

Cálculo del Ruido en los Circuitos Telefónicos

Mauro Flórez C.* Zoila Ramos R.*

RESUMEN

Uno de los recursos estratégicos postmodernistas por excelencia es el espectro electromagnético, pero su potencialidad depende en alto grado de la atenuación de los ruidos bien sean de origen natural como artificial, si a lo anterior le sumamos el desarrollo acelerado de las telecomunicaciones en el mundo y en Colombia, como resultado de la liberalización del sector, se plantean nuevos y exigentes retos, como el de diseñar permanentemente redes dentro de un ambiente donde cada operador debe garantizar la compatibilidad al interior de su red y la compatibilidad con otras ajenas.

Para evitar conflictos técnicos entre operadores y garantizar una buena calidad de los servicios a los usuarios, es de vital importancia, diseñar las redes de acuerdo con las normas establecidas sobre los niveles de ruidos aceptados, dependiendo del tipo de red.

En este artículo se analiza el ruido en las redes teniendo en cuenta las exigencias de los organismos internacionales, sobre todo la UIT, para que sirva de base y de referencia a los ingenieros encargados actualmente de los diseños de redes, compra o fabricación de equipos de telecomunicaciones y especialmente de telefonía, esto es especialmente importante después del ingreso de Colombia a la Organización Mundial del Comercio, OMC, en virtud del cual estamos obligados a exigir y proporcionar equipos y servicios de acuerdo con las recomendaciones internacionales.

I. POTENCIA MEDIA NOMINAL DE LAS SEÑALES EN LA HORA PICO

La UIT-T para facilitar los cálculos de los proyectos de establecimiento de sistemas de portadoras por cable o radioenlaces, ha fijado un valor convencional representativo del nivel absoluto de potencia media (en un punto de nivel relativo cero) de las señales (corrientes vocales + corrientes de señalización, etc.) transmitidas por un canal telefónico (en un solo sentido de transmisión) durante la hora pico.

El valor fijado para ese nivel absoluto de potencia media, referido al punto de nivel relativo cero, es de -15 dBm0 (potencia media = 31,6 microvatios); se trata a la vez de una media en el curso del tiempo y de una media para un grupo importante de circuitos.

El valor adoptado, correspondiente a unos 32 microvatios, tiene en cuenta las siguientes hipótesis:

- Potencia media de 10 microvatios para el conjunto de las señales eléctricas y tonos.
- Potencia media de 22 microvatios para las demás corrientes, a saber:
 - Corrientes vocales, ecos inclusive, suponiendo un coeficiente de actividad medio de 0,25 para un canal telefónico en uno de los sentidos de transmisión;
 - Residuos de portadoras
 - Señales telegráficas, suponiendo que se utilizan pocos canales telefónicos para sistemas de telegrafía armónica (potencia de la señal de salida: 135 microvatios, en Colombia la telegrafía tiende a desaparecer), o telefotografía (señal modulada en amplitud con una potencia máxima de señal de aproximadamente 1 milivatio).

En cambio, se ha considerado despreciable la potencia de las señales piloto en la carga de los sistemas modernos de portadoras.

La referencia a la "hora pico" tiene por objeto indicar que el límite (-15 dBm0) se aplica cuando la intensidad de tráfico a través de los sistemas de transmisión y de las centrales telefónicas es máxima, de manera que los distintos coeficientes relativos a la ocupación y a la actividad de los servicios y señales deben ser los apropiados a estas condiciones de tráfico intenso.

No se pretende sugerir que el período de integración de una hora pueda utilizarse en la especificación de las señales transmitidas por dispositivos individuales conectados a los sistemas de transmisión. Esto podría conducir a que se permitieran niveles de potencia a corto plazo intolerablemente

altos, que darían lugar a interferencias durante tiempos significativos respecto a la telefonía y a otros servicios.

Desde años atrás, se ha planteado la cuestión de la revisión de las hipótesis que conducen a este valor convencional, por las siguientes razones:

- Modificación de la potencia efectiva de las señales vocales debido a la utilización de aparatos telefónicos más modernos y de un plan de transmisión diferente y quizás también a un cierto cambio en los hábitos de los abonados;
- Modificación del coeficiente medio de actividad de un canal telefónico debido, entre otras cosas, a cambios en los métodos de explotación;
- Aparición de circuitos utilizados para la transmisión de datos y rápido aumento de su número.

Durante varios períodos han estado en estudio estos puntos y varios operadores han efectuado mediciones de la potencia de las señales vocales y la carga de los sistemas de portadoras. Estos resultados indican que no hay una información suficientemente segura que justifique una modificación del valor medio convencional de -15 dBm_0 ($32 \mu\text{W}_0$) para el nivel de potencia media a largo plazo por canal.

De hecho, las medidas previstas por los operadores para regular y reducir los niveles de las señales no vocales indican una tendencia a limitar el efecto de los servicios no telefónicos.

En lo que respecta a la distribución de los $32 \mu\text{W}$ en $10 \mu\text{W}$ para señalización y tonos, y $22 \mu\text{W}$ para señales vocales, ecos, residuos de portadoras y señales telegráficas, se carece de elementos que justifiquen su modificación.

Como principio general, el objetivo de los operadores debe ser siempre asegurar que la carga real de los sistemas de transmisión no difiera demasiado del valor convencional adoptado al proyectar dichos sistemas.

El UIT-T ha aceptado las reglas siguientes en lo que respecta al número máximo admisible de circuitos soporte de telegrafía armónica:

- *En un sistema de 12 canales*, la capacidad de carga y las condiciones de intermodulación están determinadas según estadísticas telefónicas. No hay, pues, razón alguna para limitar el número de canales de un sistema de 12 canales que pueden utilizarse como soporte de telegrafía armónica.
- *En un sistema de 60 canales*, la capacidad de carga está determinada según estadísticas telefónicas, pero las condiciones de intermodulación para una carga mixta (telegrafía armónica y telefonía) son predominantes cuando el número de circuitos soporte de telegrafía armónica excede

del 30% del total. Sin modificar las especificaciones, se puede, pues, admitir un máximo de 20 canales de tal sistema como soportes de telegrafía armónica.

- *En un sistema de 120 canales*, se puede admitir el 12% aproximadamente del total como soportes de telegrafía armónica. Tanto en los sistemas de 60 canales, como en los de 120 canales, el número de circuitos de reserva para telegrafía armónica está excluido de estos límites. El número de canales admitidos para estos sistemas debe repartirse más o menos uniformemente en toda la banda transmitida en línea.
- *Para los grupos primarios y secundarios*, no se ha llegado a ninguna conclusión. Según las informaciones disponibles, no sería prudente establecer, sin precauciones especiales, más de dos sistemas de telegrafía armónica por grupo secundario en un sistema de banda ancha.
- *En los sistemas de transmisión de 1.000 km.* como máximo, se puede aumentar el número admisible de sistemas telegráficos si la potencia por canal telegráfico se reduce con arreglo al Cuadro 1.

No se puede preparar actualmente un cuadro de este tipo para los sistemas de transmisión de más de 1.000 km. Hay indicios de que, en los sistemas de longitud considerablemente superior a 1.000 km. la reducción de la potencia de la señal telegráfica daría lugar a valores inaceptables de la distorsión telegráfica y de la tasa de errores en los caracteres.

Cuadro 1. Número aproximado de circuitos que pueden utilizarse en sistemas de telegrafía armónica

| Número total de circuitos proporcionados por el sistema de transmisión (N) | 24 canales y modulación de frecuencia con el nivel de potencia indicado por canal telegráfico (dBm ₀) | | | |
|--|---|-------|-------|-------|
| | -22,5 | -25,5 | -27,0 | -28,5 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 60 | 20 | 60 | 60 | 60 |
| 120 | 14 | 42 | 84 | 120 |
| 300 o más | N/30 | N/10 | N/5 | N |

Fuente: UIT-T.

II. CARGA PARA CALCULAR EL RUIDO DE INTERMODULACIÓN

Para el cálculo del ruido de intermodulación por debajo del punto de saturación, se supondrá que durante la hora pico la señal múltiplex puede estar representada por una señal constituida por un ruido aleatorio de espectro uniforme, cuyo nivel absoluto de potencia media en un punto de nivel relativo cero viene dado por las siguientes fórmulas:

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-15 + 10 \log_{10} n) \text{ dBm}_0 \text{ para } n \geq 240$$

y

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-1 + 4 \log_{10} n) \text{ dBm}_0 \text{ para } 12 \leq n < 240, \tag{1}$$

siendo n el número total de canales telefónicos del sistema y $\bar{P}(n)$ la potencia de la señal de ruido aleatorio en milivatios.

A título de ejemplo, estas fórmulas dan para algunos valores típicos de n los resultados indicados en el Cuadro 2.

Estos valores se aplican sólo a los sistemas sin preacentuación, en los que se empleen amplificadores diferentes en los dos sentidos de transmisión.

En el caso de sistemas a dos hilos con amplificadores comunes a los dos sentidos de transmisión (sistemas $n + n$), hay que admitir una carga convencional diferente. Cuando los niveles relativos son los mismos para los dos sentidos de transmisión, la carga convencional viene dada por las siguientes fórmulas:

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-15 + 10 \log_{10} 2n) \text{ dBm0 para } n \geq 120$$

y

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-1 + 4 \log_{10} 2n) \text{ dBm0 para } 12 \leq n < 120$$

donde n es el número de canales en cada sentido de transmisión.

Cuadro 2. Valores que se aplican a solo a los sistemas sin preacentuación

| | $10 \log_{10} \bar{P}(n)$ (dBm0) | n | $10 \log_{10} \bar{P}(n)$ (dBm0) |
|-----|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 12 | 3,3 | 240 | 8,8 |
| 24 | 4,5 | 300 | 9,8 |
| 36 | 5,2 | 600 | 12,8 |
| 48 | 5,7 | 960 | 14,8 |
| 60 | 6,1 | 1.800 | 17,6 |
| 120 | 7,3 | 2.700 | 19,3 |
| | | 10.800 | 25,3 |

Fuente: UIT-T.

Cuando se utiliza un concentrador de llamadas que tiene el efecto de multiplicar el número de circuitos establecidos en un sistema por un coeficiente a , para la determinación de la carga convencional, el número de canales debe multiplicarse por a y el coeficiente de actividad debe permanecer inalterado así:

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-15 + 10 \log_{10} an) \text{ dBm0 para } an \geq 240$$

y

$$10 \log_{10} \bar{P}(n) = (-1 + 4 \log_{10} an) \text{ dBm0 para } 12 \leq an < 240,$$

siendo n el número total de canales telefónicos del sistema y $\bar{P}(n)$ la potencia de la señal de ruido aleatorio en milivatios.

El valor del nivel absoluto de potencia media de una señal de medida constituida por un ruido aleatorio de espectro uniforme, deducido de estas fórmulas, puede utilizarse para calcular el ruido en un circuito ficticio de referencia en ausencia de saturación. Se considera que las fórmulas proporcionan una buena aproximación para el cálculo del ruido de intermodulación cuando $n \geq 60$. No obstante, para sistemas de pocos canales, los resultados de las mediciones hechas con un ruido aleatorio de espectro uniforme se alejan más de la realidad, por la gran diferencia que entonces existe entre la naturaleza de la señal real y la de la señal de medida.

Dado el carácter convencional de estos cálculos, no se ha considerado conveniente tener en cuenta la potencia transmitida

en las transmisiones radiofónicas por sistemas de portadoras. Además, se ha supuesto un valor medio de 0,25 para el coeficiente de actividad de un canal telefónico y no se ha estimado útil estudiar las posibles diferencias con relación a este valor medio.

Los resultados de las mediciones efectuadas con una señal constituida por un ruido aleatorio de espectro uniforme deben interpretarse con precaución, en especial en lo que concierne a los sistemas en que la principal fuente de ruido en ciertos canales telefónicos está constituida por un producto de intermodulación de tipo particular (por ejemplo, A - B). En tales casos, hay que determinar cuidadosamente el factor de ponderación empleado para establecer una relación entre el ruido medido en un canal y el que se observaría en condiciones reales de explotación. La curva dada por la función de transferencia de la red utilizada para definir la señal telefónica convencional puede servir en este caso para determinar el factor de ponderación de la señal de banda ancha.

Las fórmulas 2 para los sistemas de 12 canales del tipo ($n + n$) son las mismas que las 1 (sistemas a cuatro hilos) en la hipótesis de que se duplique el número de canales, pero que no haya ninguna correlación entre las actividades de los canales en cada sentido de transmisión. Al hacer esta hipótesis, se desprecia el hecho de que en un sistema del tipo ($n + n$) los dos sentidos de transmisión de un mismo circuito telefónico no se emplean en el mismo momento. Los cálculos efectuados han demostrado que el error así cometido es despreciable y no entraña en cualquier caso riesgo alguno.

Las fórmulas 3 sólo son válidas en el caso en que todos los canales estén equipados con concentradores de llamadas. No son aplicables cuando sólo algunos de los canales están equipados con concentradores de llamada, porque la distribución de esos canales no será generalmente uniforme en la banda de la señal múltiplex.

En los cálculos se emplearán los valores nominales de las características de los elementos de circuito y los valores nominales de los niveles.

Cuando se trate de especificar equipos, habrá que prever un margen razonable para tener en cuenta el envejecimiento de los elementos y las tolerancias en los niveles, tensiones de alimentación, temperatura.

III. PESOS SOFOMÉTRICOS Y FACTOR DE PONDERACIÓN

Para calcular la potencia sofométrica, debe utilizarse el Cuadro de pesos del sofómetro para circuitos telefónicos comerciales que se reproduce en el Cuadro 3.

Si en una banda de 3,1 kHz con una característica de atenuación en función de la frecuencia uniforme se mide un ruido aleatorio de espectro uniforme, el nivel de ese ruido debe reducirse 2,5 dB para obtener el nivel de potencia sofométrica.

Para otra anchura de banda B, el factor de ponderación será igual a:

$$\left(2,5 + 10 \log_{10} \frac{B}{3,1 \text{ kHz}} \right) \text{ dB}$$

por ejemplo, para B = 4 kHz, esta fórmula da un factor de ponderación de 3,6 dB.

CÁLCULO DEL RUIDO EN LOS EQUIPOS DE MODULACIÓN

En los equipos de modulación de grupo se tomarán, para calcular el ruido de intermodulación (por debajo del punto de saturación), los siguientes valores convencionales de carga, ya admitidos, en un punto de nivel relativo cero:

- Para los moduladores de grupo primario (12 canales): 3,3 dbm0;
- Para los moduladores de grupo secundario (60 canales): 6,1 dbm0;
- Para los moduladores de grupo terciario (300 canales): 9,8 dbm0.

Para calcular la potencia media de ruido en los equipos de modulación de canal debido a interferencias por los canales adyacentes al canal perturbado, se empleará el siguiente método: en el conjunto de los equipos terminales que forman parte del circuito de referencia, un canal telefónico está expuesto seis veces a perturbaciones originadas por canales adyacentes. Se supondrá que cinco de estos canales perturbadores transmiten señales correspondientes a una carga análoga a la de las corrientes vocales, con una potencia media de 32 μW, o sea un nivel absoluto de potencia de -15 dBm0 en cada canal en el punto de nivel relativo cero; se supondrá, además, que el sexto canal perturbador sirve de soporte para la telegrafía, la telefotografía o la transmisión de datos, con una carga convencional de 135 μW en el punto de nivel relativo cero, esto es, un nivel absoluto de potencia de -8,7 dBm0, estando la energía distribuida de modo uniforme en toda la banda de frecuencias de 380 a 3.220 Hz.

Para simular las señales vocales transmitidas por los canales interferentes, se empleará la señal telefónica convencional

La diafonía producida por los canales adyacentes al canal perturbado está limitada por una cláusula adicional que figura en la especificación de los equipos de canal. Hay que tener en cuenta el ruido térmico en todos los casos.

IV. NIVEL DE SATURACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES

Por nivel de saturación de un amplificador (o nivel de potencia utilizable) se entiende el nivel absoluto de potencia a la salida para el cual el nivel absoluto de potencia del tercer armónico aumenta 20 dB cuando el nivel de la señal aplicada a la entrada de este amplificador aumenta 1 dB. Esta definición no es aplicable cuando la frecuencia de medida es tan elevada

que el tercer armónico cae fuera de la banda transmitida por el amplificador. Se puede entonces aplicar la siguiente definición: – El nivel de saturación (o nivel de potencia utilizable) de un amplificador es 6 dB superior al valor común, a la salida del amplificador, de los niveles absolutos de potencia de dos ondas sinusoidales de igual amplitud y de frecuencia A y B, respectivamente, ajustados de modo que si a la entrada del amplificador se aumenta 1 dB el nivel de cada una de ellas, el nivel de salida del producto de intermodulación de frecuencia (2A – B) aumenta 20 dB.

V. POTENCIA EQUIVALENTE DE CRESTA DE UNA SEÑAL MÚLTIPLEX TELEFÓNICA

Potencia de una señal sinusoidal de amplitud igual al valor de la tensión de cresta de la señal múltiplex. La figura 1 representa el nivel de potencia equivalente de cresta en función del número de canales del sistema hasta 1.000 canales (inclusive) para un circuito a cuatro hilos; se ha establecido teniendo en cuenta el valor convencional admitido por el UIT-T (-15 dBm0 para la potencia media) en lugar de -16 dBm0, o sea un aumento de 1 dB. En el Cuadro 3 se dan los valores numéricos.

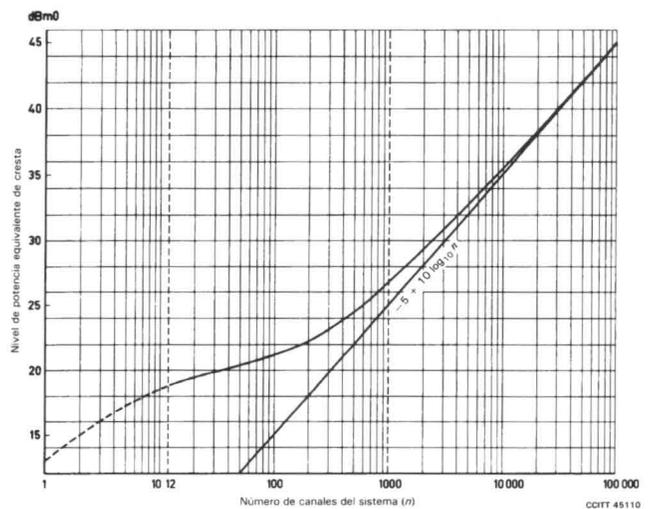


Figura 1. Nivel absoluto de potencia equivalente de cresta de una señal múltiplex en un punto de nivel relativo cero, En función del número de canales telefónicos del sistema, sin preacentuación ni limitación de amplitud, en la hipótesis de un nivel de potencia medio por canal de -15 dBm0, con una desviación típica de 5,8 dB

Cuadro 3. Potencia de una señal sinusoidal

| Número de canales, n | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 120 | 300 | 600 | 960 |
|--|----|------|----|------|------|------|-----|-----|-----|
| Nivel de potencia equivalente de cresta (dBm0) | 19 | 19,5 | 20 | 20,5 | 20,8 | 21,2 | 23 | 25 | 27 |

Fuente: UIT-T.

Para sistemas de más de 1.000 canales, se puede obtener el nivel de potencia equivalente de cresta mediante la siguiente fórmula:

$$10 \log_{10} P_{eq} = \left[-5 + 10 \log_{10} n + 10 \log_{10} \left(1 + \frac{15}{\sqrt{n}} \right) \right] \text{ dBm0}$$

donde

P_{eq} es la potencia equivalente de la onda sinusoidal en milivatios, y n es el número de canales.

En el Cuadro 4 se dan los valores numéricos correspondientes para algunos valores típicos del número de canales.

La curva de la figura 1 y la fórmula aplicable para un número de canales superior a 1000 se han establecido para los casos en que no hay limitador de amplitud a la entrada del canal.

VI. MARGEN CONTRA LA SATURACIÓN

En los proyectos se dejará un margen de algunos decibelios entre el nivel absoluto de potencia equivalente de cresta de la señal múltiplex y el nivel de saturación de los amplificadores, para tener en cuenta las variaciones de nivel, el envejecimiento de los equipos.

RUIDO DE CIRCUITO ADMISIBLE EN LOS RADIOENLACES MÚLTIPLEX CON DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

Según la UIT-T, la potencia de ruido en un punto de nivel relativo cero, en cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia de 2.500 km de longitud para sistemas radioeléctricos para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia, no exceda de los siguientes valores, elegidos para tener en cuenta los desvanecimientos:

- 7.500 pW0p, potencia sofométrica¹ media, durante un minuto y más del 20% del cualquier mes.
- 47.500 pW0p, potencia sofométrica² media, durante un minuto³ y más del 0,1% de cualquier mes.
- 1.000.000 pW0, potencia no ponderada (con un tiempo de integración de 5 ms) durante más del 0,01% de cualquier mes.

Cuadro 4. Comparativo número canales/ nivel de potencia

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| Número de canales, n | 1.260 | 1.800 | 2.700 | 3.600 | 10.800 |
| Nivel de potencia equivalente de cresta (dBm0) | 27,5 | 29 | 30,5 | 31,5 | 36 |

Fuente: UIT-T

¹ El nivel de potencia de un ruido de espectro uniforme en una banda de 3,1 kHz debe disminuirse 2,5 dB para obtener el nivel de potencia sofométrica.

² Para los sistemas de transmisión por portadoras con distribuciones de potencia sofométrica media en un minuto no bien definidas, la inclusión de otra cláusula de potencia sofométrica media en un minuto sería deseable para asegurar un comportamiento equivalente en todos los sistemas. Esta cláusula especificaría que: La potencia sofométrica media durante un minuto no será superior a 20.000 pW0p durante más del 3% de cualquier

Cuadro 5. Cuadro de pesos del sofómetro para circuitos telefónicos comerciales

| Frecuencia (Hz) | Peso | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | Valores numéricos | Cuadrado de los valores numéricos | Valores en decibelios |
| 16,66 | 0,056 | 0,003136 | - 85,0 |
| 50 | 0,71 | 0,5041 | - 63,0 |
| 100 | 8,91 | 79,3881 | - 41,0 |
| 150 | 35,5 | 1 260,25 | - 29,0 |
| 200 | 89,1 | 7 938,81 | - 21,0 |
| 250 | 178 | 31 684 | - 15,0 |
| 300 | 295 | 87 025 | - 10,6 |
| 350 | 376 | 141 376 | - 8,5 |
| 400 | 484 | 234 256 | - 6,3 |
| 450 | 582 | 338 724 | - 4,7 |
| 500 | 661 | 436 921 | - 3,6 |
| 550 | 733 | 537 289 | - 2,7 |
| 600 | 794 | 630 436 | - 2,0 |
| 650 | 851 | 724 201 | - 1,4 |
| 700 | 902 | 813 604 | - 0,9 |
| 750 | 955 | 912 025 | - 0,4 |
| 800 | 1 000 | 1 000 000 | 0,0 |
| 850 | 1 035 | 1 071 225 | + 0,3 |
| 900 | 1 072 | 1 149 184 | + 0,6 |
| 950 | 1 109 | 1 229 881 | + 0,9 |
| 1 000 | 1 122 | 1 258 884 | + 1,0 |
| 1 050 | 1 109 | 1 229 881 | + 0,9 |
| 1 100 | 1 072 | 1 149 184 | + 0,6 |
| 1 150 | 1 035 | 1 071 225 | + 0,3 |
| 1 200 | 1 000 | 1 000 000 | 0,0 |
| 1 250 | 977 | 954 529 | - 0,20 |
| 1 300 | 955 | 912 025 | - 0,40 |
| 1 350 | 928 | 861 184 | - 0,65 |
| 1 400 | 905 | 819 025 | - 0,87 |
| 1 450 | 881 | 776 161 | - 1,10 |
| 1 500 | 861 | 741 321 | - 1,30 |
| 1 550 | 842 | 708 964 | - 1,49 |
| 1 600 | 824 | 678 976 | - 1,68 |
| 1 650 | 807 | 651 249 | - 1,86 |
| 1 700 | 791 | 625 681 | - 2,04 |
| 1 750 | 775 | 600 625 | - 2,22 |
| 1 800 | 760 | 577 600 | - 2,39 |
| 1 850 | 745 | 555 025 | - 2,56 |
| 1 900 | 732 | 535 824 | - 2,71 |
| 1 950 | 720 | 518 400 | - 2,86 |
| 2 000 | 708 | 501 264 | - 3,00 |
| 2 050 | 698 | 487 204 | - 3,12 |
| 2 100 | 689 | 474 721 | - 3,24 |
| 2 150 | 679 | 461 041 | - 3,36 |
| 2 200 | 670 | 448 900 | - 3,48 |
| 2 250 | 661 | 436 921 | - 3,60 |
| 2 300 | 652 | 425 104 | - 3,72 |
| 2 350 | 643 | 413 449 | - 3,84 |
| 2 400 | 634 | 401 956 | - 3,96 |
| 2 450 | 626 | 390 625 | - 4,08 |
| 2 500 | 617 | 380 689 | - 4,20 |
| 2 550 | 607 | 368 449 | - 4,33 |
| 2 600 | 598 | 357 604 | - 4,46 |
| 2 650 | 590 | 348 100 | - 4,59 |
| 2 700 | 580 | 336 400 | - 4,73 |
| 2 750 | 571 | 326 041 | - 4,87 |
| 2 800 | 562 | 315 844 | - 5,01 |

³ En Colombia, el tema de calidad, está siendo tratado por la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, CRT.

Cuadro 6. Cuadro de pesos del sofómetro para circuitos telefónicos comerciales

| Frecuencia Hz | Peso | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | Valores numéricos | Cuadrado de los valores numéricos | Valores en decibelios |
| 2 850 | 553 | 305 809 | - 5,15 |
| 2 900 | 543 | 294 849 | - 5,30 |
| 2 950 | 534 | 285 156 | - 5,45 |
| 3 000 | 525 | 275 625 | - 5,60 |
| 3 100 | 501 | 251 001 | - 6,00 |
| 3 200 | 473 | 223 729 | - 6,50 |
| 3 300 | 444 | 197 136 | - 7,05 |
| 3 400 | 412 | 169 744 | - 7,70 |
| 3 500 | 376 | 141 376 | - 8,5 |
| 3 600 | 335 | 112 225 | - 9,5 |
| 3 700 | 292 | 85 264 | -10,7 |
| 3 800 | 251 | 63 001 | -12,0 |
| 3 900 | 214 | 45 796 | -13,4 |
| 4 000 | 178 | 31 684 | -15,0 |
| 4 100 | 144,5 | 20 880,25 | -16,8 |
| 4 200 | 116,0 | 13 456 | -18,7 |
| 4 300 | 92,3 | 8 519,29 | -20,7 |
| 4 400 | 72,4 | 5 241,76 | -22,8 |
| 4 500 | 56,2 | 3 158,44 | -25,0 |
| 4 600 | 43,7 | 1 909,69 | -27,2 |
| 4 700 | 33,9 | 1 149,21 | -29,4 |
| 4 800 | 26,3 | 691,69 | -31,6 |
| 4 900 | 20,4 | 416,16 | -33,8 |
| 5 000 | 15,9 | 252,81 | -36,0 |
| > 5 000 | < 15,9 | < 252,81 | <-36,0 |
| <i>Observación</i> – Si para el establecimiento de ciertos sistemas de transmisión telefónica es preciso hacer cálculos a base de los pesos sofométricos y se estima útil adoptar, para las frecuencias superiores a 5000 Hz, valores más precisos que los del cuadro que precede, pueden emplearse los siguientes: | | | |
| 5 000 a 6 000 | < 15,9 | < 252,81 | <-36,0 |
| > 6 000 | < 7,1 | < 50,41 | <-43,0 |

Si a estos valores se suma la potencia sofométrica de 2.500 pWOp admitida para los equipos múltiplex, se obtienen los objetivos recomendados desde el punto de vista de la transmisión telefónica y de la señalización.

VII. RUIDOS PRODUCIDOS POR LA LÍNEA Y POR EL EQUIPO DE MODULACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA, MDF, EN LOS CIRCUITOS IDEALES DE REFERENCIA DE 2.500 KM PARA TELEFONÍA

A fin de que los sistemas multicanales de portadoras establecidos en cable o en radioenlace cumplan las normas de calidad³ en lo que a equivalente de ruido se refiere, en los proyectos de construcción debieran adoptarse los siguientes objetivos de ruido, en un punto de nivel relativo cero, para todo canal telefónico que tenga la misma constitución que el circuito ideal de referencia del sistema considerado.

- Para obtener una calidad satisfactoria en lo que concierne a la transmisión telefónica y a la señalización de sistemas de cable, la potencia de ruido sofométrica media no debiera exceder de 10.000 pWOp en un minuto.

- La potencia de ruido sofométrica media en un minuto no deberá exceder de 50.000 pWOp durante más del 0,1% de cualquier mes.

- La potencia de ruido no ponderado, medida o calculada con un periodo de integración de 5 ms, no deberá exceder de 1.000.000 pWOp (más del 0,01% (10^{-4}) de cualquier mes.

En el caso de los sistemas de transmisión por portadora en los que no estén bien definidas las distribuciones de la potencia de ruido media en un minuto la potencia de ruido sofométrica media en un minuto no deberá exceder de 20.000 pWOp durante más del 3% de cualquier mes.

VIII. CIRCUITOS DE MÁS DE 2.500 KM

A fin de satisfacer los objetivos nacionales e internacionales en materia de ruido, algunos países de gran extensión como Canadá, Rusia, Brasil, Estados Unidos, han considerado necesario introducir sistemas terrenales de transmisión por portadoras MDF. El objetivo de ruido para estos sistemas corresponde aproximadamente a 5.000 pWOp en el caso del circuito ideal de referencia de 2.500 km, en lugar del valor de 10.000 pWOp. Estos valores incluyen el ruido aportado por el equipo múltiplex.

IX. RUIDO PRODUCIDO POR LOS EQUIPOS DE MODULACIÓN Y ADICIONALES

La potencia sofométrica media correspondiente al ruido introducido por todos los equipos de modulación y por equipos adicionales, no deberá exceder de 2.500 picovatios en el punto de nivel relativo cero. Esta potencia sofométrica corresponde al conjunto de los ruidos procedentes de fuentes diversas (ruido térmico, intermodulación, diafonía, alimentación). Su distribución entre los diversos equipos puede dejarse hasta cierto punto a la discreción de los ingenieros encargados de los proyectos. Sin embargo, para armonizar en cierto modo las distribuciones adoptadas por los diferentes operadores, se recomiendan para los equipos de modulación los valores máximos indicados en el Cuadro 5.

Está justificado atribuir una parte importante del ruido a los equipos de modulación de canal, ya que éstos son los más numerosos en una red y conviene que sean lo más económicos posible.

Para los filtros de transferencia se recomienda un objetivo de ruido de 10 pWOp como máximo. Este valor está referido a la banda nominal de los grupos transferidos; el ruido fuera de la banda debe ser considerablemente más bajo, a fin de evitar una importante introducción de ruido en los canales situados en bandas de frecuencias adyacentes.

Para otros equipos adicionales (equipo de regulación, igualadores, equipo de conmutación a línea de reserva, etc.) se

indica un valor de aproximadamente 15 pW0p como guía para el diseñador.

Lo anteriormente expuesto no es aplicable al equipo de conmutación a línea de reserva, cuya contribución de ruido ha de tenerse en cuenta junto con la de la línea.

Los supuestos relativos a la carga respecto a los filtros de transferencia y equipos adicionales deben tenerse en cuenta la posible presencia de señales adicionales, procedentes de canales adyacentes, fuera de la banda nominal de frecuencias.

X. RUIDO EN UN CIRCUITO IDEAL TELEGRÁFICO

Aunque los sistemas telegráficos tienden a desaparecer tanto en el mundo como en Colombia, los consideramos, para poder completar una visión sobre los ruidos en las diferentes redes de referencias consideradas por las autoridades mundiales de telecomunicaciones.

| Equipo | Valor máximo (contribución total de ambos lados, emisión y recepción) | Supuestos relativos a la carga |
|---|---|--|
| Equipo de modulación de canal | 200 pW0p ^{a)} | Carga en los canales adyacentes: -15 dBm0 Carga en los otros canales: -6,4 dBm0 |
| Equipo de modulación de grupo primario | 80 pW0p | Carga en el grupo primario medido: +3,3 dBm0 |
| Equipo de modulación de grupo secundario | 60 pW0p | Carga en los otros grupos primarios: -3,1 dBm0 (cada uno) |
| Equipo de modulación de grupo terciario | 60 pW0p | Carga en el grupo secundario medido: +6,1 dBm0 |
| Equipo de modulación de grupo cuaternario ^{b)} | | Carga en los otros grupos secundarios: +2,3 dBm0 (cada uno) |
| Equipo de modulación de agregado de base de 15 grupos secundarios ^{c)} | | Carga en cada grupo terciario: +9,8 dBm0 Carga en cada grupo cuaternario: +14,5 dBm0 Carga en cada agregado de 15 grupos secundarios: +14,5 dBm0 |

Fuente: UIT-T.

- No se han tenido en cuenta los valores atribuibles a los residuos de señales piloto y de portadoras.
- También es válido para el equipo de modulación de agregado de base de 15 grupos secundarios del sistema de 60 MHz para llevar la posición N° 3 a la posición de la frecuencia de línea, y viceversa.
- En el caso del sistema de 60 MHz válido para el primer paso de modulación con el objeto de llevar el agregado de base de 15 grupos secundarios a la banda de frecuencias del grupo cuaternario de base y viceversa.

Cuando se prevea utilizar en los radioenlaces equipos de telegrafía armónica a 50 baudios con modulación de amplitud en los proyectos de construcción de estos radioenlaces debieran adoptarse, además de los objetivos recomendados para la transmisión telefónica y la señalización, los que a continuación se indican:

En todo canal telefónico cuya constitución sea análogo a la del circuito ideal de referencia correspondiente al tipo de radioenlace considerado, la potencia no ponderada de ruido,

medida o calculada con un tiempo de integración (o constante de tiempo) de 5 ms y referida al punto de nivel relativo cero, no debería exceder de 10^6 pW0 durante más de 10^{-5} (esto es, 0,001%) de cualquier mes, ni durante más del 0,1% de una hora cualquiera.

Para los proyectos de radioenlaces con visibilidad directa, denominados por algunos ingenieros colombianos como enlaces de microondas, siempre que las pequeñas crestas de ruido de nivel elevado imputables a causas ajenas a la propagación se hayan reducido a proporciones despreciables y en el supuesto de que la estructura fina del ruido se pueda asimilar a la de un ruido blanco, se considera que en el curso de cualquier mes el objetivo es prácticamente equivalente al que se indica seguidamente:

- La potencia de ruido no ponderada de 2×10^5 pW0, calculada en un canal telefónico en el punto de nivel relativo cero tomando como base las mediciones efectuadas con un tiempo de integración (o constante de tiempo) de 1 segundo, no deberá excederse durante más de 10^{-4} (esto es, 0,01%) de un mes cualquiera.
- En lo que concierne al objetivo que habrá de respetarse en el curso de una hora cualquiera, en determinados radioenlaces puede ocurrir que condiciones de propagación imprevisibles y excepcionales impidan alcanzar tal objetivo durante ciertas horas particularmente desfavorables. Estas horas, denominadas "horas de interrupción del tráfico telegráfico", se caracterizarán por un nivel de ruido superior a 10^6 pW0 durante más de 36 segundos.
- Habría que tratar por todos los medios de reducir el número de estas horas a una pequeñísima fracción del tiempo total. Como, además, según el objetivo recomendado para la señalización telefónica, la potencia no ponderada de ruido en 5 ms no debe exceder de 10^6 pW0 durante más de 10^{-4} (esto es, 0,01%) de un mes cualquiera, nunca crestas de ruido de nivel elevado, tales como las producidas por los dispositivos de alimentación de energía eléctrica y por los equipos. Los operadores deberían tomar las medidas oportunas para eliminar esos ruidos. Recuérdese que en Colombia existen más de 50 operadores de telefonía fija, TPBC.

Se prevé que en la mayor parte de los radioenlaces con visibilidad directa (si no en todos) será posible reducir a proporciones despreciables estas breves crestas de ruido, y que las pequeñas crestas de ruido de nivel elevado que subsistan en la mayoría de los radioenlaces se deberán a la propagación radioeléctrica. Las crestas de ruido cuya potencia media sea superior a unos 10^5 pW0 tendrán entonces una duración de 1 a 10 segundos aproximadamente y un nivel casi constante durante ese periodo. En estas condiciones, para las mediciones preliminares de los proyectos de radioenlaces y para aquellas concernientes a la propagación, se podrán utilizar aparatos con una duración de integración (o constante de tiempo) de 1 segundo.

La fracción de 10^{-5} de un mes para un circuito de 2500 km conduce, en el caso de circuitos más cortos, a fracciones de tiempo prácticamente inaplicables (por ejemplo, 10^{-6} para un circuito de 250 km). Por este motivo, el objetivo práctico se refiere a un periodo de tiempo más elevado (10^{-4} para 2500 km), combinado con una reducción de la potencia (2×10^5 pW0) medida con un tiempo de integración (o constante de tiempo) de 1 segundo.

BIBLIOGRAFIA

1. CCIR. "Circuito Ficticio de Referencia para Telefonía y Televisión en el Servicio Fijo por Satélite". En: *Recomendación del CCIR*. Vol. IV, Rec. 352, Dubrovnik, 1986.
2. ————. "Potencia de Ruido Admisible en el Circuito Ficticio de Referencia para Telefonía con Multiplaje por Distribución de Frecuencia en el Servicio Fijo por Satélite". En: *Recomendación del CCIR*. Vol. IV, Rec. 353. Drubovnik, 1986.
3. ————. "Potencia de Ruido Admisible en el Circuito Ficticio de Referencia de Sistemas de Relevadores Radioeléctricos para Telefonía con Multiplaje por Distribución de Frecuencia". En: *Recomendación del CCIR*. Vol. IX, Rec. 393. Drubovnik, 1986.
4. HAYKIN, S. *Sistemas de Comunicación*. Interamericana.
5. STRENMELER, Ferrel. *Sistemas de Comunicación*. Addison Wesley.
6. UIT. "Objetivo para la Proporción de Errores en los Caracteres en Comunicaciones Telegráficas con Equipo Arrítmico de Cinco Unidades". En: *Recomendación del UIT* – T. Tomo II. Rec. F.10.
7. ————. "Sistema de 4 Mhz en Pares Coaxiales Normalizados 2,6/9,5 mm que utilizan Válvulas de Vacío". En: *Recomendación de la UIT –T*. Tomo III –1 Rec. G. 338, Ginebra