



Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Colección de problemas de la Asignatura

# Introducción a la Ingeniería

## Tema 4

## Índice

Tema 4. Transmisión de Señales Analógicas y Digitales	3
4.1 Modulación de señales. Ejemplo: modulación en AM	3
Problema 4.1 Modulación	3
4.2 Ejemplos de aplicaciones de la modulación	4
Problema 4.2 multiplexación FDM y TDM	4
Problema 4.3 Moduladores y multiplexación FDM	4
4.3 Otros tipos de modulación (FM, PM)	5
Problema 4.4 Identificación de modulación	5
Problema 4.5 Identificación de modulación	5
Problema 4.6 Identificación de modulación	5
Problema 4.7 Modulación AM con diferentes índices de modulación	6
Problema 4.8 Ancho de banda para las modulaciones	7
Problema 4.9 Uso de distintas modulaciones sobre un bit	8
Problema 4.10 Modulaciones en amplitud y frecuencia de una señal digital binaria	9
Problema 4.11 Modulación ASK multinivel. Relación señal a ruido y capacidad del canal.	10
4.5 Medidas asociadas a la transmisión (dB, dBW, dBm)	10
Problema 4.12 Aplicación del logaritmo a funciones	10
Problema 4.13 Escala lineal y logarítmica	10
Problema 4.14 Cálculo de potencias en un sistema de transmisión	11
Problema 4.15 Amplificación de un generador de señal	11
Problema 4.16 Cálculo de potencias en Wats y dBm	12
Problema 4.17 Cálculo de la potencia en un diagrama de bloques	12
Problema 4.18 Distribución de potencias en una instalación de TV	13
Problema 4.19 Distribución de potencias en una instalación de TV	15
Problema 4.20 Radiodifusión por satélite. Medidas asociadas a la transmisión	16

## Tema 4. Transmisión de Señales Analógicas y Digitales

### Objetivos

Una vez completado el tema 4, el estudiante estará capacitado para:

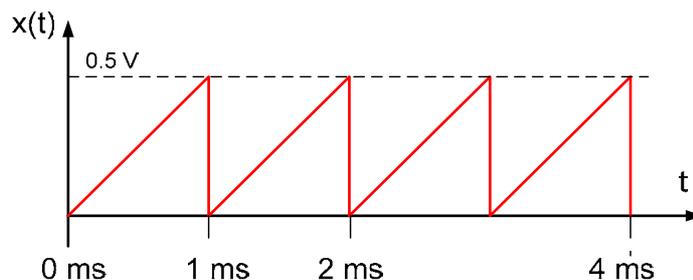
- entender el concepto de modulación, su necesidad e importancia en las comunicaciones;
- distinguir cualitativamente los diferentes tipos de modulación, e identificar las expresiones matemáticas que las describen;
- entender el concepto de capacidad del canal y su relación con la modulación;
- conocer el espectro frecuencial asociado a la modulación en amplitud, y estimar el ancho de banda para la modulación en frecuencia;
- definir el concepto de multiplexación, y conocer algunas de sus aplicaciones;
- conocer las medidas relativas y absolutas de potencia, dB, dBm, dBW, y saber aplicarlas para el cálculo de la ganancia o atenuación de un sistema de telecomunicación;

### 4.1 Modulación de señales. Ejemplo: modulación en AM

#### 4.1.1 Análisis cualitativo del espectro de una señal modulada en AM

##### Problema 4.1 Modulación

Considere la señal  $x(t)$  representada en la figura adjunta:



Suponga que se realiza la siguiente modulación:

$$y(t) = (1 + 0.5 \cdot x(t)) \cdot \sin(2\pi \cdot 10000t)$$

Se pide:

- a) Indique el tipo de modulación representada por la ecuación anterior.
- b) Determine cuantos ciclos de la portadora se incluirán en un periodo básico de  $x(t)$ .
- c) Represente esquemáticamente la señal  $y(t)$ . Indique los niveles de amplitud máximo y mínimo que se obtienen al inicio y al final del periodo básico de la envolvente.

## 4.2 Ejemplos de aplicaciones de la modulación

### 4.2.2 Multiplexación en frecuencia

#### Problema 4.2 multiplexación FDM y TDM

Razone motivadamente la veracidad o no de la siguiente/s afirmación/es:

“La transmisión de miles de conversaciones telefónicas desde una central a otra puede realizarse tanto mediante técnicas de multiplexado frecuencial (FDM) como temporal (TDM). En ambos casos, es necesario disponer de teléfonos digitales, como ya es habitual.”

#### Problema 4.3 Moduladores y multiplexación FDM

Un enlace radio punto a punto opera en la banda de UHF y transporta una señal múltiplex telefónico FDM (*frequency division multiplexing*) formada por  $N=1000$  canales de voz. Cada uno de los canales tiene asignado un ancho de banda de 4 kHz y se identifica mediante una portadora  $f_c=2\text{GHz} + j \times 4 \text{ kHz} - 2\text{kHz}$ , donde  $j$  representa el número de canal ( $j=1..N$ ).

- a) Dibuje el espectro de la señal FDM. Suponga, por ejemplo,  $N=8$  canales para simplificar la representación gráfica y calcule las frecuencias portadoras asociadas a los canales 1..8 (expreselas en notación 2 GHz + x KHz).

La central de conmutación telefónica tiene como objetivo interconectar un usuario dado con otro. Este proceso se basa en *reordenar adecuadamente los canales en el espectro FDM*, ya que *el protocolo de conmutación fija que el canal 1 está siempre intercomunicado con el 2 (usuarios 1 y 2 pueden mantener una conversación telefónica), el canal 3 con el 4, el 5 con el 6 y así sucesivamente por parejas.*

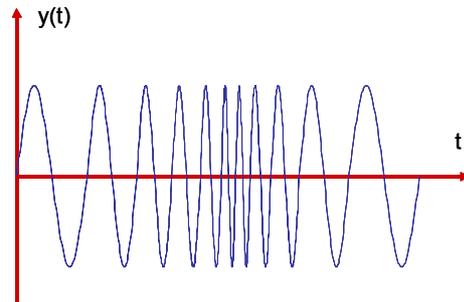
Considere en la red 4 nuevos usuarios (A, B, C, D) que deseamos interconectar de la siguiente forma: A con B y C con D. El usuario A se localiza en el canal 1, el usuario B en el canal 6, el C en el canal 4 y el D en el canal 8.

- b) Calcule las frecuencias portadoras asociadas a estos usuarios,  $f_A...f_D$ , (expreselas en notación 2 GHz + x KHz) y represente sus posiciones en el espectro FDM como en Apto. (a).
- c) Utilizando los siguientes bloques: Bloque Oscilador ( $\cos 2\pi f_0 t$ ), bloque multiplicador ( $\times$ ), y filtros, únicamente de tipo paso bajo y paso alto, dibuje el diagrama de bloques de un modulador *down converter*, que permita trasladar una señal de entrada a frecuencia  $f_6$  a una frecuencia  $f_2$  a su salida, intercomunicando así los usuarios A y B. Calcule el valor de la frecuencia  $f_0$  necesaria en el bloque oscilador.
- d) Idem para un modulador *up converter*, que permita trasladar una señal de entrada a frecuencia  $f_4$  a una frecuencia  $f_7$  a su salida, intercomunicando así los usuarios C y D.
- e) ¿Por qué cree que la central de conmutación ha tomado la decisión de interconectar los usuarios C y D mediante los canales 7-8 en vez de utilizar los canales 3 - 4 o 5 - 6?

### 4.3 Otros tipos de modulación (FM, PM)

#### Problema 4.4 Identificación de modulación

Considere la señal  $y(t)$  cuya forma de onda se representa en la figura adjunta y que corresponde a la modulación de una señal  $x(t)$ .



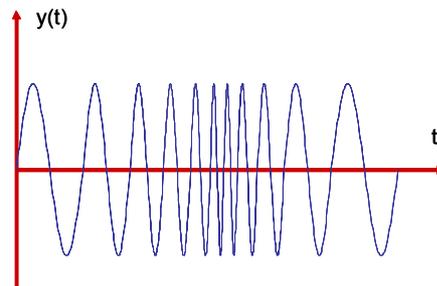
Identifíquese cuál de entre las siguientes afirmaciones es válida y justifíquese para cada uno de ellas el por qué es correcta o falsa

- Se trata de una modulación de amplitud (AM) en la que la moduladora  $x(t)$  es constante.
- Se trata de una modulación de frecuencia (FM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal triangular.
- Se trata de una modulación de fase (PM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal constante.

Si considera que ninguna es correcta, sugiera una posible interpretación.

#### Problema 4.5 Identificación de modulación

Considere la señal  $y(t)$  cuya forma de onda se representa en la figura adjunta y que corresponde a la modulación de una señal  $x(t)$ .



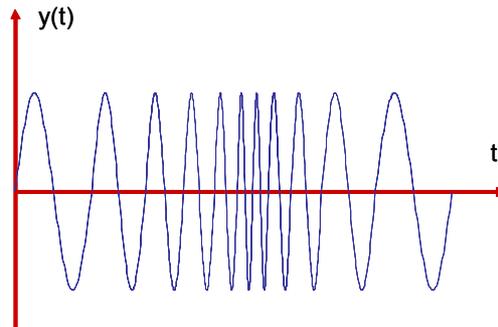
Identifíquese cuál de entre las siguientes afirmaciones es válida y justifíquese para cada uno de ellas el por qué es correcta o falsa

- Se trata de una modulación de fase (PM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal cuadrada.
- Se trata de una modulación de amplitud (AM) que se encuentra sobremodulada con una señal moduladora  $x(t)$  que es una señal cuadrada.
- Se trata de una modulación de frecuencia (FM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal constante.

Si considera que ninguna es correcta, sugiera una posible interpretación.

#### Problema 4.6 Identificación de modulación

Considere la señal  $y(t)$  cuya forma de onda se representa en la figura adjunta y que corresponde a la modulación de una señal  $x(t)$ .



Indique cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- Se trata de una modulación de amplitud (AM) en la que la moduladora  $x(t)$  es constante.
- Se trata de una modulación de fase (PM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal cuadrada.
- Se trata de una modulación de frecuencia (FM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal triangular.
- Se trata de una modulación de frecuencia (FM) en la que la moduladora  $x(t)$  es una señal constante.

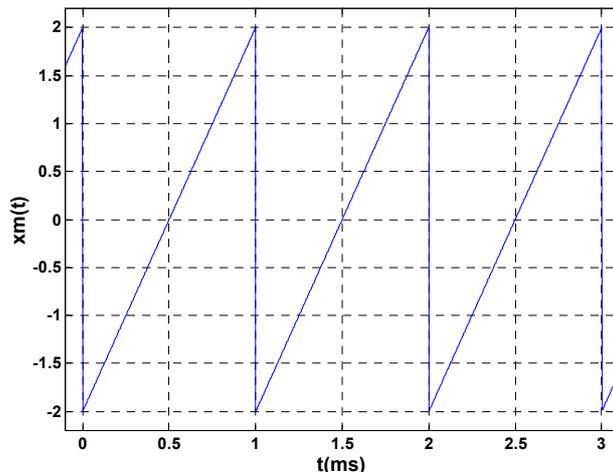
#### Problema 4.7 Modulación AM con diferentes índices de modulación

Considere la señal  $x_m(t)$  representada en la figura adjunta:

Nótese que es una señal de amplitud de valor 2 y periodo 1 ms.

Se decide modular en amplitud con una señal portadora  $x_C(t)$  de amplitud  $A_C=1$  y frecuencia  $f_C=4$  KHz:

$$x_C(t) = A_C \cdot \sin(2\pi \cdot f_C \cdot t)$$



Para comparar diferentes posibilidades, se estudia el caso para tres índices de modulación  $m=0.25$ ,  $m=0.5$  y  $m=1$

Se pide:

- representar la envolvente de la señal modulada para los tres índices dados, dada por la expresión:  $env(t) = 1 + m \cdot x_m(t)$
- determinar cuántos ciclos de la portadora  $x_C(t)$  se incluirán en un periodo básico de  $x_m(t)$
- representar esquemáticamente la señal modulada para los tres índices de modulación. Indique los niveles de amplitud máximo y mínimo que se obtienen al inicio y al final del periodo básico de la envolvente.
- ¿son válidos todos los índices de modulación? justificar la respuesta .

**Problema 4.8 Ancho de banda para las modulaciones**

Considere un sistema de distribución de señales de vídeo para instalaciones de videovigilancia. Se dispone de 16 cámaras que desean multiplexarse en frecuencia y distribuirse por cable. El ancho de banda de la señal de vídeo puede considerarse de  $W=5$  MHz. Se propone multiplexar en frecuencia las señales de las distintas cámaras utilizando las siguientes modulaciones:

- Modulación de amplitud AM (Ancho de banda señal modulada:  $2W$ )
- Modulación de frecuencia FM (Ancho de banda señal modulada:  $5W$ )
- Modulación en Banda Lateral Vestigial - BLV (Ancho de banda señal modulada:  $1,2W$ )

Las frecuencias moduladoras se eligen de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f_0 = 575,25\text{MHz} + k \cdot \Delta F$$

donde  $k$  representa el índice de la cámara y puede tomar los valores  $k=\{0, 1, 2, \dots, 15\}$ .  $\Delta F$  representa el incremento de frecuencia entre las moduladoras de los diferentes canales.

Se pide:

- a) Determine los valores de  $\Delta F$  que utilizaría para cada uno de los tipos de modulación anteriores teniendo en cuenta que los espectros asociados a cada una de las cámaras no pueden estar solapados si se desea poder demodular correctamente la señales.

$\Delta F$ utilizado para AM	
$\Delta F$ utilizado para FM	
$\Delta F$ utilizado para BLV	

- b) Calcule el ancho de banda mínimo que ocuparían los 16 canales para cada uno de los tipos de modulación considerados.

Ancho de Banda mínimo 16 canales utilizando AM	
Ancho de Banda mínimo 16 canales utilizando FM	
Ancho de Banda mínimo 16 canales utilizando BLV	

- c) Suponiendo que se restringe el valor máximo de  $\Delta F$  a 8 MHz. Que tipo de modulación elegiría.

Tipo modulación elegido	
-------------------------	--

### Problema 4.9 Uso de distintas modulaciones sobre un bit

Considere el par de señales  $x_0(t)$  y  $x_1(t)$  que representan los dígitos binarios “0” y “1”, respectivamente, según se muestra en la figura adjunta:

Nótese que es una señal de amplitud de valor 1 y periodo 1 ms.

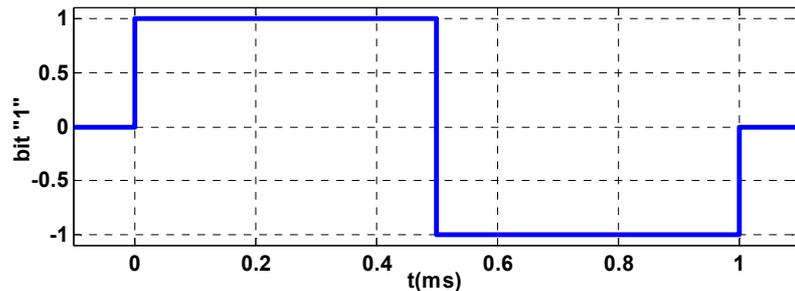
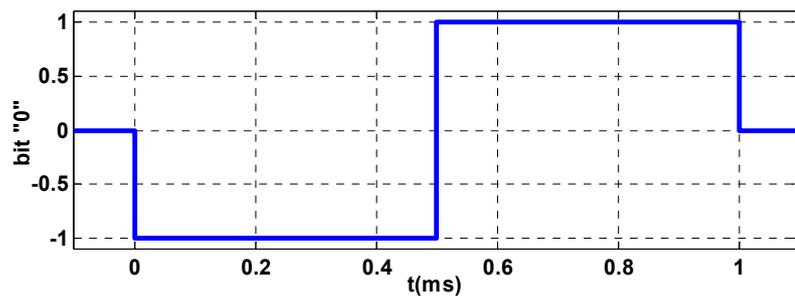
Se decide modular con una señal portadora  $x_C(t)$  de amplitud  $A_C=1$  y frecuencia  $f_C$  cuatro veces la frecuencia de la señal moduladora:

$$x_C(t) = A_C \cdot \sin(2\pi \cdot f_C \cdot t)$$

Para comparar diferentes posibilidades, se estudia el caso para los tres tipos de modulación.

Se pide:

- representar esquemáticamente la señal modulada en amplitud con un índice de modulación  $m=0.5$  y determinar cuántos ciclos de la portadora  $x_C(t)$  se incluirán en un periodo básico de  $x_0(t)$  y de  $x_1(t)$ ;
- representar esquemáticamente la señal modulada para las dos otras posibles modulaciones en fase y frecuencia (no se requiere la demostración matemática)
- ¿Qué es la sobremodulación y por qué debe evitarse?

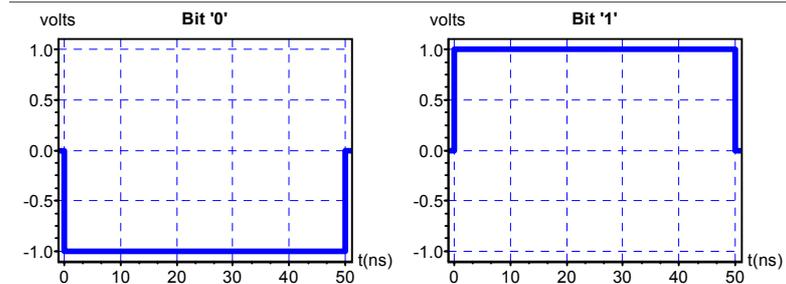


### Problema 4.10 Modulaciones en amplitud y frecuencia de una señal digital binaria

NOTA: Este problema pretende extender los conceptos de modulación en amplitud (AM) y en frecuencia (FM) a sus contrapartidas digitales (modulaciones ASK y FSK, respectivamente).

Se desea modular **en amplitud** una portadora de radiofrecuencia,  $x_c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$  de amplitud  $A_c = 5V$  y frecuencia,  $f_c = 100$  MHz, mediante una señal moduladora digital binaria.

La moduladora digital representa un tren o ráfaga de dígitos binarios ("0"s y "1"s) en base a la señalización de la Fig.1 adjunta.



Considere los siguientes mensajes digitales binarios:

Mensaje (a) 0101

Mensaje (b) 1100

**Fig.1.** "Bit 1" se codifica mediante nivel alto de amplitud 1V y duración 50 ns, "Bit 0" se codifica mediante nivel bajo de amplitud -1V y duración 50 ns.

Se pide:

1. Represente esquemáticamente la señal modulada en amplitud resultante si se utiliza un índice de modulación  $m=0.5$ . Indique claramente cuántos ciclos de la portadora se incluyen en el tiempo de bit (esto es, la duración de un bit a "0" o a "1").
2. ¿Qué es la sobremodulación? Interprete este fenómeno representando únicamente la envolvente de la señal modulada para el caso  $m=2$  cuando se transmite el mensaje (a).

La citada portadora se modula *en frecuencia* utilizando la misma señalización para moduladora digital (Fig.1).

3. Como en (1), represente esquemáticamente la señal modulada resultante cuando se utiliza un índice de modulación  $f_\Delta = 50$  MHz y el mensaje (a). (Basta esbozar el aspecto de la señal aunque los cálculos no sean exactos).

Recuérdese que la señal modulada en frecuencia puede escribirse como:

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \left[ \omega_c t + 2\pi f_\Delta \int_{-\infty}^t x(\lambda) d\lambda \right]$$

Es decir, que la codificación del "Bit 0" implica un decremento de frecuencia portadora en  $f_\Delta$  mientras que la codificación del "Bit 1" implica un incremento de la misma en la misma cantidad  $f_\Delta$ .

### Problema 4.11 Modulación ASK multinivel. Relación señal a ruido y capacidad del canal.

De acuerdo con el teorema de Shannon, la relación entre el ancho de banda analógico de un canal y la capacidad para transmitir una secuencia de bits viene dado por la siguiente expresión:

$$C = BW \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_{\text{señal}}}{P_{\text{ruido}}} \right)$$

Se dispone de un canal cuyo ancho de banda es de 5 MHz. Calcular:

- Relación señal a ruido mínima necesaria para transmitir con una velocidad binaria de 15 Mbps.
- Diseñe una modulación ASK multinivel (M-ASK) capaz de transmitir esta información.
- Teniendo en cuenta que la potencia de ruido es proporcional al ancho de banda del canal, ¿podríamos incrementar la capacidad del canal incrementando el número de niveles del M-ASK y reduciendo por tanto el ancho de banda necesario?

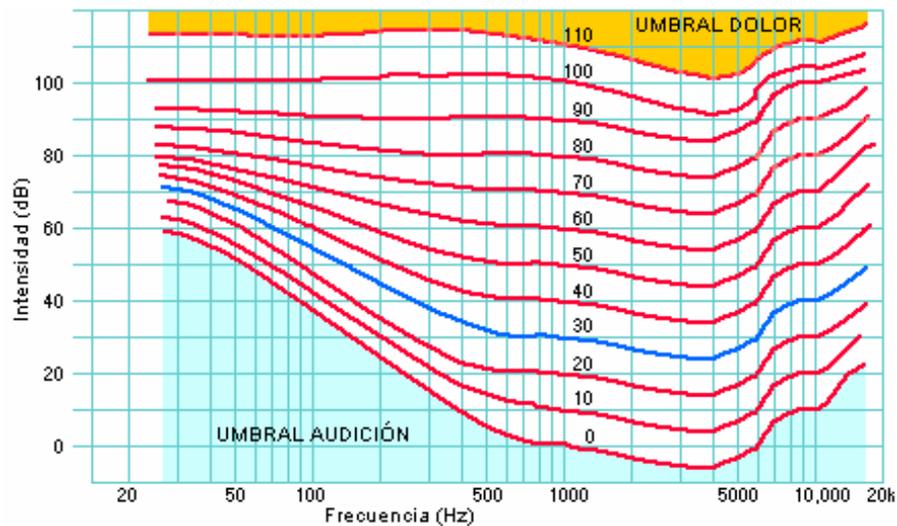
## 4.5 Medidas asociadas a la transmisión (dB, dBW, dBm)

### Problema 4.12 Aplicación del logaritmo a funciones

Sean las funciones  $y_1 = 2^x$ ,  $y_2 = G \cdot x^2$ . Aplicar el logaritmo a ambas funciones. Dibújense cada una de ellas con el eje de ordenadas (tómese, por ejemplo, el intervalo  $x = [1, 10]$  y  $G = 5$ ) tanto en escala lineal como logarítmica, y el eje de abscisas como considere más adecuado. Señálense las principales diferencias entre la escala lineal y la escala logarítmica.

### Problema 4.13 Escala lineal y logarítmica

La siguiente gráfica muestra la intensidad de sonido que percibe el oído humano en función de la frecuencia. Obsérvese que tanto el eje de abscisas (para las frecuencias en Hz), como el de ordenadas (para la intensidad en decibelios, es decir, unidad logaritmo de la intensidad lineal) se encuentran en escala logarítmica. ¿Qué ocurriría si la misma gráfica se representara en escala lineal? Explicar para qué sirve y por qué se ha adoptado la escala logarítmica.



#### Problema 4.14 Cálculo de potencias en un sistema de transmisión

Sea un sistema compuesto por un emisor de potencia emitida  $P^E$ , amplificador de ganancia  $G$ , canal de atenuación  $L$  y bloque receptor al que le llega una potencia  $P^R$ . Se pide:

a) Dibuje el diagrama de bloques que represente el sistema, incluyendo variables de entrada y salida para cada bloque.

b) Complete las columnas de unidades de la siguiente tabla, indicando cuáles son válidas para caracterizar cada uno de los bloques:

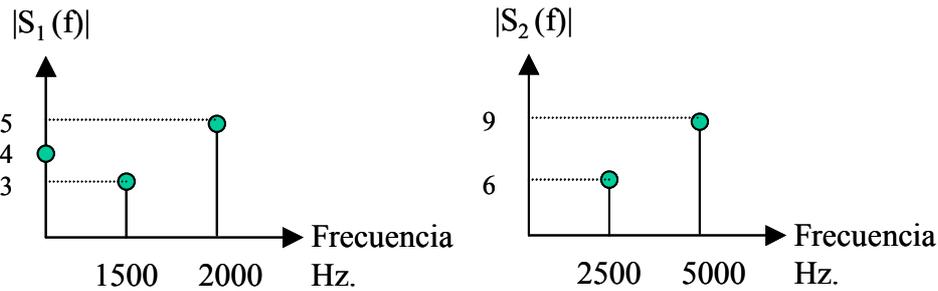
Bloque	Unidades		Valor	
	Lineales (W, mW)	Logarítmicas (dB, dBm, dBW)	Lineal	Logarítmico
Emisor ( $P^E$ )			1	
Amplificador ( $G$ )			2	
Atenuador ( $L$ )			4	
Receptor ( $P^R$ )				

c) En función de la unidad escogida para el bloque emisor, complete el valor logarítmico para cada bloque a partir de su valor lineal.

d) En función de las unidades de la potencia de entrada, indique el valor de la potencia de salida tanto en unidades lineales como logarítmicas;

#### Problema 4.15 Amplificación de un generador de señal

Un generador de señal está compuesto de dos fuentes internas  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$ . La salida del generador es la suma de ambas señales amplificada por un amplificador cuyo margen está entre 0 a 60 dB que introduce un offset de 3V. El espectro de las fuentes  $S_1(f)$  y  $S_2(f)$  se muestra en la figura:



- Hallar la expresión de  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$ .
- Hallar el espectro a la salida del amplificador si este tuviese ganancia unitaria.
- ¿Cuál es la máxima ganancia del amplificador?
- ¿Cómo se modificaría el espectro de salida del generador si el amplificador tuviese una ganancia de 60 dB?

#### Problema 4.16 Cálculo de potencias en Wats y dBm

Considere el siguiente diagrama de un sistema de comunicaciones con repetidores. La señal del transmisor se inyecta al cable con una potencia equivalente de 1 Watts. El primer tramo de cable introduce una atenuación de 0,086 dB/m (cada metro se reduce la potencia de la señal en 0,086 dB's) y tiene una longitud de 75 m. El regenerador de señal aumenta la potencia de señal en un factor multiplicativo igual a 4. El segundo tramo de cable tiene una atenuación de 0,03 dB/m y 200 m de longitud.



Se pide:

- Determinar la potencia en Wats con la que se recibe la señal útil en el receptor.
- Suponiendo que la potencia de ruido en el extremo receptor es de 0,08 Wats. Determine la relación señal a ruido a la entrada del receptor.

#### Problema 4.17 Cálculo de la potencia en un diagrama de bloques

Considere el siguiente diagrama de un sistema de comunicaciones. La señal de la antena puede alcanzar valores de hasta 25 mW. El preamplificador admite una potencia máxima de entrada de 10 mW, y tiene un factor de ganancia de 4. El cable introduce una atenuación de 0.086 dB/m (cada metro se reduce la potencia de la señal en 0,086 dB's) y tiene una longitud de 35 m.

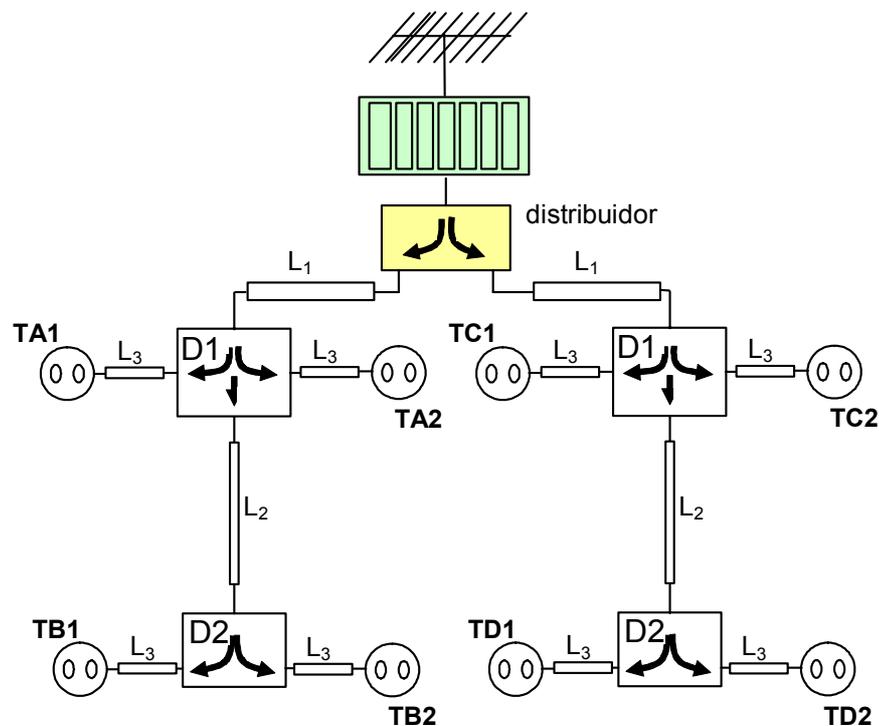


Se pide:

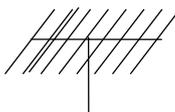
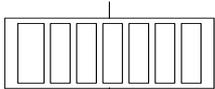
- Determinar el mínimo aislamiento a introducir entre la antena y el preamplificador en dB.
- Determinar la potencia en mWats con la que se recibe la señal útil en el receptor.
- Suponiendo que la potencia de ruido en el extremo receptor es de 7 mWats. Determine la relación señal a ruido (S/N) a la entrada del receptor en dB.
- Si el nivel de ruido aumenta a 14 mW, determinar la ganancia del preamplificador para mantener la misma relación S/N obtenida en el apartado c).

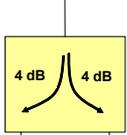
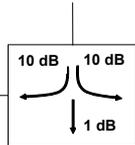
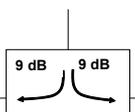
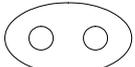
#### Problema 4.18 Distribución de potencias en una instalación de TV

Considere el siguiente diagrama de una instalación para distribución de una señal de televisión:



Los diferentes elementos de la instalación cuentan con las siguientes características:

Elemento	Características	Símbolo
Antena	Proporciona una señal de potencia 70 dBuV	
Caja de amplificación	Presenta una ganancia G	

Distribuidor	Presenta unas pérdidas de 4 dB para cada una de sus dos direcciones	
Derivador D1	Presenta una atenuación de 10 dB por derivación (para conectar a una toma), y de 1 dB por paso (para acceder a otro derivador).	
Derivador D2	Presenta una atenuación de 9 dB por derivación.	
Cable	Presenta una atenuación de 0,2 dB/m y unas longitudes $L_1 = 25$ m, $L_2 = 10$ m y $L_3 = 15$ m.	
Tomas	No se considerarán pérdidas.	

Se pide:

- Calcule la atenuación producida por el sistema de reparto de la señal (distribuidores, derivadores y cables), desde la entrada del distribuidor hasta cada una de las tomas.
- Calcule la amplificación necesaria (ganancia  $G$ ) para que cada toma reciba como mínimo una señal de 60 dBuV
- Complétese la siguiente tabla, sabiendo que la instalación tiene como impedancia característica  $Z_0 = 75 \Omega$  :

Tomas	Atenuación (dB)	Nivel de señal		
		dBuV	dBm	$\mu V$
TA1				
TA2				
TB1				
TB2				
TC1				
TC2				
TD1				
TD2				

Nota:  $V[\text{dBuV}] = 20 \log V [\mu V]$

$$\begin{aligned}
 S[\text{dBm}] &= 10 \cdot \log(S[\text{mW}]) = 10 \cdot \log(S[\text{W}]) + 30 \text{ dB} = \\
 &= 10 \cdot \log(V^2[V]/Z_0) + 30 \text{ dB} = 20 \cdot \log(V[V]) - 10 \cdot \log(Z_0) + 30 \text{ dB} = \\
 &= 20 \cdot \log(V[\mu V]) - 120 - 18.8 + 30 = V[\text{dBuV}] - 108,8
 \end{aligned}$$

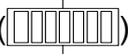
$$V[\text{dBV}] = 20 \log(V[\text{V}]) = 20 \log \frac{V[\text{V}]}{1\text{V}} = 20 \log \frac{V[\text{V}]}{1\text{V}} \frac{1\text{V}}{10^6 [\mu\text{V}]} = 20 \log \frac{V[\text{V}]}{1 [\mu\text{V}]} \frac{1}{10^6} =$$

$$= 20 \log(V[\mu\text{V}]) + 20 \log 10^{-6} = V[\text{dB}\mu\text{V}] - 120$$

**Problema 4.19 Distribución de potencias en una instalación de TV**

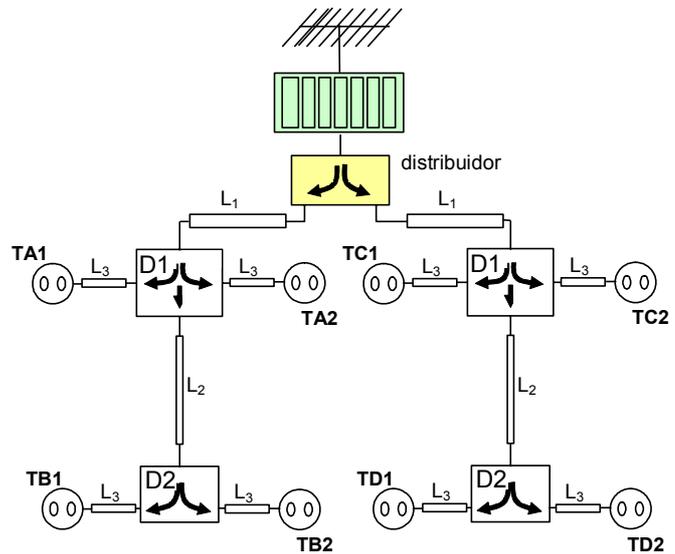
Considere el siguiente diagrama de una instalación para distribución de una señal de televisión.

La antena receptora de la señal a distribuir en la instalación (  ) proporciona una señal de potencia 70 dBuV.

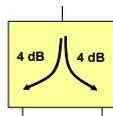
La caja de amplificación (  ) presenta una ganancia de 17 dB.

No se consideran pérdidas en las tomas (  ).

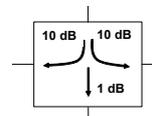
En resto de elementos de la instalación cuentan con las siguientes características:



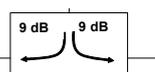
**Distribuidor:** Presenta unas pérdidas de 4 dB para cada una de sus dos direcciones



**Derivador D1:** Presenta una atenuación de 10 dB por derivación (para conectar a una toma), y de 1 dB por paso (para acceder a otro derivador).



**Derivador D2:** Presenta una atenuación de 9 dB por derivación.



**Cables:** Presenta una atenuación de 0,15 dB/m y unas longitudes  $L_1 = 14$  m,  $L_2 = 20$  m y  $L_3 = 6$  m.



Se pide:

- Calcule la atenuación producida por el sistema de reparto de la señal (distribuidores, derivadores y cables), desde la entrada del distribuidor hasta cada una de las tomas.
- Una vez instalado el sistema de distribución, se mide la potencia de la señal de televisión en la antena para tres diferentes canales,  $C_1 = 55$  dBuV,  $C_2 = 70$  dBuV y  $C_3 = 62$  dBuV. Si se establece un umbral de 60 dBuV para poder visualizar correctamente la señal, indique qué canales podrán verse en cada una de las tomas.
- Complétese la siguiente tabla (la instalación tiene como impedancia característica  $Z_0 = 75 \Omega$ ):

Tomas	TA1	TA2	TB1	TB2	TC1	TC2	TD1	TD2
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Atenuación (dB)								
Nivel señal canal C3	dBuV							
	dBm							
	μV							

Nota:  $V[\text{dBuV}] = 20 \log V [\mu\text{V}]$

$$S[\text{dBm}] = 10 \cdot \log(S[\text{mW}]) = 10 \cdot \log(S[\text{W}]) + 30 \text{ dB} = 10 \cdot \log(V^2[\text{V}]/Z_0) + 30 \text{ dB}$$

$$\text{dB} = 20 \cdot \log(V[\text{V}]) - 10 \cdot \log(Z_0) + 30 \text{ dB} =$$

$$= 20 \cdot \log(V[\mu\text{V}]) - 60 - 18.8 + 30 = V[\text{dBuV}] - 108,8$$

#### Problema 4.20 Radiodifusión por satélite. Medidas asociadas a la transmisión

Considere un enlace descendente satélite-Tierra con las siguientes características (y en base al vocabulario comentado):

SATELITE:

- PIRE 60 dBW
- Ancho de banda 1 canal: B=27 MHz
- Orbita: R=36.000 km
- Frecuencia portadora: f=12 GHz

SISTEMA EN RECEPCION:

- Antena parabólica: d=90 cm (diámetro), eficiencia  $\eta=60\%$
- Densidad espectral de ruido captado por la antena (esto es, a la entrada del receptor)

$$S_{\text{nn}} = K_B [T_A \eta + T_0 (1 - \eta)] \left[ \frac{\text{W}}{\text{Hz}} \right]$$

con  $T_A=100$  K (cielo),  $T_0=290$  K (temp. ambiente) y  $K_B=1.38 \times 10^{-23}$  J/K (cte. Boltzmann).

- Ruido añadido por el receptor (a su salida),

$$\Delta S_{\text{nn}} = 4 \times 10^{-21} \text{G}, \left[ \frac{\text{W}}{\text{Hz}} \right]$$

con G=60 dB.

Se pide:

- Representación esquemática del enlace satélite-Tierra y diagrama de bloques en recepción (2 bloques).
- Densidad de potencia recibida por la antena parabólica,  $P_i$ , expresada en unidades de  $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $\text{dBm}/\text{m}^2$  y  $\text{dBW}/\text{m}^2$  ... *sabiendo que,*

$$P_i = \frac{\text{PIRE}}{4\pi R^2}, \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right].$$

- Nivel (potencia) de señal recibida,  $W_R$ , en unidades de W y dBW y dBm ... *sabiendo que*  $W_R = P_i A_{\text{ef}}$ , con  $A_{\text{ef}} = A_g \eta$  ( $A_g$ , el área geométrica de la antena

- considérese un disco circular- y,  $\eta$ , la eficiencia).
- d) Nivel (potencia) de ruido captado por la antena,  $N_i$ , esto es, a la entrada del receptor en unidades W, dBm y dBW.
  - e) Relación señal a ruido a la entrada del receptor,  $SNR_i$ , en unidades lineales y en dB.
  - f) Relación señal a ruido a la salida del receptor,  $SNR_o$ , en unidades lineales y en dB.
  - g) Si a la salida del receptor se conecta un sistema de distribución de señal con una atenuación  $L=18$  dB, calcule el nivel de señal que recibirá el usuario en unidades de W, dBW, dBm, tensión sobre  $50\Omega$  (esto es, recogidos sobre una carga resistiva de  $50\Omega$ ) y  $dB\mu V$  sobre  $50\Omega$ .

NOTA:  $dB\mu V = 20\log V[\mu V]$

### **Bibliografía bàsica:**

John Robinson Pierce, A. Michael Noll, "Señales. La ciencia de las telecomunicaciones", Ed. Reverté, S.A., Barcelona, 1995

Wright, P.H. Introducción a la Ingeniería. Addison Wesley, 1993.

### **Bibliografía complementària:**

Àngel Cardama, "Las Telecomunicaciones en la Sociedad de la Información", CIMNE, Reial Acadèmia de Doctors, Barcelona, 2002

Nicholas Negroponte, "El mundo digital"