con predictor adaptativo.

Para conexiones con pares de codecs en cascada, el valor total de Q puede calcularse como sigue:

$$Q = -15 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{-\frac{Q_i}{15}} \right] \quad (1-13)$$

1.2.4 Anchura de banda y distorsión de atenuación

El modelo de determinación de índices de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito puede modificarse para que incluya los efectos de anchura de banda (y distorsión de atenuación). El índice de transmisión, R_{LNBW} , para el índice de sonoridad global, el ruido de circuito y la anchura de banda es

$$R_{LNBW} = (R_{LN} - 22,8) k_{BW} + 22,8 \quad (1-14)$$

donde

$$k_{BW} = k_1 k_2 k_3 k_4 \quad (1-15)$$

con

$$k_1 = 1 - 0,00148 (F_l - 310) \quad (1-16)$$

$$k_2 = 1 + 0,000429 (F_u - 3200) \quad (1-17)$$

$$k_3 = 1 + 0,0372 (S_l - 2) + 0,00215 (S_l - 2)^2 \quad (1-18)$$

$$k_4 = 1 + 0,0119 (S_u - 3) - 0,000532 (S_u - 3)^2 - 0,00336 (S_u - 3) (S_l - 2) \quad (1-19)$$

y

F_l, F_u son los límites inferior y superior de la banda (en Hz) para los cuales la respuesta acústica-acústica es 10 dB inferior a la respuesta a 1000 Hz. (Para $F_u > 3200$ Hz, debe utilizarse el valor de 3200 Hz.)

S_l, S_u son los pendientes de respuesta inferior y superior dentro de la banda (en dB/octava) por debajo y por encima de 1000 Hz, respectivamente, que tendrían la misma pérdida de sonoridad que las formas de respuesta reales.

En las Figuras 1-3 y 1-4 se ilustra el efecto de los límites de banda, F_l y F_u y de las pendientes dentro de la banda S_l y S_u , sobre el factor de anchura de banda k_{BW} . En la Figura 1-4 se ha utilizado la expresión de $k_3 k_4$ de la Nota 2 siguiente.

NOTAS

1 Las funciones para el factor de anchura de banda, k_{BW} , se han seleccionado de manera que $k_{BW} = 1$ cuando $F_l = 310$ Hz, $F_u = 3200$ Hz, $S_l = 2$ dB/octava y $S_u = 3$ dB/octava. Estas características de respuesta son representativas de las utilizadas en las pruebas destinadas a formular el modelo de determinación de índices de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito.

2 De acuerdo con los resultados de pruebas realizadas en 1987 y con poca modificación en los resultados previstos, el producto $k_3 k_4$ puede sustituirse por:

$$k_3 k_4 = 0,93 + 0,0627 (S_l + 0,441 S_u) - 0,00012 (S_l + 0,441 S_u + 7,17)^3$$

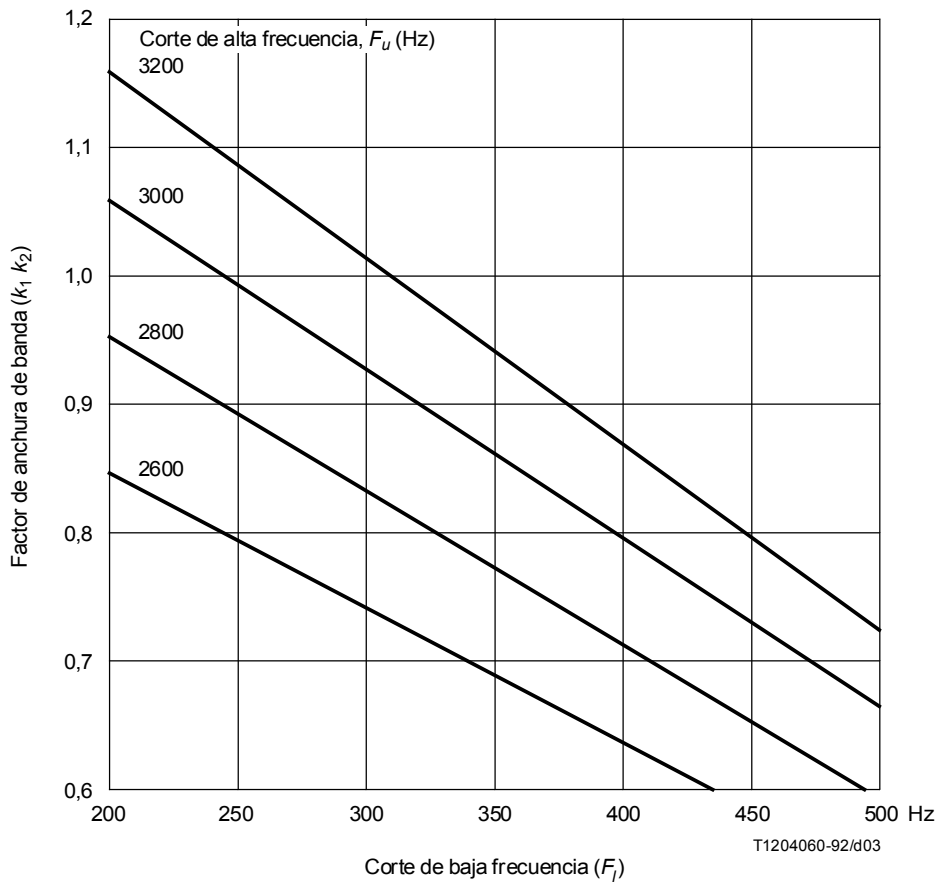


FIGURA 1-3
Factor del modelo de anchura de banda

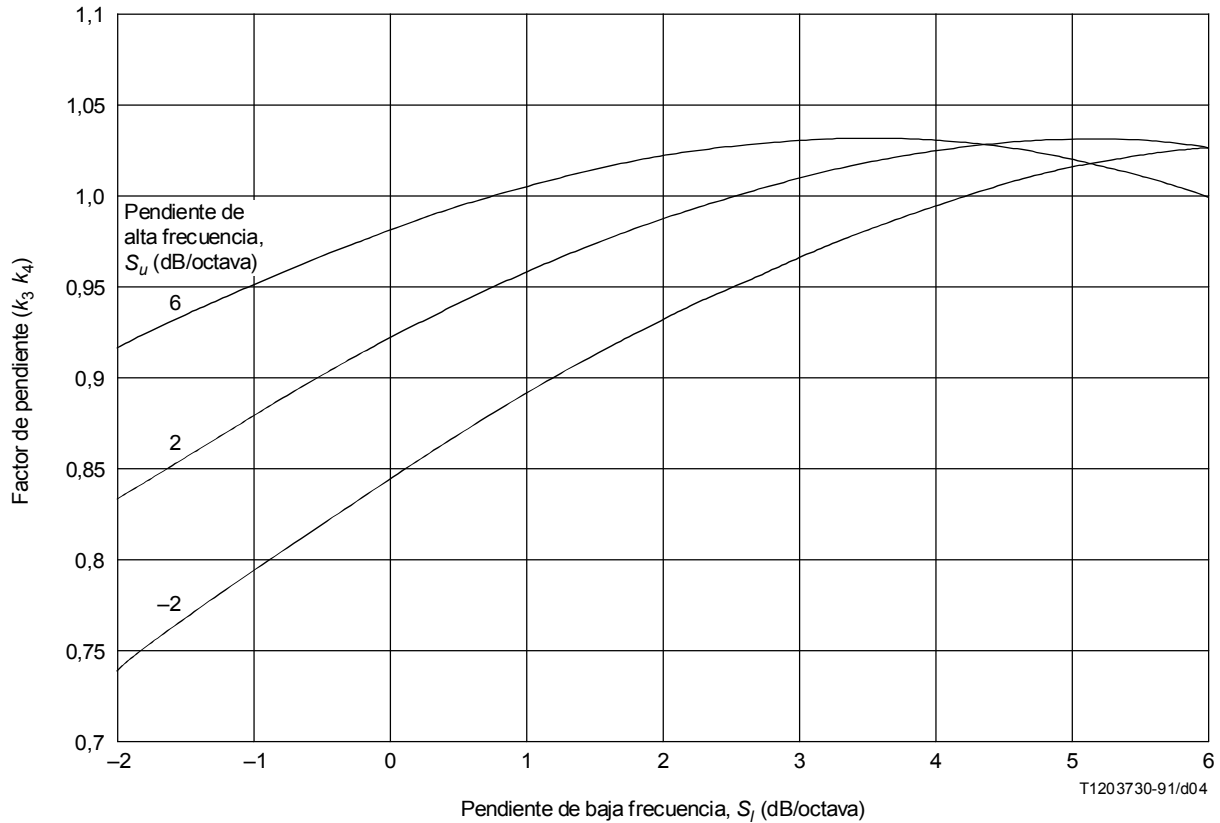


FIGURA 1-4
Factor del modelo de distorsión de atenuación

1.2.5 Eco para el oyente

El modelo de determinación del índice de transmisión para el eco para el oyente es

$$R_{LE} = 9,3 (WEPL + 7) (D_L - 0,4)^{-0,229} \tag{1-20}$$

donde

WEPL es la atenuación ponderada del trayecto de eco para el oyente (*weighted listener echo path loss*) (en dB):

$$WEPL = -20 \log_{10} \frac{1}{3200} \int_{200}^{3400} 10^{-\frac{EPL(f)}{20}} df \tag{1-21}$$

EPL(f) es la atenuación del trayecto de eco (*echo path loss*) (en dB) en función de la frecuencia en Hz;

D_L es el retardo de ida y vuelta del trayecto de eco para el oyente, en milisegundos.

En la Figura 1-5 se muestra el índice de transmisión, R_{LE} , en función de la atenuación ponderada del trayecto de eco y del retardo del trayecto de eco para el oyente.

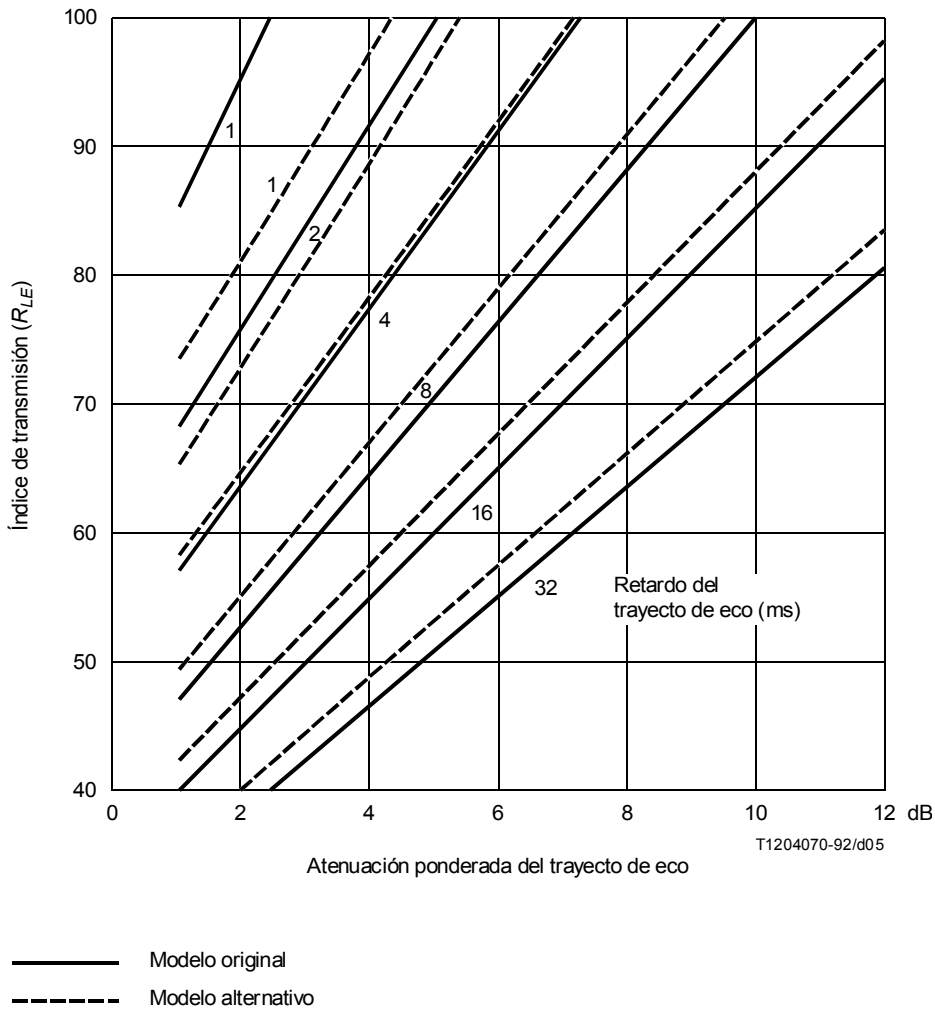


FIGURA 1-5

Índice de transmisión relativo al eco para el oyente

El índice de transmisión para eco para el oyente, R_{LE} , puede combinarse con el índice de transmisión para el índice de sonoridad global y el ruido de circuito a fin de obtener un índice de transmisión global, como sigue:

$$R_{LNLE} = \frac{R_{LN} + R_{LE}}{2} - \sqrt{\left[\frac{R_{LN} - R_{LE}}{2}\right]^2 + 13^2} \quad (1-22)$$

En la Figura 1-6 se presentan curvas, trazadas a base de la relación anterior, del índice de transmisión en función de la atenuación ponderada del trayecto de eco para el oyente y del retardo del trayecto de eco para el oyente en una conexión con un índice de sonoridad global de 16 dB y un ruido de circuito de -56 dBmp referido a un RLR de 0 dB.

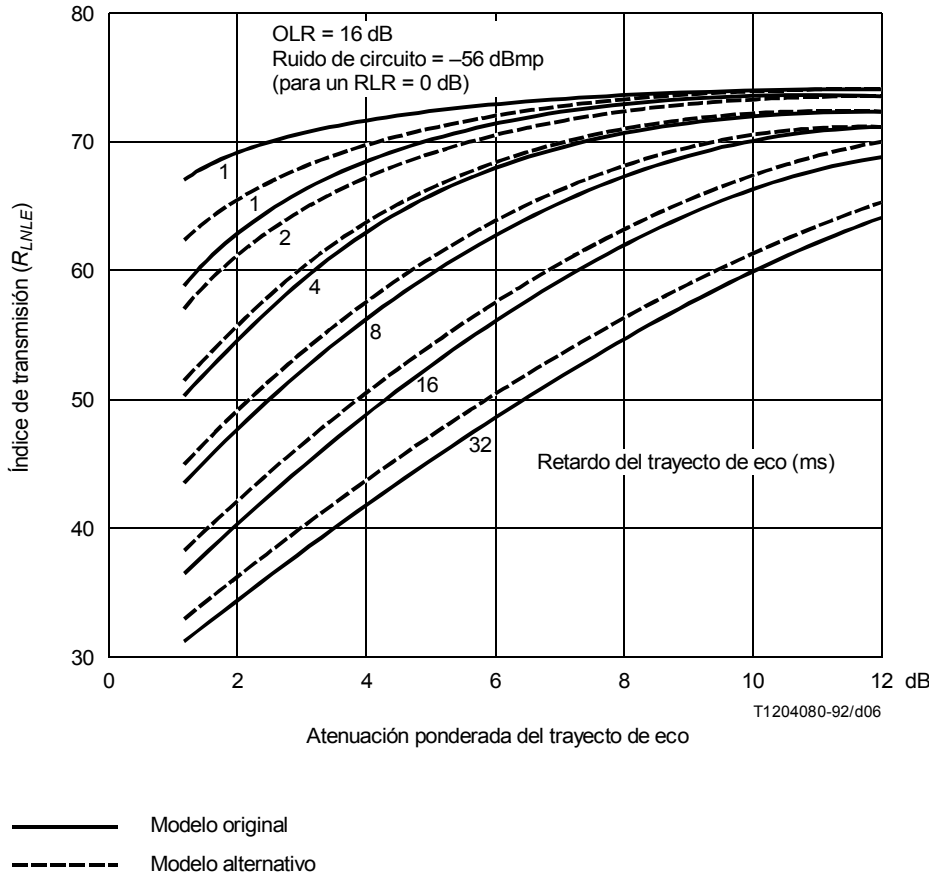


FIGURA 1-6
Índice de transmisión para el OLR, el ruido de circuito y el eco para el oyente

NOTA – El texto precedente se basa en el empleo de un determinado conjunto de resultados de prueba y del modelo de referencia del eco para el oyente [3]. Posteriormente, se informó de nuevos resultados en [4] y [5], donde se describen también los estudios sobre los dos conjuntos de resultados de pruebas para ver si puede recomendarse un único modelo. En general, la coincidencia entre los dos conjuntos de resultados es buena. No obstante, los recientes resultados tienen unos índices de opinión inferiores y unos retardos menores en unos tres milisegundos. Un enfoque conservador consistió en revisar el modelo original para lograr índices inferiores con retardos bajos al tiempo que se mantenían las previsiones más críticas para los valores elevados de retardo. La ecuación (1-20a) sustituye adecuadamente a la ecuación (1-20) para lograr este objetivo.

$$R_{LE} = 10,5 (WEPL + 7) (D_L + 1)^{-0,25} \tag{1-20a}$$

La referencia [5] proponía también que en el modelo original se sustituyese la atenuación ponderada del trayecto de eco (WEPL) por la atenuación ponderada normalizada del trayecto de eco (SWEPL). La propuesta definía

$$WEPL = SM + SF$$

donde

SM es el margen de canto (cebado),

SF es el factor de forma,

y entonces se define

$$SWEPL = SM + SF \frac{SM}{1 + SM}$$

Por lo tanto, al igual que para *WEPL*,

$$SWEPL = SM, \text{ si } SF = 0$$

también,

$$SWEPL \approx WEPL \text{ para } SM \gg 1.$$

El efecto del factor de forma se reduce a medida que *SM* tiende a cero. De esta manera, el efecto de forma se reduce a la mitad cuando *SM* es igual a la unidad, y tiende a cero a medida que *SM* tiende a cero. Esto evita la posibilidad de un *SWEPL* positivo cuando el margen de canto se ha hecho negativo. Aunque el empleo del *SWEPL* en lugar del *WEPL* producirá poca variación en la mayoría de las situaciones prácticas en que se dan valores típicos de *SM*, el concepto es interesante para forzar a tener en cuenta de forma específica el margen de canto y se aplica fácilmente sustituyendo *WEPL* por *SWEPL* en la ecuación (1-20a).

1.2.6 Eco para el hablante

El modelo de determinación del índice de transmisión para el eco para el hablante es:

$$R_E = 92,73 - 53,45 \log_{10} \left[\frac{1 + D}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{480}\right)^2}} \right] + 2,277 E \quad (1-23)$$

donde

E es el RLR (en dB) del trayecto de eco para el hablante;

D es el retardo de ida y vuelta del trayecto de eco para la persona que habla, en milisegundos.

En la Figura 1-7 se muestra el índice de transmisión en función de la atenuación y del retardo del trayecto de eco para el hablante, derivado de manera que excluya los efectos del ruido de circuito y del RLR. Los resultados de las pruebas relativas al eco para el hablante, que incluían valores seleccionados del RLR y ruido de circuito, se transformaron en una escala de índices de transmisión utilizando el modelo *R_{LN}*.

El modelo de determinación del índice de transmisión para los efectos combinados del RLR, el ruido de circuito, la atenuación del trayecto de eco y el retardo del trayecto de eco es:

$$R_{LNE} = \frac{R_{LN} + R_E}{2} - \sqrt{\left(\frac{R_{LN} - R_E}{2}\right)^2 + 100} \quad (1-24)$$

En la Figura 1-8 se muestran curvas trazadas a base de la relación anterior para el índice de transmisión en función de la atenuación y del retardo del trayecto de eco para el hablante en una conexión con un RLR de 16 dB y un ruido de circuito de -56 dBmp.

1.2.7 Efecto local

El modelo de determinación del índice de transmisión para el RLR, el ruido efectivo total y el eco para el hablante puede modificarse para incorporar la influencia del efecto local. El índice de transmisión, *R_{LN-ST}*, para el OLR, el ruido efectivo total y el efecto local es

$$R_{LN-ST} = K_{ST} R_{LN} \quad (1-25)$$

y para el eco para el hablante y el efecto local es

$$R_{E-ST} = R_E + [2,6 (12 - SL) - 1,5 (4,5 - SR)^2 + 3,38] [D_0^2 / (D_0^2 + D^2)] \quad (1-26)$$

donde *D₀* = 30 y *D* se define bajo la ecuación (1-23).

El factor del efecto local, K_{ST} , se calcula a partir de

$$K_{ST} = 1,00 + C [0,021 - 0,002 (SL - 15)^2 + 0,001 (SR - 2)^2 (SL - 15)] \quad (1-27)$$

donde C es un coeficiente que determina la magnitud prevista de la repercusión del efecto local. Un valor de $C = 1$ corresponde a los datos de prueba originales. Sin embargo, un valor más pequeño de C (por ejemplo, $C = 0,25$) parece proporcionar una mejor concordancia con algunos resultados de pruebas de otros países. Provisionalmente se sugiere utilizar un valor de $C = 0,25$.

SL es el índice de enmascaramiento para el efecto local (en dB) y SR es la respuesta en efecto local (en dB/octava) por debajo de 1 kHz. (La respuesta en efecto local por encima de 1 kHz es 1,5 veces superior¹⁾.)

La Figura 1-9 muestra unas curvas obtenidas para determinar R_{LN-ST} y R_{E-ST} , sustituyendo a continuación estos valores por R_{LN} y R_E , respectivamente, en la ecuación (1-24). Para esta cifra se ha utilizado un valor de $C = 1$ en la ecuación (1-27) para K_{ST} . Un valor más bajo de C producirá valores superiores del índice de transmisión para los valores inferiores del índice de enmascaramiento de efecto local.

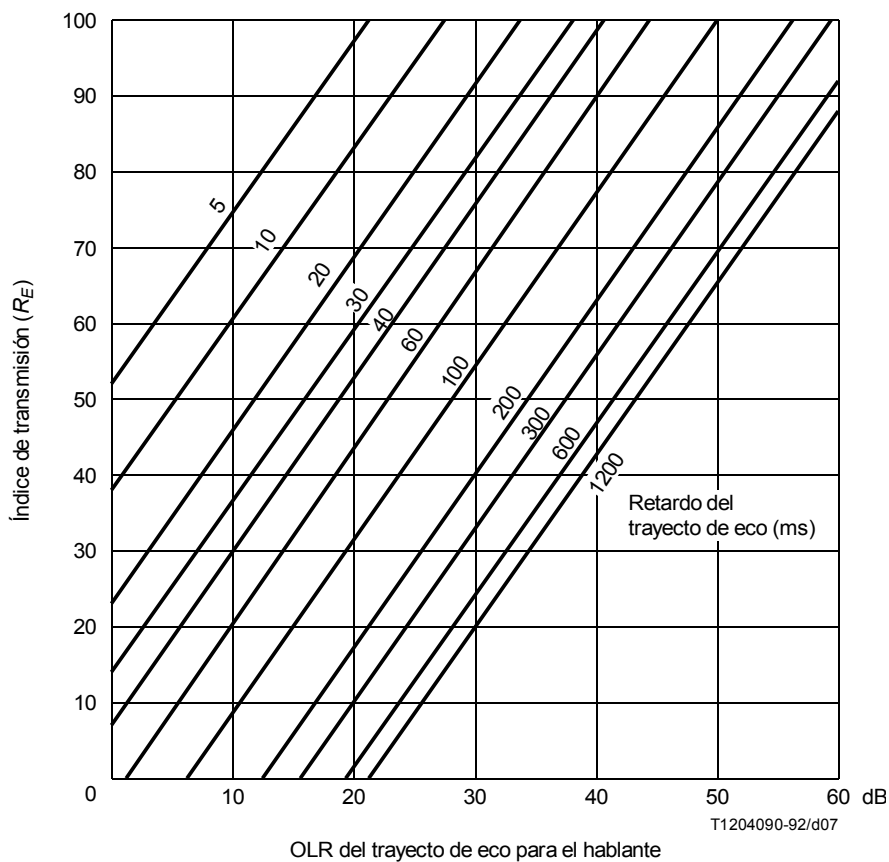


FIGURA 1-7
Índice de transmisión relativo al eco para el hablante

¹⁾ Respuesta en efecto local:

Por debajo de 1 kHz	Por encima de 1 kHz
0	0
+3,0	+4,5
+6,0	+9,0

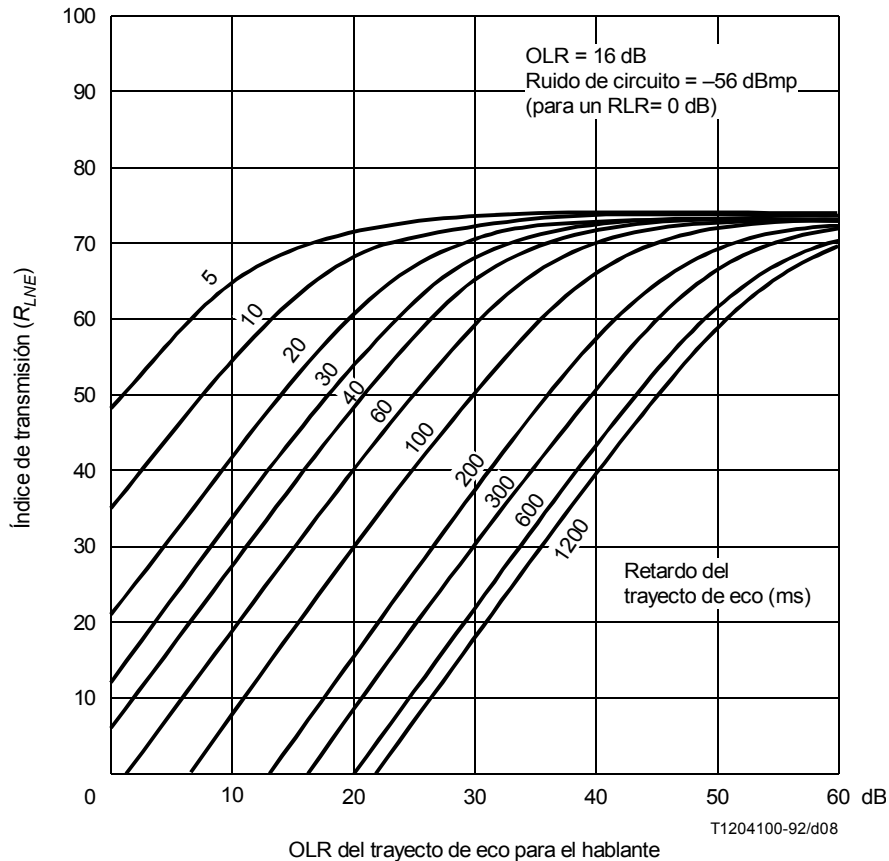


FIGURA 1-8

Índice de transmisión para el OLR, el ruido de circuito y el eco para el hablante

1.3 Modelos de opinión subjetiva

Se ha hallado que la opinión subjetiva, en términos de la proporción de notas en cada una de las cinco categorías [excelente (E, *excellent*), bueno (G, *good*), regular (F, *fair*), mediocre (P, *poor*), insatisfactorio (U, *unsatisfactory*)] para una condición con un índice de transmisión dado, depende de diversos factores, tales como el grupo de sujetos, la gama de condiciones presentadas en la prueba, el año en que se ha realizado la prueba, y del hecho de que la prueba se haya realizado durante conversaciones en laboratorio o comunicaciones telefónicas normales. La proporción de comentarios «bueno» más «excelente» (G + E) o «mediocre» más «insatisfactorio» (P + U) puede calcularse a partir de las ecuaciones siguientes:

$$G + E = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^A e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1-28)$$

$$P + U = \frac{1}{2\pi} \int_B^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1-29)$$

donde A y B tienen los valores que se indican a continuación, para las bases de datos de primordial interés.

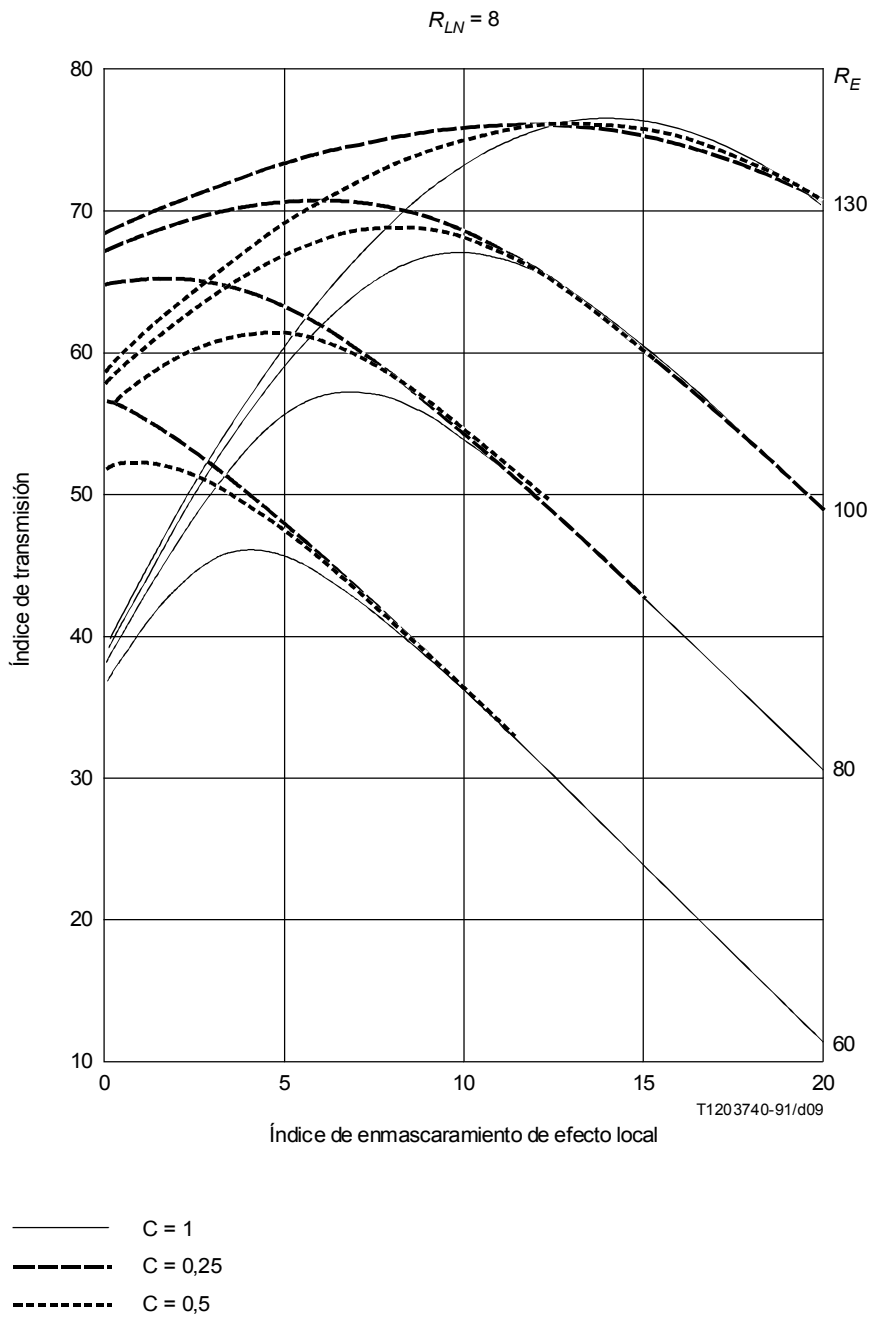


FIGURA 1-9
**Índice de transmisión para el OLR, el ruido de circuito,
 el eco para el hablante y el efecto local**

En la Figura 1-10 se muestra la relación entre los juicios subjetivos y el índice de transmisión para cada base de datos indicada a continuación.

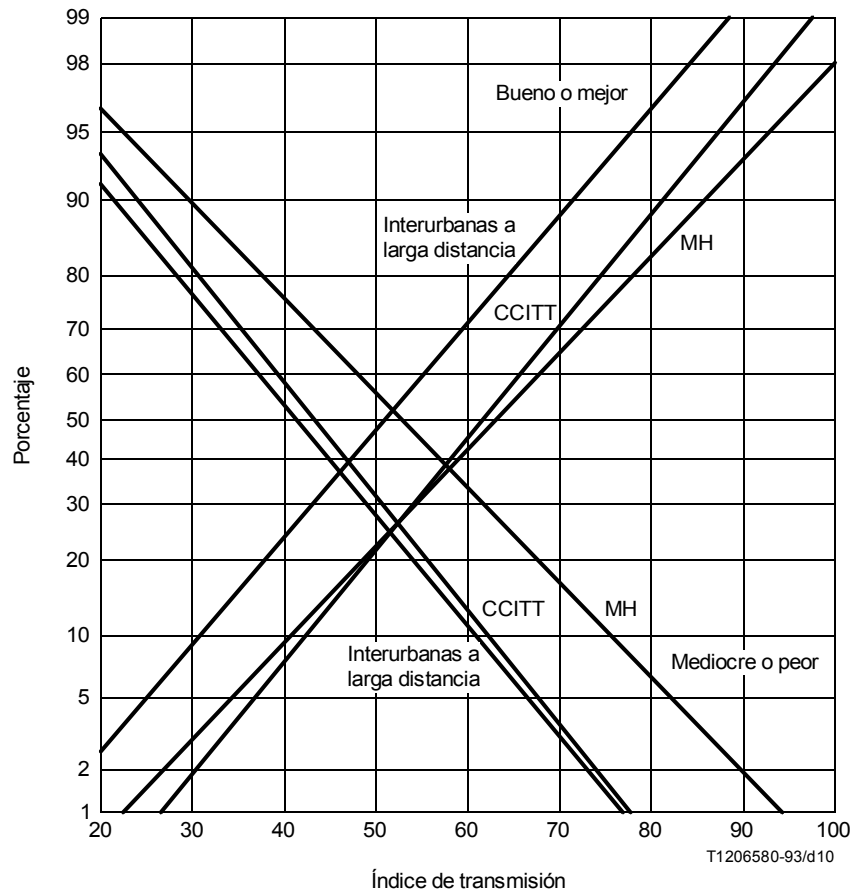


FIGURA 1-10
Comparación de notas de opinión en función del índice de transmisión

Base de datos ²⁾	A	B
Prueba de Murray Hill SIBYL, 1965	(R-64,07)/17,57	(R-51,87)/17,57
Pruebas de conversación del CCITT	(R-62)/15	(R-43)/15
Entrevistas sobre conferencias interurbanas a larga distancia	(R-1,5)/15,71	(R-40,98)/15,71

2) Las tres bases de datos reflejan relaciones diferentes entre la escala de índices de transmisión y las notas de opinión, determinadas en las diferentes pruebas indicadas a continuación:

Prueba Murray Hill SIBYL, 1965 – Opiniones sobre llamadas comerciales reales dentro de un edificio.

Pruebas de conversación del CCITT – Modelo compuesto de opinión de pruebas de conversación en laboratorio.

Entrevistas interurbanas a larga distancia – Opiniones expresadas por usuarios telefónicos norteamericanos entrevistados después de una conferencia a través de una conexión interurbana de larga distancia.

2 **Predicción de la calidad de transmisión a partir de mediciones objetivas** (*Ginebra, 1980; modificado en Málaga-Torremolinos, 1984*) (Citado en la Recomendación P.11) (Contribución de la British Telecom)³⁾

Sumario

La British Telecom utiliza mucho un modelo teórico para predecir la calidad de transmisión de las conexiones telefónicas. Se describe aquí brevemente la estructura de este modelo y del programa de computador CATNAP, que abarca una forma simplificada del modelo para uso corriente, así como de medios para especificar conexiones de una manera práctica y conveniente.

2.1 Tipos de modelo

Dos tipos de «modelo» se identifica para la predicción de la calidad de transmisión de conexiones telefónicas completas en condiciones de conversación. Los modelos del primer tipo, de los que se da un ejemplo en la cláusula 1, implican un tratamiento puramente empírico de observaciones básicas y podrían conducir a un conjunto de tablas, gráficos o fórmulas relativamente simples para representar la calidad de funcionamiento en función de ciertas magnitudes objetivas. En un modelo de este tipo, en el que la atención se concentra totalmente en la correspondencia entre la entrada (magnitudes objetivas) y la salida (calidad de funcionamiento apreciada subjetivamente), la *forma* de las funciones empleadas no tiene significado por sí misma. Por razones de conveniencia se busca generalmente la mayor sencillez, pero ésta se obtiene a expensas de la generalidad. La interdependencia entre diferentes factores de degradación suele ser siempre bastante difícil de tratar en todos los casos; además, este modelo, por ser puramente empírico, debe ser objeto, por lo general, de una modificación completa cuando se introduce un nuevo factor de degradación; por ejemplo, supóngase que se han establecido relaciones entre la atenuación, el ruido y la nota de opinión para una anchura de banda determinada: el cambio de la anchura de banda a un nuevo valor constante requerirá una nueva determinación de las funciones (y no un simple ajuste de la salida según un valor constante). Dicho brevemente, no cabe esperar que un modelo puramente empírico pueda alcanzar más que un éxito limitado en la predicción de la calidad de funcionamiento.

Los modelos del segundo tipo, mencionados en [13], tienen por objeto remediar estos inconvenientes haciendo que la estructura del proceso de evaluación refleje las relaciones causa-efecto que conducen de la «entrada» (propiedades de la conexión, ambiente acústico, características de la escucha por los participantes, sonidos emitidos en la conversación, sistemas de lenguaje, etc.) a la «salida» (satisfacción de los participantes o estimación de la calidad de transmisión). Este modelo es por naturaleza, más complicado y requiere más trabajo inicial de desarrollo, pero, después, puede ampliarse y aplicarse con mucha más comodidad y confianza. Seguramente los parámetros numéricos deberán revisarse cuando se disponga de una mayor cantidad de datos fiables, pero la estructura, si se ha elegido bien, sólo en raras ocasiones exigirá transformaciones importantes. Como instrumento de investigación, este modelo es mucho más eficaz, en cuanto a su capacidad para la formulación de hipótesis a verificar, que un conjunto de fórmulas útiles, pero arbitrarias. Como instrumento de planificación o aplicación se presta muy bien a ser incorporado en un programa de computador al que podrán suministrarse, como entrada, datos fácilmente obtenibles (como atenuación y longitudes de línea).

2.2 Modelo y programas: SUBMOD, CATPASS y CATNAP

El modelo aquí descrito es del tipo más fundamental. Tiene por objeto la predicción de juicios de sonoridad, notas de esfuerzo en la escucha, notas de opinión en conversación y niveles vocales a partir de información objetiva suministrada. Está incorporado en un programa denominado SUBMOD (nematécnico para la expresión inglesa SUBJECTIVE MODEL, modelo subjetivo) que acepta como entrada las respuestas de frecuencia globales de los trayectos de transmisión vocal, y cuyo cometido consiste en cambiar los parámetros del modelo para mejorar la concordancia entre la teoría y la observación.

En su estado actual de desarrollo, el modelo trata bastante bien los efectos subjetivos de la atenuación del circuito, la distorsión de atenuación en función de la frecuencia, el ruido de circuito, el ruido de cuantificación, el ruido de sala y los trayectos de efecto local para una gama relativamente amplia de valores de estas características en cualquier combinación. Puede también obtenerse una estimación aproximada de los efectos de algunos otros fenómenos, pero el modelo no los abarca aún. Hasta ahora no se ha tratado de incluir características tales como los efectos de la conmutación por la voz o la codificación de la voz y otros esquemas sofisticados que tienen por objeto reducir la velocidad de información.

El programa CATPASS (nematécnico para la expresión inglesa COMPUTER-AIDED TELEPHONY PERFORMANCE ASSESSMENT, evaluación de la calidad telefónica mediante computador) incorporó el mismo modelo en una realización simplificada, con parámetros fijos, así como facilidades para calcular la característica de sensibilidad en función de la frecuencia de una conexión completa constituida por una cadena de dispositivos corrientes como teléfonos,

³⁾ Antiguo Suplemento N.º 4 del *Libro Rojo*.

cables, puentes de alimentación, enlaces y filtros. Fue similar al sistema descrito en [14] y [15], pero el programa se organizó de una manera diferente. No obstante, CATPASS sólo podía tratar conexiones simétricas (es decir, aquellas para las cuales la transmisión, el ruido de sala, el efecto local y todas las demás características pertinentes eran iguales para ambos participantes). Este programa fue sustituido por otro denominado CATNAP (COMPUTER-AIDED TELEPHONE NETWORK ASSESSMENT PROGRAM, programa para la evaluación de redes telefónicas mediante computador), que incorporaba una forma ampliada del modelo con parámetros fijos, lo que permite evaluar conexiones asimétricas, y contiene medios para combinar estadísticas sobre la calidad de transmisión de conjuntos de conexiones. Véase la referencia [16].

El programa CATNAP ha sido sustituido a su vez por el CATNAP83, en el que se han efectuado tres cambios principales:

- a) pequeñas mejoras del modelo subjetivo;
- b) cálculo de los índices de sonoridad de conformidad con la Recomendación P.79, en lugar de la versión provisional, que se utilizaba para calcular los índices de sonoridad en el programa CATNAP (no obstante la afirmación de la versión anterior de este suplemento [17]);
- c) introducción de una mayor flexibilidad para permitir que parámetros como el factor de pérdida por desacoplo del auricular (L_E), dependan del tipo de microteléfono de que se trate.

2.3 Situación que ha de representarse

Sean A y B dos participantes «promedio» en una conversación sostenida a través de un enlace terminado por microteléfonos instalados en salas caracterizadas por condiciones de reverberación no anormales, con niveles especificados de ruido de sala. Por «promedio» ha de entenderse que los participantes tienen características representativas de audición y de conversación y una actitud normal con respecto a los medios telefónicos, de modo que su satisfacción con el enlace de telecomunicación puede medirse mediante el valor medio de la nota de opinión en conversación (Y_C) y el porcentaje de dificultad (%D) que se obtendría en una prueba de conversación como la descrita en la Recomendación P.80. Y_C puede tomar cualquier valor entre 4 y 0, siendo la escala: 4 = EXCELENTE, 3 = BUENA, 2 = BASTANTE BUENA, 1 = MEDIOCRE, 0 = MALA. %D puede desde luego adoptar cualquier valor entre cero para las conexiones de mejor calidad y 100% para las de peor calidad.

Para una conexión dada, los parámetros de interés primordial son Y_C , %D y el nivel vocal, para cada participante. Sin embargo, en el curso de la evaluación se calculan otros parámetros auxiliares útiles, como los índices de sonoridad de los distintos trayectos (calculados de acuerdo con la Recomendación P.79), e Y_{LE} el valor medio de la nota de esfuerzo en la escucha que se obtendría como resultado de una prueba de apreciación de escucha realizada como se describe en el Suplemento N.º 2. En una prueba de escucha de este tipo, se transmiten por la conexión grupos de frases a un determinado nivel vocal de entrada, y el oyente expresa una opinión, para un número de niveles de escucha diferentes, sobre el «esfuerzo de escucha», de acuerdo con la escala siguiente:

Esfuerzo requerido para comprender el significado de las frases

- A es posible una distensión completa; no se requiere ningún esfuerzo,
- B es necesario prestar atención; no se requiere un esfuerzo apreciable,
- C se requiere un esfuerzo moderado,
- D se requiere un esfuerzo considerable,
- E no se comprende el significado, aun con el mayor esfuerzo posible.

A las notas de la escala se atribuyen los valores siguientes: A = 4, B = 3, C = 2, D = 1, E = 0, y la media obtenida de todos los participantes se denomina nota de esfuerzo en la escucha, Y_{LE} , para cada nivel de escucha y cada condición de los circuitos.

Puede consultarse una información más detallada sobre las pruebas de conversación y de escucha en [18] y también en la Recomendación P.80.

2.4 Descripción del modelo

En el modelo se introducirán los siguientes elementos:

- 1) la característica global de sensibilidad en función de la frecuencia para cada trayecto de transmisión (de la boca del hablante al oído del oyente a través de la conexión) y para el trayecto de efecto local (de la boca del hablante a su propio oído). Estas características de sensibilidad pueden ser medidas según el método descrito en la Recomendación P.64, o calculadas como se explica en [14];

- 2) el espectro y el nivel del ruido en el oído de cada oyente; este ruido comprende el ruido producido en el circuito, el ruido de sala que llega directamente al oído del oyente y el que llega a través del trayecto de efecto local. Si no se dispone de mediciones específicas, se toman los espectros y niveles de ruido normales; por ejemplo, un ruido de sala con un espectro Hoth a 50 dBA, un ruido de circuito con espectro limitado en banda a un nivel especificado con ponderación sofométrica;
- 3) el espectro vocal medio y el umbral medio de audibilidad indicados por ejemplo en la referencia [19].

A partir de estos datos se calculan los índices de sonoridad. Para un nivel vocal fijo se evalúa Y_{LE} y se halla un valor provisional de Y_C para cada participante. Las relaciones entre Y_C y el nivel vocal en cada extremo se utilizan seguidamente para refinar los valores de ambos parámetros, de modo que las estimaciones finales representen la calidad de funcionamiento a niveles vocales de conversación que reflejen la realidad.

2.5 Cálculos de sonoridad y de índices de sonoridad

El modelo comienza por llevar el nivel vocal emitido por cada hablante a un valor normalizado y calcular el espectro y nivel resultantes de la palabra y el ruido en el oído del oyente. La sonoridad de la palabra recibida se calcula en función del nivel de la señal, el nivel del ruido y el umbral de audibilidad, integrados en una gama de frecuencias que va normalmente de 179 a 4472 Hz (14 bandas, estando la inferior centrada en 200 Hz y la superior en 4000 Hz). La sonoridad de la palabra transmitida por el efecto local se calcula de manera similar, pero dejándose un margen para el efecto adicional de enmascaramiento de la palabra que alcanza el oído de manera natural (a través de los trayectos aéreo y de conducción ósea). Comparando la sonoridad de la palabra transmitida por un sistema intermedio de referencia (IRS, *intermediate reference system*) se evalúan los índices de sonoridad de los diversos trayectos, índice de sonoridad en emisión (SLR), índice de sonoridad en recepción (RLR), y el índice de enmascaramiento para el efecto local (STMR) para cada extremo, así como el índice de sonoridad global (OLR) para cada sentido de transmisión.

El método no se explica aquí detalladamente. La parte del modelo relativa a la sonoridad tiene importancia por sí misma, aunque no está estrechamente relacionada con el resto del modelo. El programa da como resultado los índices de sonoridad calculados de acuerdo a la Recomendación P.79, aunque también permite calcular un conjunto de índices de sonoridad según el método anterior, que se utilizan para cálculos posteriores.

2.6 Cálculo de la nota de esfuerzo en la escucha

Esta parte del modelo tiene por objeto reproducir el resultado que se obtendría en una prueba de apreciación de escucha.

Se ha encontrado que es posible calcular Y_{LE} mediante un procedimiento similar a los que se utilizan para calcular los índices de sonoridad y las notas de apreciación de la nitidez, y que son ya bien conocidos. Se comienza por calcular una magnitud intermedia, el índice de opinión en la escucha (LOI, *listening opinion index*), de la manera siguiente. Cada banda elemental en la gama de frecuencias contribuye al LOI en una cuantía proporcional al producto $B'_f P(Z_f)$, donde B'_f es un factor de ponderación en función de la frecuencia que expresa la importancia relativa de esa banda elemental para una comprensión sin esfuerzo, y P es una función de crecimiento aplicada al nivel de sensación Z (que ha sido evaluado ya para el cálculo de sonoridad). Los valores reales de las ponderaciones en función de la frecuencia difieren algo de los utilizados en los cálculos de sonoridad y nitidez; la función de crecimiento está limitada al intervalo de 0 a 1, como en las determinaciones de la nitidez, pero se utiliza la forma siguiente:

$$P(Z) = 10^{10 \frac{Z + 3,8}{10}} \text{ para } Z < -11$$

$$P(Z) = 1 - 10^{-\frac{0,3(Z + 14)}{10}} \text{ en los demás casos } Z$$

LOI es proporcional a $\int B'_f P(Z_f) df$, pero en la práctica la integral se sustituye por una sumatoria (Σ) que abarca un número de bandas (normalmente 14), dentro de cada una de las cuales puede considerarse que Z_f y B'_f son sensiblemente constantes, lo cual también se ha considerado para la evaluación de la sonoridad. La fórmula utilizada entonces es la siguiente:

$$\text{LOI} = AD \sum_i B'_i P(Z_i)$$

donde

B'_i es la ponderación de frecuencia para la banda i -ésima (véase el diagrama de la Figura 2-1);

Z_i es la Z media en la banda i -ésima;

- P es la función de crecimiento adecuada (véase la Figura 2-2);
- A es un coeficiente que depende del nivel vocal recibido, cuyo valor es 1 para pequeña gama de niveles en torno al óptimo y disminuye rápidamente fuera de esta gama (véase la Figura 2-3, donde la abscisa cero corresponde ahora a un OLR = 8 dB, en lugar de 4 dB como anteriormente);
- D es un coeficiente que depende del nivel de ruido recibido (ICN-RLR) [Ruido de circuito inyectado (ICN, *injected circuit noise*)] y cuyo valor disminuye lentamente desde 1, para niveles de ruido despreciables, hasta 0 para niveles muy altos (véase la Figura 2-4).

Por consiguiente, el LOI sólo alcanza su valor máximo de una unidad en condiciones caracterizadas por una banda ancha, ausencia de ruido, palabra no afectada por la distorsión y nivel óptimo de escucha.

El índice de opinión en la escucha, está relacionado con Y_{LE} de una manera que depende de las condiciones de transmisión a las que se han acostumbrado los oyentes por su experiencia reciente. Se ha observado que el criterio de apreciaciones de los participantes depende mucho de la condición del mejor circuito utilizado en el experimento que se está efectuando, o si se trata de comunicaciones reales, de la calidad de las mejores conexiones utilizadas normalmente. Por ejemplo, una condición de circuito que recibe una nota de casi 4 en un experimento en que dicha condición es la mejor, obtendría una nota de 3, a lo sumo, si en el mismo experimento se incluyera una condición prácticamente perfecta, y de aproximadamente 3,5 si la mejor condición en ese experimento tuviese una calidad equivalente a la mejor conexión que puede utilizarse normalmente en el sistema de la British Telecom. El parámetro LOI_{LIM} introducido para tener en cuenta este efecto, especifica el valor de LOI que corresponde a Y_{LE} máximo; generalmente se le da un valor de 0,885 cuando las conexiones se juzgan sobre la base de la experiencia en la red de la British Telecom. La relación, es, en términos generales

$$\ln\left(\frac{Y_{LE}}{4 - Y_{LE}}\right) = 1,465 \left[\ln\left(\frac{LOI}{LOI_{LIM} - LOI}\right) - 0,75 \right]$$

esta relación se ha representado en la Figura 2-5. Estamos ahora en el punto en que Y_{LE} se ha evaluado para cada participante en función del nivel de escucha, en particular el nivel de escucha establecido para cada participante cuando el otro habla al nivel vocal de referencia (RVL, *reference vocal level*), definido en [20].

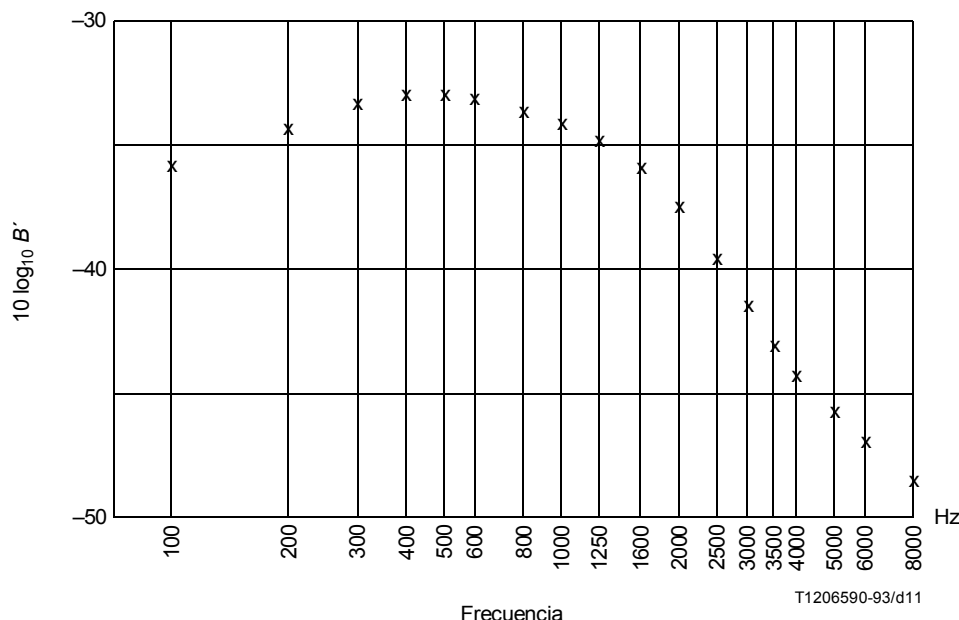


FIGURA 2-1
Factor de ponderación de frecuencia B' para el índice de opinión en la escucha

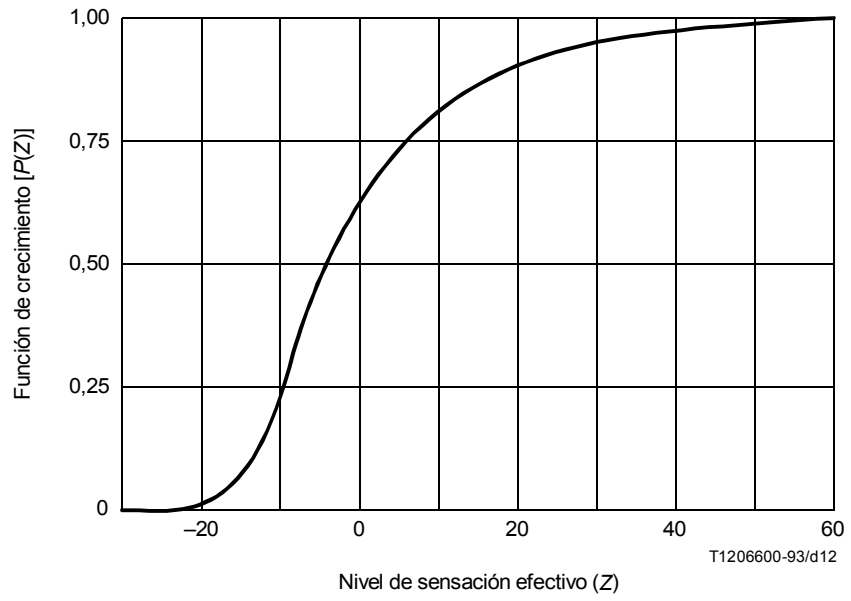


FIGURA 2-2
Función de crecimiento $P(Z)$

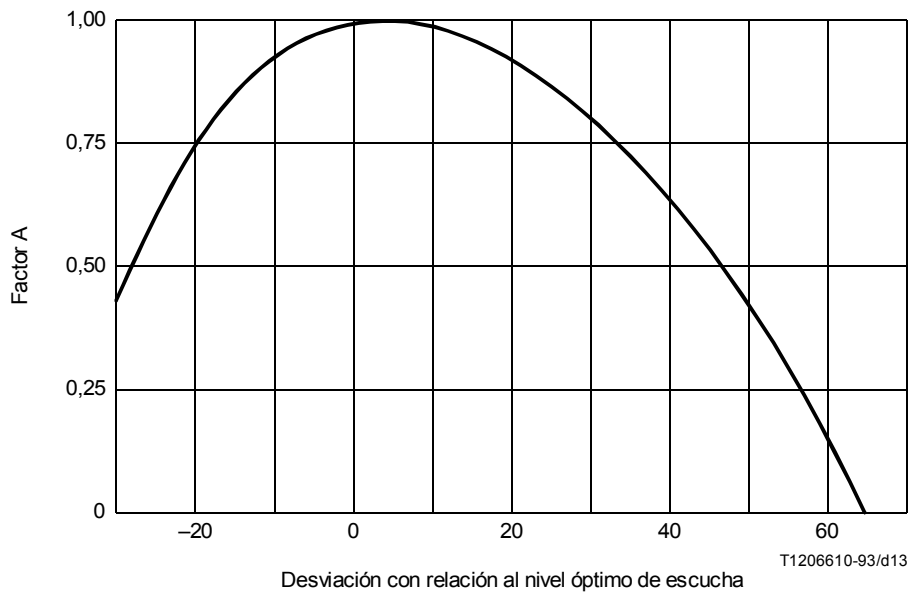


FIGURA 2-3
Efecto del nivel de escucha sobre el índice de opinión en la escucha

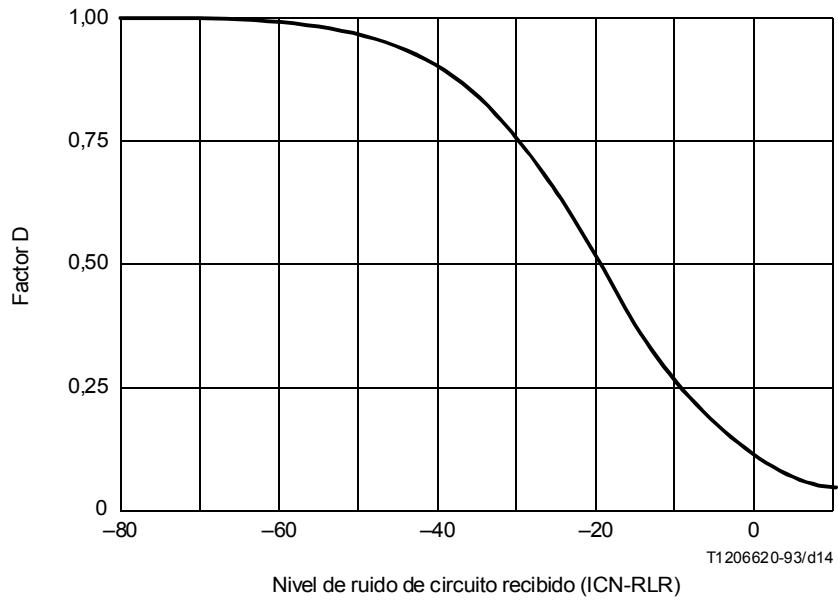


FIGURA 2-4
Efecto del nivel de ruido recibido sobre el índice de opinión en la escucha

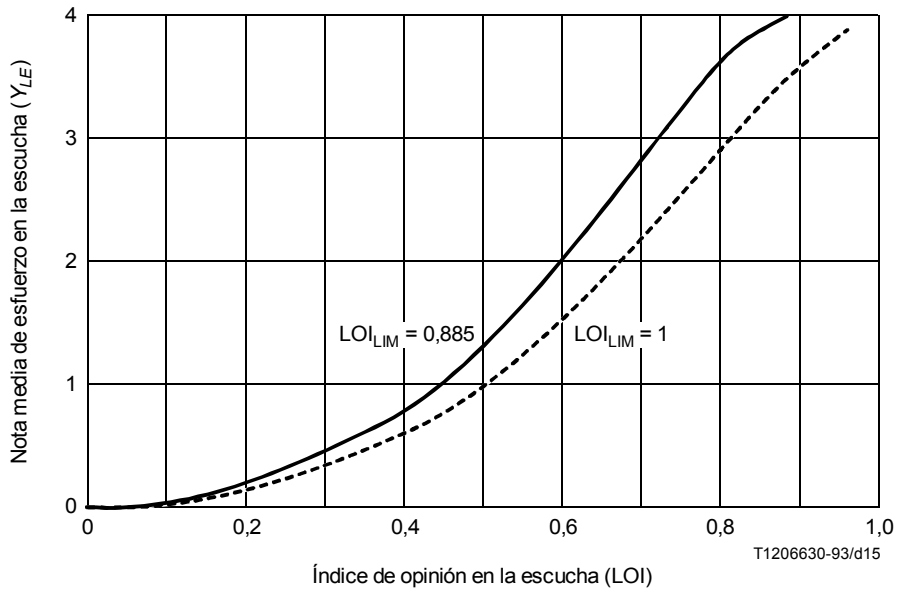


FIGURA 2-5
Nota de opinión en la escucha en función del índice de opinión en la escucha

2.7 Cálculo de la nota de opinión en conversación

Para convertir un valor de Y_{LE} , al nivel de escucha adecuado, en el valor correspondiente de la nota de opinión en conversación (Y_C) es necesario tener en cuenta las desviaciones del nivel vocal medio con respecto al RVL.

Se utiliza el símbolo V_L para designar el nivel vocal eléctrico en dBV a la salida de un extremo emisor cuando el nivel acústico a la entrada (punto de referencia boca) es el RVL. Durante la conversación, en ese mismo punto habrá generalmente un nivel diferente (V_C), pues los participantes tienden a elevar la voz si la palabra recibida es débil o de calidad mediocre, y a reducirla si la palabra se recibe a un nivel alto. En otros términos: V_C en el extremo A depende de Y_{LE} en el extremo A , que depende de V_C en el extremo B , que depende de Y_{LE} en el extremo B , que depende a su vez de V_C en el extremo A . Por lo tanto, existe una dependencia circular o efecto de realimentación.

Los trayectos de efecto local dan lugar a complicaciones cuando índice de enmascaramiento para el efecto local (STMR) < 13 dB (aparte de llevar ruido del ambiente al canal receptor como se ha explicado ya). En igualdad de condiciones, cada nivel vocal del hablante disminuye casi 1 dB por cada 3 dB de reducción del STMR por debajo de 13 dB, lo que, desde luego, introduce una ulterior modificación de las notas de opinión y niveles vocales en ambos extremos como consecuencia de la mencionada dependencia circular (o efecto de realimentación).

Además de esto, los niveles de efecto local muy altos resultan desagradables *per se*, sobre todo cuando la conexión es deficiente por otras razones.

Se considera que esta compleja interrelación queda expresada de una manera razonable por las siguientes ecuaciones:

Y'_C es una magnitud intermedia que se explica seguidamente.

$$\ln\left(\frac{Y'_C}{4 - Y'_C}\right) = 0,7 \left[\ln\left(\frac{Y_{LE}}{4 - Y_{LE}}\right) + 0,5 - \frac{K(13 - \text{STMR})}{20} \left(\frac{4 - Y_{LE}}{Y_{LE}}\right)^2 \right] \quad (2-1)$$

$$V_C - V_L = 4,0 - 2,1 Y'_C - 0,3 K (13 - \text{STRM}) \quad (2-2)$$

$$\ln\left(\frac{Y_C}{4 - Y_C}\right) = 0,8451 \ln\left(\frac{Y'_C}{4 - Y'_C}\right) - 0,2727 \quad (2-3)$$

donde

$K = 1$ para un STMR < 13

$K = 0$ en los demás casos.

Introduciendo en la ecuación (2-1) el valor de Y_{LE} hallado ya para el extremo A (que sería aplicable para $V_C = V_L$ en el extremo B), se obtiene una primera aproximación de Y'_C , y después, a partir de la ecuación (2-2), una aproximación de V_C en el extremo A . Estos mismos cálculos se repiten con este nivel vocal y se obtiene un nuevo valor de Y_{LE} en el extremo B , y de la misma manera, una aproximación de Y'_C y V_C en el extremo B . Este proceso se repite cíclicamente hasta que Y'_C converja hacia un determinado valor y, al mismo tiempo, se satisfagan las ecuaciones (2-1) y (2-2).

La Figura 2-6 muestra la forma de la relación resultante entre Y_{LE} e Y'_C , para dos valores diferentes de STMR, teniendo V_C su valor propio. La transformación, ecuación (2-3), que ilustra la Figura 2-7 se aplica entonces a la nota intermedia Y'_C para dar la nota estimada de opinión en conversación Y_C que se representa en función de Y_{LE} en la Figura 2-8.

2.8 Evaluación de otras medidas subjetivas de la calidad

Se han desarrollado relaciones para diversas dicotomías de la escala de opiniones – por ejemplo, la proporción de opiniones de valor superior a 2 (es decir, notas de «excelente» o «buena») – y para el porcentaje de respuestas positivas a la pregunta sobre las dificultades experimentadas (véase la Recomendación P.80).

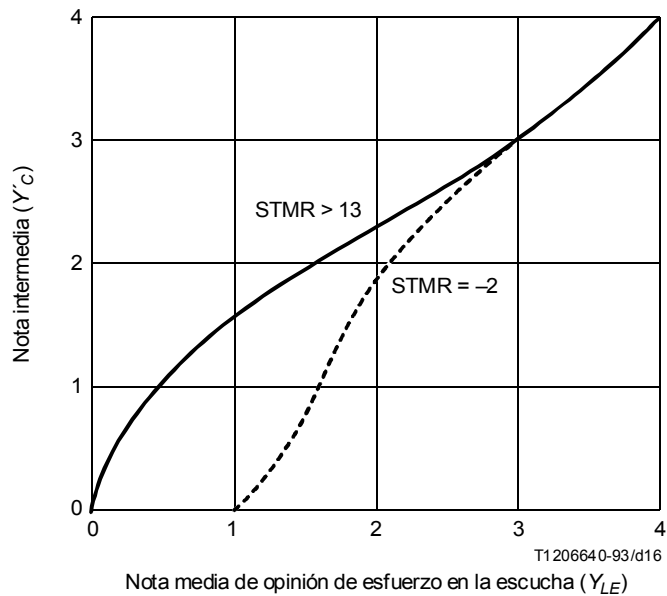


FIGURA 2-6
Nota intermedia en función de la nota de opinión en la escucha

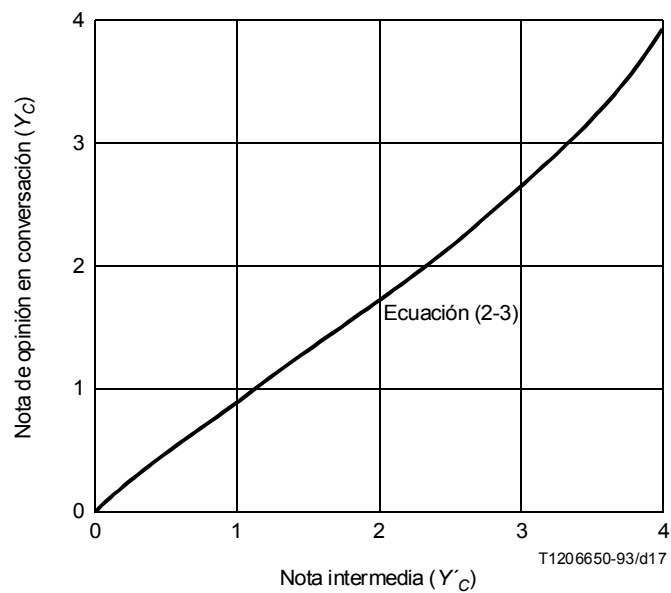


FIGURA 2-7
Nota de opinión en conversación en función de la nota intermedia

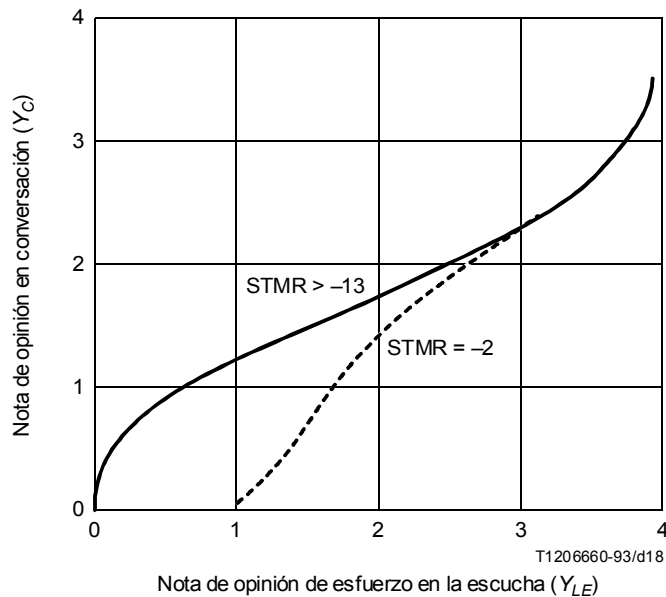


FIGURA 2-8
Nota de opinión en conversación en función de la nota de opinión en la escucha

Por ejemplo, el porcentaje de dificultad se representa por la ecuación:

$$\ln\left(\frac{D}{1-D}\right) = -2,3 \ln\left(\frac{Y_C}{4-Y_C}\right)$$

donde

$$D \times 100 = \%D$$

Sin embargo, estas relaciones sólo son satisfactorias en presencia de ciertas clases de degradación, y están aún en estudio.

2.9 Correspondencia entre valores calculados y observados

Para conexiones simétricas, y a condición de que se excluyan los casos de niveles muy altos del efecto local y del ruido de sala, el modelo reproduce bastante bien los resultados de pruebas de conversación efectuadas en laboratorio, en el Reino Unido. En las pruebas de laboratorio más recientes se ha observado que los niveles vocales, y por tanto, las notas de opinión, tienen tendencia a ser más bajas que los observados anteriormente, pero esto no altera mucho las condiciones relativas de los circuitos. Se cree, aunque esto no haya quedado aún plenamente comprobado, que aproximadamente las mismas condiciones relativas («relatividades») son válidas para otras poblaciones de participantes (en particular, para la población constituida por los usuarios telefónicos ordinarios acostumbrados al sistema del British Telecom), si bien pudieran obtenerse notas de valores absolutos diferentes si intervienen otras poblaciones de participantes o se utilizan procedimientos experimentales diferentes.

Los resultados disponibles obtenidos en experimentos con conexiones asimétricas son relativamente pocos, pero, no obstante, revelan que las predicciones mediante el modelo acusan una divergencia demasiado grande entre los dos extremos de la conexión (especialmente con respecto a V_C , y no tan grande con respecto a Y_C). Se propone introducir una característica de realimentación para reducir las divergencias entre los dos valores de V_C , pero deberá tenerse cuidado de no reducir demasiado la divergencia de Y_C como resultado de esto. La HRC 4 del Anexo A muestra un ejemplo de cálculos con el programa CATNAP para un conjunto de conexiones con pérdidas asimétricas: compárense estas predicciones con la referencia [23].

Las previsiones de Y_C y de V_C mediante los dos CATNAP83 se han comparado con los resultados de varios experimentos de conversación realizados en el Reino Unido desde 1976. Las concordancias se resumen en el Cuadro 2-1.

CUADRO 2-1

Comparación de los resultados observados (O) y previstos (P) de ambos modelos

Programa	Tipos de conexión	Número de conversaciones	Desviaciones (O – P)			
			Media		Cuadrática media	
			V_C	Y_C	V_C	Y_C
CATNAP	Sólo simétrica	680	-0,8	-0,29	4,1	0,41
CATNAP	Simétrica y asimétrica	883	-1,0	-0,22	3,8	0,38
CATNAP83	Sólo simétrica	680	-0,2	-0,02	4,0	0,26
CATNAP83	Simétrica y asimétrica	883	-0,4	+0,14	3,8	0,44

Se observará que la mejora de Y_C prevista para las conexiones simétricas se ha obtenido a expensas de un ligero aumento de la desviación cuadrática media de Y_C cuando se incluyen conexiones asimétricas. Ahora bien, en vista de los demás cambios que se espera serán necesarios para predecir de manera adecuada la calidad de funcionamiento de las conexiones asimétricas, parece apropiado en este momento guiarse principalmente por los resultados de las conexiones simétricas.

2.10 Inclusión de otros factores de degradación

2.10.1 Distorsión de cuantificación MIC

En [21] se describe un método para tratar los efectos de la distorsión de cuantificación en sistemas MIC. Se expresa en ese trabajo que puede evaluarse un parámetro Q , valor eficaz de la relación palabra/ruido de cuantificación, expresada en decibelios, para cualquier tipo especificado de sistema MIC, en función del nivel vocal de entrada. Se ha observado que el efecto subjetivo de un valor dado de Q puede aproximarse por el de un ruido de circuito continuo con un nivel de G dB por debajo del nivel vocal, siendo

$$G = 1,07 + 0,285 Q + 0,0602 Q^2$$

Así, para una conexión que comprenda enlaces MIC, habrá que incluir una evaluación del nivel de ruido equivalente en el proceso iterativo que determina V_C : cada aproximación sucesiva de V_C conduce a un nuevo valor de Q , el cual se utiliza a su vez para hallar un nuevo valor de G , del que se obtiene una nueva contribución al ruido de circuito que deberá tenerse en cuenta para calcular el nuevo valor de Y_{LE} . En la práctica, los efectos de estas modificaciones son despreciables, a menos que el nivel vocal a la entrada del sistema MIC descienda por debajo de -25 dBV, que el nivel de ruido de circuito en ese mismo punto sea demasiado alto, o que el nivel vocal de entrada sea tan alto (por ejemplo, superior a -5 dBV) que se produzcan limitaciones apreciables de las crestas.

2.10.2 Compresión-expansión (compansión) silábica

El caso de un compansor silábico 2 : 1 puede tratarse de una manera sencilla hallando un nivel de ruido continuo subjetivamente equivalente.

Sea S el nivel vocal a la entrada del compresor, y N el nivel de ruido (con ponderación sofométrica) producido entre el compresor y el expansor, magnitudes ambas expresadas en dB con relación al nivel invariable. Los niveles resultantes a la salida del expansor serán entonces los indicados en el Cuadro 2-2.

CUADRO 2-2

	Conversación	Ruido en presencia de conversación	Ruido en ausencia de conversación
Nivel a la entrada del compresor	S	–	–
Ganancia del compresor (dB)	$-S/2$	–	–
Nivel a la salida del compresor y a la entrada del expansor	$S/2$	N	N
Ganancia del expansor (dB)	$S/2$	$S/2$	N
Nivel a la salida del expansor	S	$N + S/2$	$2N$
Nivel en el mismo punto en ausencia del compansor (compresor-expansor)	S	N	N
Mejora	–	$-S/2$	$-N$

Obsérvese que S (señal vocal) y N (ruido) son normalmente negativos, por lo que las mejoras son positivas. Todo ruido presente a la entrada del compresor estará presente, al mismo nivel, a la salida del expansor, y se combinará por adición de potencia con el otro ruido en el mismo punto.

La calidad de funcionamiento subjetivamente equivalente se obtiene suprimiendo el compansor e introduciendo en su lugar un nivel continuo de ruido que satisfaga la condición:

$$\begin{aligned} \text{Mejora total} &= 1/3 (\text{mejora en presencia de conversación}) + \\ &+ 2/3 (\text{mejora en ausencia de conversación}) \\ &= -S/6 - 2N/3 \end{aligned}$$

por lo tanto,

$$\begin{aligned} \text{nivel de ruido equivalente} &= N - \text{mejora} \\ &= N + S/6 + 2N/3 = S/6 + 5N/3. \end{aligned}$$

Este nivel de ruido se calcula de nuevo partiendo de V_C en cada iteración y se utiliza para calcular el siguiente valor de Y_{LE} .

2.10.3 Retardo y eco

La audibilidad y objetabilidad del eco pueden expresarse como una función relativamente sencilla del retardo y el índice de sonoridad del trayecto de eco, pero los efectos más amplios del eco y el retardo del trayecto principal en la perturbación de la conversación sólo pueden evaluarse en los momentos actuales mediante una estimación *ad hoc* sobre la base de la calidad de funcionamiento conocida de condiciones de circuito en partes vecinas de la gama. Se están tomando medidas para ampliar el modelo en este sentido, teniendo en cuenta también la interacción del retardo y del eco con el efecto local y la distorsión no lineal.

2.10.4 Diafonía

La parte del modelo destinada a los cálculos de sonoridad puede utilizarse para estimar la audibilidad de la diafonía, para distintas atenuaciones, y, sobre esta base, determinar la atenuación necesaria para reducir la diafonía a un nivel inaudible, o aceptable.

2.11 Utilización práctica del modelo

A nivel académico o de investigación, la aplicación principal de un modelo de esta clase consiste en promover la comprensión de los fundamentos de la telecomunicación por el hombre, y descubrir posibles mejoras en las técnicas de los sistemas de telecomunicación.

A nivel práctico, la ventaja principal del modelo es la de codificar los datos conocidos sobre la calidad de funcionamiento de las conexiones telefónicas, económicamente y sin necesidad de tabulaciones o gráficos de gran tamaño y complejidad. Para conexiones que sólo son afectadas por las degradaciones «naturales», el programa CATNAP facilita mucho la utilización del modelo para aplicaciones de rutina. El usuario de este programa no necesita tener más nociones de la teoría que el significado de los términos y símbolos utilizados, y normalmente no tiene que efectuar ninguna medición especial. Las conexiones se especifican en base de elementos y magnitudes corrientes, tales como niveles de ruido, teléfonos de determinados tipos, longitudes de cable con sus características de resistencia y capacidad por unidad de longitud (km), y atenuadores con sus atenuaciones nominales. Partiendo de estos datos, el programa efectúa todos los cálculos necesarios e imprime índices de sonoridad, niveles vocales y notas de opinión (Y_{LE} e Y_C). Puede imprimir, si así se desea, otras informaciones más detalladas.

Sería posible, desde luego, construir una gran tabla de resultados aplicable a una amplia gama de conexiones, pero esta tabla sería, o bien demasiado grande para ser práctica, o estaría limitada al hacerse determinadas selecciones arbitrarias con relación a muchas variables. Tanto en uno como en otro caso, se perdería la ventaja que ofrece el modelo: el hecho de almacenar la información con economía de codificación, y de imprimir sólo la parte requerida, cuando se desee.

El CATNAP puede utilizarse también a la inversa. Supóngase que se desea hallar el valor de cierta variable (la variable independiente) en una conexión que producirá un valor dado de una de las variables dependientes. Efectuando pasadas del programa para diferentes valores de la variable independiente, se identifica una región dentro de la cual está el valor requerido. Se puede repetir el cálculo para intervalos cada vez menores hasta que el valor requerido quede determinado con suficiente exactitud. Por ejemplo, si se mantienen constantes todas las características excepto la línea local, se puede hallar la longitud de línea (para el tipo de cable en cuestión) que producirá valores de OLR que no rebasen cierto máximo especificado, o los valores Y_C que rebasen cierto mínimo especificado. Sería posible también, desde luego, operar con dos variables independientes, pero la determinación de las combinaciones que satisficieran el criterio exigiría un trabajo tanto más complejo.

La utilidad de estos recursos es evidente.

3 Cálculo de la calidad de transmisión a partir de mediciones objetivas por el método del índice de información (Contribución de Francia)

3.1 Introducción: tipo de modelo

La teoría del índice de información se describe en [24]. Esta cantidad puede calcularse a partir de resultados de mediciones objetivas y de algunos datos fundamentales sobre la palabra y la audición. El modelo tiene en cuenta la pérdida de transmisión, el ruido de circuito, el ruido ambiente, la distorsión de atenuación en función de la frecuencia, el efecto local y diversas distorsiones que se producen en las transmisiones digitales. Se está estudiando el efecto de otros tipos de distorsión no lineal.

Este modelo pertenece al segundo tipo mencionado en [25] y en 2.1, ya que refleja las relaciones de causa a efecto entre la entrada (propiedades de la conexión considerada, entorno acústico, algunas propiedades de la palabra y de la audición) y la salida (información mutua transmitida entre el hablante y el oyente). En esta cláusula se describe exclusivamente el método práctico de cálculo del índice de información. Como se indica en [24] y en los Cuadros 3-4 y 3-7, los valores así calculados están estrechamente correlacionados con los resultados de las pruebas subjetivas de opinión realizadas en varios países.

3.2 Aplicación a las transmisiones digitales

3.2.1 Definiciones

En el Cuadro 3-1 se definen las diversas relaciones señal/ruido que han de tenerse en cuenta (en dB).

CUADRO 3-1

Notaciones		Definiciones
(Véase la Nota 1)	(Véase la Nota 2)	
Q_M	Q, Q_j	Relación señal/ruido, mantenida constante por un aparato de referencia para ruido modulado (MNRU)
Q_{seg}	Q_s	Relación señal/ruido o señal/distorsión por segmentos (media, en dB, de las relaciones calculadas para segmentos de 16 ó 32 ms)
Q_P		Relación (en dB) potencia media de señal/potencia media de ruido o potencia media de señal/potencia media de distorsión, para ruido correlacionado con la palabra
NOTAS		
1	En toda la banda transmitida.	
2	A la frecuencia f_j .	

Sea s la señal vocal original y r la señal reconstituida, se tiene:

$$Q_P = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum s^2}{\sum (s - r)^2} \right] \text{ dB} \quad (3-1)$$

Si se toman las sumas para una emisión completa de palabras, Q_P no es un criterio de calidad satisfactorio; para una frecuencia de muestreo de 8 kHz, se tiene

$$Q_{seg} = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^{128} s^2(j + 128 m)}{\sum_{j=1}^{128} [s(j + 128 m) - r(j + 128 m)]^2} \text{ dB} \quad (3-2)$$

donde M es el número de segmentos de 16 ms.

Para determinar Q_s , se calculan los espectros de la señal, (s) y de la distorsión ($s - r$) para 256 muestras de 32 ms de duración, se les divide en las bandas de frecuencias apropiadas. A continuación, se calcula en cada banda la relación señal/distorsión por segundo.

3.2.2 Fórmulas básicas

El índice de información I_I (en dB), definido en [24], viene dado por

$$I_I = \sum_j B_j \times V_j \quad (3-3)$$

con

$$V_j = \frac{3}{0,10 + 10^{-(Q_j + C_j)/10}} \quad (3-4)$$

B_j es la ponderación atribuida a la banda de orden j ; $C_j = 10 \log_{10}(f_j/\Delta f_c)$, siendo Δf_c la anchura de banda crítica.

En el Cuadro 3-2 se indican los valores de B_j y de C_j para las bandas que se utilizan en el ejemplo de 3.2.4; se reproducen en las líneas 60 y 70 de I.1, 70 y 80 de I.2. En las líneas 180 a 370 del Apéndice II, columnas BJ y CJ, se indican los valores de las frecuencias preferidas (espaciadas un tercio de octava) por la ISO, de 0,1 a 8 kHz.

CUADRO 3-2

Ponderación en frecuencia

j	Bandas de igual articulación Frecuencias extremas (Hz)		$B_j \times 10^5$	C_j (dB)
1	200	330	5457	4,1
2	330	430	4733	5,6
3	430	560	6682	6,4
4	560	700	7497	6,9
5	700	840	6546	7,4
6	840	1000	6622	7,8
7	1000	1150	5585	8,0
8	1150	1310	5400	8,0
9	1310	1480	5273	8,2
10	1480	1660	5117	8,2
11	1660	1830	4517	8,2
12	1830	2020	4706	8,2
13	2020	2240	5073	8,2
14	2240	2500	5561	8,2
15	2500	2820	6310	8,2
16	2820	3200	6886	8,1
	TOTAL		102 158	

3.2.3 Correspondencia entre las relaciones señal/ruido en el caso de transmisiones digitales

En el caso de MNRU con ruido uniforme o conformado, según su principio de funcionamiento, $Q_s = Q_j$, puede aplicarse directamente la ecuación (3-4) si se conoce Q_s en cada banda.

Para los codificadores digitales, se utiliza la ley de equivalencia que figura en las líneas 260 a 370 del Apéndice I.2, ley que depende de un parámetro, $d = Q_{seg} - Q_p$. Los cálculos numéricos han demostrado que esta ley es válida tanto para MIC ($d = 0$) como para la palabra natural ($d = -5,33$) [24]. El ejemplo de 3.2.4 muestra que esta ley de equivalencia da resultados coherentes para varios tipos de codificadores.

3.2.4 Programas y ejemplo de aplicación

Los programas utilizados se reproducen en I.1 e I.2.

En el Cuadro 3-3 se indican los valores medidos de las relaciones señal/ruido definidas anteriormente para MNRU y para diversos codecs, así como los valores de índices de información calculados a partir de esos resultados y las notas medias de opinión (MOS) para la escucha determinadas en el laboratorio del CNET [26].

En el Cuadro 3-4 se indica la correlación entre estas MOS y el índice de información (véase el Cuadro 3-3) y con otras mediciones objetivas propuestas de la calidad de transmisión.

3.3 Aplicación a las transmisiones analógicas

3.3.1 Generalidades; utilización del programa

En el caso de las transmisiones analógicas, se explicará el cálculo del índice de información con referencia al programa reproducido en el Apéndice II. Esto se aplica a una conexión compuesta de dos aparatos telefónicos NTT tipo 600 (con líneas de abonado de 7 dB), un filtro SRAEN y un atenuador variable. En 3.4 se examina la posibilidad de escribir el programa correspondiente para otros tipos de conexiones.

El programa se utiliza del siguiente modo:

- introducir RN, STMR, ICN₀ como se define en las líneas 30 a 60 del programa, pulsar «L», introducir OLR; leer IN = índice de información (escucha);
- si se requiere I_c (índice de información en condiciones de conversación)⁴, pulsar «C»; leer IN = I_c ;
- pulsar «T».

3.3.2 Datos

Líneas 170 a 370 del programa.

Las líneas 180 a 370 corresponden a frecuencias con separación de un tercio de octava de 0,1 kHz a 8 kHz.

3.3.2.1 Datos básicos

Estos datos no dependen del tipo de aparato telefónico utilizado.

- BK es el umbral de escucha para sonidos de espectro continuo (L_s en [24]) referido al punto de referencia oído;
- S es el densidad espectral (intensidad media a largo plazo) de la voz en el punto de referencia boca; S + 0,4 dB corresponde a un nivel vocal de -4,7 dB/1Pa;
- BJ es el ponderación en frecuencia (véase [24]);
- CJ es el término de corrección en la fórmula (3-4), que da V_j .

3.3.2.2 Características electroacústicas

Estas características dependen de la conexión considerada y están definidas en III.1.2; en este caso, basta con saber que RLR (índice de sonoridad en recepción) = -3,9 dB.

NOTA – En principio no es necesario conocer el SLR (emisión), aunque este valor podría ser utilizado para introducir una ligera corrección en el OLR si se utilizase un ejemplar distinto del mismo tipo de aparato telefónico.

La pérdida global (OLA) entre los puntos de referencia boca (MRP) y oído (ERP), tal como serían medidos con un oído artificial, ha sido calculada como se indica en III.2.1.

4) Véase el Cuadro 3-5.

CUADRO 3-3

Ejemplos de valores medidos de Q (dB) y de I_f calculados

Sistema	MOS (0-4)	En toda la banda		Q _s en la banda N.º																I _f (dB)	
		Q _P	Q _{seg}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
				15	14,9	20,1	17,9	15,3	11,5	8,1	5,5	3,3	1,7	2,2	1,9	0,9	0,5	0,3	0,6		0,4
MNRU	15 dB	15	14,9	20,1	17,9	15,3	11,5	8,1	5,5	3,3	1,7	2,2	1,9	0,9	0,5	0,3	0,6	0,4	€-0,6	17,1	
	20	20	19,8	25,1	23	20,3	16,6	13,2	10,6	8,3	6,8	7,2	6,9	5,9	5,4	5,3	5,6	5,4	4,4	22,5	
	25	25	24,9	30,4	28,5	25,6	21,3	17,5	15	12,6	10,8	11,4	11,1	10,1	9,6	9,5	9,8	9,4	8,2	25,2	
	30	30	29,9	35,6	33,5	30,4	26,2	22,2	19,6	17,3	15,5	16,1	15,9	14,9	14,4	14,2	14,6	14,2	13	26,7	
MNRUS	15	15,1	15,4	13,6	13,8	13,1	10,8	8,8	7,7	6,6	6	7,7	8,2	7,9	8,2	8,7	9,7	10,1	9,7	22,8	
	20	20,1	20,4	18,6	18,9	18,1	15,7	13,6	12,5	11,5	10,8	12,5	13,1	12,8	13	13,6	14,7	15	14,6	25,8	
	25	25,1	25,4	23,9	24,2	23,2	20,8	18,6	17,3	16,4	15,7	17,3	17,9	17,7	17,9	18,4	19,4	19,8	19,1	27,0	
	30	30,1	30,4	29,1	29,3	28,2	25,8	23,4	22,2	21,2	20,5	22,1	22,8	22,5	22,7	23,1	24,1	24,5	23,9	27,4	
F 16 kbit/s	0,81	14,2	11,4	15,2	13,5	10,8	7,3	4,1	1,7	-0,9	-2,1	-1,5	-1,9	-2,8	-3,3	-3,2	-2,5	-2,5	-2,7	16,5	
24	1,59	20	17,7	21,7	19,8	17,4	13,9	10,6	8,1	5,9	4,7	5	4,5	3,8	3,5	3,1	3,6	3,4	2,8	23,4	
32	2,59	25,2	22,8	27,1	25,4	22,6	19,2	16	13,7	11,4	10	10,3	9,8	9	8,6	8,4	8,8	8,5	7,9	26,0	
V 16 kbit/s	2,03	12,8	14,5	16,2	14,2	11,9	8,6	6,1	4,2	2,5	1,9	2,6	2,2	2,1	2	2,4	2,8	2,9	2,8	24,1	
24	3,06	19,7	21,8	25,1	23,2	20,6	17	14,1	11,8	9,3	8,2	8,8	8,3	7,3	7,1	7	7,7	7,7	7,2	26,7	
32	3,28	25,7	28,3	32,1	30,1	27,6	24	20,5	18,3	15,6	14,4	14,8	14,3	13,3	13,1	12,8	13,3	13,2	12,3	27,4	
SB 24 kbit/s	2,84	17,1	15	16,7	14,7	13	16,7	15,3	13,4	12,9	14,8	14,9	12,4	11,7	11,3	11,3	11,6	7,4	6,3	26,2	
32	3,22	20,4	19,4	22,1	20	18,4	21,9	20,3	18,5	17,1	19,6	20	20,2	19,9	17,3	16,7	16,4	12,7	11,4	27,2	
MNRUS	MNRU con ruido conformado																				
F	MICDA con predictor fijo																				
V	MICDA con predictor variable																				
SB	Codificación en subbanda (<i>sub-band</i>)																				

CUADRO 3-4

Correlación entre la MOS y diversas mediciones objetivas de la calidad de transmisión en el caso de transmisiones digitales

Medición objetiva (Véase la Nota)	Sistemas									
	Grupo B MIC, ADM, MICDA-F		Grupo A Igual que B + ATC APC – AB		Grupo F MICDA-F, MICDA-V		Grupo E Igual que F + codificación de subbanda		Grupo D Igual que E + MNRU MNRU conformado	
	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S
Q_P (relación SNR)	0,798	0,578	0,803	0,559	0,687	0,680	0,590	0,711	0,650	
Q_{seg} (relación SNR por segmento)	0,950	0,301	0,894	0,430	0,906	0,396	0,725	0,606	0,720	
«Relación logarítmica de similitud»	0,943	0,213	0,924	0,341						
Distancia cepstral	0,954	0,208	0,929	0,331						
Relación señal/ruido con ponderación en frecuencia (SNRF)									0,884	
Índice de información					0,992	0,104	0,993	0,109	0,976	0,174

SNRF Q_s con ponderación en frecuencia
R Coeficiente de correlación
S Desviación típica (en términos de MOS en una escala de 0 a 4 o de 1 a 5)
NOTA – Notaciones del Cuadro 3-1.

3.3.2.3 Componentes de ruido

Se consideran las siguientes componentes (que dependen de la conexión):

BDFE es el espectro del ruido ambiente en el extremo distante transmitido por el aparato telefónico del extremo distante;

BDCN es el espectro del ruido de circuito;

BDST es el espectro del ruido ambiente en el extremo próximo transmitido por el trayecto de efecto local;

BDFE es el espectro del ruido ambiente en el extremo próximo transmitido por la fuga del pabellón del auricular.

Los datos de las líneas 180 a 370 corresponden a una conexión típica; son los siguientes:

FE es el BDFE calculado para RN = 50 dBA en el extremo distante y un índice de sonoridad global (OLR) de 5 dB, de conformidad con la Recomendación P.79;

CN es el BDCN calculado para $ICN_0 = -60$ dBmp;

ST es el BDST calculado para RN = 50 dBA e STMR = 15 dB;

EL es el BDEL calculado para RN = 50 dBA.

Estos cálculos fueron realizados a partir de las características de frecuencia indicadas en los Cuadros 4-4, C.1 y D.1. El espectro de ruido de circuito utilizado en el ejemplo del programa del Apéndice II corresponde a la última columna del Cuadro C.1 (véase III.1.1) y es aplicable a casi todos los casos de los Cuadros 3-5 y 3-6. Para el ruido blanco se utiliza un espectro diferente.

3.3.3 Cálculo de las relaciones señal/ruido

3.3.3.1 Nivel de la señal

En primer lugar, se corrige el OLR si es inferior al valor típico (Apéndice II, líneas 100 a 160). Este valor óptimo se determina mediante una subrutina (líneas 720 a 820) similar a las fórmulas que aparecen en el Anexo A/P.11, pero adaptada a los resultados de las pruebas subjetivas de opinión publicadas en [28].

3.3.3.2 Relación señal/ruido (líneas 425 a 440)

Se toma la suma de potencias de los componentes de ruido, y se obtiene la relación señal/ruido Z_n .

3.3.3.3 Efecto de los umbrales (líneas 450 a 480)

Se calcula Z_a (véase [24] cláusula V.2) a partir del que se obtiene la relación señal/ruido equivalente Z_e . La resultante Z se obtiene mediante la suma de potencias de los ruidos correspondientes a Z_n y Z_e .

3.3.4 Índice de información para un nivel vocal constante I_L

La equivalencia entre Z y Q se obtiene a partir de los valores que figuran en la rúbrica «Japón» en el Cuadro 1 de [29], después se calcula V para cada frecuencia (líneas 650 a 700) y se obtiene IN para la escucha (líneas 500 a 550).

3.3.5 Índice de información en conversación, I_c

En primer lugar se modifica la potencia vocal para tener en cuenta la acción del efecto local cuando se habla (líneas 90 y 560 a 610), como en 2.7.

Se añade una segunda corrección (línea 620), como se explica en ([24] cláusula V.3). La aplicación del presente modelo a los aparatos telefónicos tipo 13-2P-27, con la ley de equivalencia mencionada en 3.3.4, da lo siguiente:

$$V_c - V_L = 9,87 - 0,4085 I_L$$

3.3.6 Ejemplos

En el Cuadro 3-5 se dan las MOS, determinadas subjetivamente mediante dos pruebas (una en condiciones de escucha y otra de conversación) realizadas en las mismas condiciones, citadas en [28], y los índices de información calculados para esas condiciones.

En el Cuadro 3-6 se indican las MOS subjetivas, determinadas para diversas condiciones de ruido, y los índices de información en escucha correspondientes.

En el Cuadro 3-7 se indica la correlación entre las MOS subjetivas y los valores de índices de información indicados en los Cuadros 3-5 y 3-6.

CUADRO 3-5

Índice de información I para aparatos telefónicos NTT tipo 600 (línea de 7 dB) con filtro SRAEN, STMR = 7,1 dB y notas de opinión de las pruebas 2 y 6

RN (dBA)	ICN (dBmp)	ICN ₀ (dBmp)	OLR (dB)	Y_L	I_L (dB)	Y_C	I_C (dB)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
60	-62,1	-58,2 (ruido de central solamente)	1,4	3,13	22,37	2,94	22,2
			11,4	2,5	21,26	2,34	21,11
			21,4	2,31	17,32	1,58	17,87
			31,4	0,65	8,16	0,2	13,64
60	-59,8	-55,9	1,4	3,1	22,36		
			11,4	2,91	21,15		
			21,4	1,75	16,92		
			31,4	0,8	7,37		
60	-55,8	-51,9	1,4	2,83	22,38	2,99	22,2
			11,4	2,75	20,97	2,39	20,83
			21,4	1,79	16,34	1,28	17,24
			31,4	0,5	6,51	0,43	12,4
60	-51,4	-47,5	1,4	3,06	22,37	3,08	22,17
			11,4	2,24	20,53	2,17	20,42
			21,4	1,05	14,97	1,29	16,41
			31,4	0,09	5,17	0,22	11,11
60	-45,6	-41,7	1,4	2,31	22,18	2,63	21,95
			11,4	1,4	19,22	1,73	19,34
			21,4	0,64	11,66	0,77	14,77
			31,4	0,05	3,15	0,13	8,55

- (1) Ruido ambiente, dBA
- (2) Ruido de circuito a la entrada del extremo receptor, dBmp
- (3) $ICN_0 = ICN + 3,9$ dB
- (4) OLR (véase la Recomendación P.79)
- (5) MOS en escucha (en una escala de 0 a 4) prueba 2 de [28], p. 4-4
- (6) Índice de información en escucha (posición L del Apéndice II)
- (7) MOS en conversación, prueba 6 de [28], p. 4-9
- (8) Índice de opinión en conversación (posición C del Apéndice II)

CUADRO 3-6

**Índice de información en la escucha para aparatos telefónicos NTT
tipo 600 (línea de 7 dB) con filtro SRAEN, STMR = 7,1 dB
y notas de opinión en la escucha de la prueba 4**

RN (dBA)	ICN (dBmp)	ICN ₀ (dBmp)	OLR (dB)	Y_L	I_L (dB)
0	(Nota 1)	-100 (Nota 1)	-3,6	2,30	21,05
			1,4	2,83	21,86
			6,4	3,26	22,51
			11,4	2,92	22,16
			16,4	2,59	21,43
			21,4	2,12	20,48
			26,4	1,89	19,24
			31,4	1,23	17,07
60	-55,8	-51,9	-3,6	2,61	21,35
			1,4	2,94	22,38
			6,4	3,00	22,15
			11,4	2,38	20,97
			16,4	1,80	19,09
			21,4	1,41	16,34
			26,4	0,91	11,95
			31,4	0,44	6,51
60	-56,9	-53 (Nota 2)	1,4	3,20	22,39
			11,4	2,53	21,06
			21,4	1,24	16,62
			31,4	0,24	6,77
50	-55,8	-51,9	1,4	3,21	22,67
			11,4	2,64	21,7
			21,4	1,58	18,48
			31,4	0,35	11,16
45	-64,9	-61	1,4	3,23	22,52
			13,4	2,62	21,77
NOTAS					
1 En estos casos, no había ruido de circuito durante las pruebas de opinión, pero se utilizó un ruido correspondiente a ICN = -76,9 (ICN ₀ = -73) en el modelo OPINE. Puede utilizarse un valor bajo arbitrario de ruido para el cálculo del índice de información.					
2 Ruido blanco.					

CUADRO 3-7

Correlación entre MOS y el índice de información en el caso de transmisión analógica^{a)}

Tipo de conexión	Gama de condiciones (Nota)			Tipo de MOS	Modelo	Coeficiente de correlación	Desviaciones en términos de Y	
	RN (dBA)	ICN ₀ (dBmp)	OLR (dB)				Error tipo	Desviaciones extremas
Aparatos telefónicos NTT tipo 600 + filtro SRAEN	0 a 60	-∞ y -61 a -51,9	-3,6 a + 31,4	Y _L	I	0,985	0,11	-0,27 + 0,22
					O		0,17	-0,37 + 0,32
	60			Y _C	I	0,977	0,16	0,31 + 0,32
					O		0,20	-0,38 + 0,36

a) Este cuadro reemplaza el Cuadro VI de la referencia [24].
 I Índice de información
 O Modelo OPINE
 NOTA – Las notaciones son las del Apéndice II.

3.4 Ampliaciones

3.4.1 Características en frecuencia

En el Apéndice II se da un ejemplo que se explica anteriormente en 3.3. Si se utilizan distintos tipos de aparatos, redes de equilibrado, líneas de abonado o filtros de línea, deberán modificarse en consecuencia los datos correspondientes del Apéndice II, y se deberán calcular de nuevo los datos de ruido. El procedimiento se explica en el Apéndice III.

El OLR y el STMR, utilizados como variables independientes, deberían calcularse de nuevo según la Recomendación P.79.

3.4.2 Conexiones que incluyen procesos digitales

La subcláusula 3.2 y el Apéndice I se aplican a los casos en que la señal vocal se aproxima al nivel óptimo, a fin de comparar distintos codificadores en esas condiciones. Si los codificadores causan una mutilación apreciable, deberá calcularse la pérdida de información debida a ese efecto, y deberá determinarse el valor correspondiente de Q , como se explica en [24].

En cualquier caso, cuando se incluyen procesos digitales en una conexión de una red telefónica, deberán determinarse los valores correspondientes de Q_m en cada banda de frecuencias, y deberán combinarse con el valor de Q en el Apéndice II, mediante una suma de potencias de ruidos y distorsiones.

4 Modelo de índice de calidad global para evaluación de la calidad de una red (OPINE) (Contribución de la NTT)

4.1 Introducción

La NTT ha estudiado un modelo objetivo para evaluar la calidad de las transmisiones telefónicas [30], [31], [32], [33]. Se describe el modelo de índice de calidad global para evaluación de la calidad de una red (OPINE, *overall performance index model for network evaluation*), centrándose en la utilización práctica.

El OPINE trata la pérdida de transmisión, el ruido de circuito, el ruido ambiente, la distorsión de atenuación en función de la frecuencia (factores fundamentales) y la distorsión de cuantificación, el eco para el hablante y el efecto local. Establece un modelo del proceso auditivo-psicológico de evaluación de la calidad de transmisión telefónica por el ser humano, basándose en esos factores. Es, por consiguiente, el segundo tipo de modelo conforme a la clasificación de la cláusula 2 (British Telecom). El principio esencial del modelo es que la evaluación de los factores psicológicos (no de los físicos) en una escala psicológica es aditiva. El modelo ha sido ampliado desde la primera revisión para tener en cuenta factores físicos adicionales.

El OPINE se elaboró inicialmente en 1983 para los factores fundamentales [30]. Los datos de pruebas de opinión utilizados para acondicionar y verificar coeficientes dependen en gran medida de los resultados del experimento realizado en NTT ECL, Musashino, en 1975. Su propósito esencial era estudiar la nota de opinión como una medida de la calidad de las señales vocales, y como base de normas de transmisión telefónica. En [31] se indican los datos brutos. El experimento se realizó a gran escala tomando en cuenta varios factores, y utilizando un aparato telefónico NTT tipo 600.

En 1985 se realizaron pruebas de opinión para la distorsión de cuantificación. Se formuló y comprobó [32] una nueva revisión del modelo, que también trataba de la distorsión de cuantificación.

Se realizaron paralelamente [35], [36] otras pruebas de opinión para el eco y el efecto local para el hablante. Más tarde se estudiaron las características de evaluación del eco para el hablante, y su interacción con la sonoridad.

En 1986 se formuló la revisión 2.0 del OPINE y se redefinieron todos los parámetros en términos de índices de sonoridad (LR). Los puntos mejorados de la revisión 2.1 (son cambios menores) son los siguientes:

- corrección de Δf para que sea compatible con el de la Recomendación P.79;
- eliminación de un error de programación poco importante del programa Fortran en la revisión 2.0.

Mientras se estudiaba la configuración del modelo, se investigaron [36] también las características psicológicas de la evaluación de opinión, utilizando como variables la pérdida de transmisión y el ruido de circuito. Las conclusiones principales fueron:

- Las notas de opinión pueden reproducirse satisfactoriamente si se mantienen constantes las condiciones del experimento, el tipo de participante y otros parámetros.
- Las condiciones de prueba influyen considerablemente en las notas de opinión. Las condiciones de atenuación afectan en particular a la nota de opinión absoluta.

A pesar de estas conclusiones, debe definirse para uso práctico una evaluación absoluta para una condición de red determinada.

Por consiguiente, se especifican dos clases de pruebas de opinión:

- la clase 1, en que la nota refleja el valor medio de la evaluación de la calidad de la red para el abonado telefónico en general;
- la clase 2, que proporciona una nota relativa, pero que es sensible a determinados factores físicos.

En la prueba de la clase 1, se trata de obtener una nota de opinión absoluta. Por este motivo, la gama de condiciones de prueba debería ser similar a la de la degradación en la red comercial actual. Además, mientras mayor es el número de factores tomados en cuenta en la prueba de opinión, más se acerca el resultado a un valor absoluto. El número de participantes debería exceder de 60. Sin embargo, la prueba de la clase 2 se utiliza para estudiar la interacción entre varios factores. Esta prueba es más práctica pero el resultado no es absoluto. Convendría que la profesión del participante estuviera relacionada con la calidad vocal.

Al formular el OPINE, se clasifica como primera clase la base de datos de opinión de 1975, y el resto como segunda clase.

Las encuestas de opinión realizadas después de 1983 se utilizaron principalmente para la verificación cualitativa de las características aditivas de la evaluación según una escala psicológica para distintos factores.

Para ampliar el OPINE, se cambiaron los coeficientes para tener en cuenta factores más nuevos, de modo que se ajustaran a los resultados de la nota absoluta de la prueba de la clase 1 de 1975.

4.2 Descripción del modelo

Sobre la base de estudios anteriores, se eligieron cinco factores psicológicos que influyen en la calidad de las señales vocales en telefonía:

- 1) distorsión vocal para la distorsión de atenuación en función de la frecuencia;
- 2) atenuación o exceso de sonoridad efectiva en conversación;
- 3) ruido durante los intervalos con conversación y sin conversación;
- 4) degradación debida al eco para el hablante;
- 5) degradación causada por el efecto local.

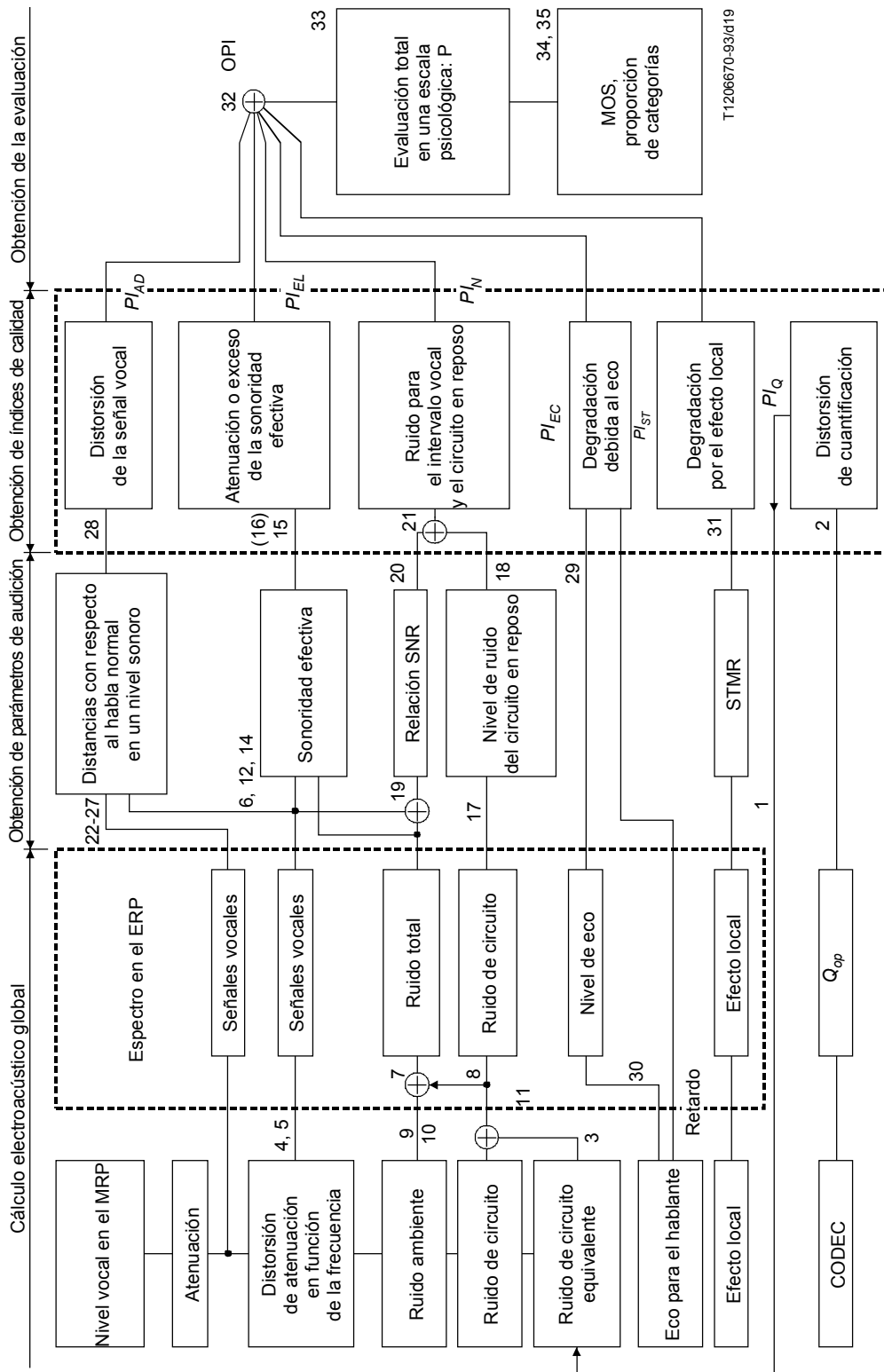
Se utiliza también para cada uno de los factores citados un índice de calidad (PI, *performance index*) que indica la degradación psicológica, y se estima la MOS a partir del índice de calidad global (OPI, *overall performance index*) que se obtiene sumando todos los PI.

A fin de calcular el PI para cada factor, se obtienen los factores físicos para la sonoridad, la distorsión, etc., y se transforma cada PI mediante una función apropiada. Estas funciones se determinan heurísticamente y se estiman las constantes necesarias a partir de datos subjetivos. La influencia de cada factor sobre la evaluación está reflejada por estas constantes.

La Figura 4-1 muestra el diagrama de bloques conceptual del OPINE. El modelo consta de cuatro partes:

- 1) cálculo electroacústico global;
- 2) obtención de parámetros auditivos;
- 3) obtención de un índice de calidad; y
- 4) obtención de una evaluación.

Los números de la figura se refieren a los números de las ecuaciones de 4.3.



MRP Punto de referencia boca (*mouth reference point*)
 ERP Punto de referencia oído (*ear reference point*)
 Q_{op} Relación señal vocal subjetiva equivalente/ruido correlacionado con la palabra (*opinion equivalent speech to speech correlated noise ratio*)

NOTA – Los números indicados en la Figura corresponden a los de las ecuaciones del 4.3.

FIGURA 4-1
Diagrama de bloques del modelo OPINE

T1206670-93/d19

4.3 Configuración del modelo OPINE

Todos los símbolos se clasifican en cinco tipos.

- Tipo [A]: Parámetros del modelo.
- Tipo [A-1]: Constantes o coeficientes adoptados a partir de normas.
- Tipo [A-2]: Constantes o coeficientes aceptados por el OPINE a partir de resultados de otros estudios.
- Tipo [A-3]: Coeficientes estimados a partir de los resultados de las pruebas subjetivas de NTT.
- Tipo [B]: Variables de entrada de la sección descrita.
- Tipo [C]: Salidas intermedias del OPINE de la sección descrita.

Las variables de entrada del modelo y los valores de los parámetros del modelo se enumeran en 4.4. En las ecuaciones siguientes, C_j ($j = 1,13$) denota constantes (del tipo [A-3]). El sufijo i denota el número de banda de frecuencias de un tercio de octava. Las relaciones entre las variables que corresponden a cada sección se indican en las Figuras 4-3 a 4-10. La definición de los símbolos gráficos utilizados en estas Figuras se encuentra en la Figura 4-2.

4.3.1 Cálculo electroacústico global

4.3.1.1 Nivel de ruido blanco subjetivamente equivalente a la distorsión de cuantificación

El modelo expresa la evaluación subjetiva característica del códec mediante una relación señal vocal subjetiva equivalente/ruido correlacionado con la palabra (Q_{op}). Se obtiene el nivel equivalente de ruido blanco utilizando los resultados de la prueba subjetiva de opinión para la referencia de ruido modulado (MNR). Si se conoce Q_{op} de un códec determinado o de su conexión en cascada, es posible utilizar el valor como una entrada. En el Cuadro 4-1 se enumeran los diversos codecs y Q_{op} adoptados aquí.

$$PI_Q = -0,0000218 Q_{op}^3 + 0,00489 Q_{op}^2 - 0,283 Q_{op} + 4,915 \quad (4-1)$$

$$V_{Wop} = -2,022 PI_Q^3 - 7,51 PI_Q^2 + 21,9 PI_Q - 76,9 - (OLR - 6,4) - (RLR + 3,8) \quad (4-2)$$

$$V_{CQ} = V_C (+) V_{Wop} \quad (4-3)$$

CUADRO 4-1

Valores de Q_{op} para MIC y MICDA_v

Sistema de transmisión	Q_{op}
MIC μ -255, 8 bit	36,0
7	32,8
6	27,7
5	22,5
4	16,7
MICDA _v	29,2

donde

(+) es la operación de suma de potencias.

Símbolos de tipo [B]

Q_{op}	es la nota de opinión equivalente a la relación señal vocal/ruido correlacionado con la palabra (dB);
V_C	es el nivel de ruido de circuito a la entrada del circuito telefónico local en recepción (dBmp);
OLR	es el índice de sonoridad global del sistema telefónico que se está considerando (dB);
RLR	es el índice de sonoridad en recepción del sistema telefónico que se está considerando (dB).

Símbolos de tipo [C]

V_{Wop}	es el nivel subjetivo de ruido blanco equivalente (PI) a la entrada del circuito telefónico local en recepción (dBmp);
PI_Q	es el PI para la distorsión de cuantificación;
V_{CQ}	es el nivel de ruido de circuito equivalente en presencia de ruido de circuito y de distorsión de cuantificación (dBmp).

NOTA – Cuando el sistema digital no se considera en condición de prueba, las ecuaciones (4-1) y (4-2) no son necesarias, y V_{Wop} se ajusta a un nivel bajo arbitrario, como -100 , en la ecuación (4-3).

4.3.1.2 Nivel vocal y nivel de ruido total en el punto de referencia oído (ERP) (véase también el Anexo C)

$$S_i = B_{Si} - L_{MEi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-4)$$

$$S_{Pi} = B_{Pi} - L_{MEi} \quad (4-5)$$

$$X_i = B_{0i} - K_i \quad (4-6)$$

$$N_i = N_{CQi} (+) N_{RNSTi} (+) N_{RNEi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-7)$$

$$N_{CQi} = V_{CQi} + S_{JEi} \quad (4-8)$$

$$N_{RNSTi} = B_{RNi} + L_{RNSTi} \quad (4-9)$$

$$N_{RNEi} = B_{RNi} + L_{RNEi} \quad (4-10)$$

$$N'_{CQi} = N_{CQi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-11)$$

donde

(+) es la operación de suma de potencias.

Símbolos de tipo [A-1]

B_{Si}	es la densidad espectral de la voz referida al punto de referencia boca (MRP) (dB con respecto a $20 \mu\text{Pa}/\text{Hz}$);
Δf_i	es la anchura de la banda de frecuencias de un tercio de octava preferida por la ISO (Hz).

Símbolos de tipo [A-2]

B_{Pi}	es el nivel espectral de cresta de la voz referido al MRP (dB con respecto a $20 \mu\text{Pa}/\text{Hz}$);
X_i	es el umbral de audición para un sonido continuo referido al ERP (dB con respecto a $20 \mu\text{Pa}/\text{Hz}$);
B_{0i}	es el umbral de audición para un tono puro (dB con respecto a $20 \mu\text{Pa}/\text{Hz}$);
K_i	es la anchura de banda crítica (dB);
L_{RNEi}	es la pérdida de transmisión por fuga en el ERP del oyente (dB).

Símbolos de tipo [B]

- L_{MEi} es la pérdida total de boca a oído (dB);
- S_{JEi} es la sensibilidad en recepción de un circuito telefónico local entre la entrada eléctrica y el ERP (dB con respecto a Pa/V);
- B_{RNI} es la densidad espectral del ruido ambiente (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz).
La evaluación con ponderación A de B_{RNI} se convierte en R_N (dBA);
- L_{RNSTi} es la pérdida de transmisión por el efecto local desde el MRP al ERP (dB);
- V_{CQi} es el nivel de ruido de circuito equivalente en presencia de ruido de circuito y de distorsión de cuantificación simultáneamente (dBV/Hz).
La evaluación con ponderación sofométrica de V_{CQi} se convierte en V_{CQ} .

Símbolos de tipo [C]

- S_i es el nivel espectral de la banda de señal vocal en el ERP (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz);
- S_{Pi} es el nivel espectral de cresta de la señal vocal referido al ERP (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz);
- N_i es el nivel de ruido total en la banda en el ERP (dB con respecto a 20 μ Pa);
- N_{CQi} es el nivel de ruido causado por ruido de circuito estacionario y distorsión de cuantificación en el ERP (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz);
- N'_{CQi} es el nivel en la banda de N_{CQi} (dB con respecto a 20 μ Pa);
- N_{RNSTi} es el nivel de efecto local causado por un ruido ambiente en el ERP (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz);
- N_{RNEi} nivel de ruido ambiente percibido por la fuga del pabellón del auricular (dB con respecto a 20 μ Pa/Hz).

4.3.2 Cálculo de los parámetros de audición y del índice de calidad (PI)

4.3.2.1 PI_{EL} (PI con atenuación o exceso de sonoridad efectiva)

$$\lambda_E = C \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-m(L_{MEi} + b_n)}{10}} G_i \Delta f_i \quad (\text{de la Recomendación P .79}) \quad (4-12)$$

$$b_n = 44,38 \exp(-0,0869 e_n) \quad (4-13)$$

$$e_n = [S_{Pi} - \{X_i(+)(N_i - 10 \log_{10}) \Delta f_i\}]_{\text{máx}} \quad (4-14)$$

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left(10 \log_{10} \frac{\lambda_E}{\lambda_0}\right)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} \quad (4-15)$$

donde

máx es un sufijo que denota el valor máximo dentro de las bandas de paso.

Símbolos de tipo [A-1]

- G_i es la relación entre la sonoridad para la banda de frecuencias i en un sistema sin atenuación, y la sonoridad total (función de sonoridad);
- Δf_i es la anchura de la i -ésima banda de frecuencias (Hz);
- m es el coeficiente exponencial del oído (= 0,175);
- M es el número de bandas de la subdivisión (= 19).

Símbolos de tipo [A-3]

- λ_0 es la sonoridad óptima en el ERP;
 C es una constante. El valor de C no es necesario ya que C se suprime en la ecuación (4-15).

Símbolos de tipo [B]

- L_{MEi} es la característica de la atenuación de transmisión en función de la frecuencia de un MRP a un ERP (dB).

Símbolos de tipo [C]

- PI_{EL} es el PI de la sonoridad en ausencia y en presencia de ruido;
 λ_E es la sonoridad efectiva en el ERP teniendo en cuenta el efecto del ruido;
 b_n es la atenuación equivalente para la sonoridad en presencia de ruido (dB);
 e_n es el nivel de cresta de sensación máxima de la palabra (dB).

4.3.2.2 Expresión de PI_{EL} en función de los índices de sonoridad (LR, *loudness rating*)

La ecuación (4-15) se expresa teóricamente en función de los LR. La obtención de la ecuación (4-16) a partir de la (4-15) se incluye en el Anexo E.

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} m^2 (OLR + b_n - OLR_0)^2 + C_2 - \sqrt{C_2}} \quad (4-16)$$

donde

Símbolos de tipo [A-3]

- OLR_0 es el valor del índice de sonoridad global para el que el sistema telefónico proporciona la sonoridad óptima (dB).

Símbolos de tipo [B]

- OLR es el índice de sonoridad global del sistema telefónico estudiado (dB).

4.3.2.3 PI_N (PI con ruido)

$$N'_i = \begin{cases} N'_{CQi} - N_{th} & \text{cuando } N'_{CQi} \geq N_{th} \\ 0 & \text{cuando } N'_{CQi} < N_{th} \end{cases} \quad (4-17)$$

$$PI_{IN} = C_3 \sum_{i=1}^M \left\{ 10^{\frac{A_i}{10}} \left(10^{\frac{nN'_i}{10}} - 1 \right) \right\} \quad (4-18)$$

donde

Símbolos de tipo [A-1]

- A_i es el peso para la característica A en la banda de frecuencias i (dB).

Símbolos de tipo [A-3]

- N_{th} es el umbral de ruido (dB con respecto a 20 μ Pa);
 n es el exponente.

Símbolos de tipo [B]

- N'_{CQi} (véase 4.3.1.2).

Símbolos de tipo [C]

- PI_{IN} es el PI para el ruido de circuito en reposo (intervalo sin conversación);
 N'_i es el nivel por encima del umbral de ruido (dB).

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^M 10^{\frac{S_i}{10}}}{\sum_{i=1}^M 10^{\frac{N_i}{10}}} \right) \quad (4-19)$$

$$PI_{SN} = \begin{cases} C_4(SNR - SNR_{th}) & \text{cuando } SNR \leq SNR_{th} \\ 0 & \text{cuando } SNR > SNR_{th} \end{cases} \quad (4-20)$$

$$PI_N = PI_{IN} + PI_{SN} \quad (4-21)$$

donde

Símbolos de tipo [A-3]

SNR_{th} es el umbral por debajo del cual la relación señal/ruido no tiene efecto sobre la evaluación (dB).

Símbolos de tipo [B]

S_i (véase 4.3.1.2)

N_i (véase 4.3.1.2)

Símbolos de tipo [C]

PI_{SN} es el PI para el ruido en el intervalo de conversación;

SNR es la relación señal/ruido en el ERP (dB).

4.3.2.4 PI_{AD} (PI con distorsión de atenuación en función de la frecuencia)

$$D_1 = \sqrt{\frac{1}{M_s} \sum_{i=1}^{M_s} \Lambda_i^2} \quad (4-22)$$

$$D_u = \sqrt{\frac{1}{M - M_s} \sum_{i=M_s+1}^M \Lambda_i^2} \quad (4-23)$$

$$\Lambda_i = \begin{cases} \Lambda_{li} - \Lambda_{di} & \text{cuando } \Lambda_{li} - \Lambda_{di} \leq \Lambda_{th} \\ \Lambda_{th} & \text{cuando } \Lambda_i > \Lambda_{th} \end{cases} \quad (4-24)$$

$$\Lambda_{li} = g_i(S_i + d_i) \quad (4-25)$$

$$\Lambda_{di} = g_i(S_i) \quad (4-26)$$

$$g_i(x_i) = \begin{cases} a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 & \text{cuando } a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 \geq L_{th} \\ L_{th} & \text{cuando } a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 < L_{th} \end{cases} \quad (4-27)$$

$$PI_{BL} = C_5 D_1 + C_6 D_u \quad (4-28)$$

donde

g_i es la función de conversión del espectro de potencia vocal en nivel de sonoridad mediante una curva de equisonoridad (de [38]);

x_i es el nivel vocal en una banda cualquiera (dB con respecto a 20 μ Pa).

Símbolos de tipo [A-1]

- M es el número de bandas de la subdivisión (= 19);
 a_i, b_i, c_i son los parámetros de conversión al nivel sonoro (en fonios) dependen de la frecuencia.

Símbolo de tipo [A-2]

- M_s es el número de bandas que contienen 1 kHz (= 11).

Símbolos de tipo [A-3]

- L_{th} es el umbral de sonoridad (fonios);
 Λ_{th} es el umbral de Λ_i (fonios).

Símbolos de tipo [B]

- d_i es la atenuación relativa causada por la distorsión de atenuación en función de la frecuencia entre enlaces (dB).

Es de 0 dB a 800 Hz. $S + d$ representa el nivel vocal hipotético en la banda en el ERP sin distorsión de atenuación en función de la frecuencia (señal vocal de referencia)

Símbolos de tipo [C]

- Λ_i es la diferencia entre la señal vocal de referencia y la señal vocal distorsionada (fonios);
 Λ_l es el nivel de la sonoridad convertido a partir de la señal vocal de referencia (fonios);
 Λ_d es el nivel de la sonoridad convertido a partir de la señal vocal con atenuación y limitación de banda (fonios);
 D_u es la distancia entre Λ_l y Λ_d por encima de 1 kHz;
 D_l es la distancia entre Λ_l y Λ_d por debajo de 1 kHz;
 PI_{AD} es el PI con distorsión de atenuación en función de la frecuencia.

4.3.2.5 PI_{EC} (PI con eco para el hablante)

$$PI_{EC} = \sqrt{\frac{C_8}{C_7} (-E + E_0)^2 + C_8} + \sqrt{\frac{C_8}{C_7} (-E + E_0)} \quad (4-29)$$

$$E_0 \begin{cases} C_9 \log_{10} D + C_{10} & \text{cuando } 0 < D < 60 \\ C_{11} \log_{10} D + C_{12} & \text{cuando } D \geq 60 \end{cases} \quad (4-30)$$

donde

Símbolos de tipo [B]

- E es el LR del eco para el hablante (dB);
 D es el retardo del eco para el hablante (ms).

Símbolos de tipo [C]

- PI_{EC} es el índice de calidad del eco para el hablante;
 E_0 es el LR crítico del eco para el hablante (dB).

4.3.2.6 PI_{ST} (PI con efecto local)

$$PI_{ST} = \sqrt{\frac{C_{13}}{C_7} (-St + St_0)^2 + C_{13}} + \sqrt{\frac{C_{13}}{C_7} (-St + St_0)} \quad (4-31)$$

donde

Símbolos de tipo [A-3]

St_0 es el STMR crítico (dB).

Símbolos de tipo [B]

St es el STMR (índice de enmascaramiento para el efecto local) (dB).

Símbolos de tipo [C]

PI_{ST} es el índice de calidad para el efecto local.

4.3.3 Obtención de la evaluación (véase también el Anexo D)

$$OPI = PI_{EL} + PI_N + PI_{AD} + PI_{EC} + PI_{ST} \quad (4-32)$$

$$P = P_0 - OPI \quad (4-33)$$

donde

Símbolos de tipo [A-3]

P_0 es P sin degradación.

Símbolos de tipo [C]

OPI es el índice de calidad global;

P es la evaluación global media en esta escala psicológica.

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \quad (4-34)$$

o en forma práctica:

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(K+0,5-P)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (4-35)$$

donde

Símbolos de tipo [A-3]

σ es la desviación típica de la distribución normal de P y de OPI .

Símbolos de tipo [C]

MOS es la nota media de opinión en una escala de 0 a 4;

p_k es la relación entre la categoría de evaluación k y todas las categorías.

La ecuación (4-35) se calcula utilizando la tabla normalizada de distribución normal. La obtención de la ecuación a partir de la ecuación (4-34) se indica en el Anexo F.

Las ecuaciones (4-34) y (4-35) son la adaptación del modelo de [39].

4.4 Tipos y valores de los símbolos

En el Cuadro 4-2 se enumeran las variables de entrada del modelo. L_{ME} e STMR pueden calcularse por adelantado utilizando el método descrito en la Recomendación P.79.

En el Cuadro 4-3 se indican los valores de a_i , b_i y c_i (tipo [A-1]). En el Cuadro 4-4 se indican los valores de otros parámetros del modelo (parámetros de los tipos [A-1] y [A-2]). En el Cuadro 4-5 se indican los valores de las constantes o coeficientes estimados a partir de los resultados de la prueba subjetiva (parámetros de tipo [A-3]).

CUADRO 4-2

VARIABLES DE ENTRADA DEL MODELO

Símbolos	Definición
V_C	Véase 4.3.1.1
Q_{op}	Véase 4.3.1.1
OLR	Véanse 4.3.1.1 y 4.3.2.2
RLR	Véase 4.3.1.1
S_{MJi}	Atenuación de la boca al enlace (dB con respecto a V/Pa)
S_{JEi}	Véase 4.3.1.2
L	Atenuación de enlace a enlace a 800 Hz (dB)
d_i	Véase 4.3.2.4
L_{MEi}	Véase 4.3.1.2
R_N	Véase 4.3.1.2
L_{RNSTi}	Véase 4.3.1.2
E	Véase 4.3.2.5
D	Véase 4.3.2.5
L_{MESTi}	Atenuación del efecto local de boca a oído (dB)
St	Véase 4.3.2.6

NOTAS

- $L_{MEi} = -S_{MJi} - S_{JEi} + (L + d_i)$.
- St se calcula de conformidad con 8/P.79.
- S_{MJi} , L y L_{MEST} sólo son necesarios para calcular L_{MEi} y St .
- R_N debería ampliarse a B_{RNi} .

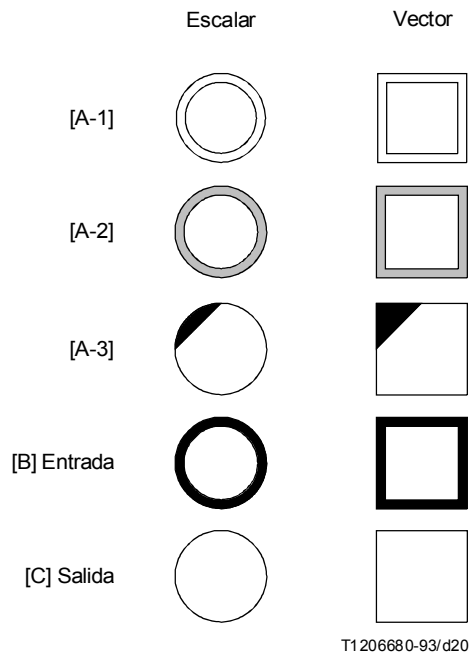


FIGURA 4-2
 Símbolos gráficos utilizados en las Figuras 4-3 a 4-10

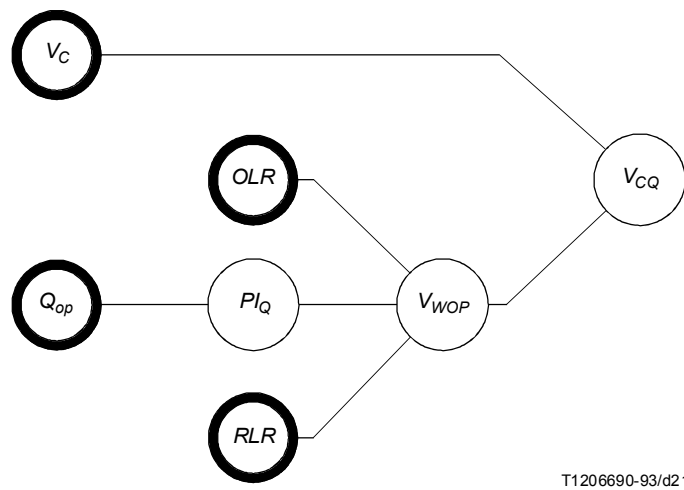


FIGURA 4-3
 Diagrama de bloques del cálculo de V_{CQ}

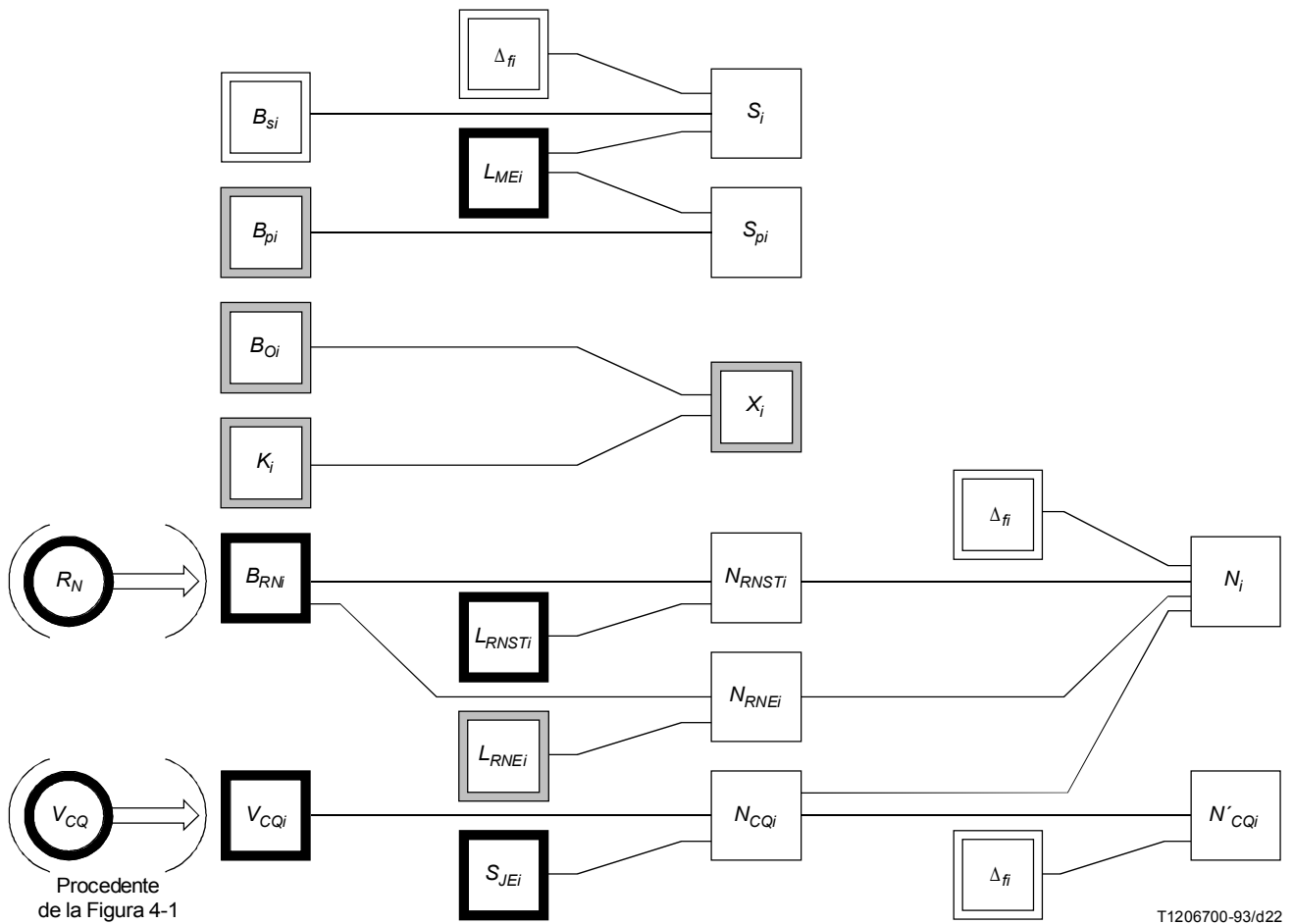
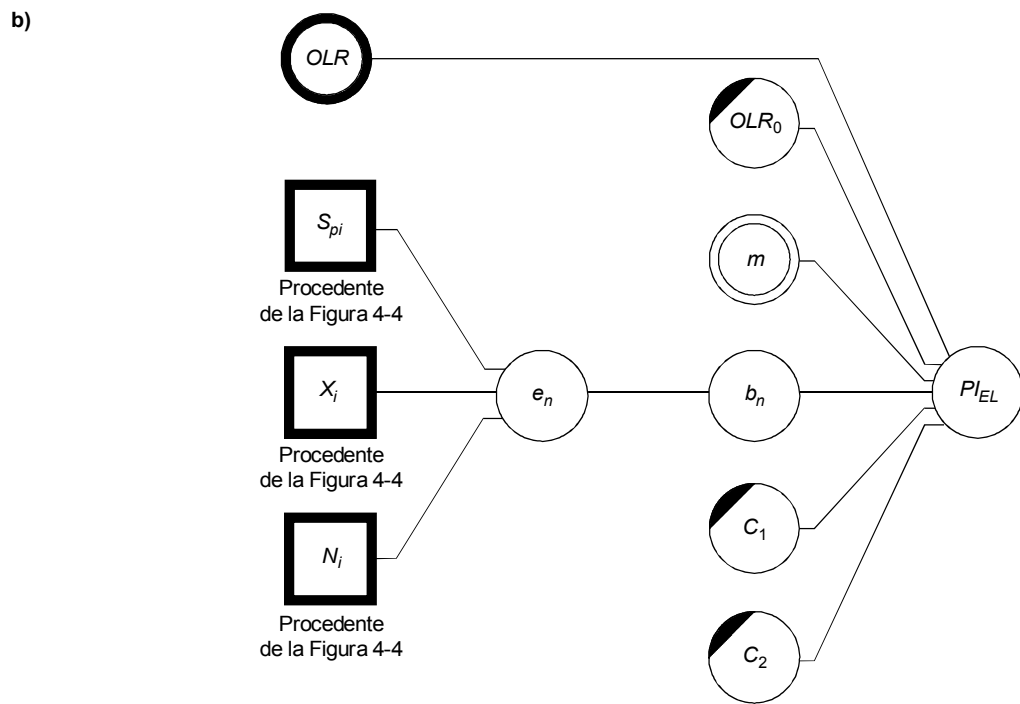
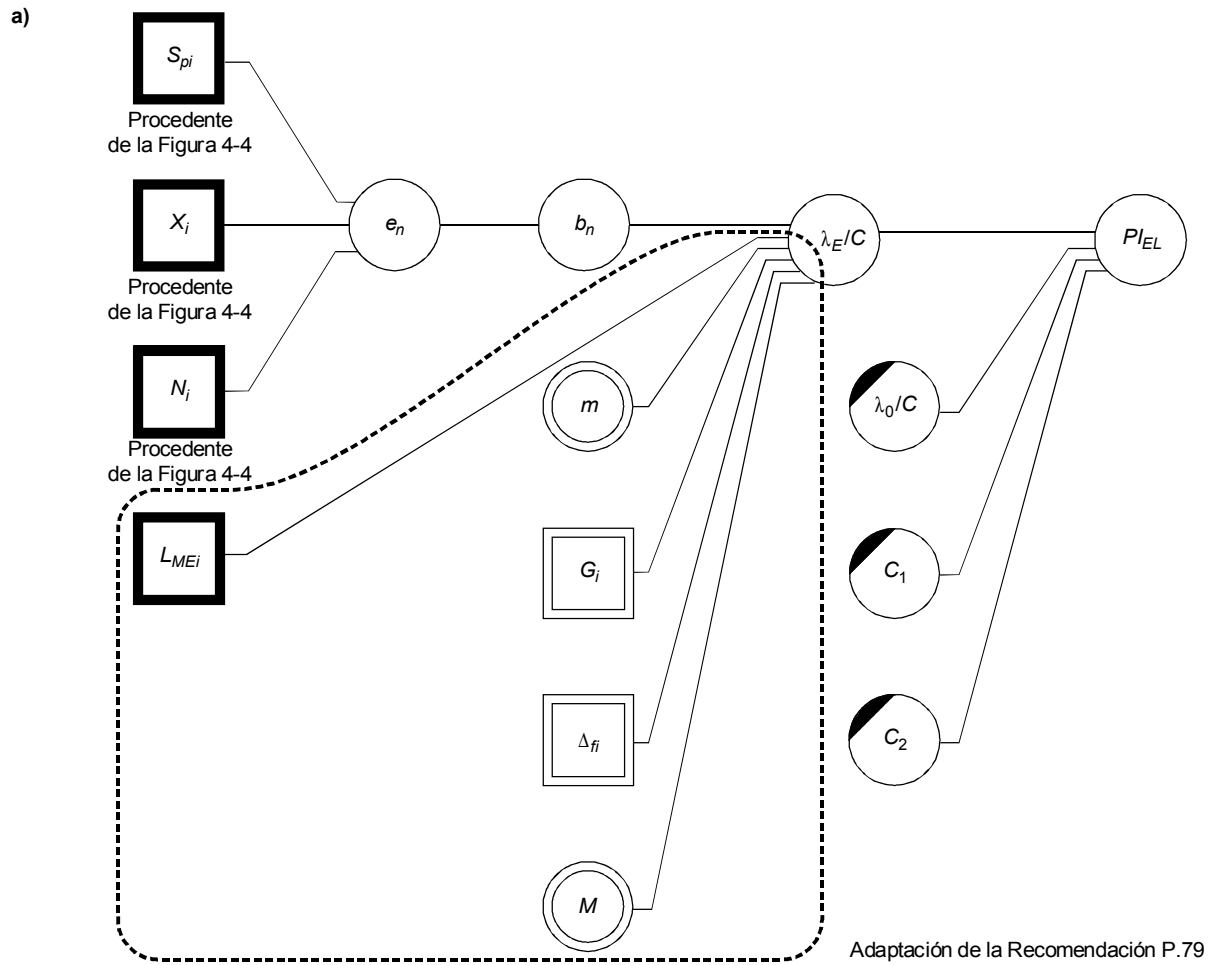


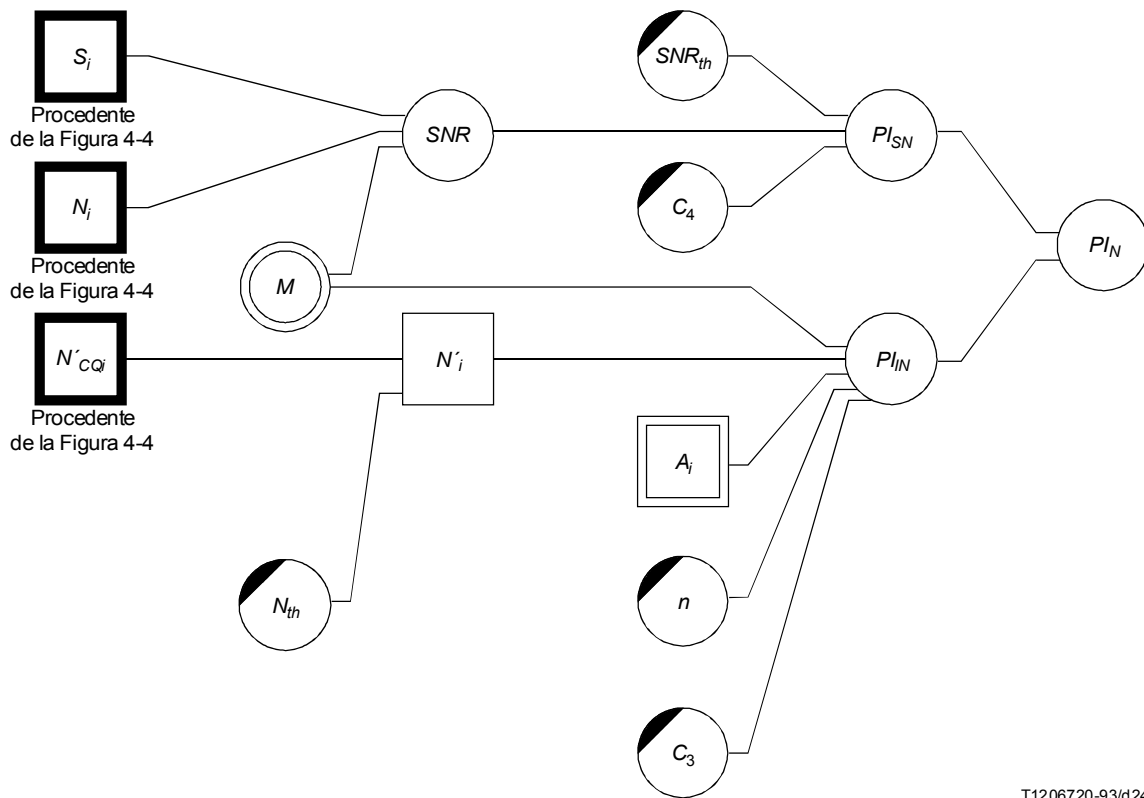
FIGURA 4-4

Diagrama de bloques del cálculo del espectro vocal y del espectro de ruido



T1206710-93/d23

FIGURA 4-5
Diagrama de bloques del cálculo de PI_{EL}



T1206720-93/d24

FIGURA 4-6
 Diagrama de bloques del cálculo de PI_N

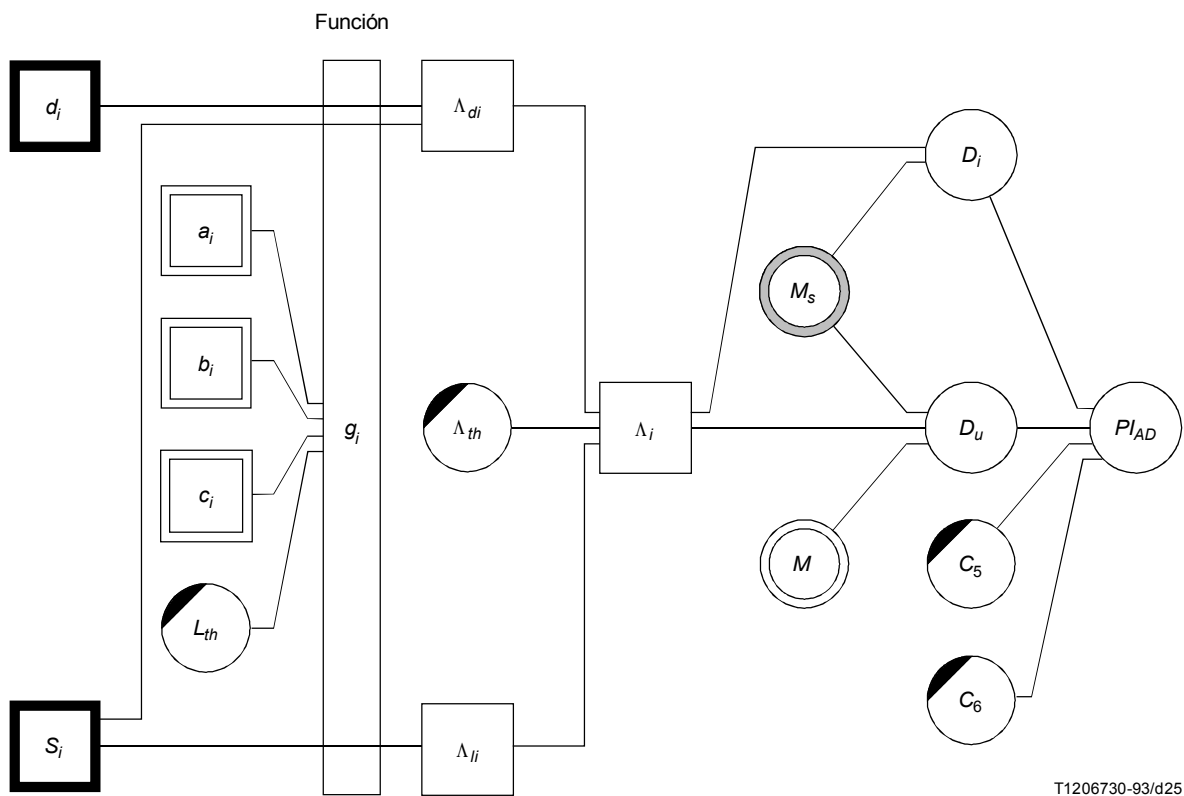


FIGURA 4-7
Diagrama de bloques del cálculo de PI_{AD}

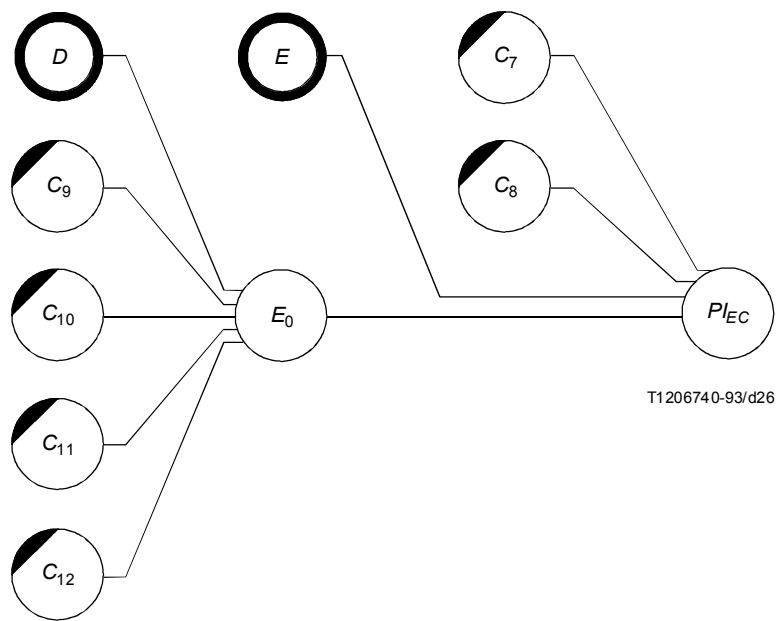
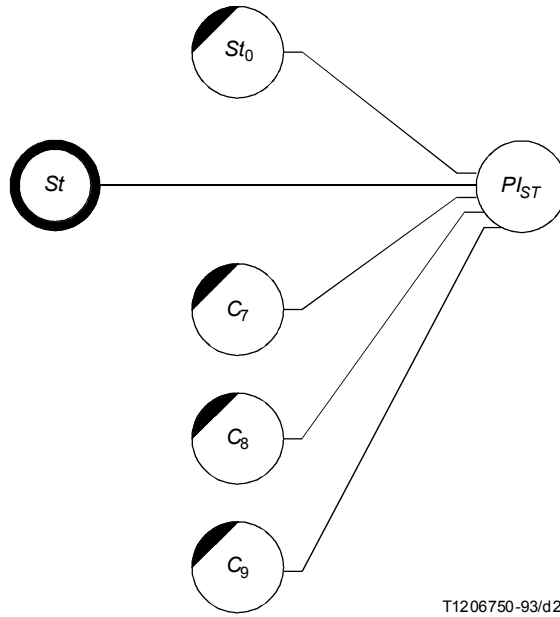
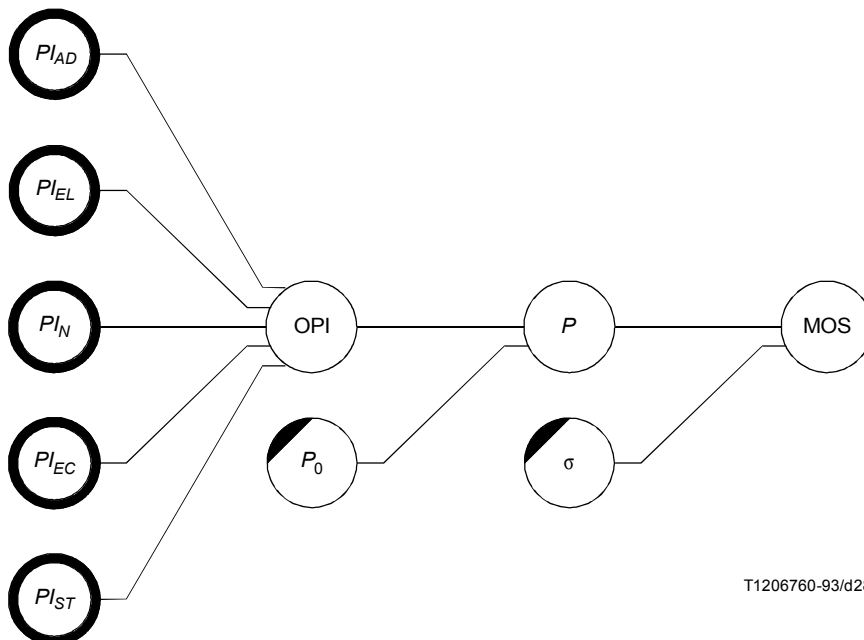


FIGURA 4-8
 Diagrama de bloques del cálculo de PI_{EC}



T1206750-93/d27

FIGURA 4-9
Diagrama de bloques del cálculo de PI_{ST}



T1206760-93/d28

FIGURA 4-10
Diagrama de bloques del cálculo de la MOS

CUADRO 4-3

Valores de a_i , b_i y c_i
(interpolados de la referencia [38])

N.º	Frecuencia (Hz)	a_i	b_i	c_i
1	100	-33,5	1,570	-0,00269
2	125	-25,7	1,500	-0,00258
3	160	-19,4	1,444	-0,00248
4	200	-14,7	1,404	-0,00242
5	250	-10,8	1,362	-0,00231
6	315	-7,4	1,314	-0,00214
7	400	-4,7	1,259	-0,00185
8	500	-3,0	1,205	-0,00151
9	630	-1,5	1,141	-0,00107
10	800	-0,5	1,064	-0,00050
11	1000	0,0	1,000	0,00000
12	1250	0,6	0,967	0,00028
13	1600	1,7	0,037	0,00071
14	2000	3,3	0,924	0,00100
15	2500	5,3	0,928	0,00118
16	3150	7,3	0,940	0,00119
17	4000	7,9	0,954	0,00098
18	5000	5,3	0,973	0,00059
19	6300	-2,6	1,028	0,00013

CUADRO 4-4

Parámetros del modelo

	N.º	Frecuencia	Δ_t	B_{si}	B_{pi}	X_i	L_{RNE}	$10 \log_{10} G_i$	A_i
Tipo de parámetro				[A-1]	[A-2]	[A-2]	[A-2]	[A-1]	[A-1]
Fuente				Rec. P.51	$B_{si} + 12$	NTT 1968	NTT 1968	Rec. P.79	ISO
		(Hz)	(Hz)	(dB) 20 μ Pa/Hz	(dB) 20 μ Pa/Hz	(dB) 20 μ Pa/Hz	(dB)	(dB)	(dB)
	1	100	22,4	57,2	69,2	11,0	0,0	-32,63	-19,1
	2	125	29,6	60,0	72,0	8,9	0,0	-29,12	-16,1
	3	160	37,5	62,1	74,1	5,5	0,0	-27,64	-13,4
	4	200	44,7	62,9	74,9	2,2	0,0	-28,46	-10,9
	5	250	57,0	63,0	75,0	0,0	0,0	-28,58	-8,6
	6	315	74,3	62,4	74,4	-3,0	0,7	-31,10	-6,6
	7	400	92,2	61,0	73,0	-6,0	0,0	-29,78	-4,8
	8	500	114,0	59,3	71,3	-8,0	0,0	-32,68	-3,2
	9	630	149,0	57,0	69,0	-9,5	2,2	-33,21	-1,9
	10	800	184,0	54,2	66,2	-10,3	8,5	-34,14	-0,8
	11	1000	224,0	51,4	63,4	-11,0	13,5	-35,33	0,0
	12	1250	296,0	48,5	60,5	-11,8	15,5	-37,90	0,6
	13	1600	375,0	45,2	57,2	-13,0	20,0	-38,41	1,0
	14	2000	447,0	42,2	54,2	-16,0	23,7	-41,25	1,2
	15	2500	570,0	39,4	51,4	-19,8	30,0	-41,71	1,3
	16	3150	743,0	36,8	48,8	-23,0	27,0	-45,80	1,2
	17	4000	922,0	34,5	46,5	-26,0	33,5	-43,50	1,0
	18	5000	1140,0	32,7	44,7	-27,0	41,0	-47,13	0,5
	19	6300	1490,0	31,4	43,4	-24,0	50,0	-48,27	-0,1

NOTA - $X_i (= B_{0i} - k_i)$ y L_{RNE} pueden ser parámetros de entrada.

CUADRO 4-5

Valores de constantes y coeficientes estimados

N.º	Cláusula conexas	Salida	Símbolo	Valor
1	4.3.2.1 4.3.2.2	PI_{EL}	C_1 C_2 λ_0/c OLR_0	0,0475 0,010 0,780 5,34
2	4.3.2.3	PI_{IN}	N_{th} n C_3	33,0 0,500 0,012
3	4.3.2.3	PI_{SN}	SNR_{th} C_4	7,5 -0,005
4	4.3.2.4	PI_{AD}	L_{th} C_5 C_6 Λ_{th}	57,5 0,043 0,043 15,0
5	4.3.2.5	PI_{EC}	C_7 C_8 C_9 C_{10} C_{11} C_{12}	13,69 0,01 26,4 2,65 14,00 24,6
6	4.3.2.6	PI_{ST}	C_{13} ST_0	0,00856 9,000
7	4.3.3	MOS	P_0 σ	3,558 0,730

Anexo A

(Véase 1.1)

Notas de opinión sobre degradaciones de transmisión

A.1 Introducción

Las figuras de este anexo ilustran el efecto relativo de las degradaciones típicas de transmisión sobre las notas de opinión. Se basan en los modelos de determinación de índices de transmisión descritos anteriormente. Las notas de opinión suponen una escala de evaluación de cinco grados (excelente, bueno, regular, mediocre y malo o insatisfactorio) y los resultados se presentan en términos del porcentaje de notas «bueno o mejor» (bueno más excelente) y «mediocre o peor» (mediocre más malo). Más arriba, en el texto del presente suplemento, se consignan tres ecuaciones para la conversión del índice de transmisión en notas de opinión. El que se utiliza en este anexo es representativo de los resultados de pruebas de conversación comunicados al CCITT por varias Administraciones durante el periodo de estudios 1973-1976.

A.2 Índice de sonoridad global y ruido de circuito

Las notas de opinión para los efectos combinados del OLR (L'_e en dB) y el ruido de circuito (N'_c en dBmp) se muestran en las Figuras A.1 y A.2. El ruido de circuito está referido al sistema receptor con un RLR de 0 dB. En esas figuras se supone que el ruido de circuito equivalente al ruido ambiente (N'_{Re}) es de $-58,63$ dBmp y que el factor anchura de banda/pendiente (k_{BW}) es igual a uno; el ruido de cuantificación, el eco para el oyente, el eco para el hablante y el efecto local no están incluidos.

A.3 Ruido de cuantificación procedente de procesos MIC

En las Figuras A.3 y A.4 se muestran los resultados de las opiniones sobre el efecto del ruido de cuantificación producido por procesos MIC de ley A y ley μ de 7 bits y 8 bits en cascada. Estos resultados suponen un OLR (L'_e) de 16 dB y un ruido de circuito (N'_c) de -56 dBmp. Las hipótesis relativas al ruido ambiente, al factor anchura de banda/pendiente y al efecto local son las mismas que en A.2. Se supone que el nivel vocal a la salida de un aparato telefónico con un SLR de 0 dB es de -10 VU.

A.4 Anchura de banda

En las Figuras A.5 y A.6 se muestra el efecto sobre la nota de opinión en función de la anchura de banda entre frecuencias con una atenuación de 10 dB respecto a 1000 Hz. Estos resultados suponen un OLR (L'_e) de 16 dB y un ruido de circuito (N'_c) de -56 dBmp, un ruido de circuito equivalente al ruido ambiente (N'_{Re}) de $-58,63$ dBmp y unos factores de pendiente inferior (S_i) y superior (S_u) de 2 y 3, respectivamente. El eco para el oyente, el eco para el hablante y el efecto local no están incluidos.

A.5 Eco para el oyente

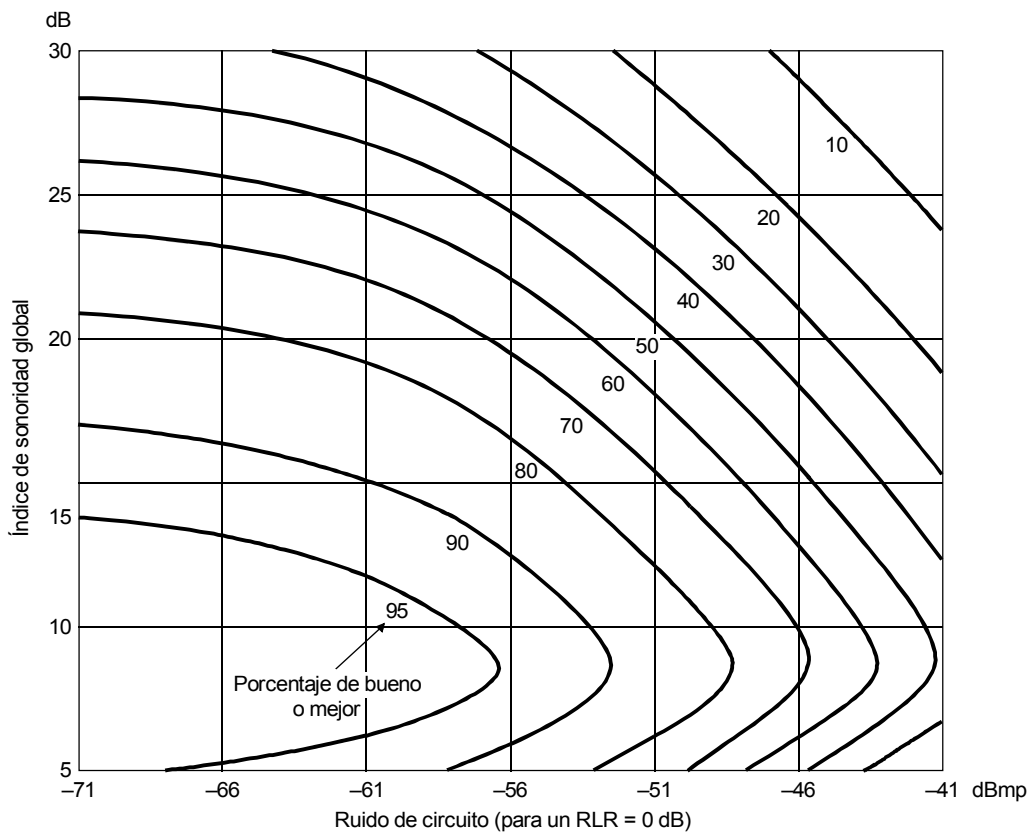
En las Figuras A.7 y A.8 se muestra el efecto del eco para el oyente sobre las notas de opinión. En esas figuras se han representado (a partir de los modelos original y alternativo del suplemento), la nota de opinión en función de la atenuación ponderada del trayecto de eco (WEPL) para el oyente, dada en dB, y el retardo de ida y vuelta del trayecto de eco (D_L) para el oyente, en milisegundos. Las curvas se han calculado suponiendo un OLR (L'_e) de 16 dB, un ruido de circuito (N'_c) de -56 dBmp, un ruido de circuito equivalente al ruido ambiente (N'_{Re}) de $-58,63$ dBmp, y un factor de anchura de banda/pendiente igual a uno. El eco para el hablante y el efecto local no están incluidos.

A.6 Eco para el hablante

En las Figuras A.9 y A.10 se muestran las notas de opinión para el eco para el hablante en función del OLR del trayecto de eco para el hablante (E) en dB y del retardo de ida y vuelta del trayecto de eco para el hablante (D) en milisegundos. También en este caso se supone que el OLR (L'_e) es de 16 dB, el ruido de circuito (N'_c) de -56 dBmp, el ruido de circuito equivalente al ruido ambiente (N'_{Re}) de $-58,63$ dBmp y el factor de anchura de banda/pendiente igual a uno. La influencia del eco para el oyente y del efecto local no está incluida.

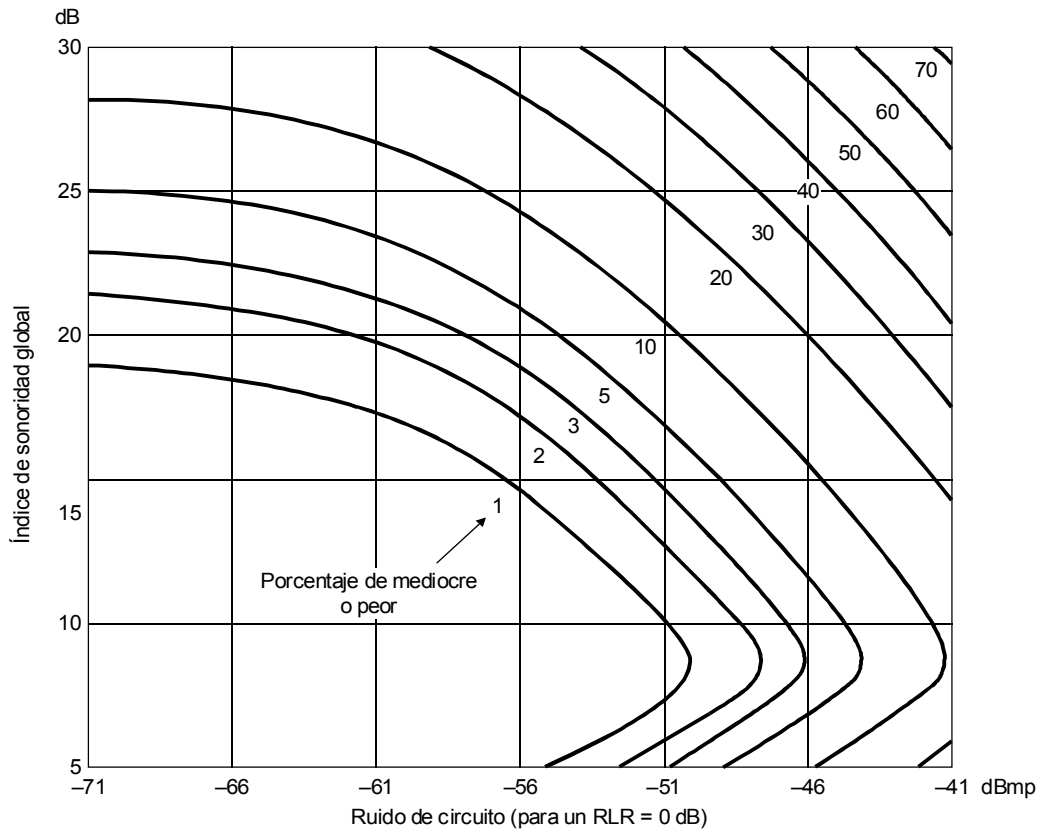
A.7 Efecto local

Las Figuras A.11 y A.12 muestran dos notas de opinión para el efecto local en términos de la atenuación del trayecto de efecto local (STMR) en dB, y de la forma de respuesta en efecto local en dB/octava. Para estas curvas, se seleccionaron los niveles de degradación para producir un valor, constante R_{LN} típico de las llamadas interurbanas en Norteamérica y una gama de valores de R_E que puedan darse en las llamadas interurbanas de Norteamérica.



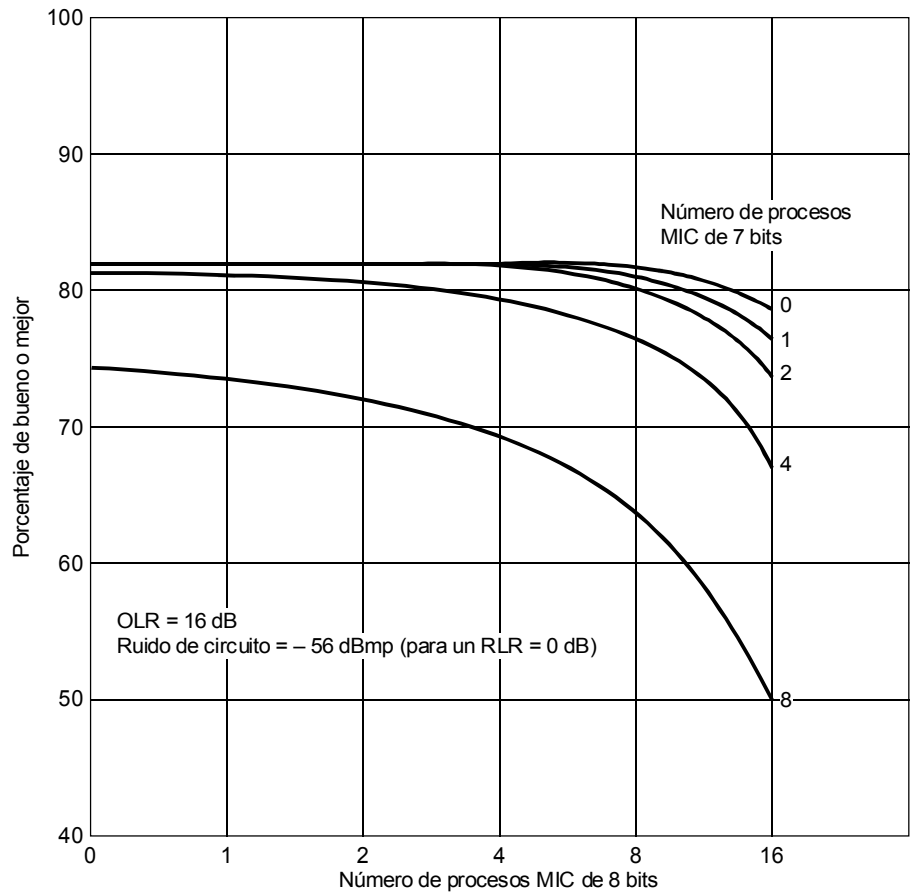
T1206770-93/d29

FIGURA A.1
 Nota de opinión para el OLR y el ruido de circuito



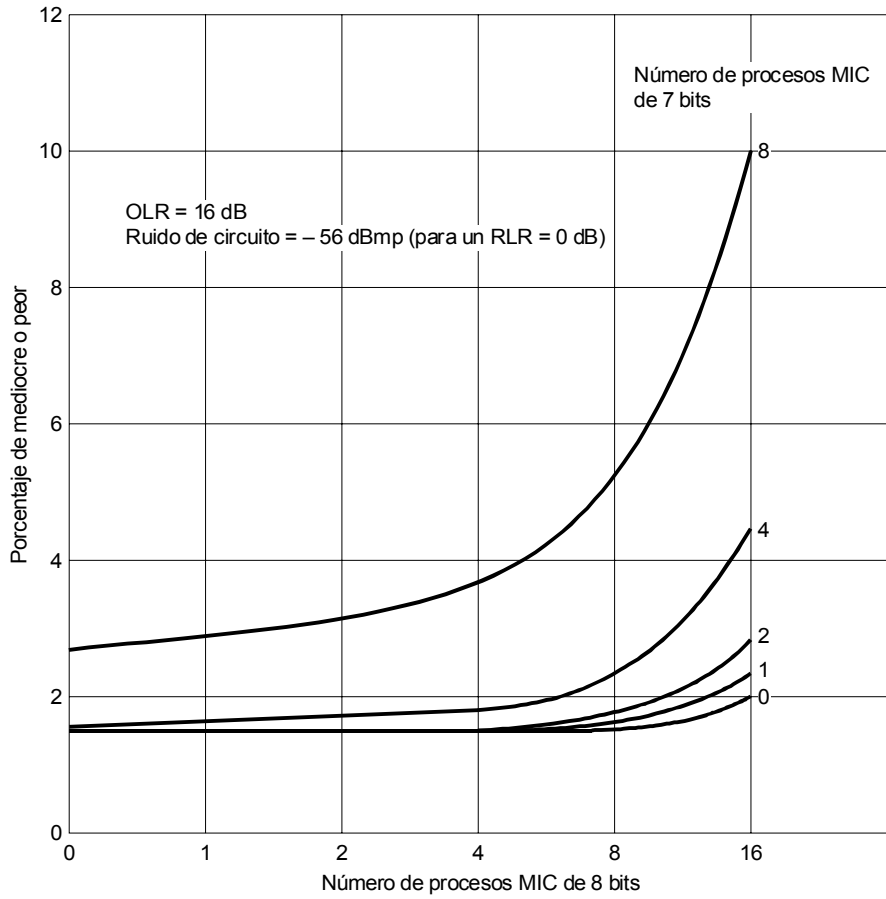
T1206780-93/d30

FIGURA A.2
Nota de opinión para el OLR y el ruido de circuito



T1206790-93/d31

FIGURA A.3
Nota de opinión para procesos MIC en cascada



T1206800-93/d32

FIGURA A.4

Nota de opinión para procesos MIC en cascada

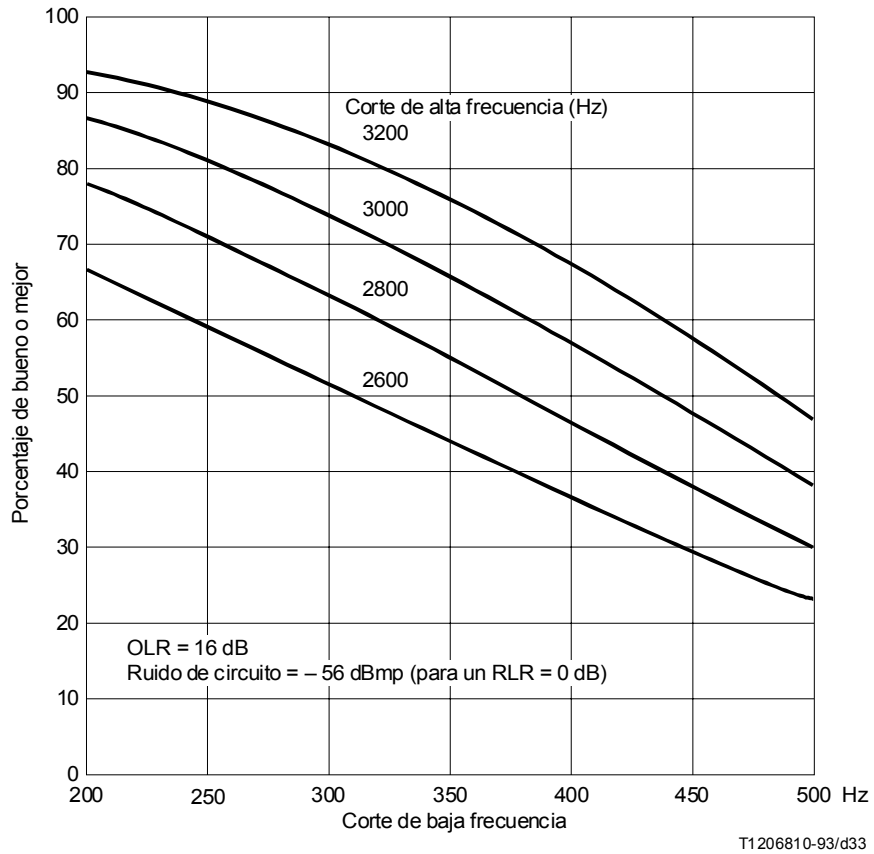


FIGURA A.5

Nota de opinión para la anchura de banda

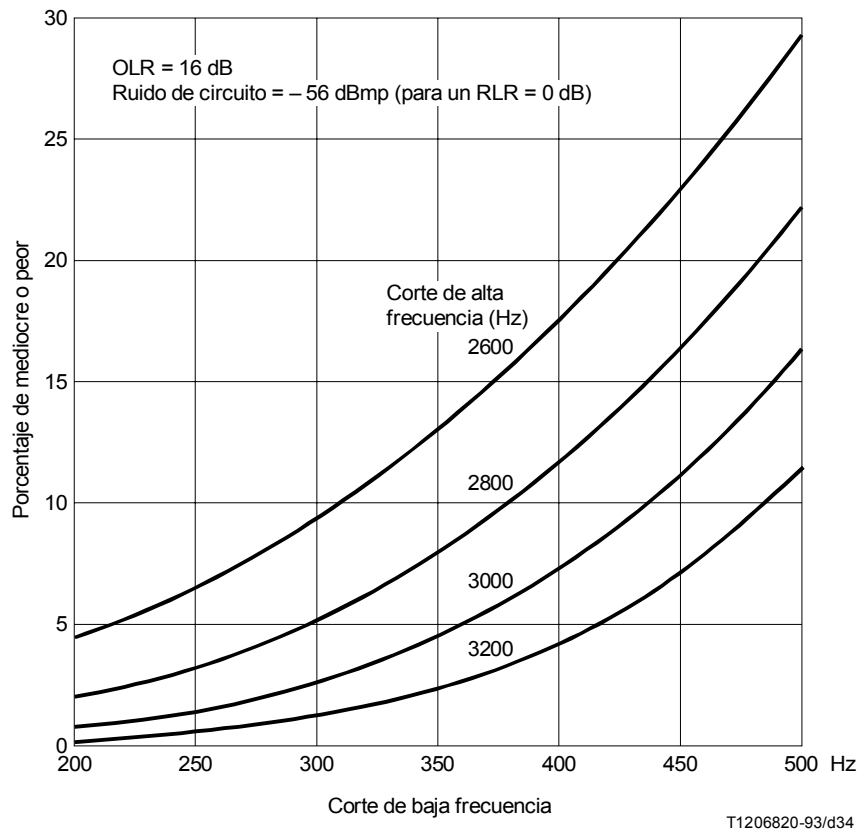


FIGURA A.6

Nota de opinión para la anchura de banda

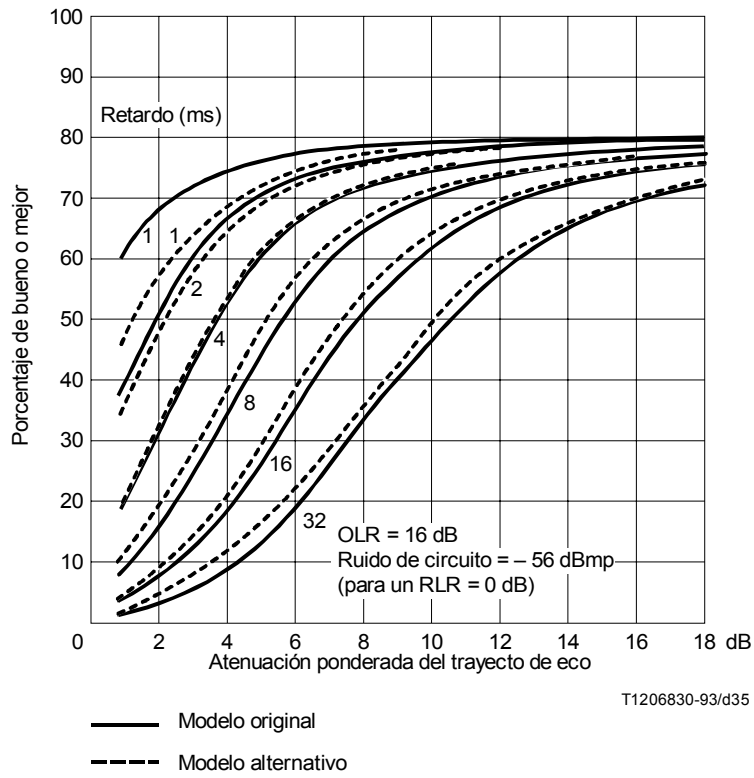


FIGURA A.7
Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito
y el eco para el oyente

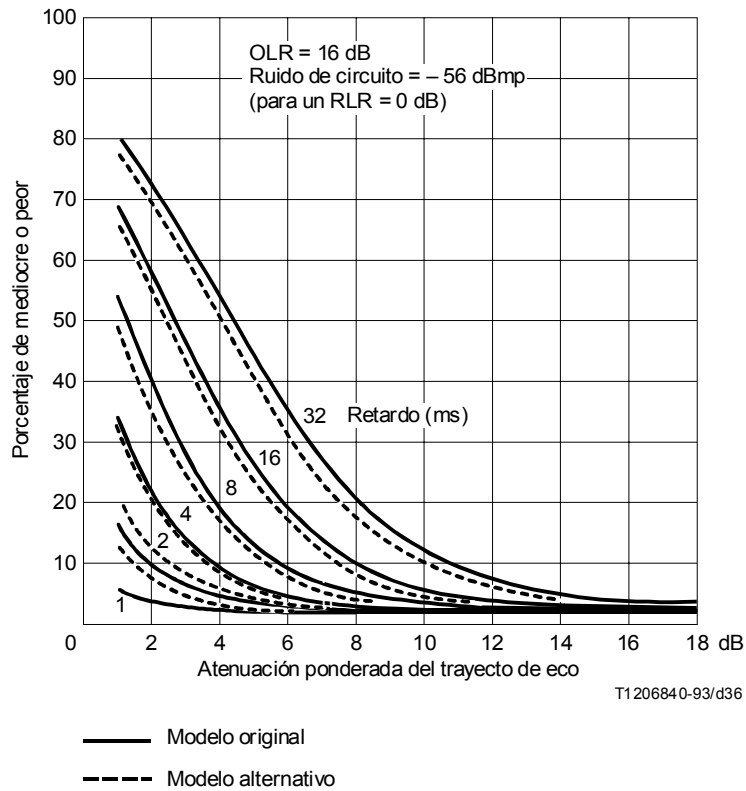
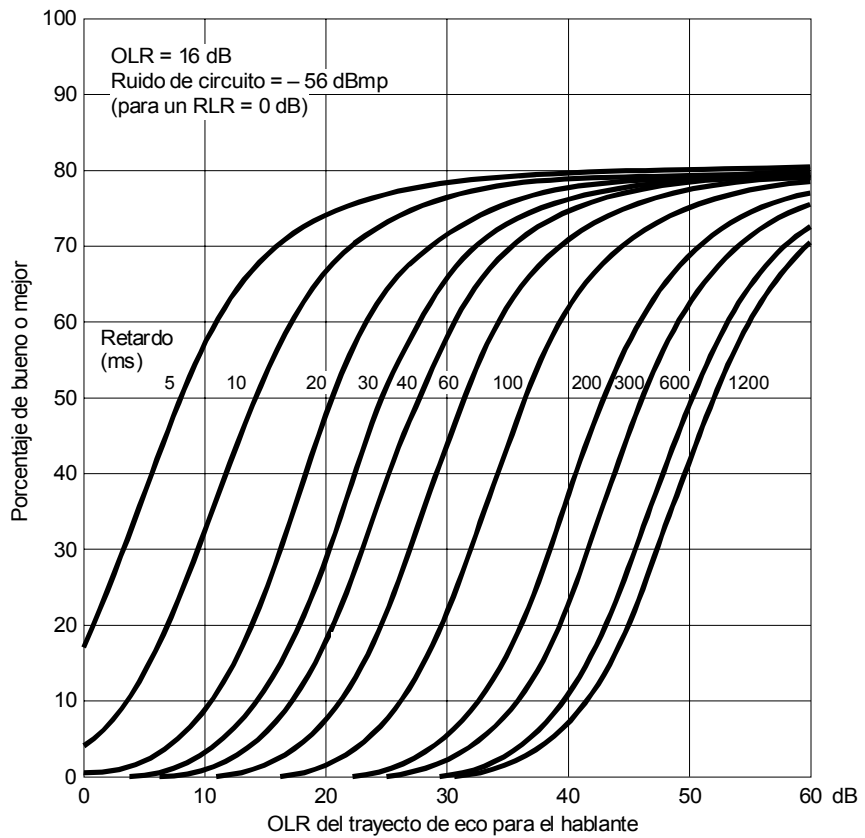


FIGURA A.8
Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito
y el eco para el oyente



T1206850-93/d37

FIGURA A.9

**Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito
y el eco para el hablante**

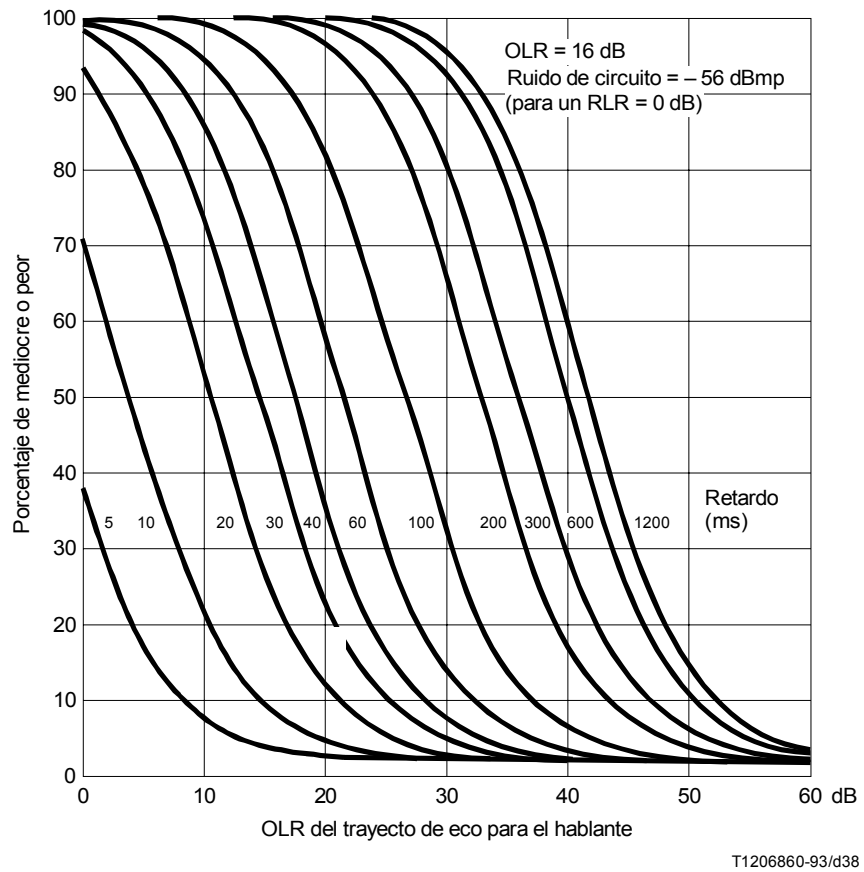


FIGURA A.10
Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito
y el eco para el hablante

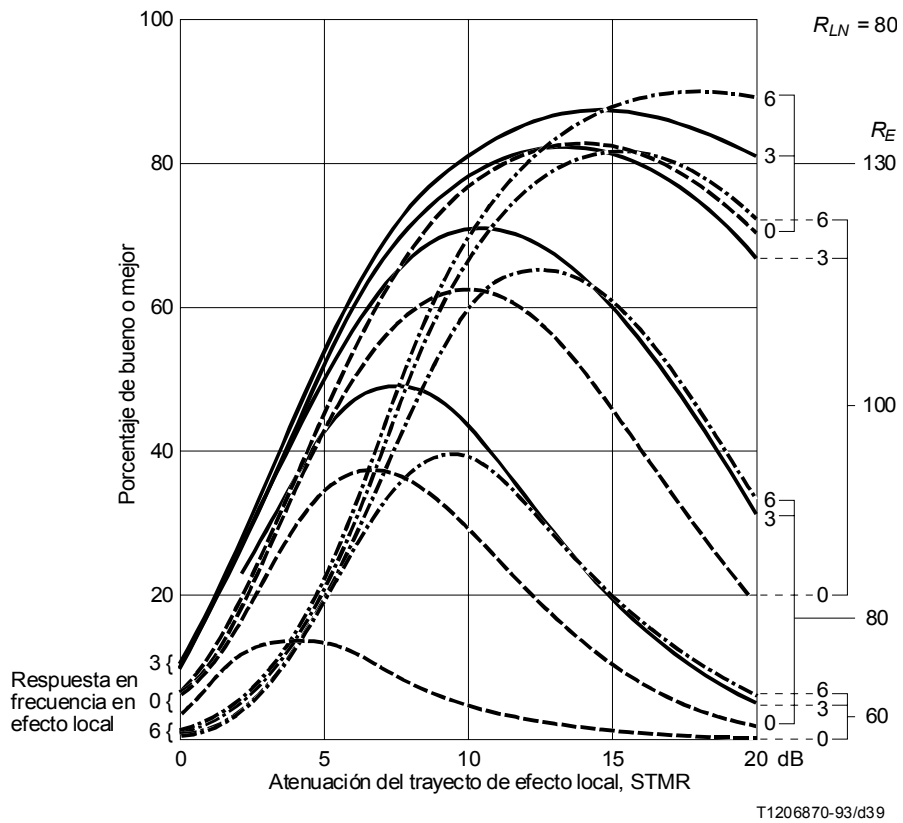


FIGURA A.11

Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito,
el eco para el hablante y el efecto local

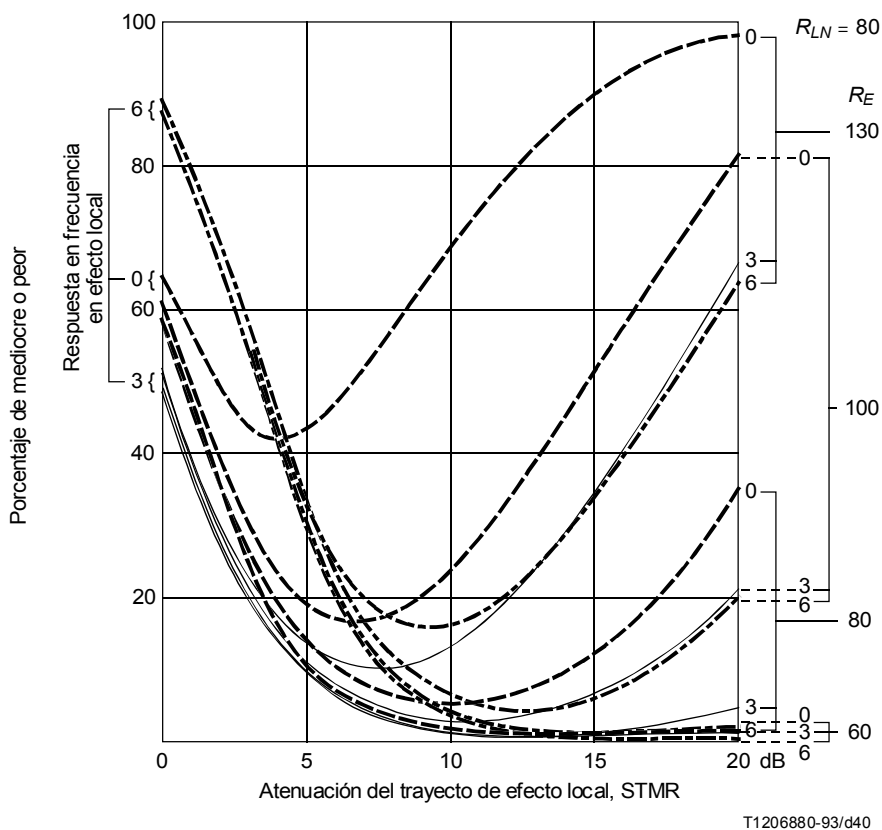


FIGURA A.12

Nota de opinión para el OLR, el ruido de circuito, el eco para el hablante y el efecto local

Anexo B (Véase 2.9)

Calidad de transmisión calculada de las redes telefónicas

B.1 Introducción

Este anexo presenta ejemplos de resultados obtenidos mediante el modelo subjetivo incorporado en el programa para la evaluación de redes telefónicas mediante computador (CATNAP, *computer aided telephone network assessment program*) de la British Telecom (BT). CATNAP comprende este modelo y una sección de cálculo de transmisión que permite introducir elementos de una conexión como aspectos fácilmente identificables, por ejemplo longitudes de cable, puentes de alimentación, etc. Estos resultados son ejemplos de cálculos para diversas «conexiones ficticias de referencia» (HRC, *hypothetical reference connections*) que pudieran presentarse en la red o ser utilizadas por los proyectistas.

Los índices de sonoridad citados están calculados conforme a la Recomendación P.79, utilizando las bandas de frecuencias comprendidas entre 200 Hz y 4 kHz. Las notas de opinión, Y_{LE} e Y_C están comprendidas en una escala de 0 a 4, que representan escalas del esfuerzo en la escucha y de opinión en conversación (véase la Recomendación P.80). Los valores de corriente de línea indicados, con los resultados, fueron determinados por el programa, que elige, entre un número de corrientes de línea típicas, la que es adecuada según las características del sistema telefónico local y, sobre esa base los valores de las características del aparato telefónico que deben utilizarse. El programa da también niveles vocales para condiciones de locución controladas (V_L) y condiciones de conversación (V_C). Éstas, así como los índices de sonoridad, están referidos a las interfaces (NI y FI) señaladas en las figuras.

Estos resultados se obtuvieron con el modelo en su estado actual versión de 1983. La investigación continúa con el objeto de mejorar la correlación entre los resultados calculados y los experimentales, lo que significa que el modelo pudiera modificarse.

B.2 HRC 1 – Conexión establecida dentro de la propia central (véase la Figura B.1)

Esta es una conexión simétrica, con líneas de abonado de longitud media. La supresión del efecto local es relativamente buena, y los niveles de ruido ambiente y de ruido de circuito son bajos. La nota de opinión en conversación es buena, pero las pequeñas pérdidas globales indican que la conexión es más sonora que la preferida. Una conexión ligeramente más silenciosa produciría una nota de opinión mejor.

B.3 HRC 2 – Comunicación nacional limitativa (véase la Figura B.2)

Estas dos HRC son simétricas y comprenden líneas locales limitativas de la BT de 1000 $\Omega/10$ dB, enlaces locales de 4,5 dB y dos enlaces a cuatro hilos cada uno con una atenuación de 3,5 dB que constituyen los límites impuestos por el plan de transmisión de la BT (indicados en [22]).

La HRC 2 (a) utiliza líneas locales de cobre de 0,5 mm, lo que permite una adaptación mucho mejor del efecto local que las líneas de cobre de 0,9 mm de la HRC 2 (b). El cambio del nivel del efecto local (superior a 10 dB) causa una reducción de la nota de opinión en conversación de 1,9 a 0,8 (de bastante buena a mediocre).

B.4 HRC 3 – Comunicación de larga distancia con un enlace MIC (véase la Figura B.3)

El equivalente de esta conexión (OLR = 13,4 dB) es mucho menor que el de la HRC 2. Las líneas locales están constituidas por cables de cobre de 0,5 mm y de longitud media, lo que proporciona una adaptación relativamente buena del efecto local, y, por tanto, sólo existe en este caso un enlace local. Este es un enlace MIC de 3 dB, a cuatro hilos. Este enlace se introduce en el programa como un solo elemento, caracterizado por las impedancias de terminación y de equilibrado de los equipos de terminación a dos/cuatro hilos, la atenuación adaptada en cada sentido de transmisión y el retardo de fase al recorrerse el bucle completo. El ruido de cuantificación es despreciable para los niveles vocales de entrada calculados por CATNAP para esta conexión.

La conexión es simétrica en cuanto a la pérdida de transmisión, pero una pequeña diferencia en el nivel del efecto local se ha traducido en una ligera diferencia en las notas de opinión en conversación, en los dos extremos.

B.5 HRC 4 – Asimetría de la pérdida de transmisión (véase la Figura B.4)

Se efectuaron varios cálculos para esta HRC con el fin de determinar el efecto de la variación del grado de asimetría. Las curvas representadas no son curvas ajustadas, sino que se han obtenido uniendo simplemente los puntos señalados en el gráfico. Estas curvas muestran el efecto que, sobre la nota de opinión en conversación y la tensión vocal en conversación, produce la variación de la pérdida de transmisión en un sentido solamente (del extremo próximo al extremo distante). Cuando la pérdida del extremo distante al extremo próximo se mantiene constante, la opinión del abonado en el extremo próximo resulta mucho menos afectada. Se piensa que las curvas de tensión en conversación son demasiado divergentes, y hay que seguir investigando este aspecto, aunque las curvas de opinión indican tendencias similares a los resultados obtenidos por Boeryd [30].

El nivel del efecto local no resultó afectado prácticamente, por la variación de la pérdida de transmisión.

B.6 HRC 5 – Efecto del ruido ambiente (véase la Figura B.5)

Los cálculos efectuados para esta HRC revelan el efecto del cambio del nivel de ruido ambiente en el caso en que uno de los abonados tiene un trayecto de efecto local alto (extremo próximo) y el otro un trayecto de efecto local bajo (extremo lejano). Al igual que con relación a HRC 4, la curva se ha construido uniendo simplemente los puntos obtenidos.

B.7 HRC 6 – Efecto del ruido de circuito y la limitación de banda (véase la Figura B.6)

Esta es una conexión que emplea teléfonos de referencia a cuatro hilos y, por tanto, permite controlar el efecto local. El STMR se mantiene a un nivel constante de 20 dB que no sería detectado por la mayoría de los abonados.

Esta conexión puede utilizarse para estudiar los efectos de determinados factores de degradación de la transmisión que se hicieran variar independientemente. Se ha utilizado aquí para demostrar el efecto que, sobre el esfuerzo en conversación y las notas de opinión en conversación, produce el nivel del ruido inyectado en el circuito y la limitación de banda (paso bajo) para una gama de pérdidas que probablemente están presentes en las redes telefónicas.

Al igual que las curvas precedentes, éstas se han construido uniendo simplemente los puntos obtenidos, para formar una línea.

B.8 HRC 7 – Multiplicidad de cálculos con selección arbitraria de los elementos (véase la Figura B.7)

El CATNAP se ha concebido para facilitar la evaluación de propuestas de redes telefónicas más bien que conexiones individuales. El programa puede realizar una multiplicidad de cálculos sobre un grupo de conexiones o sobre una conexión individual con selección aleatoria de los elementos tomados de una base de datos.

En esta HRC se efectúa una selección aleatoria de las líneas de abonado, las cuales se toman de una base de datos formada a partir de los datos obtenidos en una encuesta sobre 1800 líneas existentes. Esto permite probar la calidad de transmisión de un elemento determinado para una gama de condiciones que se presentarían en la red real. Como la encuesta refleja la distribución de las longitudes y diámetros de cable en la red real, este método de evaluación da un cuadro más exacto de la calidad de transmisión de la red existente.

Para este ejemplo sólo se han realizado algunos cálculos con el objeto de demostrar este medio, y se han impreso los resultados así obtenidos. No es práctico proceder de este modo cuando los cálculos son numerosos; en estos casos, los resultados se almacenan y pueden procesarse según se desee, por ejemplo construyendo curvas de distribución o mediante análisis estadístico.

El número de líneas y la distancia radial se han dado para los dos extremos en cada cálculo.

B.9 HRC 8 – Ejemplo de la utilización del CATNAP para satisfacer un criterio de diseño (véase la Figura B.8)

Tiene por objeto presentar un ejemplo de utilización del CATNAP en el diseño de componentes de red individuales de modo que satisfagan los objetivos de diseño.

Con la introducción de teléfonos electrónicos, el diseñador tiene una mayor libertad en la elección de los valores para las características del aparato telefónico, por ejemplo, el valor de la impedancia de línea que deberá conectarse al aparato telefónico para obtener la supresión total del efecto local (Z_{so}).

Mediante un procedimiento iterativo pueden obtenerse valores preferidos para Z_{so} . Como ejemplos se han presentado cálculos realizados para un equipo BT 706 convencional y un equipo 706 en el cual se han introducido algunos valores experimentales para Z_{so} en longitudes limitativas de la BT de los cables de cobre locales de diámetros habituales, y una longitud media de cable de 0,5 mm de diámetro. Para uno de los conjuntos de valores experimentales que parecieron posibles en base de estos resultados y para un aparato 706 convencional, se efectuó una serie de 40 cálculos con selección aleatoria de las líneas locales, tomadas de la base de datos de las 1800 utilizadas para HRC 7. Los resultados se expresan en función de la media y la desviación típica de la distribución de los STMR. Estos resultados muestran que los valores experimentales dan, efectivamente, en promedio, una mejor calidad, si bien la calidad es peor en las líneas limitativas de 0,63 mm y 0,9 mm, pues éstas son menos corrientes en la red local que las de 0,5 mm.

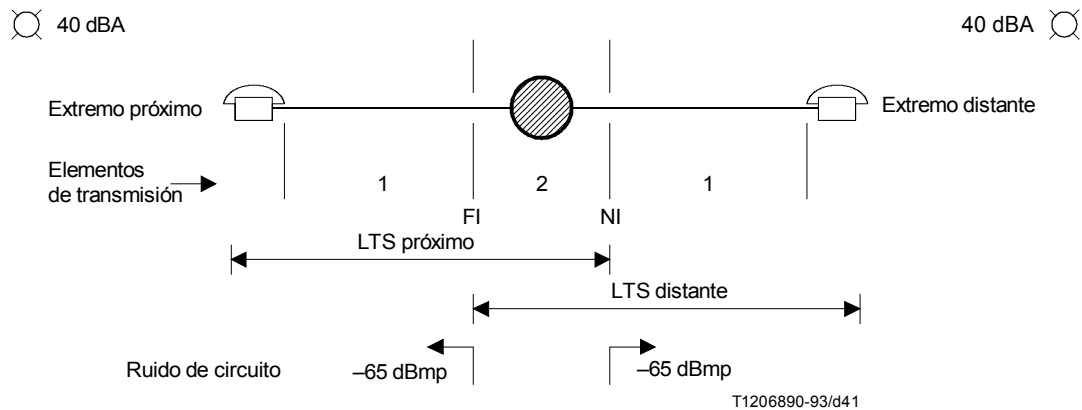
Como instrumento de diseño, el programa podría utilizarse también para verificar la mejora en la calidad de transmisión, comprobar los efectos de las tolerancias, y estudiar la posibilidad de mejorar estos valores.

B.10 HRC 9 – Efecto de la variación de la longitud de la línea (véase la Figura B.9)

Esta HRC es idéntica a la HRC 2, de la que sólo se diferencia en el diámetro del cable. En este caso, se utiliza un cable de cobre de 0,63 mm cuya longitud se hace variar de 0 a 10 km, con lo que se sobrepasa la longitud limitativa (7,2 km) de la BT.

Los resultados se muestran en forma de curvas de notas de opinión en conversación, OLR, y tensión vocal en conversación en función de la longitud de la línea. Como en casos anteriores, los puntos calculados se han unido para formar una línea.

Los cálculos para esta HRC se han incluido con el objeto de presentar la utilización «inversa» del CATNAP. Los límites impuestos al OLR son conocidos (vienen dados por el plan de transmisión), por lo que estas pasadas del programa podrían utilizarse para determinar la gama de longitudes de cable que son aceptables. Como la calidad de transmisión puede calcularse en función de notas de opinión en conversación, los límites de calidad pueden expresarse también en términos de notas de opinión en conversación, lo que refleja con mayor exactitud la calidad de funcionamiento real que los límites establecidos en términos de índices de sonoridad.



Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado, 1,6 km, 0,5 mm (168 Ω /km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu\text{F}$, 50 V)

<i>Extremo próximo</i>	IL	=	64		
STMR	=	9,02	SLR	=	4,76
RLR	=	-5,15	OLR	=	-0,27
Y_{LE}	=	3,48	V_L	=	-18,24
Y_C	=	3,15	V_C	=	-22,69
RN	=	40,00	ICN	=	-65,00

IL	=	64	<i>Extremo distante</i>		
OLR	=	-0,27	RLR	=	-5,15
SLR	=	4,76	STMR	=	9,02
V_L	=	-18,24	Y_{LE}	=	3,48
V_C	=	-22,69	Y_C	=	3,15
ICN	=	-65,00	RN	=	40,00

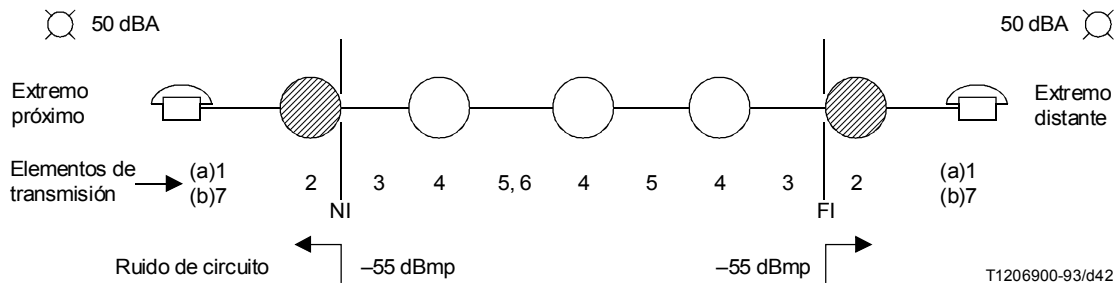
IL	Corriente de línea (mA)
SLR	Índice de sonoridad en emisión (dB)
RLR	Índice de sonoridad en recepción (dB)
OLR	Índice de sonoridad global (dB)
STMR	Índice de enmascaramiento para el efecto local (dB)
Y_{LE}	Nota de esfuerzo en escucha
Y_C	Nota de opinión en conversación
V_L	Tensión vocal en interfaz (dBV) en condiciones de locución controladas
V_C	Tensión vocal en interfaz (dBV) en condiciones de conversación
RN	Nivel del ruido ambiente (<i>room environmental noise</i>) (dBA), espectro Hoth
ICN	Nivel del ruido de circuito inyectado (<i>injected circuit noise</i>) referido a un extremo receptor con un RLR de 0 dB
NI	Interfaz próximo (<i>near interface</i>)
FI	Interfaz distante (<i>far interface</i>)
LTS	Sistema telefónico local (<i>local telephone system</i>)

NOTAS

- 1 El ruido ambiente tiene espectro Hoth.
- 2 El OLR impreso en la columna de la izquierda es para el sentido extremo próximo-distante y el OLR en la columna de la derecha es para el sentido extremo distante-próximo.

FIGURA B.1

HRC 1 – Comunicación dentro de la propia central



Elementos de transmisión

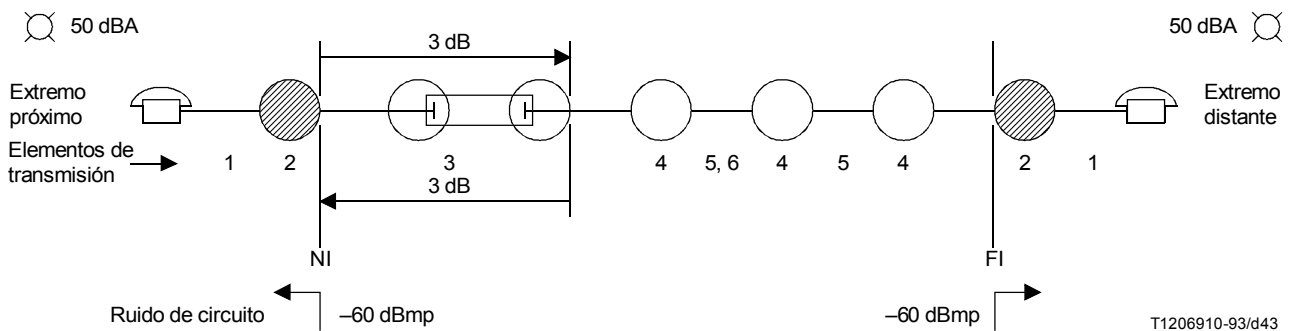
Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado 6 km de 0,5 mm (168 Ω/km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone (2 × 200 Ω, 2 + 2 μF, 50 V)
- 3 Enlace cargado 19,6 km de 0,9 mm, 88 mH/1,83 km
- 4 Puente de alimentación con transformador (50 V)
- 5 Atenuación 3,5 dB, independiente de la frecuencia, 600 Ω
- 6 Filtrado de canal de 300 a 3400 Hz, 600 Ω
- 7 Cable no cargado, 10 km de 0,9 mm (55 Ω/km, 50 nF/km)

<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 32	<i>IL</i> = 32	<i>Extremo distante</i>
STMR = 11,19	SLR = 8,21	OLR = 25,07	RLR = -1,32
RLR = -1,32	OLR = 25,07	SLR = 8,21	STMR = 11,19
Y_{LE} = 1,98	V_L = -21,40	V_L = -21,40	Y_{LE} = 1,98
Y_C = 1,86	V_C = -22,46	V_C = -22,46	Y_C = 1,86
RN = 50,00	ICN = -55,00	ICN = -55,00	RN = 50,00
<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 50	<i>IL</i> = 50	<i>Extremo distante</i>
STMR = -0,14	SLR = 6,62	OLR = 24,04	RLR = -2,05
RLR = -2,05	OLR = 24,04	SLR = 6,62	STMR = -0,14
Y_{LE} = 1,72	V_L = -19,75	V_L = -19,75	Y_{LE} = 1,72
Y_C = 0,81	V_C = -21,52	V_C = -21,52	Y_C = 0,81
RN = 50,00	ICN = -55,00	ICN = -55,00	RN = 50,00

FIGURA B.2

HRC 2 – Comunicación nacional limitativa



T1206910-93/d43

Elementos de transmisión

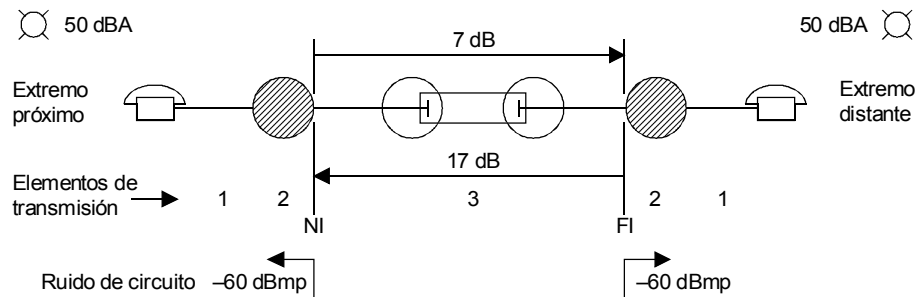
Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado 1,6 km de 0,5 mm (168 Ω /km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu\text{F}$, 50 V)
- 3 Sistema MIC 3 dB hasta 3,4 kHz, 600 Ω
- 4 Puente de alimentación con transformador (50 V)
- 5 Atenuación 3,5 dB, independiente de la frecuencia, 600 Ω
- 6 Filtrado de canal de 300 a 3400 Hz, 600 Ω

<i>Extremo próximo</i>	$IL = 64$	$IL = 64$	<i>Extremo distante</i>
STMR = 9,31	SLR = 4,95	OLR = 13,38	RLR = -4,95
RLR = -4,95	OLR = 13,38	SLR = 4,95	STMR = 8,55
$Y_{LE} = 3,34$	$V_L = -18,60$	$V_L = -18,60$	$Y_{LE} = 3,34$
$Y_C = 2,73$	$V_C = -22,19$	$V_C = -22,45$	$Y_C = 2,75$
RN = 50,00	ICN = -60,00	ICN = -60,00	RN = 50,00

FIGURA B.3

HRC 3 – Comunicación de larga distancia con un enlace MIC

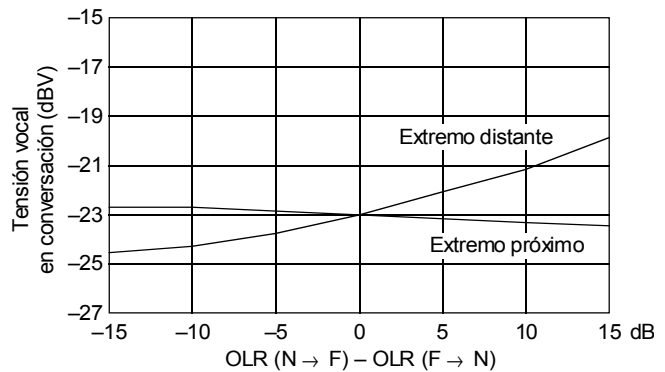
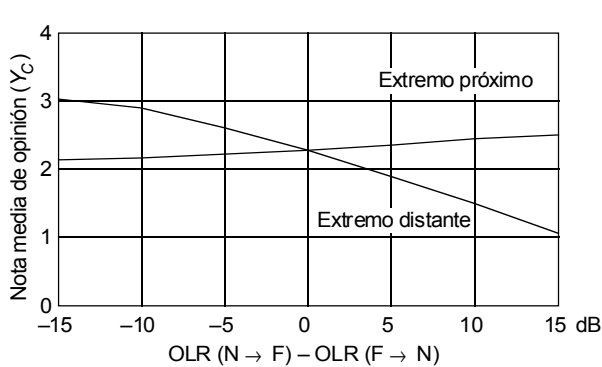


Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado, 6 km de 0,5 mm (168 Ω /km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu F$, 50 V)
- 3 Sistema MDF, pérdida como se indica, hasta 3,4 kHz, 600 Ω

<i>Extremo próximo</i>	$IL = 32$	$IL = 32$	<i>Extremo distante</i>
STM _R = 13,89	SL _R = 8,21	OL _R = 14,35	RL _R = -1,31
RL _R = -1,31	OL _R = 24,22	SL _R = 8,21	STM _R = 13,89
$Y_{LE} = 2,62$	$V_L = -21,40$	$V_L = -21,40$	$Y_{LE} = 3,40$
$Y_C = 2,18$	$V_C = -22,69$	$V_C = -24,22$	$Y_C = 2,90$
RN = 50,00	ICN = -60,00	ICN = -60,00	RN = 50,00

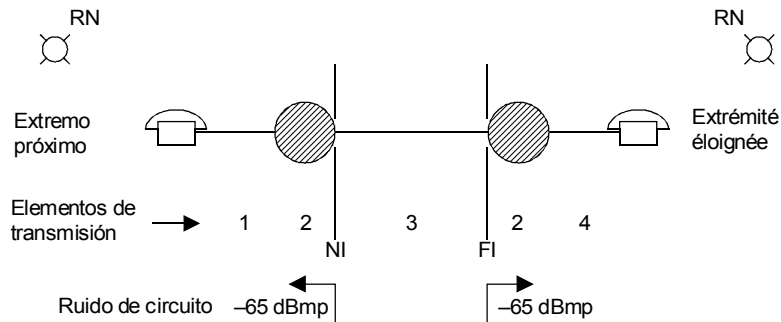


T1206930-93/d44

NOTA – Los resultados indicados en las curvas mostradas fueron obtenidos para la misma conexión haciéndose variar la pérdida del extremo próximo (N) al extremo distante (F), en el sistema MDF, de 2 dB a 32 dB. La pérdida del extremo distante al próximo se mantuvo constante en 17 dB.

FIGURA B.4

HRC 4 – Efecto de la asimetría de la pérdida de transmisión



Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado, 10 km de 0,9 mm (55 Ω/km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone (2 × 200 Ω, 2 + 2 μF, 50 V)
- 3 Atenuación 20 dB, independiente de la frecuencia, 600 Ω
- 4 Cable no cargado, 6 km de 0,5 mm (168 Ω/km, 50 nF/km)

<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 50	<i>IL</i> = 32	<i>Extremo distante</i>
STMR = 0,28	SLR = 6,62	OLR = 24,69	RLR = -1,32
RLR = -2,04	OLR = 25,53	SLR = 8,82	STMR = 13,66
Y_{LE} = 2,63	V_L = -19,75	V_L = -21,40	Y_{LE} = 2,87
Y_C = 2,17	V_C = -24,83	V_C = -22,67	Y_C = 2,17
RN = 40,00	ICN = -65,00	ICN = -65,00	RN = 40,00

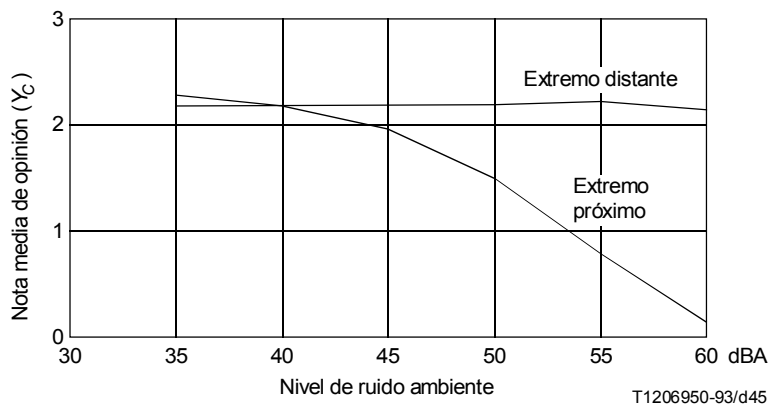
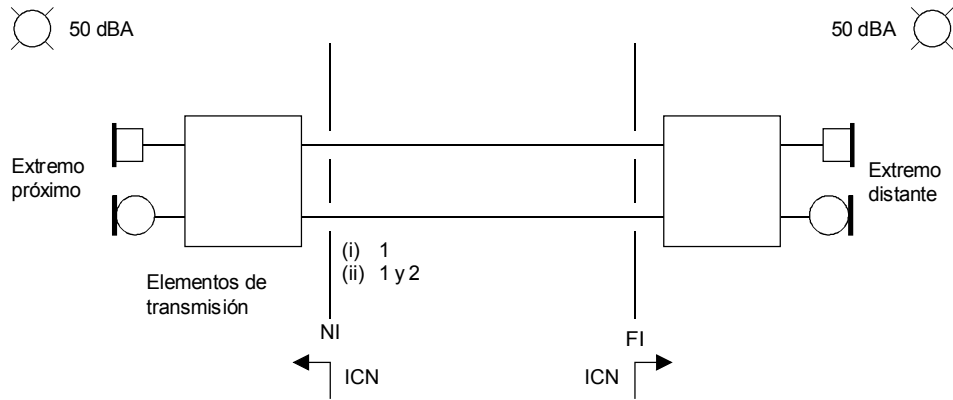


FIGURA B.5

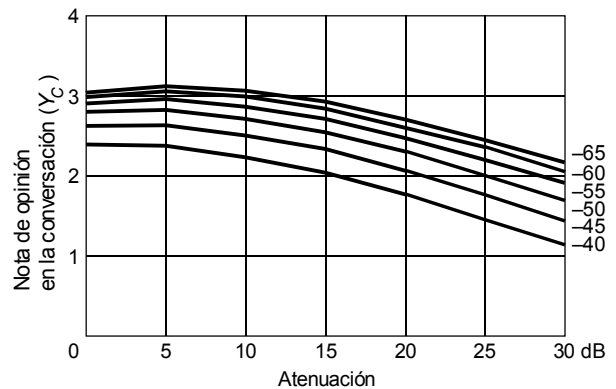
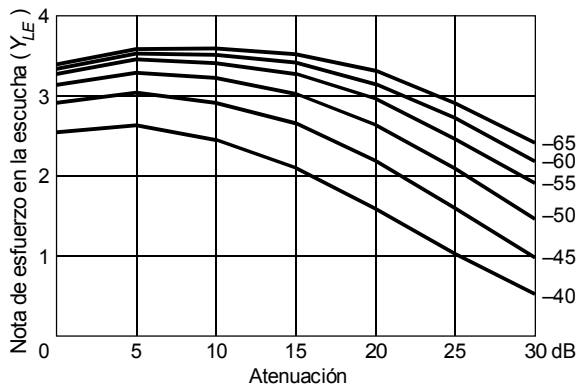
HRC 5 – Efecto del nivel de ruido ambiente



Elementos de transmisión

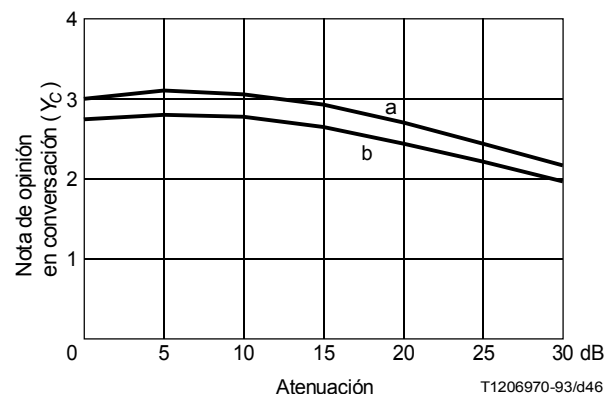
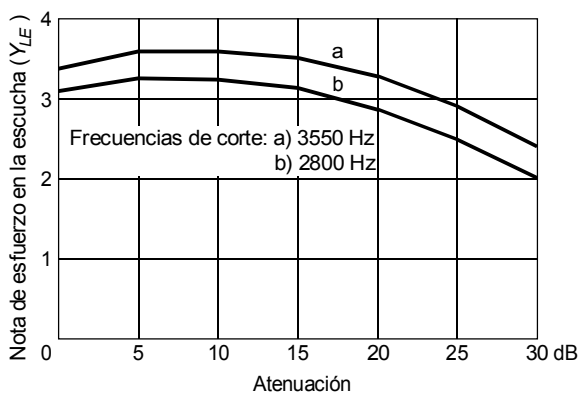
Los aparatos telefónicos son sistemas intermedios de referencia (véase la Recomendación P.48) con un trayecto de efecto local de STMR = 20 dB.

- 1 Atenuación 0-30 dB, independiente de la frecuencia, 600 Ω
- 2 Filtrado 600 Ω, (a) 0-3,55 kHz
(b) 0-2,80 kHz



NOTA – Estas curvas muestran el efecto que sobre Y_{LE} e Y_C produce el cambio del nivel del ruido de circuito inyectado, de -65 dBmp a -40 dBmp, con relación a un RLR de 0 dB.

a) Efecto del nivel de ruido inyectado y del equivalente sobre la nota de esfuerzo en la escucha y la nota de opinión en conversación

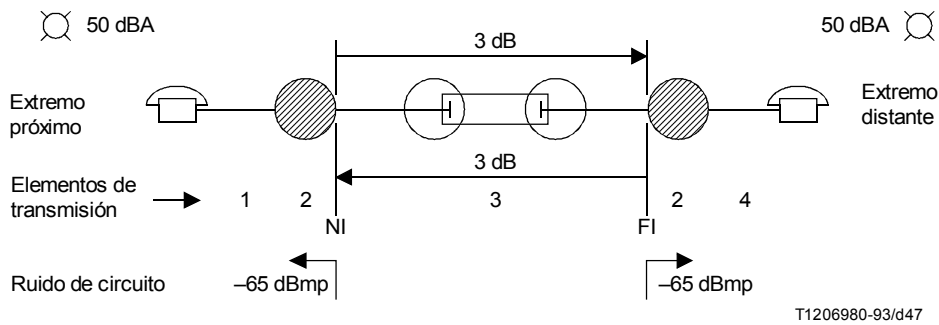


NOTA – Estas curvas muestran el efecto de la limitación de banda mediante filtros paso bajo ideales

b) Efecto de la limitación de banda (paso bajo) y de la atenuación en las notas de esfuerzo en la escucha y de opinión en conversación

FIGURA B.6

HRC 6 – Efecto del nivel de ruido de circuito inyectado y de la limitación de banda



Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Línea: Selección aleatoria de una línea tomada de una muestra de 1800 líneas de abonado existentes
- 2 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu F$, 50 V)
- 3 Sistema MIC, 600Ω , 3 dB
- 4 Línea: Selección aleatoria de una línea tomada de una muestra de 1800, como en 1 más arriba

Línea 43 (1,3 km)			Línea 121 (0,9 km)		
<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 64		<i>IL</i> = 64		<i>Extremo distante</i>
STMR = 10,38	SLR = 5,45		OLR = 4,77		RLR = -4,44
RLR = -4,46	OLR = 4,77		SLR = 5,47		STMR = 8,59
Y_{LE} = 3,56	V_L = -19,07		V_L = -19,11		Y_{LE} = 3,57
Y_C = 3,06	V_C = -22,96		V_C = -23,56		Y_C = 3,07
RN = 50,00	ICN = -65,00		ICN = -65,00		RN = 50,00

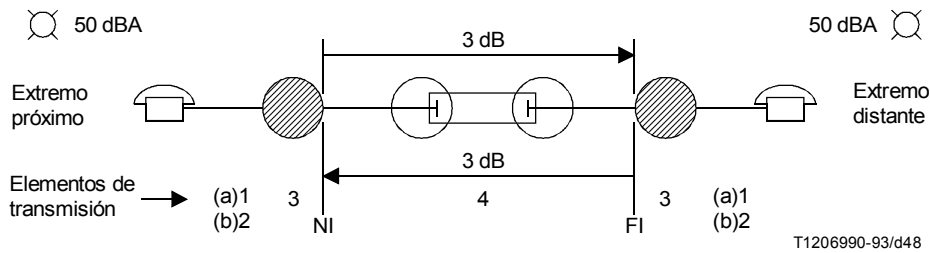
Línea 731 (0,3 km)			Línea 87 (0,5 km)		
<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 75		<i>IL</i> = 64		<i>Extremo distante</i>
STMR = 7,19	SLR = 4,08		OLR = 2,42		RLR = -5,41
RLR = -5,74	OLR = 2,53		SLR = 4,50		STMR = 6,77
Y_{LE} = 3,45	V_L = -17,46		V_L = -18,16		Y_{LE} = 3,50
Y_C = 3,05	V_C = -22,29		V_C = -23,13		Y_C = 3,06
RN = 50,00	ICN = -65,00		ICN = -65,00		RN = 50,00

Línea 4 (2,0 km)			Línea 776 (0,9 km)		
<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 50		<i>IL</i> = 75		<i>Extremo distante</i>
STMR = 4,33	SLR = 4,05		OLR = 2,45		RLR = -5,38
RLR = -4,65	OLR = 3,54		SLR = 4,45		STMR = 7,28
Y_{LE} = 3,53	V_L = -17,84		V_L = -17,83		Y_{LE} = 3,47
Y_C = 3,05	V_C = -23,53		V_C = -22,60		Y_C = 3,03
RN = 50,00	ICN = -65,00		ICN = -65,00		RN = 50,00

Línea 1018 (2,2 km)			Línea 1647 (2,5 km)		
<i>Extremo próximo</i>	<i>IL</i> = 50		<i>IL</i> = 40		<i>Extremo distante</i>
STMR = 8,95	SLR = 3,41		OLR = 4,37		RLR = -2,72
RLR = -5,27	OLR = 4,59		SLR = 6,18		STMR = 8,94
Y_{LE} = 3,54	V_L = -17,17		V_L = -19,54		Y_{LE} = 3,56
Y_C = 3,03	V_C = -21,42		V_C = -23,88		Y_C = 3,07
RN = 50,00	ICN = -65,00		ICN = -65,00		RN = 50,00

FIGURA B.7

HRC 7 – Ejemplo con selección aleatoria de líneas de abonado



Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT con los valores de Z_{SO} modificados en la forma requerida

- 1 Cable no cargado. Como el especificado más abajo.
- 2 Línea: Selección aleatoria de una línea tomada de una muestra de 1800 líneas de abonado existentes.
- 3 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu F$, 50 V).
- 4 Sistema MIC 600Ω , 3 dB.

NOTA – Véanse también los Cuadros B.1 y B.2.

FIGURA B.8

HRC 8 – Ejemplo de la utilización del CATNAP para un diseño

CUADRO B.1

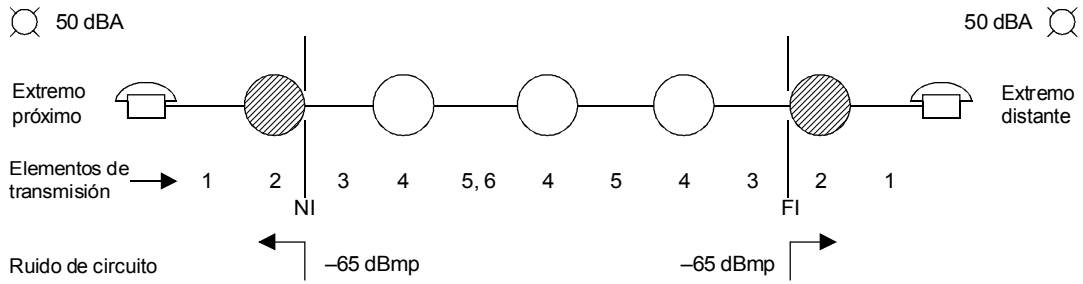
Valores de STMR (dB) para líneas especificadas (conductores de cobre)

Z_{SO}	1,6 km 0,5 mm (mediana)	6 km 0,5 mm	3,7 km 0,4 mm	7,2 km 0,63 mm	10 km 0,9 mm
	<------(Limitativa)----->				
706	9,9	15,7	7,2	7,5	0,0
Conjugada de la entrada Z	1,8	1,1	0,6	-0,2	-0,6
600 Ω	6,6	-0,8	-1,2	-2,0	-3,0
Valores sugeridos	10,2	13,4	13,8	4,4	-1,3

CUADRO B.2

Distribución de STMR para una muestra de 40 líneas con un aparato standard 706 y los valores sugeridos de Z_{SO}

Z_{SO}	Media	Desviación típica	Valor máximo	Valor mínimo
706	8,3	$\pm 2,5$	14,1	3,8
Valores sugeridos	9,4	$\pm 3,1$	17,9	4,2



Elementos de transmisión

Los aparatos telefónicos son del tipo N.º 706 de la BT

- 1 Cable no cargado, 0 a 10 km de 0,63 mm (109 Ω /km, 50 nF/km)
- 2 Puente de alimentación Stone ($2 \times 200 \Omega$, $2 + 2 \mu\text{F}$, 50 V)
- 3 Enlace cargado (19,6 km de 0,9 mm, 88 mH, 1,83 km)
- 4 Puente de alimentación por transformador (50 V)
- 5 Atenuación, 3,5 dB, independiente de la frecuencia, 600 Ω
- 6 Filtrado de canal de 300 Hz a 3400 Hz, 600 Ω

NOTA – Los resultados se indican en las curvas adjuntas.

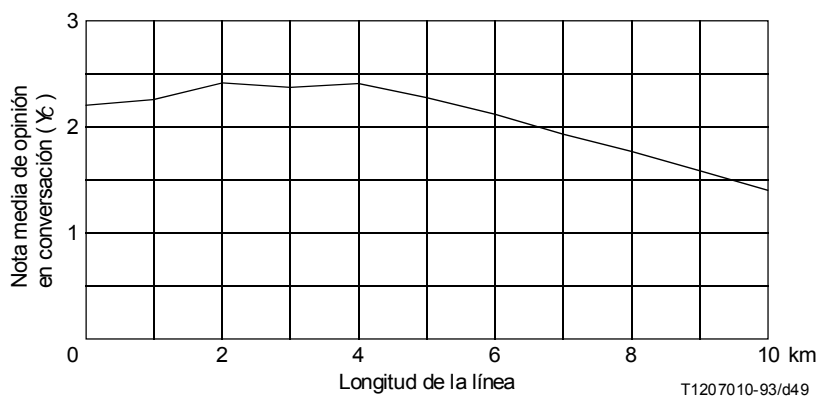
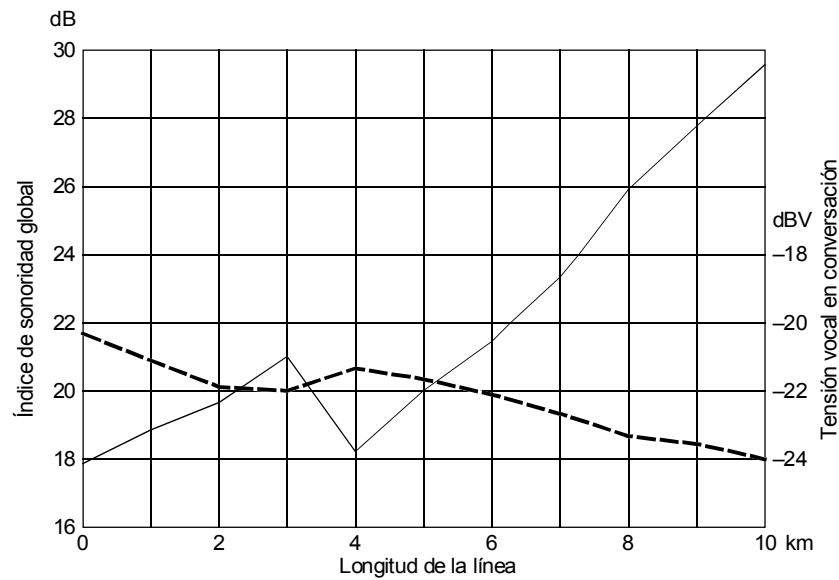


FIGURA B.9

HRC 9 – Efecto de la variación de la longitud de la línea

Anexo C
(Véase 4.3.1.2)

Cálculo del espectro de ruido

Es necesaria la transformación del valor escalar de ruido a los valores espectrales de ruido ambiente y de ruido de circuito (vease la Figura 4-4). La base de datos de valores espectrales de R_N (60 dBA) y de V_C (-56,0 dBmp) se muestra en el Cuadro C.1. El valor del ruido ambiente procede de la Figura 2/P.45 [40] y de la Figura A.1/P.80. V_C es una mezcla de ruido de circuito y de ruido de centro de conmutación. Se expresan mediante un ruido plano y un ruido de pendiente -8 dB/octava, respectivamente. Si sólo se conoce el valor escalar del nivel de ruido como condición de prueba, y no se conoce su valor espectral, en el OPINE se utiliza un espectro mixto de ruido, en el que el ruido de -8 dB/octava es 10 dB inferior al ruido plano. Además, se añaden características de SRAEN a las características de ruido plano.

CUADRO C.1

Valor del espectro de ruido utilizado en el modelo OPINE

		$R_N = 60 \text{ dBA}$	$V_C = -56,0 \text{ dBmp}$		
N.º	Frecuencia	B_{RNi}	$V_{\text{plano}} + \text{SRAEN}$	$V_{-8/\text{oct}}$	$V_{CQi} =$ $V_{\text{plano}} (+) V_{-8/\text{oct}}$
	(Hz)	(dB) 20 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$	(dBV/Hz)	(dBV/Hz)	(dBV/Hz)
1	100	42,07	-112,91	-75,25	-75,25
2	125	40,67	-102,61	-77,95	-77,93
3	160	39,07	-98,11	-80,55	-80,47
4	200	37,37	-96,81	-83,25	-83,06
5	250	35,87	-95,21	-85,95	-85,46
6	315	34,37	-93,31	-88,55	-87,29
7	400	32,87	-92,41	-91,25	-88,78
8	500	31,17	-91,91	-93,85	-89,76
9	630	29,57	-91,51	-96,55	-90,32
10	800	27,87	-91,21	-99,25	-90,57
11	1000	26,37	-91,21	-101,95	-90,86
12	1250	24,77	-91,21	-104,55	-91,01
13	1600	23,07	-91,11	-107,25	-91,00
14	2000	21,37	-91,01	-109,95	-90,95
15	2500	19,57	-91,01	-112,55	-90,98
16	3150	17,37	-91,21	-115,25	-91,19
17	4000	14,87	-178,71	-117,95	-117,95
18	5000	12,17	-291,21	-120,55	-120,55
19	6300	9,37	-291,21	-123,25	-123,25
			-56,4 dBmp	-66,4 dBmp	

Anexo D
(Véase 4.3.3)

Ejemplos de cálculo de MOS

En este caso se considera la condición de prueba con un aparato telefónico NTT tipo 600, y como circuito telefónico local (LTC, *local telephone circuit*) se utiliza una línea de 0,4 mm de diámetro y 7 dB de atenuación. En el Cuadro D.1 se indican los datos de entrada relativos al LTC. En esta conexión, SLR = 6,6 dB, e RLR = -3,8 dB. En el Cuadro D.2 se indican las condiciones de prueba y los resultados calculados para los factores fundamentales.

La salida del cálculo electroacústico global (véase 4.3.1) para la condición de prueba N.º 11 del Cuadro D.2 se indica en la Figura D.1, donde el OLR es de 6,4 dB.

CUADRO D.1

Sensibilidad de circuito telefónico local
(aparato telefónico NTT tipo 600 con una línea de 0,4 mm de diámetro y 7 dB de atenuación)

N.º	Frecuencia	S_{MJi}	S_{JEi}	L_{MESTi}	L_{RNSTi}
	(Hz)	(dB) rel V/Pa	(dB) rel Pa/V	(dB)	(dB)
1	100	-22,3	-40,0	5,3	28,6
2	125	-25,1	-2,7	6,7	26,3
3	160	-23,8	2,5	5,0	20,8
4	200	-18,8	7,3	2,3	14,1
5	250	-14,4	11,3	-3,0	5,6
6	315	-12,3	14,6	-6,4	-1,3
7	400	-12,5	15,9	-5,6	-1,8
8	500	-12,6	15,7	-3,6	-0,3
9	630	-12,3	14,9	-2,1	2,8
10	800	-11,9	14,4	-0,4	3,9
11	1000	-11,6	14,5	0,1	3,4
12	1250	-12,0	14,8	0,0	3,1
13	1600	-12,0	14,1	0,1	0,1
14	2000	-9,8	14,4	-3,3	-2,1
15	2500	-10,0	16,2	-5,0	3,4
16	3150	-11,0	11,5	2,7	15,0
17	4000	-16,8	8,9	11,1	22,3
18	5000	-27,9	-30,0	28,1	35,1
19	6300	-32,0	-30,0	32,7	35,3

CUADRO D.2

Ejemplo de resultados estimados para factores fundamentales mediante el OPINE

Condiciones de prueba (STMR = 7,1 dB)						Conversión a la entrada OPINE			Salida					
N.º	Ruido OLR (dB)	R_N (dBA)	Ruido de circuito (dBmp)	Ruido de conmutación (dBmp)	Caracterís- ticas de frecuencia (Cuadro D.3)	OLR (dB)	L (dB)	V_C (dBmp)	PI_{EL}	PI_N	PI_{AD}	PI_{ST}	OPI	MOS
1	-3,8	0			1	-3,6	-7,3	-95,1	0,63	0,00	0,19	0,15	0,97	2,58
2	1,2	0			1	1,4	-2,3	-95,1	0,23	0,00	0,10	0,15	0,49	3,04
3	6,2	0			1	6,4	2,7	-95,1	0,03	0,00	0,09	0,15	0,27	3,23
4	11,2	0			1	11,4	7,7	-95,1	0,40	0,00	0,12	0,15	0,67	2,88
5	16,2	0			1	16,4	12,7	-95,1	0,80	0,00	0,08	0,15	1,03	2,52
6	21,2	0			1	21,4	17,7	-95,1	1,20	0,00	0,04	0,15	1,40	2,16
7	26,2	0			1	26,4	22,7	-95,1	1,61	0,00	0,04	0,15	1,81	1,75
8	31,2	0			1	31,4	27,7	-95,1	2,02	0,00	0,02	0,15	2,20	1,37
9	-3,8	60	-56,9	-62,2	1	-3,6	-7,3	-55,8	0,56	0,21	0,19	0,15	1,12	2,44
10	1,2	60	-56,9	-62,2	1	1,4	-2,3	-55,8	0,14	0,21	0,10	0,15	0,61	2,93
11	6,2	60	-56,9	-62,2	1	6,4	2,7	-55,8	0,15	0,21	0,09	0,15	0,60	2,94
12	11,2	60	-56,9	-62,2	1	11,4	7,7	-55,8	0,60	0,21	0,12	0,15	1,08	2,48
13	16,2	60	-56,9	-62,2	1	16,4	12,7	-55,8	1,09	0,21	0,08	0,15	1,54	2,02
14	21,2	60	-56,9	-62,2	1	21,4	17,7	-55,8	1,62	0,21	0,04	0,15	2,03	1,53
15	26,2	60	-56,9	-62,2	1	26,4	22,7	-55,8	2,21	0,23	0,04	0,15	2,64	0,95
16	31,2	60	-56,9	-62,2	1	31,4	27,7	-55,8	2,87	0,26	0,02	0,15	3,30	0,41
17	1,2	60	-56,9		1	1,4	-2,3	-57,0	0,15	0,16	0,10	0,15	0,57	2,97
18	11,2	60	-56,9		1	11,4	7,7	-57,0	0,59	0,16	0,12	0,15	1,02	2,53
19	21,2	60	-56,9		1	21,4	17,7	-57,0	1,61	0,16	0,04	0,15	1,96	1,60
20	31,2	60	-56,9		1	31,4	27,7	-57,0	2,84	0,21	0,02	0,15	3,23	0,47
21	1,2	50	-56,9	-62,2	1	1,4	-2,3	-55,8	0,17	0,21	0,10	0,15	0,64	2,90
22	11,2	50	-56,9	-62,2	1	11,4	7,7	-55,8	0,53	0,21	0,12	0,15	1,01	2,54
23	21,2	50	-56,9	-62,2	1	21,4	17,7	-55,8	1,48	0,21	0,04	0,15	1,89	1,67
24	31,2	50	-56,9	-62,2	1	31,4	27,7	-55,8	2,59	0,22	0,02	0,15	2,99	0,65
25	1,2	45	-68,2	-68,2	1	1,4	-2,3	-65,2	0,20	0,02	0,10	0,15	0,48	3,05
26	13,2	45	-68,2	-68,2	1	13,4	9,7	-65,2	0,63	0,02	0,12	0,15	0,92	2,63
27	26,2	45	-68,2	-68,2	1	26,4	22,7	-65,2	1,80	0,02	0,04	0,15	2,02	1,55
28	1,2	45	-63,8	-68,2	1	1,4	-2,3	-62,5	0,20	0,04	0,10	0,15	0,50	3,03
29	13,2	45	-63,8	-68,2	1	13,4	9,7	-62,5	0,65	0,04	0,12	0,15	0,96	2,60
30	26,2	45	-63,8	-68,2	1	26,4	22,7	-62,5	1,84	0,04	0,04	0,15	2,07	1,49
31	2,2	60	-56,9	-62,2	3	2,5	-2,4	-55,8	0,07	0,21	0,28	0,15	0,72	2,83
32	12,2	60	-56,9	-62,2	3	12,5	7,6	-55,8	0,69	0,21	0,20	0,15	1,25	2,30
33	22,2	60	-56,9	-62,2	3	22,5	17,6	-55,8	1,71	0,21	0,12	0,15	2,19	1,37
34	32,2	60	-56,9	-62,2	3	32,5	27,6	-55,8	2,95	0,26	0,04	0,15	3,41	0,35
35	4,1	60	-56,9	-62,2	7	5,1	-2,3	-55,8	0,02	0,21	0,45	0,15	0,84	2,71
36	14,1	60	-56,9	-62,2	7	15,1	7,7	-55,8	0,89	0,21	0,31	0,15	1,57	1,99
37	24,1	60	-56,9	-62,2	7	25,1	17,7	-55,8	1,92	0,22	0,18	0,15	2,47	1,10
38	34,1	60	-56,9	-62,2	7	35,1	27,7	-55,8	3,16	0,27	0,06	0,15	2,64	0,23

CUADRO D.3

Características de atenuación en función de la frecuencia utilizadas en el Cuadro D.2

Frecuencia (Hz)	1 SRAEN (dB)	2 (Nota 1) (dB)	3 (Nota 2) (dB)
100	21,7	40,0	76,0
125	11,4	32,0	60,0
160	6,9	23,0	47,0
200	5,6	17,2	36,0
250	4,0	12,0	24,5
315	2,1	6,5	15,0
400	1,2	2,5	7,0
500	0,7	1,0	2,5
630	0,3	0,5	0,5
800	0,0	0,0	0,0
1000	0,0	-0,1	0,0
1250	0,0	-0,1	0,0
1600	-0,1	-0,3	0,2
2000	-0,2	-0,1	0,9
2500	-0,2	0,5	2,5
3150	0,0	4,0	9,0
4000	87,5	12,5	19,5
5000	200,0	22,0	30,0
6300	200,0	32,0	41,0

NOTAS

- 1 Tres cadenas de circuitos a cuatro hilos, características de límite al 50%.
- 2 Siete cadenas de circuitos a cuatro hilos, características de límite al 95,5%.

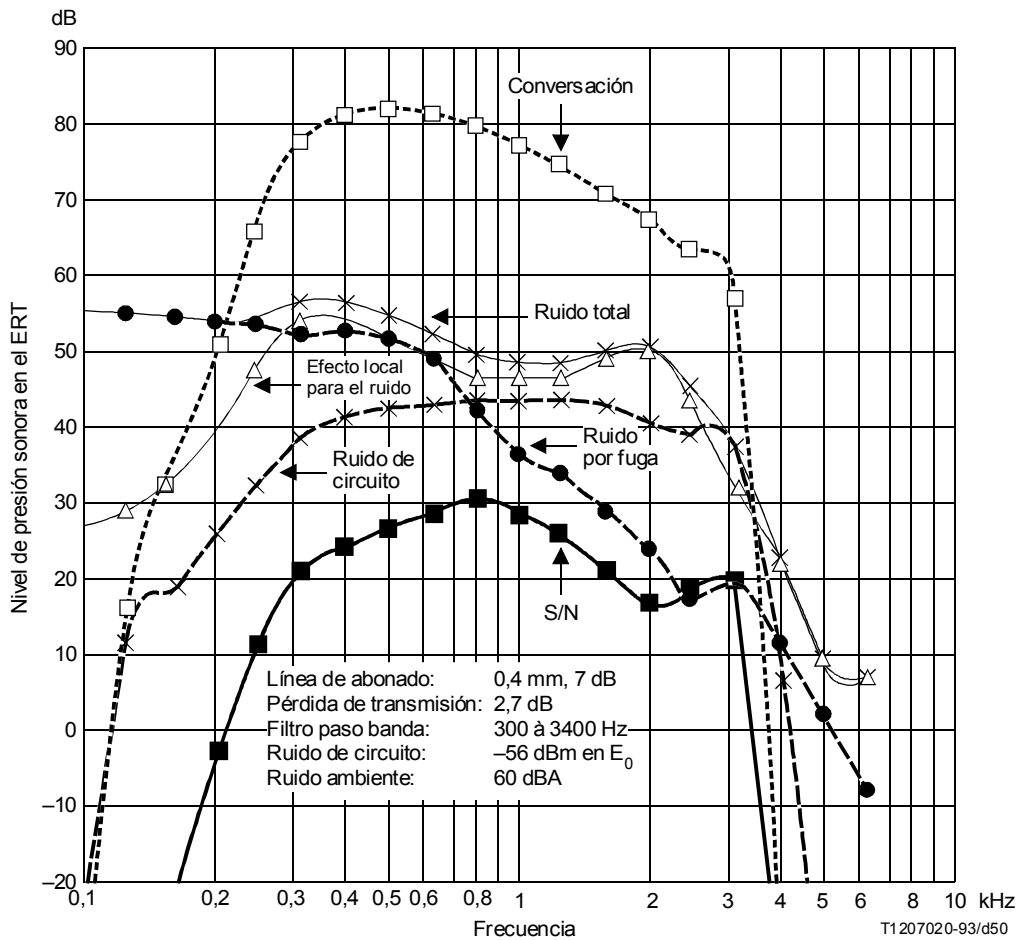


FIGURA D.1

Nivel de conversación y de ruido en el ERP

Anexo E
(Véase 4.3.2.2)

Obtención de la ecuación (4-16)

A partir de las ecuaciones (4-9) y (4-10) de la Recomendación P.79,

$$OLR = \overline{L_{ME}} - \overline{L_{RNE}} = -\frac{1}{m} 10 \log_{10} \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{MEi}}{10}} G_i \Delta f_i - \left(-\frac{1}{m}\right) 10 \log_{10} \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{RMEi}}{10}} G_i \Delta f_i \quad (E-1)$$

Tomando logaritmos en la ecuación (4-12),

$$10 \log_{10} \lambda_E = 10 \log_{10} C + 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mb_n}{10}} \cdot 10^{\frac{-mL_{MEi}}{10}} G_i \Delta f_i \right] = K - mb_n - m \overline{L_{ME}} \quad (E-2)$$

De modo similar,

$$10 \log_{10} \lambda_0 = 10 \log_{10} C + 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{\Phi MEi}}{10}} G_i \Delta f_i \right] = K - m \overline{L_{\Phi ME}} \quad (E-3)$$

donde $L_{\Phi MEi}$ es la atenuación en dB que da la sonoridad óptima cuando no hay ruido.

Sustituyendo estas cantidades en la ecuación (4-15), se obtiene:

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left(10 \log_{10} \frac{\lambda_E}{\lambda_0}\right)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left\{ -mb_n - m \overline{L_{ME}} - (-m \overline{L_{\Phi ME}}) \right\}^2 + C_2} - \sqrt{C_2}$$

dado que $OLR_0 = L_{\Phi ME} - L_{RNE}$, se obtiene

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} m^2 (b_n + OLR - OLR_0)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} \quad (E-4)$$

que es la misma que la ecuación (4-16).

Para emplear las ecuaciones (4-15) y (4-16), es necesaria una constante para cada ecuación: λ_0/C para (4-15) e OLR_0 para (4-16). La expresión de esos valores en el Cuadro 4-5 permite un error de 0,004 para dos cálculos distintos del PI_{EL} . Sin embargo, este error no causa errores adicionales en los cálculos subsiguientes.

Anexo F
(Véase 4.3.3)

Modelo de evaluación psicológica

En este anexo se da el desarrollo detallado de las ecuaciones (4-34) y (4-35). El modelo es una adaptación completa de la referencia [39].

F.1 Modelo psicológico para evaluación

Según el modelo descrito en [39], en la Figura F.1 se muestra un valor de evaluación para una condición de prueba en un continuum psicológico. p_k se define en la página 10 de la referencia [39], y es la probabilidad de dar una nota de opinión k para una condición de prueba. La correspondencia de las notas de opinión con las gamas del continuum psicológico es:

<i>Gama del continuum</i>	<i>Nota de opinión</i>
$-\infty$ 0,5	0
0,5 1,5	1
1,5 2,5	2
2,5 3,5	3
3,5 ∞	4

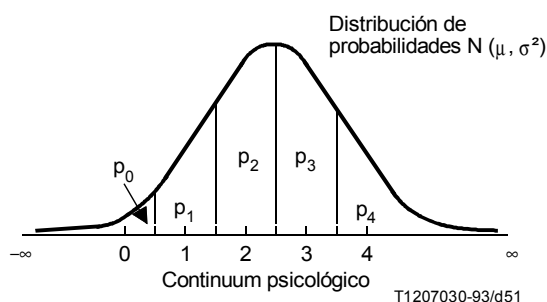


FIGURA F.1

Distribución de evaluaciones para una condición de prueba en un continuum psicológico

Estos supuestos cumplen la ecuación siguiente:

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \tag{F-1}$$

que es la misma que la ecuación (4-34).

F.2 Obtención de la ecuación (4-35) a partir de la ecuación (4-34)

La probabilidad acumulativa de $N(\mu, \sigma^2)$ se expresa utilizando una función típica de distribución normal como sigue:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (F-2)$$

Utilizando la ecuación (F-2), la ecuación (4-34) se expresa por:

$$MOS = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left\{ 0 \times \int_{-\infty}^{(0,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 1 \times \int_{(0,5-\mu)/\sigma}^{(1,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 2 \times \int_{(1,5-\mu)/\sigma}^{(2,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \right. \\ \left. + 3 \times \int_{(2,5-\mu)/\sigma}^{(3,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 4 \times \int_{(3,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right\} \quad (F-3)$$

Sustituyendo la multiplicación por una repetición de adiciones, y cambiando la asociación (combinación) de adiciones, la ecuación (F-3) deviene:

$$MOS = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \int_{(0,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt + \int_{(1,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt + \int_{(2,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right. \\ \left. + \int_{(3,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right\} \quad (F-4)$$

Dado que

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^{\infty} \exp(-t^2/2) dt = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a \exp(-t^2/2) dt \quad (F-5)$$

se obtiene

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(k+0,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (F-6)$$

Sustituyendo μ por P se obtiene la ecuación (4-35), que permite entonces utilizar un cuadro típico de distribución normal.

Anexo G

Método de estimación objetiva de la calidad vocal degradada por distorsión no lineal

En este Anexo se describen métodos de predicción de la calidad subjetiva de los sistemas de transmisión mediante mediciones objetivas que se están estudiando actualmente. Hasta el momento no ha sido posible recomendar un método único aplicable a una amplia gama de distorsiones no lineales. Se ha presentado un método adicional basado en criterios psicoacústicos [43].

G.1 Introducción

Una de las escalas más utilizadas para evaluar la calidad de las señales vocales transmitidas por dispositivos no lineales es la nota de opinión basada en una evaluación subjetiva de la voz real. La nota media de opinión (MOS, *mean opinion score*), que es la media de las notas dadas en determinadas condiciones, ha sido utilizada como índice para la planificación de redes y para evaluar el comportamiento de los codecs. La MOS es más fiable cuanto mayor es el número de hablantes y oyentes. No obstante, el número de sujetos se limita por motivos prácticos.

El procedimiento anterior, denominado medición subjetiva, exige mucho tiempo y esfuerzo. Por este motivo, la MOS se ha estimado objetivamente mediante mediciones físicas de la distorsión no lineal, modelando y evaluando el comportamiento de los oyentes y empleando la voz artificial recomendada en la Recomendación P.50.

Para los codecs MIC, que se encuentran entre los dispositivos no lineales empleados en las redes modernas, se han efectuado mediciones objetivas empleando señales sinusoidales o ruido de anchura de banda limitada (Recomendaciones G.712 a G.715). Este método es sólo una aplicación a los codecs MIC de las técnicas convencionales, que consiste en medir las distorsiones armónicas en los circuitos analógicos, pero es válido únicamente cuando el espectro de distorsión es uniforme, como en la codificación MIC.

La relación señal/ruido (SNR), que se obtiene a partir de la diferencia entre la forma de onda de entrada y la forma de onda de salida de una señal, también se ha empleado en la evaluación como índice de calidad del algoritmo de codificación de baja velocidad binaria. No obstante, el perfeccionado algoritmo de codificación actual aprovecha estadísticamente las redundancias de la voz humana. Por consiguiente, no es necesario un espectro de distorsión uniforme. Los métodos de medición objetivos recomendados aquí están concebidos principalmente para esta distorsión no lineal.

G.2 Alcance

La utilización del método objetivo quedará limitada inicialmente al códec de voz digital. Por lo tanto, las señales de entrada y de salida pueden tomarse en los puertos de entrada y de salida del códec. Se supone que el ruido analógico adicional o la distorsión de frecuencia/atenuación que genera el códec son despreciables. El espectro de la señal de entrada puede modificarse de acuerdo con el circuito conectado a la entrada del códec. Sólo debe compensarse el retardo del sistema. La utilización de métodos específicos debe limitarse a este sector.

G.3 Señal de medición

Se deben emplear voces artificiales masculinas y femeninas conformes a la Recomendación P.50. Si la señal aplicada a la entrada del códec procede de un aparato telefónico, las voces se conforman de acuerdo con las características de sensibilidad y frecuencia del aparato.

G.4 Preprocesamiento

G.4.1 Alineación temporal de las señales de entrada y de salida

El retardo temporal entre las señales de entrada y de salida se debe a los procesos de codificación y decodificación. Este retardo provoca graves errores de medición si no se efectúa la alineación temporal. Uno de los métodos más eficaces para medir el retardo consiste en detectar la máxima correlación entre las señales de entrada y de salida.

G.4.2 Ventanas

Se emplea una ventana Hamming. La longitud de la ventana (una trama) es fija, de 256 muestras a una frecuencia de muestreo de 8 KHz (32 ms). En la mayoría de los casos, se utilizan ventanas sin solapamiento; se obtiene un solapamiento del 50% empleando una función de coherencia.

G.4.3 Agrupación de segmentos

G.4.3.1 Método 1 – Nivel de potencia de los segmentos

Las cuartilas se obtienen formulando una distribución acumulativa basada en la potencia de los segmentos de señales vocales de origen y creando cuatro grupos. Los cuatro grupos se determinan ordenando los segmentos según el nivel de potencia y asignándolos a los conglomerados (clusters) basados en un rango percentil (es decir, el percentil 0 a 25 se asigna al conglomerado 1; el percentil 25 a 50, al conglomerado 2; y así sucesivamente).

G.4.3.2 Método 2 – Parámetros derivados de los conglomerados

Los segmentos de corta duración de las señales vocales se clasifican en varios conglomerados con propiedades comunes (valores del parámetro) que los asemejan mucho a la voz humana. Se utilizan los valores del parámetro de un segmento para asignar ese segmento a un conglomerado. Los parámetros empleados en la segmentación de conglomerados son los que servirán para establecer la correspondencia de patrones. El análisis del k -ésimo vecino más próximo (kNN, *k-nearest neighbour*) determina el número de conglomerados y sus fronteras. Este análisis se aplica a la señal vocal de entrada y se efectúan asignaciones de segmentos a un determinado conglomerado. Cuando se asignan segmentos a los conglomerados, se mantiene un registro de qué segmento se asigna a cada conglomerado. Este registro se utiliza para asignar segmentos al conglomerado de la señal vocal de salida.

G.4.4 Preacentuación

En el método que recurre a la técnica LPC, las señales se acentúan mediante un diferenciador de primer orden para extraer el parámetro LPC a fin de mejorar la exactitud del análisis de frecuencia.

G.4.5 Eliminación de pausas

Los silencios cortos entre los pasajes se eliminan de la medición. Las pausas se detectan aplicando las reglas siguientes:

- i) Si se conoce el nivel de ruido de fondo grabado (y se indica al laboratorio encargado de la medición), se consideran como pausas los segmentos cuyo nivel de potencia sea inferior al umbral determinado durante más de 6 tramas sucesivas de 32 ms. El umbral se fija por encima del nivel de ruido.
- ii) Si se desconoce (o no se indica), el nivel de ruido de fondo grabado se estima a partir de un periodo de silencio de la cinta grabada o del ruido generado por el códec en condiciones de reposo.

G.4.6 Normalización de la amplitud

Ciertos tipos de distorsiones no lineales producen diferencias de amplitud entre las señales en el puerto de entrada y las señales en el puerto de salida. Si algunas mediciones corresponden a estas distorsiones no lineales, sus valores individuales pueden determinarse principalmente sobre la base de la correspondiente diferencia de amplitud y no de la distorsión no lineal. En este caso, la amplitud de la señal en el puerto de salida debe ajustarse para que sea igual a la de la señal en el puerto de entrada.

G.5 Parámetros objetivos

La calidad vocal objetiva se estima sobre la base de uno o varios parámetros que especifican la señal vocal en el dominio temporal o frecuencial. Los parámetros también están estrechamente relacionados con las notas subjetivas. Estos parámetros pueden clasificarse en «parámetros básicos» y «parámetros de distorsión». Los parámetros básicos especifican únicamente características intrínsecas de las señales vocales de entrada o de salida. Los parámetros de distorsión se refieren a las diferencias entre las señales vocales de entrada y de salida. La mayoría de los métodos de medición objetivos se han propuesto sobre la base de esta medida de la distorsión. Aunque existen diversos parámetros de distorsión, se recomienda utilizar los parámetros que suelen emplearse en general para el índice de distorsión, así como los que son necesarios en los procesos de estimación.

G.5.1 Método 1 – Relación señal/ruido (SNR)

La ecuación (G-1) es la relación convencional señal/ruido, Q_t , que se ha empleado como una medición común de la calidad objetiva.

$$Q_t = 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^M x(j)^2}{\sum_{j=1}^M \{x(j) - y(j)\}^2} \quad (\text{G-1})$$

En esta ecuación, $x(j)$ e $y(j)$ son las señales de entrada y de salida del códec, y M es el número de muestras en el puerto de entrada. La otra medición derivada de Q_t es SNR, Q_{tseg} , definida por la ecuación (G-2).

$$Q_{tseg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{t_i} \quad (\text{G-2})$$

N es el número de tramas de la señal y Q_{t_i} es la relación señal/ruido de la trama i de la señal.

Del espectro de potencia se derivan definiciones modificadas de SNR y SNR_{seg} . $Sx_i(j)$ y $Sy_i(j)$ son los espectros de potencia de las señales de entrada y de salida de la frecuencia j -th en el segmento i -th. Las relaciones señal/ruido definidas en el dominio de frecuencia, Q_f y Q_{fseg} , son las siguientes:

$$Q_f = 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^M Sx(j)}{\sum_{j=1}^M Sx(j) - \sum_{j=1}^M Sy(j)} \quad (\text{G-3})$$

$$Q_{fseg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{f_i} \quad (\text{G-4})$$

G.5.2 Método 2 – Distancia cepstral

Se puede efectuar una aproximación de la distancia cepstral LPC empleando coeficientes cepstrales como se indica a continuación:

$$CD = [2\sum \{C_x(i) - C_y(i)\}^2]^{1/2} \quad (\text{dB}) \quad (\text{G-5})$$

donde $C_x(i)$ y $C_y(i)$ son los coeficientes cepstrales de las señales de entrada y de salida. Esta medición está relacionada con la diferencia de envolvente de espectro entre las señales vocales de origen y las procesadas.

G.5.3 Método 3 – Función de coherencia

La función de coherencia γ se define mediante una función de intercorrelación y una función de autocorrelación para las muestras vocales de entrada y de salida, x_i e y_i .

$$\gamma^2 = \frac{|G_{ab}|^2}{G_{aa} \times G_{bb}} \quad (G-6)$$

donde G_{aa} , G_{bb} , y G_{ab} son, respectivamente, el autoespectro de entrada, el espectro de salida y el espectro de transferencia.

En forma de ecuación,

$$G_{ab} = \sum_{n=1}^N X_n(f) Y_n^* \quad (G-7)$$

$$G_{aa} = \sum_{n=1}^N X(f)^2 \quad (G-8)$$

$$G_{bb} = \sum_{n=1}^N Y(f) \quad (G-9)$$

$$\delta = \frac{1}{NPf_s} \quad (G-10)$$

donde N es el número de segmentos de la señal de origen, P es el número de muestras de cada segmento, y f_s es la frecuencia de muestreo.

Empleando γ e $Y(f)$, el espectro de potencia coherente, $CP(f)$, y la potencia no coherente residual, $NCP(f)$ se calculan de la siguiente manera:

$$CP(f) = \gamma^2(f) \cdot \delta \cdot G_{bb} \quad (G-11)$$

$$NCP(f) = [1 - \gamma^2(f)] \cdot \delta \cdot G_{bb} \quad (G-12)$$

G.5.4 Método 4 – Índice de información

El índice de información se basa en el concepto de información mutua definido por Shannon. El principio de este método se describe en [24] y su aplicación en 3.2. En primer lugar, se calcula una SNR por segmentos para bandas de frecuencia con la misma importancia en materia de nitidez. Las SNR se transforman en valores Q . El índice de información, Π , se calcula mediante las ecuaciones siguientes:

$$\Pi = \sum_{j=1}^{16} B_j \cdot V_j \quad (G-13)$$

con

$$V_j = 3 / \left(0,1 + 10^{-\left(Qf_j + C_j\right)/10} \right) \quad (G-14)$$

donde B_j es el peso asignado a la j -ésima banda de frecuencia, Qf_j es la media de q_j en todas las tramas. Qf_j es la SNR equivalente expresada en MNRU, y C_j es un factor de corrección para la anchura de banda crítica en el mecanismo de escucha. C_j y B_j se indican en el Cuadro G.1. Para un códec, se obtiene una aproximación de la suma $Qf_j + C_j$, utilizando Qf , mediante la siguiente fórmula: donde $d = Qt_{seg} - Qt$ para cada tipo particular de códec. En el Cuadro G.2 se muestran ejemplos de d para codecs típicos.

$$Qf_j + C_j = Qf + C_j + d \cdot \tanh [0,0798 (Qf + C_j) - 0,356] \text{ para } Qf + C_j < -3,57 \quad (\text{G-15})$$

$$Qf_j + C_j = 4,34 \ln [\exp \{0,23026 (Qf + C_j + 5,15)\} - 1] + d [0,276 (Qf + C_j) + 0,3859] \quad \text{para } -3,57 < Qf + C_j < 0 \quad (\text{G-16})$$

$$Qf_j + C_j = 4,3429 \cdot \ln [\exp \{0,23026 (Qf + C_j + 5,15)\} - 1] + d \cdot \tanh [0,062715 (Qf + C_j) + 0,310925] \text{ para } Qf + C_j > 0 \quad (\text{G-17})$$

CUADRO G.1

j	Frecuencia (Hz)	B_j	C_j
1	100	0,00804	0
2	125	0,01042	1,25
3	160	0,0138	2,0
4	200	0,01788	2,6
5	250	0,02392	3,5
6	315	0,03246	4,9
7	400	0,04471	5,8
8	500	0,05981	6,35
9	630	0,07789	7,25
10	800	0,0839	7,35
11	1000	0,0899	7,8
12	1250	0,09627	8,05
13	1600	0,10376	8,25
14	2000	0,11097	8,3
15	2500	0,11859	8,18
16	3150	0,12694	7,95
17	4000	0,13607	7,57
18	5000	0,14506	7,25
19	6300	0,15487	7,2
20	8000	0,16554	6,8

CUADRO G.2

Tipo de códec	Velocidad binaria (kbit/s)	d
MIC	64	0
MICDA con predictor fijo	16	-2,8
	24	-2,3
	32	-2,4
	16	1,7
MICDA con predictor variable	24	2,1
	32	2,6
	24	-2,1
Codificación de subbanda	24	-2,1
	32	-1,0

G.6 Proceso de estimación

G.6.1 Método 1 – Utilización de la ecuación de regresión

Para CD ,

$$MOS = a \cdot CD^2 - b \cdot CD + c \quad (G-18)$$

Los parámetros a , b y c se determinan de acuerdo con la nota de opinión. Los valores de a , b y c obtenidos en un experimento japonés fueron, respectivamente, 0,0415, 0,8010 y 3,5620.

Para II ,

$$x = \ln \left[\frac{II - I_{\min}}{I_{\max} - II} \right] \quad y = \ln \left[\frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y} \right] \quad (G-19)$$

$$y = A \cdot x - B \quad (G-20)$$

donde Y_{\max} (Y_{\min}) es la nota máxima (mínima) de una amplia serie de pruebas de opinión e I_{\max} (I_{\min}) es el valor correspondiente de II . Se pueden obtener directamente de las pruebas o mediante extrapolación. Los valores obtenidos en el experimento francés para I_{\max} , I_{\min} , Y_{\max} e Y_{\min} son, respectivamente, 27,6; 0; 3,4 y 0 (en una escala de 0 a 4) para varios codecs y MNRU. Los valores obtenidos en las pruebas de BNR (*Bell-Northern Research*) de Canadá de la no linealidad de entrada y salida son, respectivamente, 2,5; 9,89; 4,2 y 1,057 (en una escala de 1 a 5).

G.6.2 Utilización del modelo de opinión

G.6.2.1 Modelo de Richards ampliado

Se describe la primera etapa para la normalización del nivel de potencia coherente («nivel de señal») de acuerdo con el «nivel preferido» (es decir, 82 dBspl). Empleando la adición en potencia, el espectro de potencia no coherente («espectro de ruido») se combina con el umbral de audibilidad para un sonido espectral continuo a fin de formar un nuevo espectro de ruido de enmascaramiento (MNS, *masking noise spectrum*). El umbral de audibilidad se indica en el Cuadro G.3. A partir de ese umbral se halla el nivel de sensación Z sustrayendo la potencia no coherente de la potencia coherente, y se realiza un índice aditivo $P(Z)$ que utiliza las funciones de crecimiento modificadas.

$$Z < A P(z) = 10^{(Z + B)/10} \quad (G-21)$$

$$Z \geq A P(Z) = 1 - \left[10^{(Z + C)/10} \right]^D \quad (G-22)$$

donde

$$A = 2,792, \quad B = -6,646, \quad C = 0,5 \text{ et } D = -0,7$$

El producto (o la suma, si se expresa en decibelios) de $P(Z)$ y del factor de ponderación de frecuencia B' (se indica en el Cuadro G.3 $10 \log_{10} B'$) se integra entonces en la gama de frecuencias pertinente para obtener el índice de opinión en la escucha (LOI). (Los valores de $\beta_0 - K$ y B_1 se indican en el Cuadro G.3.)

CUADRO G.3

Frecuencia $f(\text{Hz})$	Umbral de audibilidad $\beta_0 - K$	Ponderación de frecuencia $10 \log B'$
100	+17,5	-35,8
200	5,0	-34,2
300	0,0	-33,3
400	-3,0	-32,9
500	-5,0	-32,9
600	-6,0	-33,0
800	-8,0	-33,5
1000	-9,0	-34,0
1250	-8,5	-34,7
1600	-8,0	-35,7
2000	-9,0	-37,3
2500	-11,5	-39,4
3000	-14,0	-41,3
3500	-13,5	-42,9
4000	-13,0	-44,0
5000	-12,5	-45,5
6000	-11,5	-46,7
8000	-9,0	-48,2

En la práctica, suponiendo que el nivel de sensación Z es aproximadamente constante dentro de las bandas de frecuencia estrechas elegidas de forma adecuada, Δf (resolución de frecuencia determinada por la longitud de los segmentos empleados en los cálculos de FFT), la integración se sustituye por una suma de productos:

$$B'P(z)\Delta f \tag{G-23}$$

Hasta este punto, todos los cálculos se han efectuado por separado para cada cuartila, obteniéndose así cuatro valores de índices de opinión en la escucha, LOI. Como se supone que estos índices son auditivos, pueden promediarse utilizando los factores de ponderación siguientes:

Nivel inferior	Q1	0,19
	Q2	0,21
	Q3	0,53
Nivel superior	Q4	0,07

Los factores de la ponderación se aplican para compensar el hecho de que la señal vocal simulada descrita en [41] tiene un nivel de potencia segmentado distribuido en una gama mucho menor que la palabra real. Modificaciones adicionales de la señal vocal simulada pueden eliminar finalmente la necesidad de aplicar una ponderación distinta a cada cuartila.

La LOI final puede transformarse en la nota media de opinión, MOS, empleando la siguiente relación modificada.

$$MOS = \frac{1 + 5e^x}{1 + e^x} \tag{G-24}$$

donde

$$x = E \cdot \ln \frac{LOI}{LOI_{lim} - LOI} + F \tag{G-25}$$

$$E = 1,145, F = -1,195 \text{ et } LOI_{lim} = 0,885$$

G.6.2.2 Modelo OPINE con Q equivalente

Una descripción del OPINE relacionado con la distorsión de cuantificación procede de una sección pertinente del Manual sobre mediciones telefonómicas.

En primer lugar, CD se utiliza para calcular una Q equivalente empleando la ecuación de regresión siguiente:

$$Q = 0,49 CD^2 - 8,425 CD + 42,856 \quad (\text{dB}) \quad (\text{G-26})$$

El nivel de ruido blanco de la distorsión de cuantificación equivalente a la nota de opinión es el siguiente:

$$V_{wop} = -2,022 PI_q^3 - 7,51 PI_q^2 + 21,9 PI_q - 76,9 - (OLR - 7,5) \quad (\text{G-27})$$

$$PI_q = -0,0000218 Q_{op}^3 + 0,00489 Q_{op}^2 - 0,283 Q_{op} + 4,915 \quad (\text{G-28})$$

o, en una forma más simple, con SNR_w :

$$V_{wop} = -26,9 - SNR_w - (OLR - 7,5) \quad (\text{G-29})$$

$$SNR_w = -0,0467 Q_{op}^2 + 3,632 Q_{op} - 21,51 \quad (\text{G-30})$$

$$V_{cq} = V_c (+) V_{wop} \quad (\text{G-31})$$

donde

- V_{wop} es el nivel de ruido blanco equivalente a la nota de opinión en la entrada al circuito telefónico local de recepción ($RLR = -4,0$ dB)
- PI_q es el índice de calidad para la distorsión de cuantificación
- Q_{op} es la relación equivalente a la nota de opinión (dB) entre las señales vocales y el ruido relacionado con las señales vocales
- SNR_w es la relación equivalente a la nota de opinión (dB) entre las señales vocales y el ruido blanco
- V_c es el nivel de ruido del circuito en la entrada del extremo receptor (dBmp), y
- V_{cq} es el nivel de ruido de circuito equivalente en presencia de ruido de circuito y de distorsión de cuantificación.

En la etapa siguiente, V_{cq} se utiliza para calcular el índice de calidad con respecto al ruido, PI_N . El ruido tiene dos efectos distintos sobre los sujetos, según el entorno vocal. Uno es el ruido en los intervalos con voz y el otro es el ruido en los intervalos sin voz.

En los intervalos con voz, se considera peor una sonoridad dada con determinada relación señal/ruido (S/N) que la misma sonoridad con una S/N superior. Utilizando el ruido total N_i [nivel de presión acústica (dB)] para la banda i en el ERP, el índice de calidad con respecto al ruido, PI_N , se expresa como la suma de PI_{IN} (PI para el ruido del circuito en reposo) y PI_{SN} (PI para el ruido del intervalo con voz).

PI_{IN} puede expresarse como una función de potencia ponderada por una curva A con respecto al umbral de N_i .

En este caso

$$N_i = \begin{cases} N_i - N_{th}, & N_i \geq N_{th} \\ 0, & N_i < N_{th} \end{cases} \quad (\text{G-32})$$

$$PI_{IN} = C_3 \sum_{i=1}^M \left\{ 10^{A_i/10} (10^{nN'_i/10} - 1) \right\} \quad (\text{G-33})$$

donde

- N'_i es el nivel por encima del umbral de ruido,
- N_{th} es el umbral de ruido [nivel de presión acústica (dB)],
- n es el exponente, y
- A_i es la ponderación A en la banda de frecuencia i (dB).

Es necesario hacer una estimación de n y de N_{th} .

PI_{SN} se evalúa mediante la fórmula lineal siguiente, donde SNR es S/N y SNR_{th} es el umbral por debajo del cual S/N no afecta a la evaluación.

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^M 10^{S_i/10}}{\sum_{i=1}^M 10^{N_i/10}} \right) \quad (G-34)$$

$$PI_{SN} = \begin{cases} C_4 (SNR - SNR_{th}), & SNR \leq SNR_{th} \\ 0 & SNR > SNR_{th} \end{cases} \quad (G-35)$$

En este caso, S_i es el espectro sonoro de la banda i en el EPR (nivel de presión acústica en dB).

$$PI_N = PI_{IN} + PI_{SN} \quad (G-36)$$

El índice de calidad global (OPI) puede obtenerse mediante la sumatoria de los índices de calidad para los otros factores.

$$OPI = \sum_{l=1}^L PI_l \quad (G-37)$$

Se supone que los resultados de la evaluación en las mismas condiciones de prueba para un gran número de sujetos obedecen a una distribución normal en una escala psicológica. Si P es la evaluación global media en esta escala psicológica, puede expresarse de la manera siguiente:

$$P = P_0 - OPI \quad (G-38)$$

donde P_0 representa P sin degradación.

La evaluación global y la degradación global obedecen a distribuciones normales de varianza σ^2 y medias P y OPI, respectivamente, para determinadas condiciones de prueba. En la prueba de opinión se emplean cinco categorías. Suponiendo que los intervalos entre las categorías son iguales, la MOS puede evaluarse de la manera siguiente:

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \quad (G-39)$$

donde p_k es la relación entre la categoría de evaluación k y todas las categorías. En la práctica, se emplea la siguiente ecuación:

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(k+0,5-P)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (G-40)$$

G.6.3 Método 3 – Utilización de correspondencia de patrones

El método se aplica en dos etapas: en la etapa de aprendizaje, dada por las ecuaciones (G-41) y (G-42), se analizan grabaciones vocales probadas subjetivamente para extraer «valores estadísticos de aprendizaje». Estas grabaciones vocales constituyen una base de datos de aprendizaje que comprende señales vocales de diversos codecs pertinentes. En la etapa de prueba, dada por las ecuaciones (G-43) a (G-45), se analiza una grabación vocal de calidad desconocida y se le asigna una nota de calidad basada en los valores estadísticos de aprendizaje medidos previamente.

La técnica se basa en simples reglas de probabilidad de Bayes, y requiere la estimación de la función de densidad de probabilidad (pdf, *probability density function*) básica. Esta etapa se denomina «aprendizaje» porque adapta el sistema a una aplicación determinada.

La función de densidad de probabilidad condicional de x_i para la m -ésima distorsión puede estimarse empleando el método del k -ésimo vecino más próximo:

$$p(x_i | d_m) = (k - 1) / (N \cdot v(x_i)) \quad (G-41)$$

donde i es el número de la trama, x_i es un vector de mediciones del parámetro, N es el número total de tramas por distorsión y $v(x_i)$ es el volumen de una hiperesfera de radio igual a la distancia entre x_i y el k -ésimo vector más cercano perteneciente a la distorsión d_m . La estimación de la función de densidad de probabilidad condicional (cpdf, *conditional probability density function*) para cada distorsión consiste en almacenar en la memoria los valores de los parámetros de aprendizaje y efectuar los cálculos correspondientes.

Puede efectuarse otra estimación de $p(x_i | d_m)$ modelando la densidad como una distribución Gaussiana. Se utiliza el método del k -ésimo vecino para identificar conglomerados en los datos de los parámetros de cada distorsión. El resultado del análisis consiste en un vector medio xm_{mc} y una matriz de covarianza C_{mc} para la m -ésima distorsión y el c -ésimo conglomerado. La estimación de la cpdf condicional de la distribución Gaussiana se efectúa adaptando una función Gaussiana a cada conglomerado y formando una suma ponderada de dichas funciones:

$$p(x_i | d_m) = \sum_{c=i}^{N_{mc}} \frac{NC_m}{N_m} \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |C_{mc}|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x_i - xm_{mc})^T C_{mc}^{-1} (x_i - xm_{mc}) \right\} \quad (G-42)$$

donde p es el número de parámetros (dimensiones) del vector x_i , N_{mc} es el número de vectores asignados al c -ésimo conglomerado de la m -ésima distorsión, NC_m es el número de conglomerados en la m -ésima distorsión y N_m es el número total de vectores de acondicionamiento en la m -ésima distorsión. Normalmente, la ecuación (G-41) se emplea durante la evaluación y selección de las características, mientras que la distribución Gaussiana (G-42) se utiliza para diseñar el clasificador.

La probabilidad de distorsión d_m viene dada por

$$P(d_m | x_i) = p(x_i | d_m) / \sum_{j=1}^{N_d} p(x_i | d_j) \cdot P(d_j) \quad (G-43)$$

donde N_d es el número de distorsiones y $P(d_j)$ es la probabilidad a priori de la distorsión d_j .

Ahora puede obtenerse una estimación de la función de probabilidad de la nota de opinión $P(\omega_q | x_i)$. Es la probabilidad de la nota de opinión ω_q , donde las clases (q) van de 1 (malo) a 5 (excelente). Esta función puede interpretarse como la frecuencia prevista de las notas de un panel de oyentes correspondientes al vector de parámetro vocal de prueba x_i . La relación viene dada por:

$$P(\omega_q | x_i) = \sum_{m=1}^{N_d} m S(d_m | x_i) \cdot P(\omega_q | x_i, d_m) \quad (G-44)$$

donde $S(\omega_q | x_i, d_m)$ es un histograma derivado de las pruebas subjetivas sobre la distorsión d_m y es la parte de votos de los oyentes por una nota de calidad ω_q .

La nota media de opinión prevista se halla de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} MOS_i &= \sum_q q \cdot P(\omega_q | x_i), (q = 1, \dots, 5) \\ MOS &= E \{ MOS_i | x_i \} \end{aligned} \quad (G-45)$$

En este caso, $E\{\ast\}$ es el operador esperanza; puede efectuarse una aproximación haciendo el promedio de todas las tramas de la grabación vocal.

Apéndice I
(Véase 3.2.2)

Programas de computador utilizados

I.1 Programa de computador N.º 1

```
10 PRINT "CALCULATION OF INFORMATION INDEX FOR MNRU"
20 REM New frequency weighting, Ti from BOSQUET
30 REM PROGRAM IIQCME.BAS, December 1988, written in MF BASIC
40 INPUT "SYSTEM"; S$
50 INPUT "MOS"; Y$
60 DATA .05457, 4.1, .04733, 5.6, .06682, 6.4, .07497, 6.9, .06546, 7.4, .06622, 7.8, .05585, 8, .054, 8, .05273, 8.2,
    .05117, 8.2
70 DATA .04517, 8.2, .04706, 8.2, .05073, 8.2, .05561, 8.2, .0631, 8.2, .06886, 8.1
80 REM Calculation for MNRU
90 FOR J = 1 TO 16
100 PRINT "Qseg over the band No"; J
110 INPUT QS
120 READ B, C
130 Q = QS + C
140 V = 3/(.1 + 10^(-Q/10))
150 I = B * V
160 II = II + I
170 NEXT J
180 REM Display of results
190 PRINT S$, "II ="; II
200 LPRINT " "; S$, TAB(20); II; TAB(30); Y$; TAB(40)
210 END
```

I.2 Programa de computador N.º 2

```
10 PRINT "CALCULATION OF INFORMATION INDEX FOR CODECS"
20 REM New frequency weighting, Ti from BOSQUET, revised equivalence with MNRU
30 REM PROGRAM IIQCDE.BAS, December 1988, written in MF BASIC
40 INPUT "SYSTEM"; S$
```

```

50 INPUT "MOS"; Y$
60 K = 4.3429
70 DATA .05457, 4.1, .04733, 5.6, .06682, 6.4, .07497, 6.9, .06546, 7.4, .06622, 7.8, .05585, 8, .054, 8, .05273, 8.2,
    .05117, 8.2
80 DATA .04517, 8.2, .04706, 8.2, .05073, 8.2, .05561, 8.2, .0631, 8.2, .06886, 8.1
90 INPUT "QSEG over the band-QP = d (0 for PCM)"; SM
100 REM Input of Qs in each band
110 FOR J = 1 TO 16
120 PRINT "Qseg over the band No"; J
130 INPUT QS
140 READ B, C
150 QC = QS + C
160 GOSUB 270
170 REM Calculation of Information Index
180 V = 3/(.1 + 10^(-Q/10))
190 I = B * V
200 II = II + I
210 NEXT J
220 REM Display of results
230 PRINT S$, "II ="; II
240 LPRINT " "; S$, TAB(20); SM; TAB(30); II; TAB(40); Y$; TAB(50)
250 END
260 REM Calculation of equivalent Q
270 IF QC > -3.57 THEN QMC = K * LOG(EXP((QC + 5.15)/K) - 1)
280 IF QC < -3.57 THEN R2 = .15968 * QC - .71265 ELSE 320
290 D2 = (EXP (R2) - 1) / (EXP (R2) + 1)
300 Q = QC + D2 * SM
310 RETURN
320 IF QC < 0 THEN Q = QC + SM * (.276 * QC + .3859) ELSE 340
330 RETURN
340 R1 = .12543 * QC + .62185
350 D1 = (EXP (R1) - 1) / (EXP (R1) + 1)
360 Q = QMC + D1 * SM
370 RETURN

```


Apéndice II
(Véanse 3.2.2 y 3.3)

```

10 PRINT "Calculation of Information Index for NTT 600 sets (7 dB line)"
15 PRINT "With a mixture of white and exchange noise."
20 REM Program IIMNT6RE, written in MF Basic, August 1990
30 INPUT "Room noise, dBA="; RN
40 INPUT "STMR, dB="; STMR
50 INPUT "Circuit noise level (dBm, sign changed) at input to 0 dB RLR end"
60 ICN0=-I
70 INPUT "Listening (L) or conversation (C) or terminate (T)"; AS
80 IF AS="T" GOTO 640
90 IF AS="C" GOTO 560
100 INPUT "Overall loudness rating (P79), dB="; OLR
110 LPRINT " OLR="; OLR
120 GOSUB 730
130 REM Correction for excessive loudness
140 IF OLR>OPT GOTO 380
150 X=2*OPT-OLR
160 GOTO 390
170 DIM FE(20), CN(20), ST(20), EL(20), BKL(20), S(20), BJ(20), CJ(20), OLA(20)
180 DATA -76.2, -29.2, -4.2, 32.4, 37.5, 56.4, .00804, 0, 85.3
190 DATA -28.9, 5.5, -3.1, 31.2, 30.5, 61.5, .01042, 1.25, 40.5
200 DATA -15.8, 8.1, .7, 29.5, 22.5, 62.9, .0138, 2, 29.5
210 DATA -2.6, 10.3, 5.5, 27.6, 13.4, 64.7, .01788, 2.6, 18.4
220 DATA 9.2, 11.9, 12.6, 26.2, 7.4, 64.4, .02392, 3.5, 8.4
230 DATA 16.8, 13.4, 16.3, 22.3, .6, 61.1, .03246, 4.9, 1.1
240 DATA 19.8, 13.2, 16.5, 22.7, -3.7, 60.2, .04471, 5.8, -9
250 DATA 18.9, 12, 13.4, 21.1, -7.2, 59.8, .05981, 6.35, -1.1
260 DATA 15.7, 10.7, 8.8, 17.4, -8.9, 56.7, .07789, 7.25, -1
270 DATA 14.7, 9.9, 5.9, 9.3, -11.2, 52.8, .0839, 7.35, -1.2
280 DATA 14.5, 9.7, 4.8, 2.7, -11.3, 48, .0899, 7.8, -1.6
290 DATA 13, 9.9, 3.5, -9, -9.7, 45.6, .09627, 8.05, -1.5
300 DATA 13.8, 9.2, 4.8, -7.1, -8.1, 44.4, .10376, 8.25, -9
310 DATA 13.6, 9.5, 5.4, -12.4, -5.4, 41.8, .11097, 8.3, -3.5
320 DATA 6.3, 11.3, -1.8, -20.4, -4.1, 39.2, .11859, 8.18, -5.1
330 DATA -5.3, 6.4, -15.2, -19.2, -7.1, 35.1, .12694, 7.95, .8
340 DATA -102.5, -23, -24.9, -28.1, -4.2, 31.4, .13607, 7.57, 96.7
350 DATA -263.6, -64.5, -40.5, -38.4, -2.5, 28.2, .14506, 7.25, 259.2
360 DATA -267.2, -67.2, -44.6, -51.3, 1.4, 26.5, .15487, 7.2, 263.3
370 DATA -292.9, -77.2, -59.6, -66.6, 6, 25.9, .16554, 6.8, 281.3

```

```

380 X=OLR
390 DEF FNP (Y)=10^(Y/10)
400 IN=0
410 FOR J=1 TO 20
420 READ FE, CN, ST, EL, BKL, S, BJ, CJ, OLA
425 REM Calculation and composition of signal to noise and equivalent ratio
430 PN=FNP(FE+RN-50-X+5)+FNP(CN+ICN0+60)+FNP(ST+RN-50-STMR+15)+FNP(EL+RN-50)
440 ZN=S-OLA-X+5-4.343*LOG(PN)
450 ZA=S-7.8-OLA-X-BKL
460 IF ZA>0 THEN PE=(1+ZA/9.5)^2-1: GOTO 470
465 PE=10^(-10)
470 P=FNP (-ZN)+1/PE
480 Z=-4.343*LOG(P)
490 GOSUB 660
500 G=BJ*V
510 IN=IN+G
520 NEXT J
530 PRINT "IN="; IN; "OPT="; OPT
540 LPRINT "RN(dBA)="; RN; "STMR(dB)="; STMR; "X(dB)="; X; "ICN0(dB)="; ICN0
545 LPRINT "OPT="; OPT; "IN="; IN
550 GOTO 70
560 RESTORE
570 REM Speech power correction for sidetone and quality of conversation
580 IF STMR>13 THEN 590 ELSE 610
590 CS=0
600 GOTO 620
610 CS=.3*(STMR-13)
620 X=X-CS+.4085*IN-9.87
630 GOTO 390
640 END
650 REM Equivalence law and calculation of V
660 IF Z<1.74 THEN 670 ELSE 690
670 Q=Z+CJ
680 GOTO 700
690 Q=.494*Z+.88+CJ
700 V=3/(.1+10^(-Q/10))
710 RETURN
720 REM Determination of optimum OLR
730 IF RN<30 THEN DS=-2.4: GOTO 750
740 DS=.006*(RN-30)^2-2.4
750 RNS=RN-112.6+DS-STMR
760 RNL=RN-116
770 PC=10^(ICN0/10)
780 PRL=10^(RNL/10)
790 PRS=10^(RNS/10)
800 NT=4.343*LOG (PC+PRL+PRS+10^(-8))
810 OPT=7.5-.14*(NT+80)
820 RETURN

```

Apéndice III

(Véase 3.3.2)

Cálculo de DATA del Apéndice II a partir de datos primarios

III.1 Definición de los datos primarios

Figuran entre los datos primarios los espectros de ruido y las características electroacústicas del tipo de aparato telefónico utilizado.

III.1.1 Espectros de ruido

En el Cuadro III.1 se expone el espectro BDR de ruido ambiental (de tipo Hoth) para el que $RN = 50$ dBA. Se indican también los espectros de los ruidos de circuito correspondientes a $ICNO = -60$ dBmp; NDW corresponde al ruido blanco y NDC al ruido mixto en la última columna del Cuadro C.1 (espectro de ruido utilizado por OPINE) disminuido en 7,9 dB (ya que corresponde a $ICN = -56$ dBmp y $RLR = -3,9$).

III.1.2 Características electroacústicas

Tal como se define en las Recomendaciones P.64 y P.79, las características electroacústicas de los sistemas locales son:

S_{UMJ} Sensibilidad de emisión

S_{UJE} Sensibilidad de recepción (medida en un oído artificial)

L_{MEST} Pérdida de trayecto de efecto local medida con boca y oído artificiales

L_{RNST} Pérdida de trayecto de efecto local medida en un campo de ruido ambiental difuso de 50 dBA, con un oído artificial.

Alternativamente, es posible determinar $DSM = L_{MEST} - L_{RNST}$ como la diferencia entre la sensibilidad del sistema de envío, para un campo de ruido ambiental difuso, y S_{UMJ} (véase 9/P.64).

Se necesitan también las características siguientes:

LE Corrección oído artificial/real (véase 6/P.79)

L_{RNE} Pérdida de la fuga entre el oído del oyente y el casco, medida en un oído real.

El empalme (que representa el resto de la conexión) se caracteriza por:

D_1 Distorsión de atenuación

XL Pérdida ajustable, independiente de la frecuencia.

NOTA – El índice de información es computado en el extremo de la conexión correspondiente al oyente; se le añade una d correspondiente a las características en el extremo distante (del hablante).

III.2 Relaciones

III.2.1 Características electroacústicas (véase 3.2.2 precedente)

Se calculan, en primer lugar, los índices de sonoridad en emisión (SLR) y en recepción (RLR), y en STMR a partir de las características electroacústicas, conforme a la Recomendación P.79, así como el valor de XL para el que el índice de sonoridad global (OLR) es igual a 5 dB.

Para cada frecuencia, entonces, la pérdida global entre MRPd y un oído artificial en ERP, correspondiente a un OLR = 5 dB, será

$$OLA = - S_{UMJd} + D1d + XLd - S_{UJE}$$

III.2.2 Efecto de los umbrales (véase 3.3.3.3)

A partir de [24], cláusula V.2, en ausencia de ruido se tiene:

$$ZA = S - OLA - (X - 5) - LE - (BK + 12,8)$$

Si escribimos BKL = BK + LE, se tendrá:

$$ZA = S - OLA - X - BKL - 7,8$$

como en la línea 450 del Apéndice II.

III.2.3 Componentes de ruido (véase 3.3.2.3)

Se calculan, mediante las relaciones siguientes:

$$\begin{aligned} FE &= BDR - OLA + DSMd \\ CN &= ND + S_{UJE} + 94 \\ ST &= BDR - L_{RNST} - (15 - STMR) \\ EL &= BDR - L_{RNE} \end{aligned}$$

III.3 Ejemplo

En el Cuadro III.1 se indican, además de los valores ND y BDR, las características electroacústicas de un aparato telefónico NTT 600 con línea de 7 dB.

NOTAS

1 Aparentemente, el valor de L_{MESTi} del Cuadro D.1 (Sensibilidad de circuito telefónico local) ha sido determinado en un oído artificial y para un valor L_{RNSTi} con un ruido ambiental de 60 dBA en un oído real. En el Cuadro 4-4, L_{RNE} ha sido medido evidentemente en un oído real. Seguidamente, se determinaron los valores L_{MEST} y L_{RNE} en condiciones de ruido ambiental alto cuando el oyente oprime el receptor fuertemente contra su oído y la corrección LE no debería ser aplicada para el cálculo de ZN.

2 Dado que en este ejemplo estamos considerando conexiones simétricas, se omitirá la letra *d*. Si RNd fuese diferente de RNn, se requeriría una corrección en la línea 440 del Apéndice II que afectaría al término que contiene FE.

Los cálculos precedentes darán:

$$SLR = 6,6 \quad RLR = -3,9 \quad STMR = 7 \quad XL = 1,3$$

así como los datos de las líneas 180-370 del Apéndice II.

CUADRO III.1

Ejemplo de datos primarios

Frecuencia		Espectros de ruido		Características electroacústicas (aparatos NTT 600, línea de 7 dB)						1 filtro SRAEN
kHz	N.º	NDC dB (1 V/Hz)	BDR dB (20 µPa/Hz)	S_{UMJ} dB (1 V/Pa)	S_{UJE} dB (1 Pa/V)	NDW dB (1 V/Hz)	L_{RNST} dB	L_{MEST} dB	L_{RNE} dB	D_1 dB
0,1	1	-83,15	32,43	-22,30	-40,00	-110,90	28,6	5,30	0,00	21,70
0,125	2	-85,83	31,23	-25,10	-2,70	-109,70	26,3	6,70	0,00	11,40
0,16	3	-88,37	29,53	-23,80	2,50	-108,00	20,8	5,00	0,00	6,90
0,2	4	-90,96	27,63	-18,80	7,30	-106,10	14,1	2,30	0,00	5,60
0,25	5	-93,36	26,23	-14,40	11,30	-103,50	5,6	-3,00	0,00	4,00
0,315	6	-95,19	23,03	-12,30	14,60	-100,70	-1,3	-6,40	0,70	2,10
0,4	7	-96,68	22,73	-12,50	15,90	-99,50	-1,8	-5,60	0,00	1,20
0,5	8	-97,66	21,13	-12,60	15,70	-98,90	-0,3	-3,60	0,00	0,70
0,63	9	-98,22	19,63	-12,30	14,90	-98,60	2,8	-2,10	2,20	0,30
0,8	10	-98,47	17,83	-11,90	14,40	-98,40	3,9	-0,40	8,50	0,00
1	11	-98,76	16,23	-11,60	14,50	-98,40	3,4	0,10	13,50	0,00
1,25	12	-98,91	14,63	-12,00	14,80	-98,50	3,1	0,00	15,50	0,00
1,6	13	-98,9	12,93	-12,00	14,10	-98,50	0,1	0,10	20,00	-0,10
2	14	-98,85	11,33	-9,80	14,40	-98,40	-2,1	-3,30	23,70	-0,20
2,5	15	-98,88	9,63	-10,00	16,20	-97,90	3,4	-5,00	30,00	-0,20
3,15	16	-99,09	7,83	-11,00	11,50	-101,20	15,0	2,70	27,00	0,00
4	17	-125,85	5,43	-16,80	8,90	-148,80	22,3	11,10	33,50	87,50
5	18	-128,45	2,63	-27,90	-30,00	-198,80	35,1	28,10	41,00	200
6,3	19	-131,15	-1,27	-32,00	-30,00	-198,80	35,3	32,70	50,00	200
8	20	-131,15	-6,57	-40,00	-40,00	-198,80	45,0	40,00	60,00	200

Referencias

- [1] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) y SULLIVAN (J. L.): Models for the subjective effects of loss, noise and talker echo on telephone connections, *Bell System Technical Journal*, Vol. 55, N.º 9, pp. 1319-1371, noviembre de 1976.
- [2] SULLIVAN (J. L.): A laboratory system for measuring loudness loss of telephone connections, *Bell System Technical Journal*, Vol. 50, N.º 8, pp. 2663-2739, octubre de 1971.
- [3] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) y NEIGH (J. L.): A model for the subjective effects of listener echo on telephone connections, *Bell System Technical Journal*, Vol. 59, N.º 6, pp. 1009-1060, julio-agosto de 1980.
- [4] CCITT – Contribución COM XII-N.º 13 (Bell-Northern Research), periodo de estudios 1981-1984, Ginebra, 1981.

- [5] CCITT – Contribución COM XII-N.º 14 (Bell-Northern Research), periodo de estudios 1981-1984, Ginebra, 1981.
- [6] DAUMER (W. R.) y CAVANAUGH (J. R.): A subjective comparison of selected digital codecs for speech, *Bell System Technical Journal*, Vol. 57, N.º 9, pp. 3119-3165, noviembre de 1978.
- [7] CCITT – Contribución COM XII-N.º 173 (American Telephone and Telegraph Company), periodo de estudios 1977-1980, Ginebra, 1979.
- [8] CCITT – Contribución COM XII-N.º 94 (American Telephone and Telegraph Company), periodo de estudios 1981-1984, Ginebra, 1982.
- [9] CCITT – Contribución COM XII-N.º 159 (American Telephone and Telegraph Company), periodo de estudios 1977-1980, Ginebra, 1979.
- [10] CCITT – Contribución COM XII-N.º 158 (American Telephone and Telegraph Company), periodo de estudios 1981-1984, Ginebra, 1983.
- [11] AHERN (W. C.), DUFFY (F. P.) y MAHER (J. A.): Speech signal power in the switched message network, *Bell System Technical Journal*, Vol. 57, N.º 7, pp. 2695-2726, septiembre de 1978.
- [12] CUMMISKEY (P.), JAYANT (N. S.) y FLANAGAN (J. L.): Adaptive quantization in differential PCM coding of speech, *Bell System Technical Journal*, Vol. 52, N.º 7, pp. 1105-1118, septiembre de 1973.
- [13] RICHARDS (D. L.): Calculation of opinion scores for telephone connections, *Proc. of the I.E.E.*, Vol. 121, N.º 5, pp. 313-323, mayo de 1974.
- [14] CCITT – Contribución COM XII-N.º 113, Algunas observaciones sobre la estructura de un modelo para la evaluación de conexiones telefónicas, periodo de estudios 1977-1980, Ginebra, octubre de 1978.
- [15] CCITT – Contribución COM XII-N.º 129, Uso de un modelo para la evaluación de conexiones telefónicas en el estudio de la Cuestión 15/XII, periodo de estudios 1977-1980, Ginebra, febrero de 1979.
- [16] WEBB (P. K.): The background and philosophy of the telephone network assessment program (CATNAP), British Post Office Research Department Report N.º 752, 1979.
- [17] *Predicción de la calidad de transmisión a partir de mediciones objetivas*, Libro Amarillo, Tomo V, suplemento N.º 4, UIT, Ginebra, 1981.
- [18] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, capítulo 3, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [19] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, capítulo 2, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [20] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, pp. 57, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [21] RICHARDS (D. L.): Transmission performance of telephone networks containing PCM links, *Proc. of the I.E.E.*, Vol. 115, N.º 9, pp. 1245-1258, septiembre de 1968.
- [22] Manual del CCITT *Planificación de la transmisión en las redes telefónicas con conmutación*, capítulo II, anexo 3, UIT, Ginebra, 1976.
- [23] BOERYD (A.): Subscriber reaction due to unbalanced transmission levels, *Third International Symposium on Human Factors in Telephony*, 1966, pp. 39-43, La Haya, 1967.

- [24] LALOU (J.): The information index: an objective measure of speech transmission performance. *Anales de las telecomunicaciones*, Vol. 45, N.º 1-2, p. 47-65, 1990.
- [25] RICHARDS (D. L.): Cálculo de las notas de opinión para conexiones telefónicas, *Proc. of the I.E.E.*, Vol. 121, N.º 5, pp. 313-323, mayo de 1974.
- [26] ALCAIM (A.): Essai de détermination d'un indice objectif de mesure de la qualité des codeurs, *CNET*, Informe RP/LAA/TSS/208, mayo de 1984.
- [27] RICHARDS (D. L.): Comunicación privada.
- [28] OPINE (Rev. 2.0): Electrical Communication Laboratories NTT, septiembre de 1986.
- [29] RICHARDS (D. L.) y BARNES (G. J.): Pay-off between quantizing distortion and injected circuit noise, y *Proc. ICASSP 82*, Vol. 2, pp. 984-987, Paris, mayo de 1982.
- [30] CCITT – Contribución COM XII-N.º 174, Modelo de evaluación objetiva del comportamiento en transmisión para factores fundamentales, NTT, Ginebra, 1983.
- [31] CCITT – Contribución COM XII-N.º 235, Método de cálculo para OPINE, NTT, Ginebra, 1984.
- [32] CCITT – Contribución COM XII-N.º 10, Modelo de evaluación objetiva de la calidad de transmisión telefónica para factores de transmisión fundamentales y distorsión de cuantificación, NTT, Ginebra, 1985.
- [33] OSAKA (N.) y KAKEHI (K.): Objective model for evaluating telephone transmission performance, *Review of ECL*, Vol. 34, N.º 4, 1986.
- [34] IAI (S.) e IRII (H.): Subjective assessment of echo delay time effect, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 2-7-8, (1983-03) (en japonés).
- [35] IAI (S.) y otros: A study on subjective assessment of telephone speech sidetone, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 2-2-3, (1978-05) (en japonés).
- [36] OSAKA (N.) y KAKEHI (K.): A study on the psychological factors that affect the opinion evaluation of telephone transmission performance, *Trans. IECE*, Vol. J69-A, N.º 5, 1986 (en japonés).
- [37] IRII (H.): Loudness equivalent attenuation of speech in the presence of noise, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 1-4-6, (1975-05) (en japonés).
- [38] ISO Recommendation R226: Normal equal loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free-field listening conditions, diciembre de 1961.
- [39] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) y SULLIVAN (J. L.): Models for the subjective effects of loss, noise and talker echo on telephone connections, *B.S.T.J.*, Vol. 55, N.º 9, 1976.
- [40] Recomendación del CCITT *Medición de la AEN de un sistema telefónico comercial (en la emisión y en la recepción) por comparación con el SRAEN*, Libro Amarillo, Tomo V, Rec. P.45, UIT, Ginebra, 1981.
- [41] CCITT – Contribución COM XII-Nº 175, BNR, Canadá, 1987.
- [42] CCITT – Contribución tardía D.79, USA, 1990.
- [43] CCITT – Contribución COM XII-Nº 114, Países Bajos, 1991.

