

2. Comunicaciones radioeléctricas y servicios de radiodifusión

Actividades de comprobación

2.1. a) QPSK.

2.2. b) 2.

2.3. c) DVB-C.

2.4. c) QAM-64.

2.5. d) QPSK.

2.6. a) 16 símbolos diferentes y 4 bits por símbolo.

2.7. b) 2 dB. La figura de ruido de un circuito atenuador se corresponde con su atenuación.

2.8. b) -58,8 dBw. La relación entre dBw y dB μ V es: dBw = dB μ V - 138,8 dB = 80 - 138,8 = - 58,5 dBw

2.9. b) 0 dB. Una ganancia de 0 dB indica que la señal a la salida de la antena o cualquier otro dispositivo no se ha modificado, es decir, su ganancia es la unidad:

$$G(dB) = 20 \times \log G = 20 \times \log 1 = 0 \text{ dB}$$

2.10. c) $-\infty$ dB μ V. Un nivel de señal de 0 dB μ V equivale a un nivel de señal de 1 μ V, ya que es el nivel de referencia tomado por estas unidades.

Niveles de tensión positivos en dB μ V indican una tensión mayor a 1 μ V, mientras que niveles de tensión negativos indican un valor más pequeño que 1 μ V. El límite lo tenemos ante la ausencia de señal, que se corresponderá con un nivel de señal de $-\infty$ dB μ V:

$$V(dB\mu V) = 20 \times \log [V(\mu V) / 1\mu V] = 20 \times \log 0 = -\infty \text{ dB}\mu V.$$

2.11.b) 8 MHz.

2.12.d) Todas las anteriores son ciertas.

2.13. b) MPEG-2.

2.14. c) 13,5 MHz.

2.15. b) 216 Mbps.

Paraninfo

2.16. c) 4.

El número de canales puede variar según la calidad de la imagen de TV transmitida. Por ejemplo, los canales que transmiten programas en alta definición (HD) normalmente vienen acompañados de un número menor de programas de TV de calidad estándar.

2.17. c) 8K (6.817).

2.18. a) COFDM.

2.19. c) Banda IV.

2.20.b) 470-862 MHz.

A partir de la entrada en vigor del dividendo digital, el margen de frecuencias reservado para la difusión de la señal de TV terrestre pasará a ser de 470-790 MHz (canales 21 a 60). Por lo que la respuesta correcta será la d) Ninguna de las anteriores.

2.21. a) SFN.

2.22. a) QPSK.

2.23. a) 2015.

2.24. a) TDT.

2.25. d) Despues del decodificador de Viterbi y del decodificador Reed-Solomon.

Actividades de aplicación

2.1. Planificación de canales recibidos en el lugar de emplazamiento de la antena.

Orientaciones

El objetivo de esta actividad práctica es identificar los repetidores de TV que dan cobertura en el lugar de residencia del alumno así como los canales de radiofrecuencia que transmiten.

La planificación de canales recibidos en el lugar de emplazamiento de la antena dependerá de la reordenación de canales producida en el momento de la realización de la actividad.

Como ejemplo, en diciembre de 2013, para la ciudad de Barcelona:

- El repetidor que da cobertura a Barcelona es el de Collserola.
- Los canales transmitidos por este repetidor son los mostrados en la tabla.

Multiplex	Programas	Canal	Frecuencia inferior	Frecuencia Superior	Frecuencia Central
Local	 	26	510 MHz	518 MHz	514 MHz
Nacional	   	27	518 MHz	526 MHz	522 MHz

Paraninfo

Nacional	 	31	550 MHz	558 MHz	554 MHz
Autonómico	   	33	566 MHz	574 MHz	568 MHz
Nacional	   	34	574 MHz	582 MHz	578 MHz
Autonómico	  	44	654 MHz	662 MHz	658 MHz
Nacional	    	47	678 MHz	686 MHz	682 MHz
Nacional	 	48	690 MHz	694 MHz	690 MHz
Autonómico	   	61	790 MHz	798 MHz	794 MHz
Nacional	   	64	814 MHz	822 MHz	818 MHz
Nacional	     	67	838 MHz	846 MHz	842 MHz
Nacional	     	68	846 MHz	854 MHz	850 MHz
Nacional	    	69	854 MHz	862 MHz	858 MHz

(*) En los diferentes múltiplex digitales se transmiten además canales de radio.

- c) Indica el número de canales múltiplex asignados a RTVE, los canales de radiofrecuencia asignados y los programas que se emiten en cada uno de ellos.

RTVE tiene asignados dos multiplex digitales donde se transmite toda su programación. Otros operadores normalmente comparten un múltiplex digital. Los canales donde RTVE transmite su programación son:

- Canal 31: TVE HD, Teledeporte.
- Canal 64: La1, La 2, 24 H y Clan TV.

2.2. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

Orientaciones

El objetivo de esta actividad es que el alumno identifique la asignación a los distintos servicios de radiocomunicaciones de las diferentes bandas de frecuencias, según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), que es el instrumento legal, dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, que especifica el uso del espectro radioeléctrico de nuestro país.

El cuadro nacional de frecuencias va variando a medida que aparecen servicios nuevos de telecomunicación y las recomendaciones internacionales modifican los servicios y las bandas asignadas a cada uno de ellos.

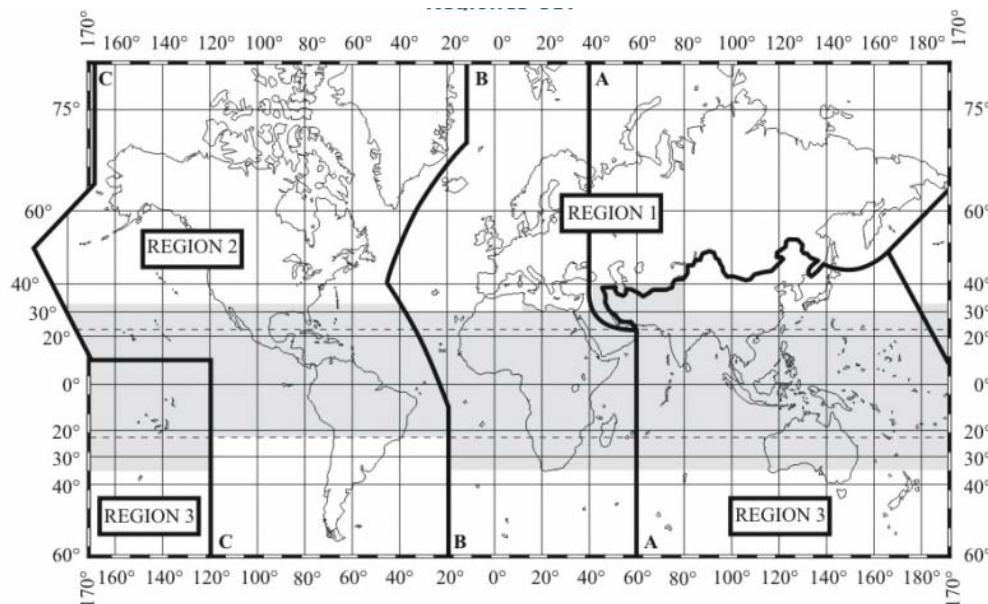
- a) La asignación de cada banda de frecuencia a un servicio dependerá de la región a que pertenece un país. Las tres regiones definidas son las siguientes:

Región 1: comprende la zona limitada al este por la línea A y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica de Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

Región 2: comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

Paraninfo

Región 3: comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica de Irán situada fuera de estos límites.



Nuestro país pertenece a la región 1. El margen de frecuencias de 470-790 MHz y 790-862 MHz se atribuye básicamente a los servicios de radiodifusión.

En la nota del enlace web siguiente se resumen los principales usos de las bandas de RF, relacionadas con las UN (notas de Utilización Nacional) que las detallan:

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/notasUN2013.pdf>

- b) En el momento de la implantación del dividendo digital el CNAF asignará el uso del margen de frecuencias de 790 MHz hasta 862 MHz a otros usos diferentes a los de radiodifusión.

Actividades de ampliación

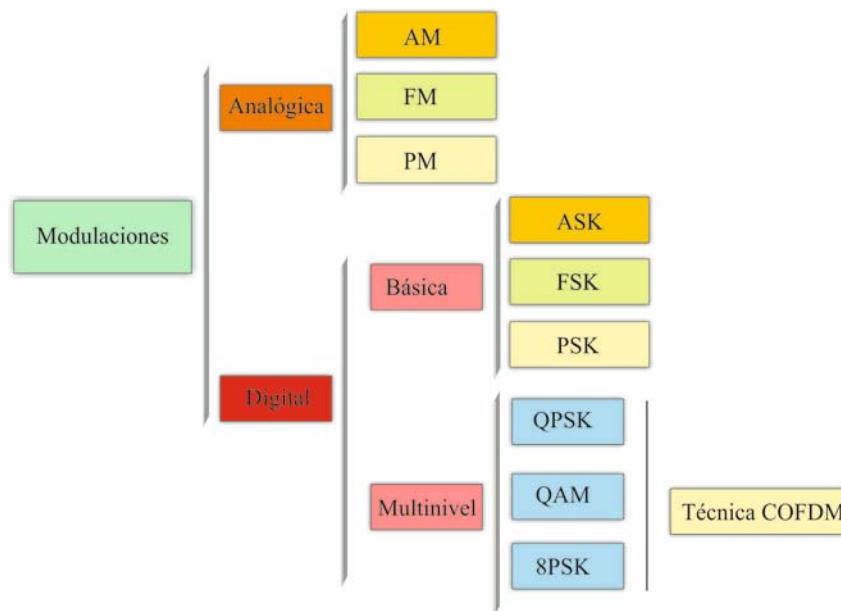
2.1.

La modulación permite adecuar la señal de información que se desea transmitir al medio de transmisión utilizado. Para ello se encarga de situar la señal original a una frecuencia diferente, que depende del margen de frecuencias asignado para cada servicio de radiodifusión.

La señal de audio o de vídeo, con un margen de variación aproximada de 0-20 kHz y 0-5 MHz respectivamente, no puede propagarse directamente por el espacio libre, debido sobre todo a la longitud de las antenas necesaria para la transmisión y a la atenuación sufrida por la señal durante la propagación.

2.2.

El esquema de la figura siguiente clasifica los diferentes tipos de modulación estudiados.



2.3.

Las modulaciones que utilizan como señal portadora una señal analógica son modulaciones de onda continua. La modulación de onda continua será digital o analógica, dependiendo del tipo de información transmitida (analógica o digital).

2.4.

La principal ventaja que presentan las modulaciones multinivel respecto de las modulaciones digitales convencionales es que las primeras transmiten más información en la misma unidad de tiempo, por lo que la velocidad de transmisión es mayor.

La principal desventaja es la complejidad necesaria tanto en el equipo transmisor como en el receptor.

2.5.

Constelación 1. Se corresponde con una modulación QPSK, la cual está formada por 4 símbolos diferentes (N), por lo que el número de bits (n) que forma cada símbolo es de 2:

$$N = 2^n = 2^2 = 4 \text{ símbolos}$$

Por sus características, esta modulación también se corresponde con una modulación QAM-4, aunque no transmite información en la amplitud de la señal, y una modulación 4PSK, ya que la información de los símbolos se transmite en la fase de la señal.

Constelación 2. Se corresponde con una modulación 8PSK, la cual está formada por 8 símbolos diferentes (N), por lo que el número de bits (n) que forma cada símbolo es de 3:

$$N = 2^n = 2^3 = 8 \text{ símbolos}$$

Constelación 3. Se corresponde con una modulación QAM-16, la cual está formada por 16 símbolos diferentes (N), por lo que el número de bits (n) que forma cada símbolo es de 4:

$$N = 2^n = 2^4 = 16 \text{ símbolos}$$

Paraninfo

2.6.

El **estándar MPEG** es un estándar de compresión digital utilizado para reducir el flujo de bits necesario para la transmisión de las señales de vídeo

El estándar DVB, para la transmisión de la señal de TV digital establece este estándar como método de codificación de fuente de la señal de vídeo: MPEG-2 para los estándares de primera generación y MPEG-4 para los de segunda generación.

2.7.

El servicio de radio digital terrestre (DAB) se distribuye en la banda III de VHF, aunque actualmente no se utilizan todos los canales de esta banda, solo del canal 8 al 11.

Cada canal radioeléctrico recibe el nombre de bloque de frecuencias.

El número de programas que se puede transmitir en cada bloque es variable y depende de la calidad de sonido deseada. Normalmente se distribuyen 6 programas por bloque.

2.8.

Un canal de TV digital situado en el canal 27 de la banda de UHF se distribuye en el margen de frecuencias comprendido entre 518 MHz-526 MHz. Por lo tanto la frecuencia inferior de este canal (f_i) es de 518 MHz y su frecuencia superior (f_s) es de 526 MHz. La frecuencia central (f_c) de este canal se sitúa a la frecuencia de 522 MHz:

$$f_s = \frac{f_i + f_s}{2} = \frac{518 + 526}{2} = 522 \text{ MHz}$$

2.9.

La mayor parte de aplicaciones de radiodifusión utilizan el subconjunto MP@ML, con una resolución de 720 líneas horizontales y 576 líneas verticales, según el sistema 4:2:0. La tasa binaria máxima que se genera es de 15 Mbps, aunque se puede modificar adaptando la calidad de vídeo resultante.

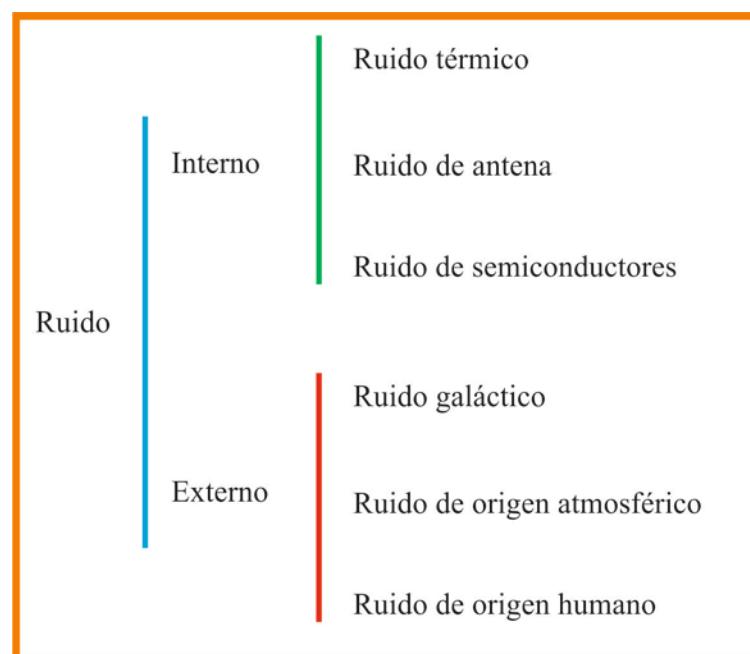
2.10.

El objetivo de la codificación de fuente es reducir la cantidad de información a transmitir para reducir el ancho de banda necesario en la comunicación.

El objetivo de la codificación de canal es proporcionar mecanismos de detección y corrección de errores adecuados al medio de transmisión utilizado.

2.11.

El esquema de la figura siguiente indica las principales fuentes de ruido presentes en cualquier comunicación.



2.12.

Las características de cada medio de transmisión que condicionan la elección del tipo de modulación son las siguientes:

- **TV terrestre.** El principal problema en las comunicaciones terrestres es la reflexión de la señal que da origen al fenómeno del efecto multirayecto. La modulación COFDM soluciona este problema utilizando múltiples portadoras en la transmisión.
- **TV satélite.** El principal problema en las comunicaciones satélite es la larga distancia que debe recorrer la señal, lo que provoca una gran atenuación. La modulación QPSK utilizada es menos sensible a las interferencias que otras modulaciones, ya que la información se transmite en variaciones de fase.
- **TV cable.** Al ser un medio de transmisión muy fiable no existen problemas de atenuación de la señal ni de interferencias y el objetivo que se persigue es reducir el ancho de banda de la señal transmitida para un mejor aprovechamiento del espectro, por lo que se utiliza la modulación QAM.

2.13.

El **dividendo digital** es el proceso consistente en dejar libres algunos de los canales en los que se emite la TDT (canales 61 a 69) para que puedan ser utilizados para nuevos servicios de banda ancha, principalmente de telefonía móvil 4G.

2.14.

Las dos magnitudes indican la cantidad de ruido que añade un dispositivo electrónico. La diferencia entre estas dos magnitudes estriba en que el factor de ruido (f) está expresado en unidades lineales y la figura de ruido (F) está expresada en dB.

2.15.

El medio de transmisión y la modulación utilizada en cada una de los sistemas de transmisión siguientes son:

- a) **DVB-S.** Medio de transmisión satélite, donde se utiliza la modulación QPSK.
- b) **DVB-S2.** Medio de transmisión satélite, donde se utiliza preferentemente la modulación 8PSK, aunque también se puede utilizar la modulación QPSK.

Paraninfo

- c) **DVB-T.** Medio de transmisión terrestre, donde se utiliza la técnica COFDM con modulaciones M-QAM (4-QAM, 16-QAM y 64-QAM).
- d) **DVB-T2.** Medio de transmisión terrestre, donde se utiliza la técnica COFDM con modulaciones M-QAM (4-QAM, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM).
- e) **DVB-C.** Medio de transmisión cable, donde se utiliza la modulación QAM de una sola portadora (16 a 256-QAM).
- f) **DVB-C2.** Medio de transmisión cable y modulación QAM utilizando la técnica COFDM (16 a 4096-QAM).

2.16.

El sistema MPEG-2 especifica dos tipos de multiplexado: uno proporciona los mecanismos para la multiplexación de los datos de un solo programa (vídeo, audio, teletexto y señales de sincronización) denominado multiplexación de programa, mientras que el otro, tomando como base la multiplexación de programa, proporciona los mecanismos para la multiplexación de varios de estos programas, denominado multiplexación de transporte.

La multiplexación de programa se utiliza en sistemas libres de errores, como por ejemplo el DVD.

La multiplexación de transporte se utiliza en medios propensos a errores y es el elegido por el sistema DVB para la transmisión de la señal de TV.

2.17.

Los mecanismos de corrección de errores que incorpora la señal de TV digital permiten que la calidad de la imagen siempre sea óptima hasta que el decodificador sea incapaz de recuperar los errores de la señal, momento en el cual la imagen aparece pixelada y posteriormente desaparece de la pantalla.

El margen a partir del cual la señal deja de visualizarse correctamente es muy pequeño, de manera que cualquier variación del nivel de señal recibido puede provocar la no visualización de la imagen.

En los sistemas analógicos, en cambio, se podía evaluar de manera subjetiva la calidad de la señal recibida a partir de la imagen visualizada, ya que la calidad de la imagen visualizada iba disminuyendo de manera paulatina a medida que la calidad de recepción empeoraba, apareciendo cada vez más nieve en pantalla.

2.18.

Para las diferentes redes de distribución mostradas en la Figura 2.59, a partir del análisis de las instalaciones, y utilizando la fórmula de Friis o la aproximación si corresponde, el resultado de las cuestiones para cada caso se resume a continuación:

Fórmula de Friis

$$f_{EQ} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \cdot g_2};$$
$$F_{EQ} = 10 \cdot \log f_{EQ}$$

Aproximación

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP}$$

Caso 1

- a) Nivel de señal de salida (S_o):

$$S_o = S_i - L_{CABLE} + G_{AMP} - L_{RED} = 54 \text{ dB}\mu\text{V} - 1 \text{ dB} + 20 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 58 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Paraninfo

b) C/N_i :

$$C/N_i = S_i - N_i = 54 \text{ dB}\mu\text{V} - 4 \text{ dB}\mu\text{V} = 50 \text{ dB}$$

c) F_{EQ} :

En este caso, como la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red se puede utilizar sin cometer error la aproximación:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = 1 \text{ dB} + 8 \text{ dB} = 9 \text{ dB}$$

Si calculamos la F_{EQ} sin aproximación:

$$G_1 = -1 \text{ dB} \rightarrow g_1 = 10^{(G_1/10)} = 10^{(-1/10)} = 0,794; F_1 = 1 \text{ dB} \rightarrow f_1 = 10^{(F_1/10)} = 10^{(0,1)} = 1,2589;$$

$$G_2 = 40 \text{ dB} \rightarrow g_2 = 10^{(40/10)} = 10.000; F_2 = 9 \rightarrow f_2 = 10^{(8/10)} = 6,309;$$

$$F_3 = 35 \text{ dB} \rightarrow f_3 = 10^{(35/10)} = 3.162,28;$$

$$f_{EQ} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \cdot g_2} = 1,2589 + \frac{6,309 - 1}{0,794} + \frac{3162,28 - 1}{0,794 \cdot 10.000} = 1,2589 + 6,683 + 0,398 = 8,34$$

$$F_{EQ} = 10 \cdot \log f_{EQ} = 10 \cdot \log (8,34) = 9,2 \text{ dB}$$

Como se observa, el error en el cálculo es pequeño:

$$F_{EQ} = 9,2 \text{ dB} \approx F_{EQ \text{ APPROX}} = 9 \text{ dB}$$

d) C/N_o :

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 50 \text{ dB} - 9 \text{ dB} = 41 \text{ dB}$$

Caso 2

a) Nivel de señal de salida (S_o)

$$S_o = S_i - L_{CABLE} + G_{AMP} - L_{RED} = 60 \text{ dB}\mu\text{V} - 2 \text{ dB} + 30 \text{ dB} - 20 \text{ dB} = 68 \text{ dB}\mu\text{V}$$

b) C/N_i :

$$C/N_i = S_i - N_i = 60 \text{ dB}\mu\text{V} - 2 \text{ dB}\mu\text{V} = 58 \text{ dB}$$

c) F_{EQ} :

En este caso, como la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red se puede utilizar sin cometer error la aproximación:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = 2 \text{ dB} + 9 \text{ dB} = 11 \text{ dB}$$

d) C/N_o :

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 58 \text{ dB} - 11 \text{ dB} = 47 \text{ dB}$$

Caso 3

a) Nivel de señal de salida (S_o):

$$S_o = S_i - L_{CABLE} + G_{AMP} - L_{RED} = 54 \text{ dB}\mu\text{V} - 1 \text{ dB} + 25 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 43 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Paraninfo

b) $C/N_i^:$

$$C/N_i = S_i - N_i = 54 \text{ dB}\mu\text{V} - 4 \text{ dB}\mu\text{V} = 50 \text{ dB};$$

c) $F_{EQ}:$

En este caso, como la ganancia del amplificador es menor que la atenuación de la red no se puede utilizar sin cometer error la aproximación:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = 1 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = 7 \text{ dB}$$

Si calculamos la F_{EQ} sin aproximación:

$$G_1 = -1 \text{ dB} \rightarrow g_1 = 10^{(G_1/10)} = 10^{(-1/10)} = 0,794; F_1 = 1 \text{ dB} \rightarrow f_1 = 10^{(F_1/10)} = 10^{(0,1)} = 1,2589;$$

$$G_2 = 25 \text{ dB} \rightarrow g_2 = 10^{(25/10)} = 316,22; F_2 = 6 \rightarrow f_2 = 10^{(6/10)} = 3,981;$$

$$F_3 = 35 \text{ dB} \rightarrow f_3 = 10^{(35/10)} = 3.162,27;$$

$$f_{EQ} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \cdot g_2} = 1,2589 + \frac{3,981 - 1}{0,794} + \frac{3162,27 - 1}{0,794 \cdot 316,22} = 1,2589 + 3,754 + 12,589 = 17,60$$

$$F_{EQ} = 10 \cdot \log f_{EQ} = 10 \cdot \log (17,60) = 12,45 \text{ dB}$$

Como se observa, el error en el cálculo es elevado:

$$F_{EQ} = 12,45 \text{ dB} > F_{EQ\,APROX} = 7 \text{ dB}$$

d) $C/N_o:$

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 50 \text{ dB} - 12,45 \text{ dB} = 37,55 \text{ dB};$$

Caso 4

En este caso se utiliza un preamplificador, por lo que no hay atenuación previa de la señal hasta la entrada del amplificador ($L_{CABLE}=0$).

a) Nivel de señal de salida (S_o):

$$S_o = S_i + G_{AMP} - L_{RED} = 54 \text{ dB}\mu\text{V} + 30 \text{ dB} - 28 \text{ dB} = 62 \text{ dB}\mu\text{V}$$

b) $C/N_i^:$

$$C/N_i = S_i - N_i = 54 \text{ dB}\mu\text{V} - 4 \text{ dB}\mu\text{V} = 50 \text{ dB};$$

c) $F_{EQ}:$

En este caso, como la ganancia del amplificador es menor que la atenuación de la red se puede utilizar sin cometer error la aproximación:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = 0 \text{ dB} + 9 \text{ dB} = 9 \text{ dB}$$

d) $C/N_o:$

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 50 \text{ dB} - 9 \text{ dB} = 41 \text{ dB};$$

Paraninfo

2.19.

La figura siguiente muestra los principales parámetros que permiten evaluar la calidad de una comunicación.

